# Zamjena radne tvari R-404A s radnom tvari srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje u rashladnom uređaju za potrebe hlađenja na niske temperature

**Iljkić, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:469934

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

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








SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Marino Grozdek

Student:
Josip Iljkić

Zagreb, 2018.

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

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

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

# ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Josip Iljkić** Mat. br.: **0035186806**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Zamjena radne tvari R-404A s radnom tvari srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje u rashladnom uređaju za potrebe hlađenja na niske temperature**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Retrofiting of a R-404A condensing unit to a fluorinated medium GWP refrigerant for a low temperature commercial application**

Opis zadatka:

Potrebno je provesti zamjenu radne tvari R-404A s jednom od radnih tvari iz skupine HFC srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje te utvrditi utjecaj zamjene na radne karakteristike rashladnog uređaja za potrebe hlađenja robe na niskim temperaturama u postojećem HCFC-22 rashladnom uređaju smještenom u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

U radu je potrebno:
- Istražiti komercijalno dostupne radne tvari iz skupine HFC, srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje (engl. medium GWP) adekvatne za zamjenu u postojećem HCFC-22 rashladnom uređaju smještenom u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje za potrebe hlađenja robe na niskim temperaturama.
- Provesti termodinamički proračun procesa u uređaju prije i nakon provedbe postupka zamjene.
- Nacrtati shemu postojećeg rashladnog uređaja s prikazom svih linijskih, elektroničkih i regulacijskih elemenata.
- Nacrtati shemu rashladnog uređaja nakon provedbe postupka zamjene radne tvari s naznakom svih elemenata (linijskih, elektroničkih i regulacijskih) koje je potrebno zamijeniti.
- Izvršiti zamjenu radne tvari, provesti mjerenja te analizirati dobivene rezultate.

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

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
**1. rok:** 23. veljače 2018.
**2. rok (izvanredni):** 28. lipnja 2018.
**3. rok:** 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
**1. rok:** 26.2. - 2.3. 2018.
**2. rok (izvanredni):** 2.7. 2018.
**3. rok:** 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:
Doc. dr. sc. Marino Grozdek

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Igor Balen

**Sadržaj po poglavljima:**


Sažetak 7

1. Uvod 9

1.1. Rashladni proces 9

1.2. Tehnička primjena rashladnog procesa 10

1.2. Radna tvar R404A 11

1.3. Štetno djelovanje radnih tvari 12

2. Protokoli, regulacijske uredbe i zakoni 13

2.1. Montrealski protokol 13

2.2. Kyoto protokol 13

2.3. Uredba (EU) br. 517/2014 14

2.4. Zakon o provedbi Uredbe (EU) br. 517/2014 14

3. Komponente rashladnog uređaja 15

3.1. Isparivač GEA Küba SGLE 091C 15

3.2. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y 16

3.3. Ostala oprema 18

3.4. Regulacija rashladnog uređaja 19

3.5. Shema rashladnog uređaja 20

4. Proračun radne tvari R404A 21

4.1. Konstrukcijski parametri 21

4.2. Gubici kompresora i rashladni učin isparivača 22

4.3. Proračun prijenosa topline na strani radne tvari 24

4.4. Proračun prijenosa topline na strani zraka 25

4.5. Proračun kondenzatora 27

5. Zamjenske radne tvari i usporedba 32

5.1. Zamjenske radne tvari 32

5.2. Usporedba zamjenskih radnih tvari sa R404A 32

6. Zamjena radne tvari 37

6.1. Odabir zamjenske radne tvari 37

6.2. Zamjena radne tvari rashladnog uređaja 37

7. Zaključak 39

8. Literatura 40

**Popis slika:**

Slika 1. Standardni rashladni proces u ϑ-s dijagramu 9
Slika 2. Prikaz rashladne komore za čuvanje smrznute robe 10
Slika 3. Isparivač GEA Küba SGLE 091C 15
Slika 4. Termoekspanzijski ventil isparivača 16
Slika 5. Karakteristika kompresora za različite temperature okoliša 17
Slika 6. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y 17
Slika 7. Shema rashladnog uređaja 20
Slika 8. Bitzer program korišten za proračun 28
Slika 9. Prikaz rashladnog procesa u log(p)-h dijagramu 30
Slika 10. Program Coolselector 31

**Popis tablica:**


Tablica 1. Svojstva radne tvari R404A 11
Tablica 2. ODP i GWP broj radne tvari R404A 12
Tablica 3. Isječak iz Priloga III. Uredbe (EU) br. 517/2014 14
Tablica 4. Usporedba kompresora 28
Tablica 5. Točke stanja sa pripadajućim vrijednostima za proces hlađenja sa R404A 30
Tablica 6. Usporedba svojstava zamjenskih radnih tvari 32
Tablica 7. Usporedba parametara procesa zamjenskih radnih tvari i cijena 33
Tablica 8. Rashladni proces sa radnom tvari R407A 33
Tablica 9. Rashladni proces sa radnom tvari R407F 34
Tablica 10. Rashladni proces sa radnom tvari R448A 34
Tablica 11. Rashladni proces sa radnom tvari R449A 35
Tablica 12. Rashladni proces sa radnom tvari R452A 35
Tablica 13. Sastav radnih tvari 36

**Popis oznaka**

| | | |
|---|---|---|
| $\vartheta_i$ | °C | Temperatura isparavanja |
| $\vartheta_k$ | °C | Temperatura kondenzacije |
| $\Delta\vartheta_{pr}$ | °C | Pregrijanje |
| $\Delta\vartheta_{pot}$ | °C | Pothlađenje |
| $\vartheta_{a1}$ | °C | Temperatura hladnjače |
| $\vartheta_{a2}$ | °C | Temperatura zraka na izlazu isparivača |
| $\vartheta_{v1}$ | °C | Projektna vanjska temperatura za Zagreb |
| $\vartheta_{v2}$ | °C | Temperatura zraka na izlazu kondenzatora |
| $\vartheta_{am}$ | °C | Srednja temperatura zraka |
| $\Delta\vartheta_m, \Delta\vartheta_{mk}$ | °C | Srednja logaritamska temperaturna razlika |
| $\vartheta_s$ | °C | Srednja temperatura vanjske površine |
| $\vartheta_{c1}$ | °C | Temperatura okoliša |
| $\vartheta_u$ | °C | Temperatura radne tvari na usisu kompresora |
| $H$ | m | Visina isparivača |
| $L$ | m | Dubina isparivača |
| $L_{uk}$ | m | Ukupna duljina cijevi |
| $L_1$ | m | Duljina cijevi u jednom redu |
| $d_v$ | m | Vanjski promjer cijevi isparivača |
| $d_u$ | m | Unutarnji promjer cijevi isparivača |
| $d_m$ | m | Srednji promjer cijevi isparivača |
| $d_e$ | m | Ekvivalentni promjer |
| $h$ | m | Visina rebara |
| $i_r$ | − | Broj redova cijevi isparivača |
| $i_t$ | − | Broj cijevi u redu isparivača |
| $i_{in}$ | − | Broj ulaznih cijevi isparivača |
| $s_1, s_2$ | m | Razmak između cijevi isparivača |
| $f_t$ | m | Debljina rebara isparivača |
| $s_f$ | m | Razmak između rebara isparivača |
| $A_v$ | $m^2$ | Vanjska površina izmjene topline isparivača |
| $A_u$ | $m^2$ | Untarnja površina isparivača za izmjenu topline |
| $A_z$ | $m^2$ | Najmanja površina u presjeku |

| | | |
|---|---|---|
| $A_{mt}$ | $m^2/m$ | Vanjska površina cijevi između rebara po metru |
| $A_r$ | $m^2/m$ | Površina rebara za jedan metar orebrene cijevi |
| $A_{e1}$ | $m^2/m$ | Vanjska površina isparivača po metru |
| $A_{i1}$ | $m^2/m$ | Unutarnja površina isparivača po metru |
| $A_f, B_f, h_f, \delta_t,$ | m | Pomoćne veličine |
| $p_i$ | bar | Tlak isparavanja |
| $p_k$ | bar | Tlak kondenzacije |
| $p_{ok}$ | bar | Tlak okoline |
| $p_u$ | bar | Tlak na usisnoj strani kompresora |
| $p_t$ | bar | Tlak na tlačnoj strani kompresora |
| $q_{vi}$ | $m^3/s$ | Volumni protok zraka kroz isparivač |
| $q_{vk}$ | $m^3/s$ | Volumni protok zraka kroz kondenzator |
| $q_{vrt}$ | $m^3/s$ | Dobava kompresora |
| $q_{mrt}$ | kg/s | Maseni protok radne tvari |
| G | $kg/(m^2\ s)$ | Masena brzina radne tvari u cijevima |
| w | m/s | Brzina u najmanjem presjeku |
| k | – | Konstanta |
| $\varepsilon_o$ | – | Udio štetnog prostora |
| $\beta$ | – | Omjer vanjske i unutarnje površine isparivača |
| $n_{ko}$ | – | Eksponent politrope kompresije |
| $n_{ek}$ | – | Eksponent politrope ekspanzije |
| $C, n, C_r, C_s, m_f, \rho_f$ | – | Pomoćne veličine |
| $R_o, R_i$ | – | Otpor prijenosu topline zbog stvaranja naslaga |
| $R_t$ | – | Otpor prijenosu topline zbog materijala |
| $C_k$ | – | Faktor otpora zbog nesavršenosti kontakta |
| $\xi_w$ | – | Koeficijent povećanja prijelaza topline zbog vlage |
| E | – | Učinkovitost rebara |
| $\lambda_1$ | – | Volumetrijski stupanj djelovanja zbog propuštanja |
| $\lambda_2$ | – | Volumetrijski stupanj zbog izmjene topline |
| $\lambda_3$ | – | Volumetrijski stupanj djelovanja zbog usisavanja |
| $\lambda$ | – | Ukupni volumetrijski stupanj djelovanja kompresora |
| $\rho_{rt}$ | $kg/m^3$ | Gustoća radne tvari na usisu kompresora |
| $\rho_{zr}$ | $kg/m^3$ | Gustoća zraka za $\vartheta_{am}$ |

| | | |
|---|---|---|
| $c_{pzr}$ | J/kgK | Specifični toplinski kapacitet zraka za $\vartheta_{am}$ |
| $\mu_{zr}$ | Pas | Dinamička viskoznost zraka za $\vartheta_{am}$ |
| $\nu_{zr}$ | $m^2/s$ | Kinematička viskoznost zraka za $\vartheta_{am}$ |
| $x_{a1}$ | kg/kg | Sadržaj vlage ulaznog zraka isaprivača |
| $x_{a2}$ | kg/kg | Sadržaj vlage izlaznog zraka iz isparivača |
| $x_s$ | kg/kg | Sadržaj vlage zraka za temperaturu rošenja |
| $\nu_{a1}$ | $m^3/kg$ | Specifični volumen zraka na ulazu isparivača |
| $\varphi_{a1}$ | − | Relativna vlažnost ulaznog zraka isaprivača |
| $\varphi_s$ | − | Relativna vlažnost za temperaturu rošenja |
| $\varepsilon$ | − | Faktor hlađenja |
| $h_1$ | J/kg | Entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača |
| $h_2$ | J/kg | Entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora |
| $h_4$ | J/kg | Entalpija radne tvari na ulazu u isparivač |
| $h_{a1}$ | J/kg | Entalpija zraka na ulazu isparivača |
| $h_{a2}$ | J/kg | Entalpija izlaznog zraka iz isparivača |
| $q_u$ | $W/m^2$ | Specifični rashladni učin sveden na unutarnju površinu isparivača |
| P | W | Snaga kompresora |
| $\phi_k$ | W | Učin kondenzatora |
| $\phi_o$ | W | Rashladni učin isparivača |
| $\alpha_{rt}$ | $W/(m^2K)$ | Koeficijent prijenosa topline na strani radne tvari |
| $\alpha_a$ | $W/(m^2K)$ | Koeficijent prijelaza topline na strani zraka |
| $\alpha_{aw}$ | $W/(m^2K)$ | Uvećani koeficijent prijelaza topline na strani zraka |
| $k_u$ | $W/(m^2K)$ | Koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stranu cijevi |
| $\lambda_f$ | W/mK | Toplinska provodnost aluminija |
| $\lambda_t$ | W/mK | Toplinska provodnost bakra |
| $\lambda_{zr}$ | W/mK | Toplinska provodnost zraka |
| Re | − | Reynoldsov broj |
| Nu | − | Nusseltov broj |

**Sažetak**

Tehnološki razvoj omogućuje nam sve komforniji način života. Jedna od tih mogućnosti je i konzumacija raznih prehrambenih proizvoda van njihove sezone dozrijevanja. Da bi proizvodi bili dostupni tijekom cijele godine potrebno je održavati ih na niskoj temperaturi u hladnjačama jer niske temperature ploda usporavaju njegovo propadanje. Za postizanje niskih temperatura u hladnjačama koriste se rashladni uređaji punjeni različitim radnim tvarima koje zbog svojih fizikalnih svojstava omogućuju postizanje željenih temperatura. Istoimene radne tvari, ako se njima nepropisno rukuje ili dođe do propuštanja i nekontroliranog otjecanja radnih tvari u okoliš, imaju negativan utjecaj na ozonski sloj i ubrzavaju globalno zatopljenje. Utjecaj radnih tvari na globalno zatopljenje izražen je preko GWP (Global warming potential) broja. Različite radne tvari imaju različiti GWP broj, a danas se raznim uredbama i zakonima želi postići korištenje radnih tvari sa što nižim GWP-om. Radna tvari R404A ima relativno visok GWP što će provedbom F-Gas regulative u skoroj budućnosti značiti njenu potpunu zabranu korištenja. Zbog toga se pokušavaju pronaći radne tvari sličnih svojstava sa nižim GWP-om kako bi poslužile kao zamjenska radna tvar u već postojećim uređajima i kao nova radna tvar za buduće uređaje. Ovim radom nastoji se usporediti radnu tvar R404A sa nizom radnih tvari sličnih svojstava, ali sa nižim GWP-om. Njihova je usporedba provedena računski za postojeći rashladni uređaj u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Rezultati su analizirani i odabrana je idealna zamjena.

Ključne riječi: R404A, GWP, zamjena radne tvari, F-Gas regulativa

**Summary**

Technological development provides us with a more comfortable way of life. One of these advantages is the consumption of various food products out of their maturing season. In order to make the products available all year long, it is necessary to maintain them at low temperature in cold rooms because low temperature slows down its decay. Refrigeration devices are filled with different refrigerants which, due to their physical properties, allow achieving the desired temperatures. If improperly handled or uncontrolled leakage of refrigerant into the environment occurs it can have a negative impact on ozone depletion and can accelerate global warming. The impact of refrigerant on global warming is expressed through the GWP (Global warming potential) number. Different refrigerants have different GWP numbers, and today various laws obligue us to use lower-grade GWP refrigerants. The R404A has a relatively high GWP and after implemetation of F-Gas regulation it will be completely baned. This is why attempts are made to find similar refrigerants with lower GWPs to serve as a substitute workforce in existing devices and as a new workforce for future devices. This work seeks to compare R404A with a range of similar refrigerants, but with lower GWP. Their comparison was based on calculations for the existing refrigeration device at the Laboratory for Heat and Heat Devices of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. The results were analyzed and the ideal replacement was chosen.

Key words: R404A, GWP, drop in refrigerants, F-Gas regulation, cold room

# 1. Uvod

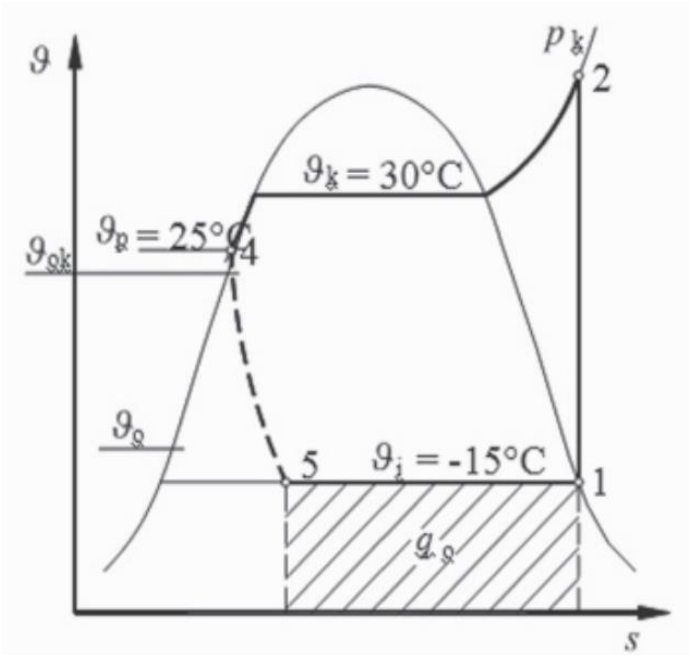
## 1.1.Rashladni proces

Rashladni proces realna je izvedba ljevokretnog Carnotovog kružnog procesa. Ljevokretni kružni proces uzima toplinski tok iz hladnijeg spremnika i uz trošak snage predaje ga toplijem spremniku. U našem slučaju hladniji spremnik je hladionica, topliji okoliš, a snaga se dovodi preko kompresora. Toplina se odvodi iz hladionice isparivačem, a predaja okolišu preko kondenzatora.

Specifični rashladni učin isparivača:
$q_o = h_1 - h_5$

Specifični rad kompresora:
$w_k = h_2 - h_1$

Specifični toplinski tok predan okolišu:
$q_k = h_2 - h_4$




Slika 1. Standardni rashladni proces u ϑ-s dijagramu.

Radna tvar isparavanjem u isparivaču preuzima na sebe toplinksi tok iz hladionice zbog razlike temperatura isparavanja i zraka u hladionici. Nakon potpunog prelaska radne tvari u parnu fazu, ista se pregrijava kako bi se osigurao ulazak pare u kompresor. Radna tvar diže se na viši energetski nivo kompresijom te zatim kondenzatorom predaje toplinski tok okolišu niže temperature. Nakon kondenzacije vrši se pothlađenje radne tvari. Nakon pothlađenja radna tvar ekspandira prolaskom kroz prigušni ventil ili drugu vrstu ekspanzijskog uređaja u kojem se tlak radne tvari dovodi na željeni tlak isparavanja. Time je radna tvar zatvorila jedan ciklus kružnog procesa.

### 1.2. Tehnička primjena rashladnog procesa

Jedan od čestih načina primjene rashladnog procesa je održavanje hrane zamrznutom na niskim temperaturama ili održavanje na srednjim temperaturama kako bismo ju što duže očuvali svježom i pogodnom za konzumaciju. Direktiva Europske unije 89/108/EEZ [1] propisuje čuvanje brzo smrznute hrane na temperaturam od -18°C ili nižim zbog zaustavljanja mikrobiološke aktivnosti koja bi mogla pogoršati kakvoću hrane. Nešto viša temperatura dozvoljena je tijekom transporta hrane, do maksimalno 3°C, te do 6°C u izlozima maloprodajnih dućana.

Hrana koje je smrznuta stoga se čuva u hladnjačama, poput one na *Slici 2.*, koje omogućuju, zbog svojih izvrsnih izolacijskih svojstava, održavanje niskih temperatura propisanih zakonom. U ovom radu usredotočit ćemo se baš na taj tip rashladnog procesa jer uređaj u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje upravo najbolje simulira rad takvih postrojenja, te je radna tvar R404A jedna od najčešće upotrebljivanijih tvari u takvim sustavima.



Slika 2. Prikaz rashladne komore za čuvanje smrznute robe

### 1.3. Radna tvar R404A

Radna tvar R404A spada u skupinu fluoriranih ugljikovodika (HFC). Sastoji se od radnih tvari R143A, R125 i R134A u masenom omjeru 52/44/4. Poslužila je kao zamjena za puno štetnije radne tvari R502 i R12. Isto tako ona je zeotropska smjesa, što znači da pri promjeni agregatnog stanja para i kapljevina mijenjaju koncentraciju uz klizanje temperature. Nije toksična niti zapaljiva pa stoga spada u ASHRAE klasu sigurnosti A1 [2].

Neka svojstva, dana za standardni rashladni proces prikazan *Slikom 1*., nalaze se u *tablici 1.*:

| | R404A |
|---|---|
| Klizanje temperature, °C | 0,5 |
| Zapaljivost | ne |
| Toksičnost | ne |
| Molekularna masa, g/mol | 97,6 |
| Kritična temperatura, °C | 72,14 |
| Kritični tlak, bar | 37,4 |
| Temperatura vrenja (patm), °C | -46,6 |
| Tlak vrenja/rošenja (-15°C), bar | 3,72 |
| Gustoća kapljevine (30°C), $kg/m^3$ | 1021 |
| Gustoća pare (-15°C), $kg/m^3$ | 18,57 |
| Toplina isparavanja (-15°C), $kJ/kg$ | 177,7 |

Tablica 1. Svojstva radne tvari R404A

Koristi se u komercijalnim rashladnim uređajima i rashladnim komorama za hlađenje na srednje i niske temperature. Isto tako za hlađenje robe tijekom transporta u kamionima i drugim prijevoznim sredstvima. Relativno je široka upotreba radne tvari R404A upravo za hlađnje prehrambenih proizvoda u supermarketima i održavanjem zamrznutim proizvoda u hladnjačama, a nešto manje se koristi u industriji i u ostalim granama gospodarstva.

### 1.4. Štetno djelovanje radnih tvari

Štetno djelovanje radnih tvari izraženo je dvjema veličinama. Prva je potencijal razgradnje ozona, ODP (eng. Ozone Depletion Potential), a druga potencijal globalnog zagrijavanja, GWP (eng. Global Warming Potential).

ODP je funkcija sposobnosti oslobađanja klora (Cl) i broma (Br), te vremenske postojanosti u atmosferi. Kao referentnu vrijednost uzima se djelovanje freona R11 ($CFCl_3$), ODP=1. Ovaj faktor posljedica je svih potencijalnih djelovanja na ozon, koja traju do potpune razgradnje štetne tvari u ozonu. Vodik (H) u molekulama spojeva HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. Fluorirani ugljikovodici (HFC) ne sadrže klor, te stoga ne razaraju ozon, njihov je ODP=0 [2].

GWP neke tvari oslobođene u atmosferu je broj koji govori koliki je relativni utjecaj te tvari na stvaranje efekta staklenika u odnosu na utjecaj $CO_2$. Kao referentna vrijednost uzima se djelovanje $CO_2$ (R744) koji se stvara u najvećim količinama, GWP=1. $CO_2$ trajno ostaje u atmosferi, te je stoga uvijek potrebno navesti za koji je vremenski period GWP izražen (20, 100 ili 500 godina) [2]:

Radna tvar R404A bezopasna je za ozon, međutim ima relativno visok GWP zbog čega će provedbom F-gas regulative bit potpuno zabranjeno stavljanje na tržište Europske unije sve komercijalne rashladne uređaje koji koriste R404A.

| | R404A |
|---|---|
| ODP | 0 |
| GWP | 3922 |

Tablica 2. ODP i GWP broj radne tvari R404A.

## 2. Protokoli, regulacijske uredbe i zakoni

### 2.1. Montrealski protokol

Montrealski protokol je sporazum koji je donesen 1987. godine u kanadskom gradu Montrealu kojim se zemlje potpisnice obvezuju na smanjenje uporabe freona za 50%. Freonima se nazivaju klorofluorougljici (CFC). Montrealski protokol pooštren je dvjema revizijama, 1990. u Londonu i 1992. u Kopenhagenu, kojima je zatraženo da se do 2000. iz uporabe potpuno izbace freoni, haloni i drugi halogenirani ugljikovodici. Do danas je 150 zemalja potpisalo Montrealski protokol, a među njima i Hrvatska [3].

Montrealskim protokolom zaustavila se rastuća potrošnja rashladnih tvari koje su imale enorman utjecaj na stvaranje ozonskih „rupa“. Klorofluorougljici (CFC) i klorofluorougljikovodici (HCFC) zamijenjeni su fluoriranim ugljikovodicima (HFC) koji su bezopasni za ozon, međutim kako će se kasnije pokazati imaju velik utjecaj na globalno zagrijavanje.

### 2.2. Kyoto protokol

Protokol iz Kyota uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime dodatak je međunarodnom sporazumu o klimatskim promjenama, potpisan s ciljem smanjivanja emisije ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova. Do sad ga je potpisalo 170 država i vladinih organizacija (stanje: prosinac 2006.). Protokol je stupio na snagu 16. veljače 2005., kada ga je ratificirala Rusija. Države koje su ga ratificirale čine 61% zagađivača.

Protokolom se smanjuje ispuštanje šest stakleničkih plinova: ugljičnog dioksida, metana, dušikovog oksida, fluoriranih ugljikovodika (HFC), perfluoriranih ugljikovodika i heksafluorida. U posljednjih nekoliko desetljeća, koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi povećale su se zbog izgaranja fosilnih goriva u industriji, prometu itd., što je pridonijelo globalnom zagrijavanju i klimatskim promjenama [4].

### 2.3.Uredba (EU) br. 517/2014

Pod utjecajem globalne politike o zaštiti okoliša Europski parlament donosi restriktivne mjere koje uvijek iznova postrožuju uvjete primjene rashladnih radnih tvari i ostalih po okoliš potencijalno štetnih tvari. Zadnja koja je donesena i trenutno na snazi jest Uredba (EU) BR. 517/2014 o fluoriranim stakleničkim plinovima.

Europski parlament i Vijeće Europske unije donijeli su 16. travnja 2014. Uredbu (EU) BR. 517/2014 o fluoriranim stakleničkim plinovima i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 842/2006, poznatije i kao F-gas regulativa. Uredbom se ograničava stavljanje na tržište nepokretne rashladne opreme koja sadrži HFC ili čije funkcioniranje ovisi o HFC s GWP-om od 2 500 ili više, osim opreme osmišljene za rashlađivanje proizvoda na temperaturama ispod – 50 °C. Navedeno ograničenje stupit će na snagu 1. siječnja 2020. godine [5].

| Proizvodi i oprema<br>Gdje je relevantno, GWP mješavina koje sadržavaju fluorirane stakleničke plinove izračunava se u skladu s Prilogom IV., kako je predviđeno u članku 2. točki 6. | Datum zabrane |
|---|---|
| 12.Nepokretna rashladna oprema koja sadrži HFC ili čije funkcioniranje ovisi o HFC s GWP-om od 2 500 ili više, osim opreme osmišljene za rashlađivanje proizvoda na temperaturama ispod – 50 °C | 1. siječnja 2020. |

Tablica 3. Isječak iz Priloga III. Uredbe (EU) br. 517/2014

### 2.4. Zakon o provedbi Uredbe (EU) br. 517/2014

Hrvatski sabor donio je zakon o provedbi Uredbe (EU) BR. 517/2014 19. lipnja 2017. koji nalaže novčanu kaznu u iznosu od 30.000,00 do 100.000,00 kuna za pravne osobe ako na tržište stavljaju proizvode i opremu koja sadržava, odnosno u radu koristi fluorirane stakleničke plinove iz Priloga III. Uredbe (EU) br. 517/2014 protivno članku 11. stavku 5. Uredbe (EU) BR. 517/2014. Navedeno se nalazi u članku 14. stavku 11. Zakona o provedbi Uredbe (EU) br. 517/2014 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. travnja 2014. o fluoriranim stakleničkim plinovima i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 842/2006 [6].

# 3. Komponente rashladnog uređaja

## 3.1. Isparivač GEA Küba SGLE 091C

Isparivačka jedinica održava temperaturu u hladionici strujanjem zraka kroz sekcije isparivača prisilnom konvekcijom pomoću jednog ventilatora, *Slika 3*. Dobava ventilatora isparivača iznosi 4890 $m^3/h$. Bakrene cijevi isparivača orebrene su aluminijskim rebrima kako bi se povećala površina za izmjenu topline, a time poboljšala sama izmjena topline. Za postizanje potpunog isparavanja i dodatnog pregrijavanja radne tvari isparivač je opremljen termoekspanzijskim ventilom s vanjskim izjednačavanjem tlaka koji je vidljivi na *Slici 4*.




Slika 3. Isparivač GEA Küba SGLE 091C

Isparivač je smješten pri stropu rashladne komore nasuprot vratima, čime je osigurano najpovoljnije strujanje ohlađenog zraka unutar same komore.

Konstrukcijski parametri isparivača:

Vanjski promjer cijevi: $d_v = 12\ mm$

Unutarnji promjer cijevi: $d_u = 10\ mm$

Srednji promjer cijevi: $d_m = 11\ mm$

Broj redova cijevi: $i_r = 6$

Broj cijevi u redu: $i_t = 12$

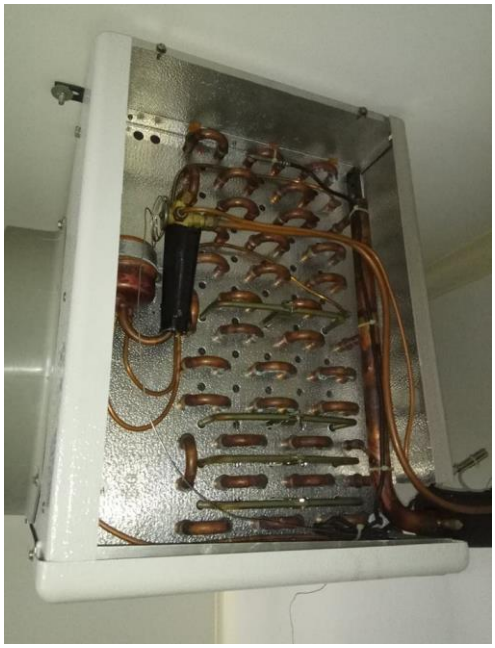
Broj ulaznih cijevi: $i_{in} = 4$

Razmak između cijevi $s_1 = s_2 = 50\ mm$

Debljina rebara: $f_t = 0{,}5\ mm$

Razmak između rebara: $s_f = 12\ mm$

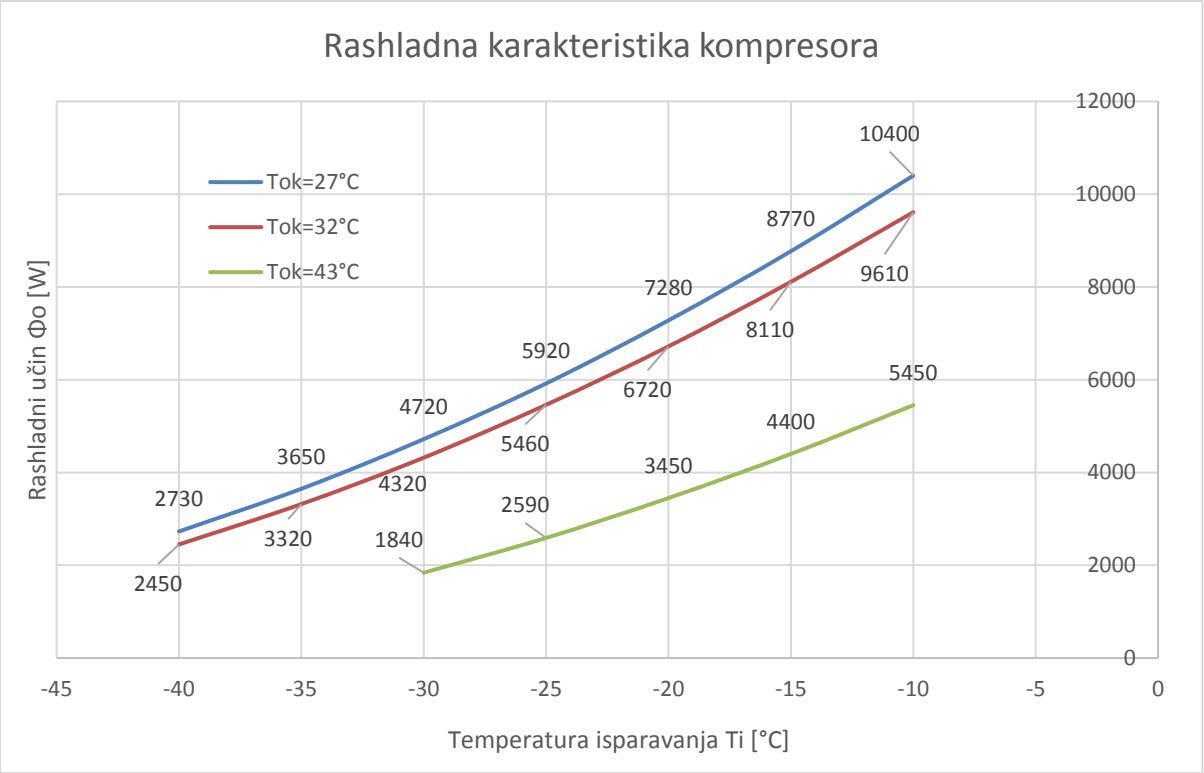
Vanjska površina izmjene topline: $A_v = 25{,}2\ m^2$



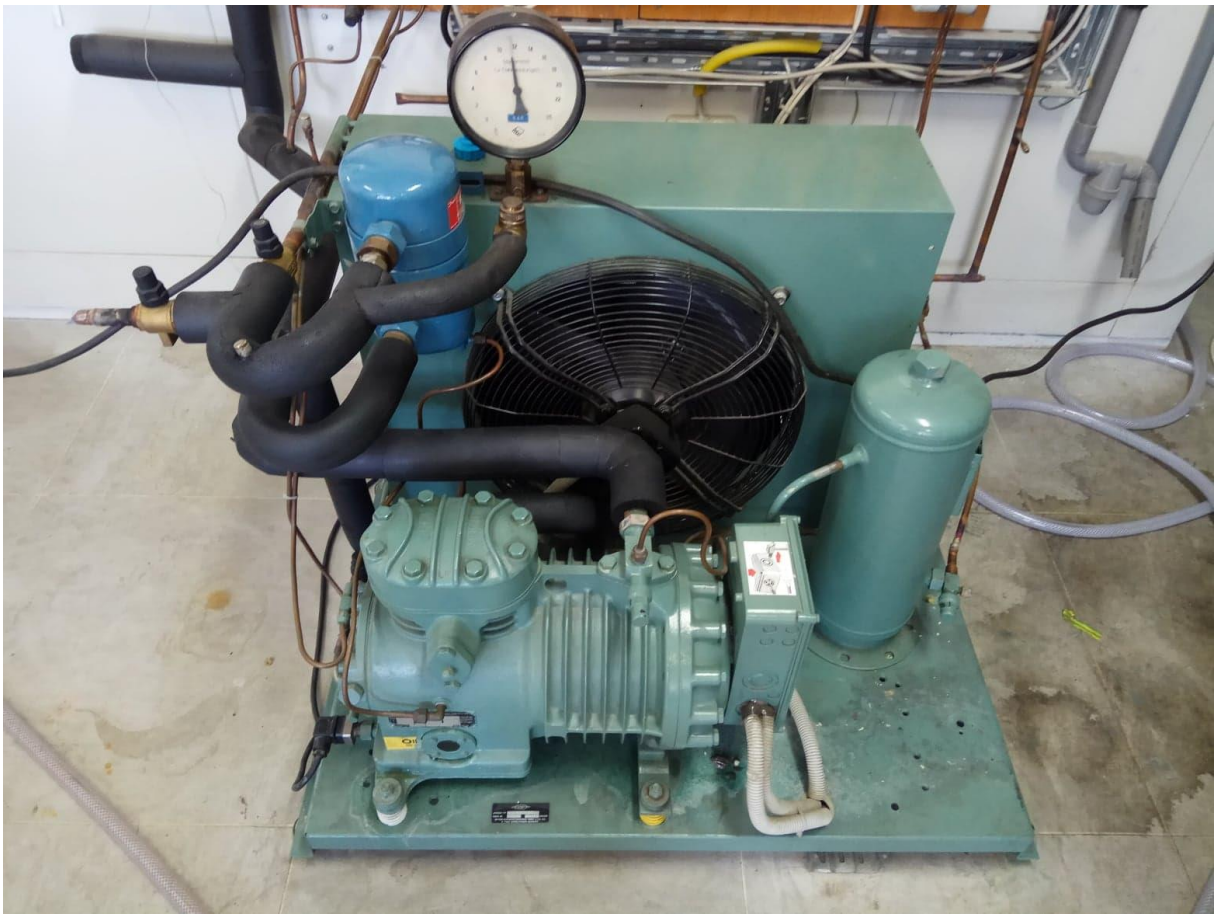
Slika 4. Termoekspanzijski ventil isparivača

### 3.2. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y

Kondenzacijska jednica, prikazana na *Slici 6.*, nalazi se u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Sastoji se od kompresora tipa 2U-3.2Y proizvođača Bitzer i kondenzatora tipa LH64. Tip kompresora je poluhermetički, jednostupanjski, trofazni sa dva cilindra. Ulje koje se nalazi u kompresoru je ESTER BSE 32. Kondenzacijska jedinica opremljena je separatorom ulja, te sabirnom posudom za prikupljanje radne tvari nakon kondenzacije. Osim toga, na kompresoru se nalazi i pokazno staklo za provjeru razine ulja u sustavu te diferencijalni presostat koji služi za isključivanje uređaja ako razina ulja padne ispod postavljene granice. Kondenzator je opremljen ventilatorom za bolju izmjenu topline. Dobava venitlatora iznosi 3890 $m^3/h$, a dobava kompresora, očitana sa pločice kompresora, iznosi 18,6 $m^3/h$ radne tvari na usisu kompresora. Sabirnik, volumena 7,8 litara, služi za prihvat ukapljene radne tvari koja se u njemu pothlađuje za 2 °$C$.




Slika 5. Karakteristika kompresora za različite temperature okoliša



Slika 6. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y

### 3.3. Ostala oprema

Filtar sušač

Komponenta rashladnog uređaja koja služi za neutralizaciju vlage u sustavu i filtriranje nečistoća. Vlaga i nečistoće skraćuju životni vijek uređaja tako što mogu uzrokovati koroziju metalnih djelova, blokirati prigušne ventile, razgraditi ulje ili pak kemijski uništiti izolaciju u poluhermetičkim i hermetičkim kompresorima, stoga je filtracija radne tvari neophodna za ispravan rad uređaja [2].

Regulator kapaciteta – KVC12

Regulator kapaciteta održava balans između učina isparivača i učina kompresora tako što se dovodi hladni, odnosno vrući plin kao zamjesnki kapacitet. Postavlja se na obilazni vod između usisne i tlačne strane i konstruiran je za direktno ubrizgavanje plina na usisnu stranu [7].

Regulator tlaka isparavanja – KVP28

Regulator tlaka isparavanja postavlja se nakon isparivača u usisnom vodu. Njegova namjena je višestruka:

a) Održava konstantnim tlak isparavanja, a samim time i konstantnu temperaturu isparavanja. Regulacija je modulirajuća. Prigušivanjem u usisnom vodu količina radne tvari dozira se za zadani učin isparivača.
b) Služi kao zaštita protiv preniskog tlaka isparavanja. Regulator se zatvara ako je tlak isparavanja niži od postavljene donje granice [8].

Kontrolno staklo

Kontrolno staklo služi za provjeru stanja radne tvari u rashladnom uređaju. Nalazi se u kapljevinskom vodu nakon filtra sušača. S obzirom na boju indikatora možemo zaključiti sljedeće [2]:

a) Zelena boja – vlaga nije prisutna u rashladnom uređaju
b) Žuta boja – vlaga je prisutna u rashladnom uređaju

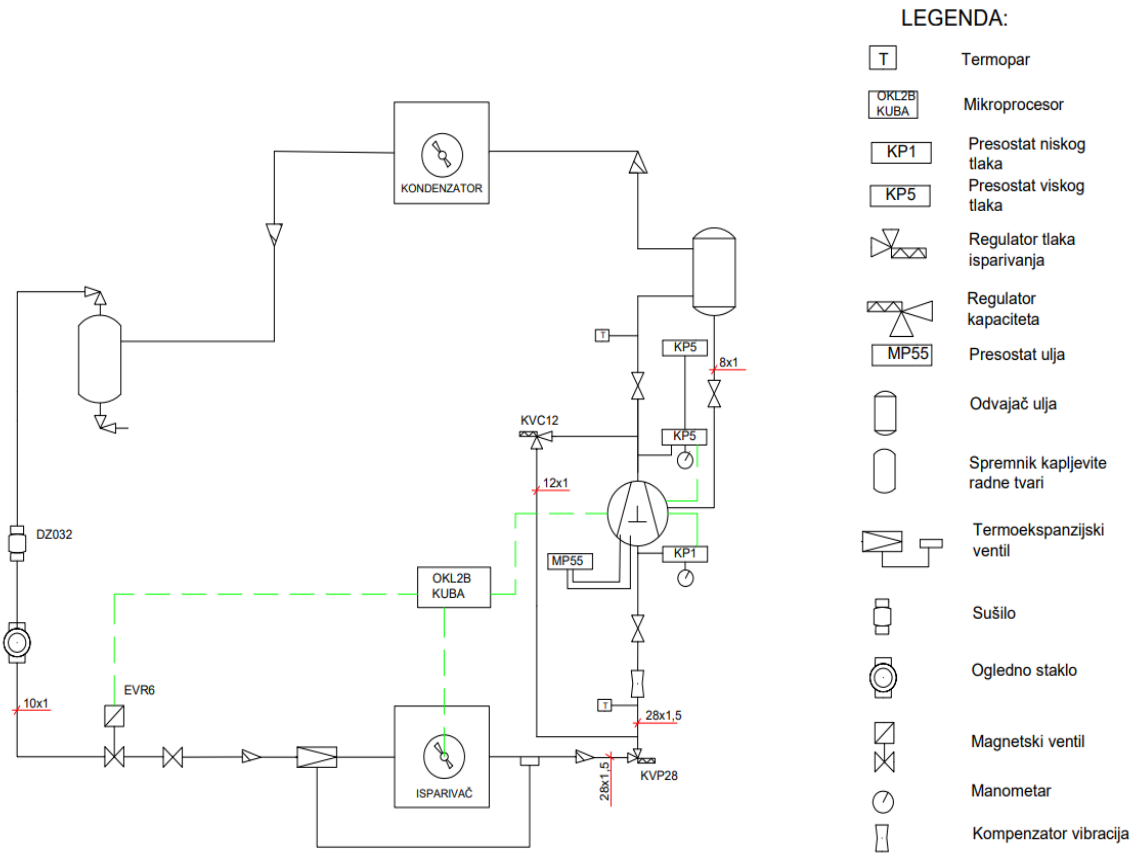
c) Smeđa boja – prisutnost nečistoća u rashladnom uređaju
d) Čista para – nedostaje radne tvari u sustavu ili je došlo do začepljenja u rashladnom uređaju
e) Kapljevina i mjehurići - nedostaje radne tvari u sustavu ili je došlo do djelomičnog začepljenja u rashladnom uređaju

### 3.4. Regulacija rashladnog uređaja

Regulacijski uređaj opremljen je termostatom u hladionici i presostatom niskog tlaka (KP1). Hlađenjem se temperatura u hladionici snizuje i kad dosegne minimalnu vrijednost, termostat prekida strujni krug magnetnog ventila (EVR6), on se zatvori i napajanje isparivača radnom tvari prestane. Kompresor i dalje radi, dok se tlak na njegovom usisnom priključku ne snizi do minimalne dozvoljene vrijednosti kada presostat niskog tlaka prekida strujni krug svitka elektromagnetne sklopke kompresora. Hlađenje prestaje, a u isparivaču vlada minimalni tlak. Kod porasta temperature u hladionici na maksimalnu dozvoljenu vrijednost, termostat uključuje strujni krug elektromagnetnog ventila, on se otvara, tlak u isparivaču raste jer dotječe radna tvar iz kondenzatora ili sakupljača kapljevite radne tvari, presostat niskog tlaka uključuje sklopnik elektromotora kompresora i hlađenje se nastavlja.

Uređaj je osiguran presostatom visokog tlaka (KP5), koji otvara svoj prekidač kada tlak u kondenzatoru premaši najviši dopušteni tlak. Tada se prekida napajanje strujnih krugova automatike i uređaj se automatski zaustavlja [9].

## 3.5. Shema rashladnog uređaja




Slika 7. Shema rashladnog uređaja

# 4. Proračun radne tvari R404A

Termodinamički proračun, po Ciconkovu [10], zasniva se na izračunu specifičnog rashladnog učina za zadane projektne uvjete i pripadajuće radne uvjete u balansnoj točki koji smo ustanovili nakon višestruke iteracije:

Temperatura isparavanja: $\vartheta_i = -24{,}6\ °C$

Temperatura kondenzacije: $\vartheta_k = 38{,}5\ °C$

Pregrijanje: $\Delta\vartheta_{pr} = 5\ °C$

Pothlađenje: $\Delta\vartheta_{pot} = 2\ °C$

Tlak isparavanja: $p_i = 2{,}486\ bar$

Tlak kondenzacije: $p_k = 17{,}33\ bar$

Temperatura hladnjače: $\vartheta a1 = -18\ °C$

Projektna vanjska temperatura za Zagreb: $\vartheta v1 = 32\ °C$

Tlak okoline: $p_{ok} = 1\ bar$

## 4.1. Konstrukcijski parametri

Konstrukcijski parametri isparivača GEA Küba SGLE 091 i kondenzacijske jedinice LH64/2U-3.2Y

Vanjski promjer cijevi: $d_v = 12\ mm$

Unutarnji promjer cijevi: $d_u = 10\ mm$

Srednji promjer cijevi: $d_m = 11\ mm$

Broj redova cijevi: $i_r = 6$

Broj cijevi u redu: $i_t = 12$

Broj ulaznih cijevi: $i_{in} = 4$

Razmak između cijevi $s_1 = s_2 = 50\ mm$

Debljina rebara: $f_t = 0{,}5\ mm$

Razmak između rebara: $s_f = 12\ mm$

Vanjska površina izmjene topline: $A_v = 25{,}2\ m^2$

Vanjska površina cijevi između rebara za jedan metar orebrene cijevi: $A_{mt}$

$$A_{mt} = \pi * d_v * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0{,}0353 \frac{m^2}{m}$$

Površina rebara za jedan metar orebrene cijevi: Ar

$$A_r = \frac{2 * \left(s_1 * s_2 - \pi * \frac{{d_v}^2}{4}\right)}{s_f} = 0{,}5967 \frac{m^2}{m}$$

Vanjska površina isparivača za izmjenu topline po jednom metru: Ae1

$$A_{e1} = A_{mt} + A_r = 0{,}6321 \frac{m^2}{m}$$

Unutarnja površina isparivača za izmjenu topline po jednom metru: Ai1

$$A_{i1} = \pi * d_u = 0{,}0314 \frac{m^2}{m}$$

Omjer vanjske i unutarnje površine isparivača za izmjenu topline: β

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = 20{,}12$$

Visina isparivača: H

$$H = i_t * s_1 = 0{,}6\ m$$

Dubina isparivača: L

$$L = i_r * s_2 = 0{,}3\ m$$

Volumni protok zraka kroz isparivač: $qvi = 4890 \frac{m3}{h}$

Volumni protok zraka kroz kondenzator: $qvk = 3890 \frac{m3}{h}$

Dobava kompresora: $qvrt = 18{,}6 \frac{m3}{h}$

### 4.2. Gubici kompresora i rashladni učin isparivača:

Proračun ovog poglavlja koji se odnosi na gubitke kompresora proračunat je po knjizi prof. Andrassya [11]:

Konstanta: k=0,05

Udio štetnog prostora: $\varepsilon_o = 0{,}03$

Eksponent politrope kompresije: $n_{ko} = 1{,}35$

Eksponent politrope ekspanzije: $n_{ek} = 1{,}3$

Tlak na usisnoj strani kompresora: $p_u$

$$p_u = p_i - 0{,}05 * p_i = 2{,}3617\ bar$$

Tlak na tlačnoj strani kompresora: $p_t$

$$p_t = p_k + 0{,}03 * p_k = 17{,}849\ bar$$

Gubitak zbog propuštanja: $\lambda_1 = 0{,}98$

Gubitak radi izmjene topline: $\lambda_2$

$$\lambda_2 = 1 - k * \left(\frac{p_t}{p_u - 1}\right) = 0{,}672$$

Gubitak radi usisavanja: $\lambda_3$

$$\lambda_3 = \frac{p_u}{p_i} - \varepsilon_o * \left(\left(\frac{p_t}{p_i}\right)^{\frac{1}{n_{ek}}} - \left(\frac{p_u}{p_i}\right)^{\frac{1}{n_{ko}}}\right) = 0{,}855$$

Ukupni gubitci kompresora: λ

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 = 0{,}56$$

Maseni protok radne tvari: $q_{mrt}$

Gustoća radne tvari na usisu kompresora: $\rho_{rt} = 12{,}5\ \frac{kg}{m^3}$

$$q_{mrt} = q_{vrt} * \rho_{rt} * \lambda = 0{,}03617\ \frac{kg}{s}$$

Rashladni učin isparivača: $\phi_o$

Entalpija radne tvari na ulazu u isparivač: $h_4 = 252900\,\frac{J}{kg}$

Entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača: $h_1 = 353500\,\frac{J}{kg}$

$$\phi_o = q_{mrt} * (h_1 - h_4) = 3639\ W$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika isparivača: $\Delta\vartheta_m$

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_{a2}}{ln\frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_i}{\vartheta_{a2} - \vartheta_i}} = 5{,}2\ °C$$

Srednja temperatura zraka: $\vartheta_{am}$

$$\vartheta_{am} = \vartheta_i + \Delta\vartheta_m = -19{,}5\ °C$$

Svojstva zraka za $\vartheta_{am} = -19{,}5\ °C$ iz Toplinksih tablica [12]:

$$c_{pzr} = 1004{,}4\,\frac{J}{kgK}$$

$$\rho_{zr} = 1{,}375\,\frac{kg}{m^3}$$

$$\lambda_{zr} = 0{,}0225\,\frac{W}{mK}$$

$$\mu_{zr} = 0{,}000016\ Pas$$

$$\nu_{zr} = 0{,}0000116\,\frac{m^2}{s}$$

Temperatura zraka na izlazu isparivača: $\vartheta_{a2}$

$$\vartheta_{a2} = \frac{-\phi_0}{c_{pzr} * q_{vzr} * \rho_{zr}} + \vartheta_{a1} = -20{,}7\ °C$$

Vlaga uključena u proračun na strani zraka:

$$\varphi_{a1} = 0{,}88$$

Sadržaj vlage ulaznog zraka isaprivača [17]: $x_{a1}$

$$x_{a1} = 0{,}622 * \frac{\varphi_{a1} * p_{s1}}{1 - \varphi_{a1} * p_{s1}} = 0{,}00069\,\frac{kg}{kg}$$

Entalpija zraka na ulazu isparivača: $h_{a1}$

$$h_{a1} = 1005 * \vartheta_{a1} + x_{a1} * (2500 * 10^3 + 1930 * \vartheta_{a1}) = -16399\,\frac{J}{kg}$$

Specifični volumen zraka na ulazu isparivača: $\nu_{a1}$

$$\nu_{a1} = 461{,}5 * \frac{T_{a1}}{p_{a1}} * (0{,}622 + x_{a1}) = 0{,}733\,\frac{m^3}{kg}$$

### 4.2. Proračun prijenosa topline na strani radne tvari:

Masena brzina radne tvari u cijevima: G

$$G = \frac{q_{mrt}}{i_{in} * \pi * \frac{{d_u}^2}{4}} = 115{,}12\,\frac{kg}{m^2 s}$$

Untarnja površina isparivača za izmjenu topline: $A_u$

$$A_u = \frac{A_v}{\beta} = 1{,}25\ m^2$$

Specifični rashladni učin sveden na unutarnju površinu isparivača: $q_u$

$$q_u = \frac{\phi_o}{A_u} = 2905\,\frac{W}{m^2}$$

Koeficijent prijenosa topline na strani radne tvari: $\alpha_{rt}$

C=0,159

$$\alpha_{rt} = C * \frac{G^{0,1} * {q_u}^{0,7}}{{d_u}^{0,5}} = 678{,}73\,\frac{W}{m^2 K}$$

Otpor prijenosu topline zbog materijala: $R_t$

$$\delta_t = \frac{d_v - d_u}{2} = 0{,}001\ m$$

$$\lambda_t = 370\,\frac{W}{mK}$$

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = 2{,}7 * 10^{-6}$$

Otpor prijenosu topline zbog stvaranja naslaga: $R_o, R_i$

Sa vanjske strane: $R_o = 0{,}0005\,\frac{m^2K}{W}$

Sa unutarnje strane: $R_i = 0\,\frac{m^2K}{W}$

Srednja temperatura vanjske površine ($\varphi_s = 1$): $\vartheta_s$

$$\vartheta_s = \vartheta_i + \left(\frac{1}{\alpha_{rt}} + R_i + R_t * \frac{d_u}{d_m} + R_o * \frac{1}{\beta}\right) * q_u = -20{,}2\ °C$$

Sadržaj vlage: $x_s = 0{,}00062\,\frac{kg}{kg}$

Sadržaj vlage izlaznog zraka iz isparivača: $x_{a2}$

$$x_{a2} = x_{a1} - \frac{(x_{a1} - x_s) * (\vartheta_{a1} - \vartheta_{a2})}{\vartheta_{a1} - \vartheta_s} = 0{,}0006\ \frac{kg}{kg}$$

Entalpija izlaznog zraka iz isparivača: $h_{a2}$

$$h_{a2} = 1005 * \vartheta_{a2} + x_{a2} * (2500 * 10^3 + 1930 * \vartheta_{a2}) = -20772\,\frac{J}{kg}$$

Ukupna duljina cijevi: $L_{uk}$

$$L_{uk} = \frac{A_v}{A_{i1}} = 39{,}9\ m$$

Duljina cijevi u jednom redu: $L_1$

$$L_1 = \frac{L_{uk}}{i_r} = 6{,}64\ m$$

### 4.3. Proračun prijenosa topline na strani zraka:

Najmanja površina u presjeku (između cijevi i rebara): $A_z$

$$A_z = L_1 * (s_1 - d_v) * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0{,}2367\ m^2$$

Brzina u najmanjem presjeku: w

$$w = \frac{q_{vi}}{A_z} = 5{,}74\,\frac{m}{s}$$

Reynoldsov broj: Re

$$Re = \frac{w * s_f}{\nu_{zr}} = 3945$$

Visina rebara: h

Ekvivalentni promjer: $d_e$

$$d_e = 2 * \frac{(s_1 - d_e) * (s_f - f_t)}{(s_1 - d_e + s_f - f_t)} = 0{,}0125\ m$$

$$h = \frac{s_1 - d_e}{2} = 0{,}019\ m$$

Nusseltov broj: Nu

Vrijednosti po Ciconkovom proračunu iz tablica na stranici 154.:

$$C\ =\ 0{,}105$$

$$n\ =\ 0{,}72$$

$$C_r = 1$$

$$C_s = 1$$

$$Nu = C * C_r * C_s * \left(\frac{d_e}{s_f}\right)^{-0{,}54} * \left(\frac{h}{s_f}\right)^{-0{,}14} * Re^n = 77{,}79$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka: $\alpha_a$

$$\alpha_a = \frac{Nu * \lambda_{zr}}{s_f} = 218{,}78 \frac{W}{m^2 K}$$

Koeficijent povećanja prijelaza topline zbog vlažne površine isparivača: $\xi_w$

$$\xi_w = 1 + 2500 * \frac{x_{a1} - x_s}{\vartheta_{a1} - \vartheta_s} = 1{,}765$$

Uvećani koeficijent prijelaza topline na strani zraka: $\alpha_{aw}$

$$\alpha_{aw} = \xi_w * \alpha_a = 386{,}08 \frac{W}{m^2 K}$$

Koeficijent prijelaza topline u odnosu na unutarnji promjer cijevi: $\alpha_{ai}$

Faktor otpora zbog nesavršenosti kontakta cijevi i rebara: $C_k = 0{,}98$

Učinkovitost rebara: E

Toplinska provodnost aluminija: $\lambda_f = 209 \frac{W}{mK}$

$$m_f = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{aw}}{f_t * \lambda_f}} = 64{,}71\ m^{-1}$$

$$A_f = s_1 = 0{,}05\ m$$

$$B_f = s_2 = 0{,}05\ m$$

$$\rho_f = 1{,}27 * \frac{B_f}{d_v} * \sqrt{\frac{A_f}{B_f} - 0{,}3} = 4{,}77$$

$$h_f = 0{,}5 * d_v * \left(\rho_f - 1\right) * (1 + 0{,}35 * \ln \rho_f) = 0{,}035\ m$$

$$E = \frac{th\left(m_f * h_f\right)}{m_f * h_f} = 0{,}4322$$

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} * \frac{A_f * E * C_k + A_{mt}}{A_{i1}} = 3540{,}5 \frac{W}{m^2 K}$$

Koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stranu cijevi: $k_u$

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_o * \frac{1}{\beta} + R_t * \frac{d_u}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_{rt}}} = 560{,}86 \frac{W}{m^2 K}$$

Specifični rashladni učin sveden na unutarnju površinu cijevi: $q_u$

$$q_u = k_u * \Delta\vartheta_m = 2888 \frac{W}{m^2}$$

### 4.4. Proračun kondenzatora:

Zbog nedostatka konstrukcijskih parametara kondenzacijske jedinice proračunu se pristupilo sa pretpostavkom nepromjenjivosti umnoška koeficijenta prolaza topline i vanjske površine za izmjenu topline kondenzatora.

Taj je umnožak utvrđen usporedbom kondenzacijske jedinice LH64/2U-3.2Y sa kondenzacijskim jedinicama LH64/2EC-3.2Y, LH64/2DC-3.2Y, LH64/2CC-3.2Y po načelu sličnosti. Usporedba je provedena pomoću licenciranog Bitzerovog programa za procjenu radnih parametara u zadanim uvjetima [13]. Zadani uvjeti odgovaraju uvjetima iz kataloga za kondenzacijsku jedinicu LH64/2U-3.2Y.

Zadani uvjeti su:

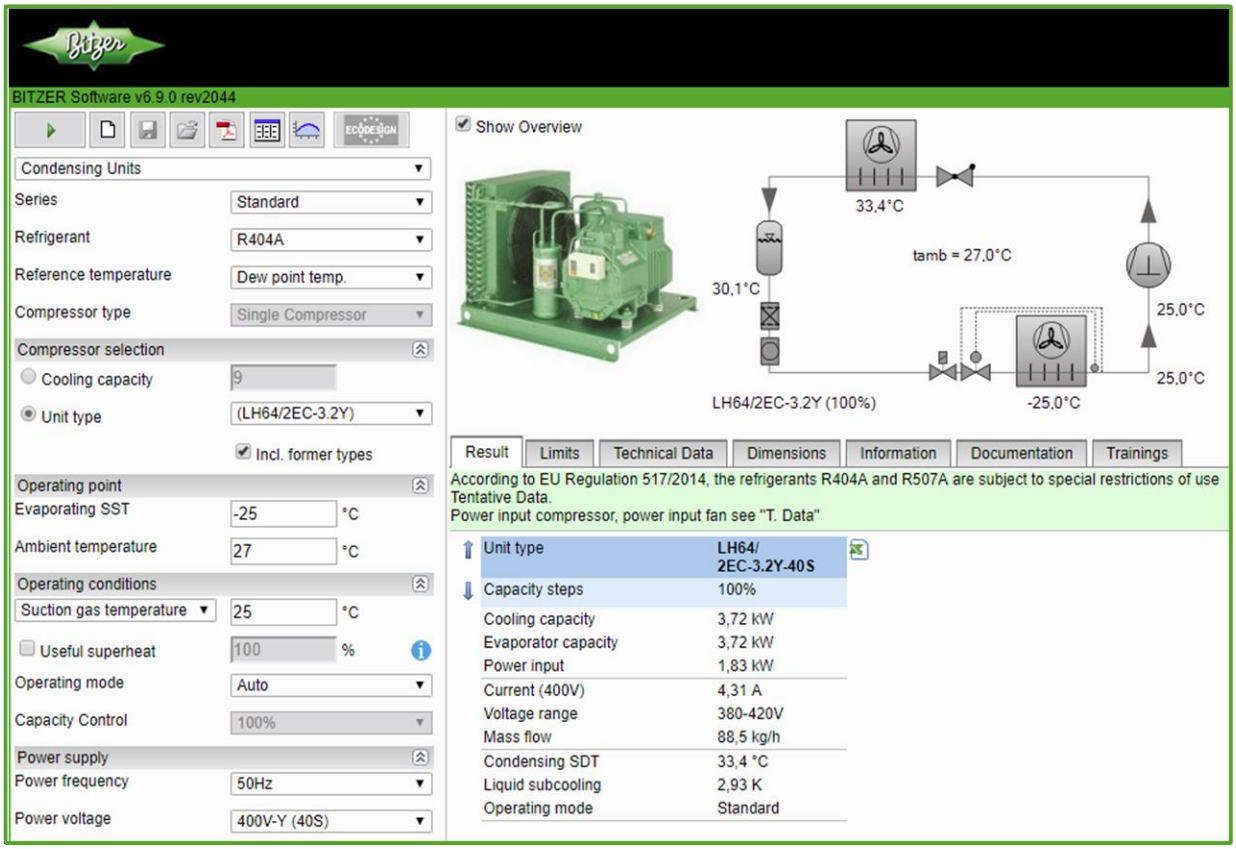
Temperatura okoliša: $\vartheta_{v1} = 27\ °C$

Temperatura isparavanja: $\vartheta_i = -25\ °C$

Pothlađenje: $\Delta\vartheta_p = 3\ °C$

Temperatura radne tvari na usisu kompresora: $\vartheta_u = 25\ °C$

Volumni protok zraka preko kondenzatora: $q_{vk} = 3890 \frac{m^3}{h}$




Slika 8. Bitzer program korišten za proračun

Parametri procesa su sljedeći:

| kompresor | LH64/2U-3.2Y | LH64/2CC-3.2Y | LH64/2DC-3.2Y | LH64/2EC-3.2Y |
|---|---|---|---|---|
| $\vartheta_i$ [°C] | -25 | -25 | -25 | -25 |
| $\vartheta_k$ [°C] | | 35,8 | 34,4 | 33,4 |
| $\vartheta_{v1}$ [°C] | 27 | 27 | 27 | 27 |
| $\vartheta_{v2}$ [°C] | | 33,2 | 32,2 | 31,5 |
| $\Delta\vartheta_p$ [°C] | | 3 | 3 | 3 |
| $q_{mrt}$ [kg/s] | | 0,0343 | 0,0283 | 0,0246 |
| $\phi_o$ [W] | 5920 | 5080 | 4250 | 3720 |
| P [W] | 3010 | 2580 | 2140 | 1830 |
| $\Delta\vartheta_{mk}$ [°C] | | 5,08 | 4,28 | 3,7 |
| k*A [W/K] | | 1507 | 1490 | 1500 |

Tablica 4. Usporedba kompresora

Iz *Tablice 4.* se vidi kako odstupanje umnoška za različite kondenzacijske jedinice pri istim uvjetima ne prelazi više od 1% ako se prihvati korektnim umnožak:

$$k * A = 1500 \frac{W}{K}$$

S tim rezultatom ulazimo u proračun kondenzatora za naše uvjete postavljene na početku proračuna kako bismo utvrdili stvarnu temperaturu kondenzacije.

Snaga kompresora: P

Entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora: $h_2 = 411700 \frac{J}{kg}$

Entalpija radne tvari nakon pregrijanja: $h_1 = 356100 \frac{J}{kg}$

$$P = q_{mrt} * (h_2 - h_1) = 2011\ W$$

Učin kondenzatora: $\phi_k$

$$\phi_k = \phi_o + P = 5650\ W$$

Temperatura zraka na izlazu kondenzatora: $\vartheta_{v2}$

$$\vartheta_{v2} = \frac{\phi_k}{\rho_{zr} * c_{pzr} * q_{vk}} + \vartheta_{v1} = 36{,}5\ °C$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika kondenzatora: $\Delta\vartheta_{mk}$

$$\Delta\vartheta_{mk} = \frac{\phi_k}{k * A} = 3{,}8\ °C$$

Temperatura kondenzacije: $\vartheta_k$

$$\Delta\vartheta_{mk} = \frac{\vartheta_{v2} - \vartheta_{v1}}{\ln\left(\frac{\vartheta_k - \vartheta_{v1}}{\vartheta_k - \vartheta_{v2}}\right)}$$

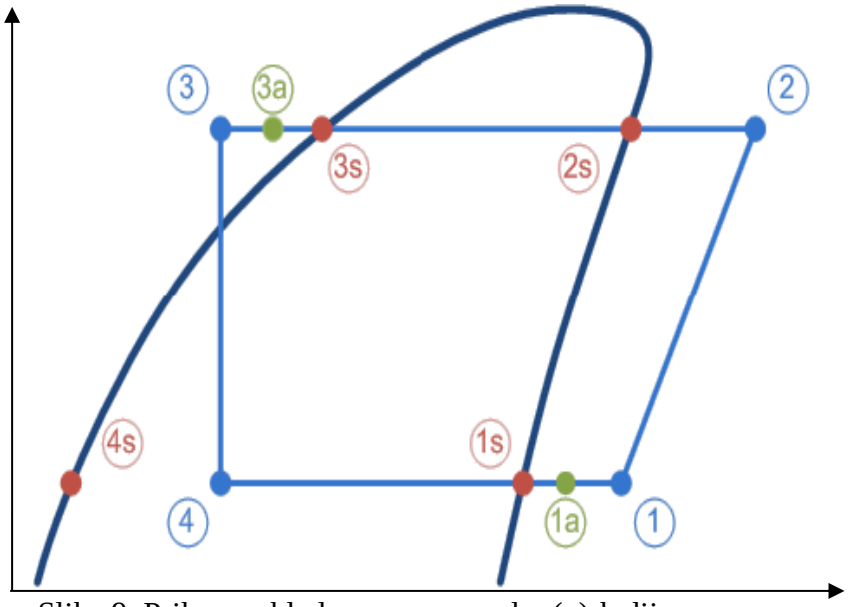
Iz čega slijedi: $\vartheta_k = 38{,}5\ °C$

Faktor hlađenja:

$$\varepsilon = \frac{\phi_o}{P} = 1{,}81$$

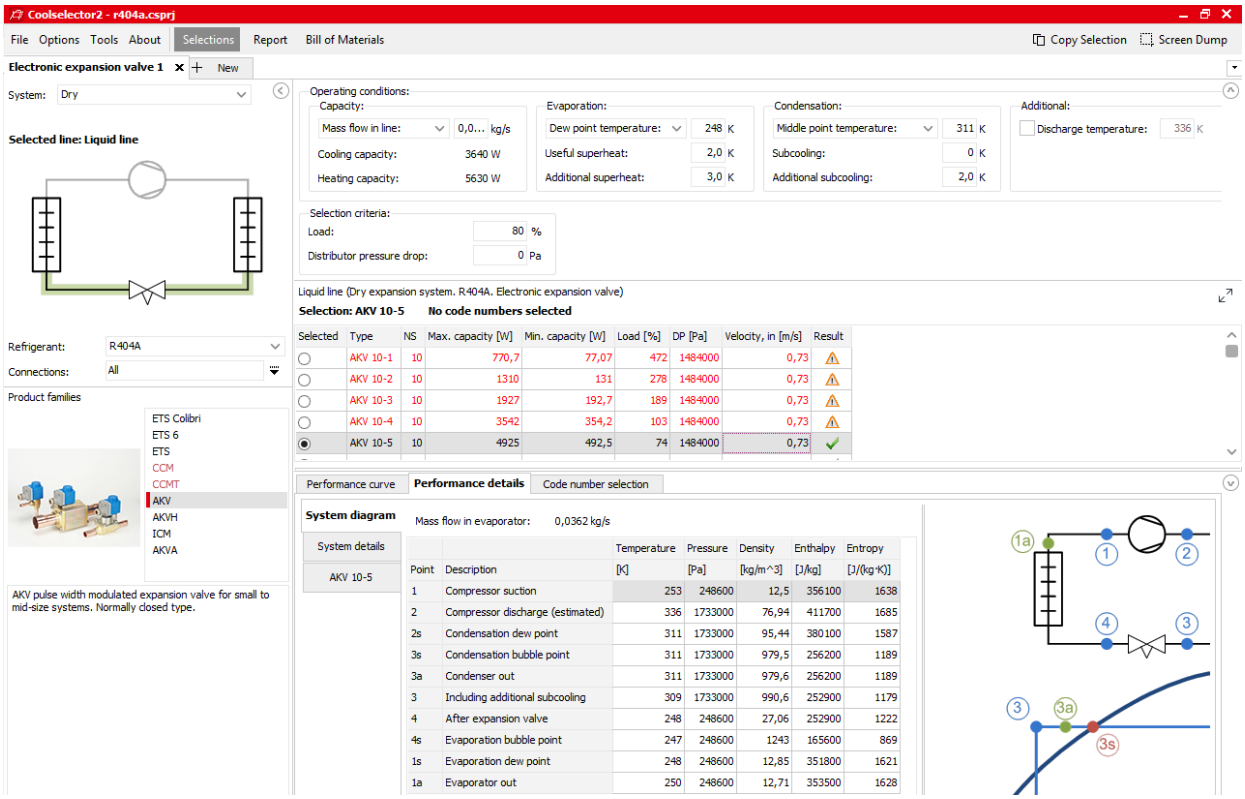
| R404A | Temperatura | Tlak | Gustoća | Entalpija | Entropija |
|---|---|---|---|---|---|
| Točka stanja | [K] | [Pa] | [kg/m^3] | [J/kg] | [J/(kg·K)] |
| 1 | 253 | 248600 | 12,5 | 356100 | 1638 |
| 2 | 336 | 1733000 | 76,94 | 411700 | 1685 |
| 2s | 311 | 1733000 | 95,44 | 380100 | 1587 |
| 3s | 311 | 1733000 | 979,5 | 256200 | 1189 |
| 3a | 311 | 1733000 | 979,6 | 256200 | 1189 |
| 3 | 309 | 1733000 | 990,6 | 252900 | 1179 |
| 4 | 248 | 248600 | 27,06 | 252900 | 1222 |
| 4s | 247 | 248600 | 1243 | 165600 | 869 |
| 1s | 248 | 248600 | 12,85 | 351800 | 1621 |
| 1a | 250 | 248600 | 12,71 | 353500 | 1628 |

Tablica 5. Točke stanja sa pripadajućim vrijednostima za proces hlađenja sa R404A




Slika 9. Prikaz rashladnog procesa u log(p)-h dijagramu

*Tablica 5.* i *Slika 9.* preuzete su iz Coolselectora. To je program koji nam omogućuje jednostavno i brzo očitavanje svojstava različitih radnih tvari za zadane uvjete. Isti je korišten i za očitavanje svojstava zamjenskih radnih tvari.



Slika 10. Program Coolselector

# 5. Zamjenske radne tvari i usporedba

## 5.1. Zamjenske radne tvari

Nakon analize tržišta i svojstava različitih radnih tvari, uzimajući u obzir da iznos GWP-a zamjenskih radnih tvari bude niži od 2500 kako bi bio zadovoljen uvjet iz Priloga III Uredbe (EU) br. 517/2014, odabrano je nekoliko radnih tvari koje odgovaraju kao moguća zamjena za postojeći rashladni uređaj. Radne tvari koje zadovoljavaju sve uvjete su R407A, R407F, R448A, R449A te relativno nova radna tvar, R452A.

Sve navedene tvari imaju gotovo dvostruko niži GPW od radne tvari R404A, te svojim fizikalnim svojstvima odgovaraju kao zamjenske radne tvari za postojeći uređaj bez velikih zahvata potrebnih za prilagodbu uređaja. Također već postojeće ulje u uređaju pogodono je za primjenu sa navedenim radnim tvarima. Navedene radne tvari nisu zapaljive, niti toksične , te spadaju u grupu sigurnosti A1.

| | R404A | R407A | R407F | R448A | R449A | R452A |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ODP | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GWP | 3922 | 2017 | 1825 | 1273 | 1397 | 2141 |
| Zapaljivost | ne | ne | ne | ne | ne | ne |
| Toksičnost | ne | ne | ne | ne | ne | ne |
| ASHRAE sigurnosna grupa | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Kritična temperatura, °C | 72,14 | 82 | 83 | 83,7 | 81,5 | 74,9 |
| Kritični tlak, bar | 37,4 | 45 | 48 | 46,6 | 44,5 | 40 |
| Temperatura vrenja (patm), °C | -46,6 | -46 | -46 | -45,9 | -46 | -47 |
| Klizanje temperature, °C | 0,5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |

Tablica 6. Usporedba svojstava zamjenskih radnih tvari [14], [15], [16]

## 5.2. Usporedba zamjenskih radnih tvari sa R404A

Za zamjenske radne tvari proveden je termodinamički proračun po istom principu kao i za radnu tvar R404A. Nakon završenog postupka višestruke iteracije, došlo se do krajnjih parametara procesa koji su tablično prikazani za sve navedene tvari, u usporedbi sa radnom tvari R404A u *Tablici 7.*

| RADNA TVAR | R404A | R407A | R407F | R448A | R449A | R452A |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ti [°C] | -24,6 | -24 | -24,2 | -24,2 | -24,1 | -24,2 |
| Tk [°C] | 38,5 | 37,2 | 37,4 | 37,5 | 37,5 | 37,9 |
| Φo [W] | 3638 | 2963 | 3080 | 3125 | 3098 | 3286 |
| P [W] | 2011 | 1588 | 1656 | 1674 | 1668 | 1867 |
| COP | 1,81 | 1,87 | 1,86 | 1,87 | 1,86 | 1,76 |
| Tdis | 63 | 85 | 92 | 84 | 83 | 68 |
| qmrt | 0,0362 | 0,0222 | 0,0204 | 0,0227 | 0,0230 | 0,0332 |
| Cijena [kn/kg] [18] | 850 | 1014 | 792 | 638 | 638 | 1225 |

Tablica 7. Usporedba parametara procesa zamjenskih radnih tvari i cijena

Vrijednosti veličina stanja rashladnog procesa, prikazanog na *Slici 9.*, za svaku radnu tvar dani su u sljedećim tablicama:

| R407A | Temperatura | Tlak | Gustoća | Entalpija | Entropija |
|---|---|---|---|---|---|
| Točka stanja | [K] | [Pa] | [kg/m^3] | [J/kg] | [J/(kg·K)] |
| 1 | 254 | 197500 | 8,957 | 387100 | 1770 |
| 2 | 356 | 1694000 | 60,76 | 458600 | 1827 |
| 2s | 314 | 1694000 | 80,2 | 410400 | 1683 |
| 3s | 310 | 1694000 | 1089 | 254400 | 1183 |
| 3a | 310 | 1694000 | 1089 | 254300 | 1183 |
| 3 | 308 | 1694000 | 1099 | 251200 | 1173 |
| 4 | 245 | 197500 | 22,15 | 251200 | 1217 |
| 4s | 243 | 197500 | 1356 | 159300 | 843,5 |
| 1s | 249 | 197500 | 9,187 | 383000 | 1754 |
| 1a | 251 | 197500 | 9,093 | 384600 | 1760 |

Tablica 8. Rashladni proces sa radnom tvari R407A

| R407F | Temperatura | Tlak | Gustoća | Entalpija | Entropija |
|---|---|---|---|---|---|
| Točka stanja | [K] | [Pa] | [kg/m^3] | [J/kg] | [J/(kg·K)] |
| 1 | 254 | 206700 | 8,594 | 407500 | 1853 |
| 2 | 365 | 1824000 | 56,67 | 488600 | 1916 |
| 2s | 315 | 1824000 | 78,41 | 426500 | 1733 |
| 3s | 311 | 1824000 | 1055 | 257300 | 1194 |
| 3a | 311 | 1824000 | 1055 | 257300 | 1194 |
| 3 | 309 | 1824000 | 1065 | 254100 | 1184 |
| 4 | 245 | 206700 | 22,23 | 254100 | 1229 |
| 4s | 243 | 206700 | 1323 | 157500 | 836,1 |
| 1s | 249 | 206700 | 8,827 | 403200 | 1836 |
| 1a | 251 | 206700 | 8,732 | 404900 | 1843 |

Tablica 9. Rashladni proces sa radnom tvari R407F

| R448A | Temperatura | Tlak | Gustoća | Entalpija | Entropija |
|---|---|---|---|---|---|
| Točka stanja | [K] | [Pa] | [kg/m^3] | [J/kg] | [J/(kg·K)] |
| 1 | 254 | 205700 | 8,958 | 392400 | 1792 |
| 2 | 357 | 1725000 | 59,18 | 466200 | 1851 |
| 2s | 315 | 1725000 | 79 | 415100 | 1698 |
| 3s | 310 | 1725000 | 1036 | 255300 | 1183 |
| 3a | 310 | 1725000 | 1036 | 255300 | 1183 |
| 3 | 308 | 1725000 | 1046 | 252100 | 1172 |
| 4 | 245 | 205700 | 22,4 | 252100 | 1223 |
| 4s | 243 | 205700 | 1295 | 159000 | 846,3 |
| 1s | 249 | 205700 | 9,191 | 388200 | 1775 |
| 1a | 251 | 205700 | 9,096 | 389900 | 1782 |

Tablica 10. Rashladni proces sa radnom tvari R448A

| R449A | Temperatura | Tlak | Gustoća | Entalpija | Entropija |
|---|---|---|---|---|---|
| Točka stanja | [K] | [Pa] | [kg/m^3] | [J/kg] | [J/(kg·K)] |
| 1 | 254 | 205800 | 9,09 | 389100 | 1778 |
| 2 | 356 | 1718000 | 60,16 | 461600 | 1836 |
| 2s | 315 | 1718000 | 79,74 | 412400 | 1689 |
| 3s | 310 | 1718000 | 1037 | 255200 | 1183 |
| 3a | 310 | 1718000 | 1037 | 255200 | 1183 |
| 3 | 308 | 1718000 | 1047 | 252000 | 1172 |
| 4 | 246 | 205800 | 22,46 | 252000 | 1223 |
| 4s | 243 | 205800 | 1297 | 159200 | 847,3 |
| 1s | 249 | 205800 | 9,325 | 385000 | 1762 |
| 1a | 251 | 205800 | 9,229 | 386600 | 1768 |

Tablica 11. Rashladni proces sa radnom tvari R449A

| R452A | Temperatura | Tlak | Gustoća | Entalpija | Entropija |
|---|---|---|---|---|---|
| Točka stanja | [K] | [Pa] | [kg/m^3] | [J/kg] | [J/(kg·K)] |
| 1 | 254 | 234200 | 12,34 | 352100 | 1624 |
| 2 | 341 | 1812000 | 82,97 | 408400 | 1671 |
| 2s | 314 | 1812000 | 103,3 | 376800 | 1574 |
| 3s | 311 | 1812000 | 1060 | 253600 | 1177 |
| 3a | 311 | 1812000 | 1060 | 253500 | 1177 |
| 3 | 309 | 1812000 | 1071 | 250500 | 1168 |
| 4 | 247 | 234200 | 26,66 | 250500 | 1212 |
| 4s | 245 | 234200 | 1347 | 164000 | 860,7 |
| 1s | 249 | 234200 | 12,67 | 348000 | 1608 |
| 1a | 251 | 234200 | 12,53 | 349600 | 1614 |

Tablica 12. Rashladni proces sa radnom tvari R452A

Usporedbom radnih parametara zamjenskih radnih tvari sa radnom tvari R404A u *Tablici 7.* uočava se povišena temperatura isparavanja kod svih radnih tvari u iznosu od 0,5 °C te nešto niža temperatura kondenzacije, za 1°C. Najveća odstupanja javljaju se kod radne tvari R407A, dok se temperaturama isparavanja i kondenzacije radne tvari R404A najviše približila radna tvar R452A.

Rashladni učin svih radnih tvari niži je nego u procesu hlađenja sa radnom tvari R404A. Međutim, snaga kompresora je manja, stoga dolazimo do većeg COP-a svih radnih tvari za 3-4% osim radne tvari R452A, kojoj je rashladni učin najveći od zamjenskih radnih tvari, ali joj je snaga kompresora nerazmjerno povećana, te dolazimo do COP-a koji je po iznosu 3% niži od radne tvari R404A.

Temperatura radne tvari nakon kompresije povišena je kod svih radnih tvari. Najveća po iznosu je temperatura radne tvari R407F, 92°C, a najniža kod radne tvari R452A, 68°C. Sve su temperature unutar granice izdržljivosti kompresorskog ulja, koje može podnijeti temperature do 240°C, međutim treba obratiti pažnju na pregrijavanje kompresora, stoga su poželjnije niže temperature radne tvari nakon kompresije.

Zbog manje gustoće radne tvari na usisu kompresora, maseni protok zamjenskih tvari niži je za 40%, osim radne tvari R452A, koja ima 10% manji maseni protok. To će se odraziti na količinu punjenja zamjenske radne tvari.

Cijenom su najisplativije radne tvari R448A i R449A, a najskuplja je radna tvari R452A.

| | Skupina | Sastav | Maseni udjeli (%) |
|---|---|---|---|
| R404A | HFC | R143a, R125, R134a | 52/44/4 |
| R407A | HFC | R32, R125, R134a | 20/40/40 |
| R407F | HFC | R134a, R125, R32 | 40/30/30 |
| R448A | HFO | R32, R125, R134a, R1234ze,R1234yf | 26/26/21/7/20 |
| R449A | HFO | R134a, R125, R32, R1234yf | 25/25/25/25 |
| R452A | HFO | R32, R1234yf, R125 | 11/30/59 |

Tablica 13. Sastav radnih tvari

# 6. Zamjena

## 6.1. Odabir zamjenske radne tvari

Nakon provedene usporedbe došlo se do zaključka da je najbolji odabir za zamjenu radna tvar R448A.Više je razloga za odabir baš te radne tvari.

GWP radne tvari R448A najniži je od mogućih zamjenskih tvari. Isto tako, cijenom je najpovoljnija, a energetski najučinkovitija, ostvarujući rashladni učin 5% niži od radne tvari R452A, ali sa COP-om koji je pak 5% veći.

## 6.2. Zamjena radne tvari rashladnog uređaja

Radna tvari R448A ne zahtjeva velike zahvate pri preinaci rashladnog uređaja, te se zamjena provodi standardnim postupkom zamjene radne tvari po navedenim točkama sljedećim redom [19]:

- Snimiti radne parametre uređaja za izvorne radne uvjete (struja, usisni tlak, tlak nakon kompresije, pregrijanje, pothlađenje, protok radne tvari kroz cijevu u razdjelniku kapljevine).
- Isprazniti rashladni uređaj pomoću odgovarajuće opreme za uklanjanje radne tvari kroz ventil ili priključak u kapljevinskom vodu na visokotlačnoj strani
- Zabilježiti količinu rashladne tvari (potrebno za dokumentaciju o otpadu, kao i izračunavanje količine nove radne tvari R448A).
- Odabrati novo ulje kompresora.
- Ispustiti postojeće ulje iz kompresora, odvajača ulja i sabirnika ukapljene rashladne tvari.
- Izmjeriti količinu ispuštenog ulja.
- Promijeniti / očistiti filtre ulja kompresora.
- Procijeniti rad termoekspanzijskog ventila za novu radnu tvar (savjetovati se sa proizvođačem). Moguće je povećano pregrijanje, te je upitna regulacijska funkcija ventila ako je podopterećen prilikom djelomičnog opterećenja rashladnog uređaja.
- Ako se zamjena vrši iz HCFC-a, postoji potreba za zamjenom svih elastomernih ("O" prstenastih) brtvi (to se ne bi trebalo zahtijevati ako se mijenja iz trenutnog HFC-a na alternativni HFC ili HFO).

- Zamijenite filter sušače i usisne filtre.
- Napuniti uređaj sa odgovarajućim uljem; upotrijebite isti iznos koji je uklonjen.
- Provjeriti uređaj na propuštanje i napraviti popravke po potrebi.
- Evakirati sustav zbog uklanjanja vlage i zraka u sustavu. Evakuacija se vrši spajanjem vakuum pumpe na niskotlačnu ili visokotlačnu stranu kompresora. Tlak u uređaju se postavlja na 0,67mbar.
- Napuniti sustav novom radnom tvari u kapljevitoj fazi. Za upute o količini kontaktirati proizvođača. Početno punjenje trebalo bi biti približno 90 do 95% preporučenog punjenja po težini s konačnim podešavanjem tijekom konačnog puštanja u pogon uređaja. Zapisati količinu punjenja nove radne tvari.
- Provjeriti rad sustava i upravljačke sklopove. Radni tlakovi mogu biti različiti u odnosu na izvorne i možda je potrebna regulacija ventilatora kondenzatora te kontrola uvjeta okoline.
- Ako je potrebno, podesiti masu radne tvari.
- Komponente uređaja označiti s tipom nove radne tvari i maziva, uključujući korištene količine.
- Nadzirati sustav promatranjem stanja ulja. Promijeniti filtre prema potrebi. Rad uređaja sa novom radnom tvari pri projektnim uvjetima može uzrokovati povrat izvornog ulja i ostalih zaostataka iz izvorne instalacije.

## 6. Zaključak

Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima rada, izvršena je termodinamička analiza rashladnog uređaja u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Proračun je proveden za radnu tvar R404A, te usporedno i za zamjenske radne tvari nižeg GWP-a.

Zamjena se mora izvršiti jer radna tvar nakon primjene F-gas regulative, točnije od 1. siječnja 2020. godine neće biti zakonski dozvoljena u uređajima takvog tipa.

Iako radna tvari R404A ostvaruje najveći rashladni učin, COP uređaja niži je za 3-4% u odnosu na neke od navedenih zamjenskih radnih tvari. Stoga sama zamjena nema nužno negativan utjecaj na rad i performanse uređaja, upravo suprotno, možemo postići veću energetsku učinkovitost uređaja sa novom radnom tvari.

Kako su zakonski okviri doneseni već prije nekoliko godina, industrija se počela prilagođavati, te su zamjenske radne tvari u komercijalnim i transportnim uređajima za hlađenje koje su provedene u praksi polučile pozitivne rezultate, baš kao i u ovom radu [20].

Zamjenska radna tvar odabrana za zamjenu jest radna tvar R448A. Ona se pokazala kao idealan odabir sa višestrukim prednostima. Prije svega zbog dvostruko nižeg GWP-a, 25% niže cijene i boljeg COP-a u odnosu na radnu tvar R404A. Jedini nedostatak je povišena temperatura nakon kompresije, međutim niti ona ne predstavlja nepremostivi nedostatak, zbog sve kvalitetnijih ulja u uređajima koja mogu bolje podnositi više temperature. Naravno da se prilikom zamjene radne tvari mora obratiti pozornost na sve moguće promjene u radu uređaja, a time i napraviti odgovarajuće prilagodbe na samom uređaju, kako je već navedeno u poglavlju 6.2.

Unatoč tome što je radna tvar R448A više nego kvalitetna zamjena, ona ne predstavlja potpuno rješenje problema, barem ne dugoročno. Logično je za očekivati još rigoroznije regulative i zakone koji će dodatno pomicati dozvoljenu granicu GWP-a prema nižim vrijednostima. U takvim okolnostima radna tvar R448A, iako dvostuko nižeg GWP-a od radne tvari R404A, postala bi neadekvatna. U tom slučaju teži se novim mješavinama radnih tvari koje više ne pripadaju skupini HFC-a, već HFO-a, ili čak sasvim prirodnim tvarima. Međutim te radne tvari još su uvijek u fazi razvoja i ispitivanja, te će tijekom prijelaznog razdoblja radna tvar R448A poslužiti svrsi.

## 7. Literatura


[1]< https://eur-lex.europa.eu/legal-ontent/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31989L0108&from=EN> Pristupljeno 17.9.2018.

[2]Soldo, V., Grozdek, M.: Hlađenje i dizalice topline, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.

[3]< https://hr.wikipedia.org/wiki/Montrealski_protokol> Pristupljeno 17.9.2018.

[4]< https://hr.wikipedia.org/wiki/Protokol_iz_Kyota> Pristupljeno 17.9.2018.

[5]< https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0517&from=HR> Pristupljeno 17.9.2018.

[6]< https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_06_61_1380.html> Pristupljeno 17.9.2018.

[7]< http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PD.HE0.A6.22_KVC_RJA.pdf> Pristupljeno 17.9.2018

[8]< http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PD.HA0.D7.02_KVP.pdf> Pristupljeno 17.9.2018.

[9]< http://www.skripta.info/wp-content/uploads/2016/07/Branimir-Pavkovic-Tehnika-hladjenja.pdf> Pristupljeno 17.9.2018.

[10] Ciconkov, R.: Refrigeration Solved Examples, Faculty of mechanical engineering Univerisity „Sv. Kiril & Metodij“, 2004.

[11] Andrassy, M.: Stapni kompresori, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2004

[12] Halasz, B., Galavić A., Boras I.: Toplinske tablice, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013

[13]< https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1537189486078&mod=LH> Pristupljeno 10.9.2018.

[14]< https://www.boconline.co.uk/en/images/BAMPG_Refrigerants_R449A_tcm410-140677.pdf> Pristupljeno 15.9.2018.

[15]< https://www.ecr-nederland.nl/files/documentatie_tecumseh_guidelines_r449a_r452a_gb.pdf> Pristupljeno 15.9.2018.

[16]< https://www.boconline.co.uk/en/images/Refrigerants-Product-Data-Summary_tcm410-108590.pdf> Pristupljeno 15.9.2018.

[17] Galović, A.: Termodinamika 2, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003
[18]< https://www.wolseley.co.uk/cooling/refrigeration/refrigeration-and-industrial-gases/conventional-refrigerants/> Pristupljeno 16.9.2018.
[19]< https://www.agaseurope.com/media/2440/retrofit-guide.pdf> Pristupljeno 17.9.2018.
[20]< https://www.agaseurope.com/media/4779/fpr-028-2017-05-en-tesco-retrofit-program.pdf> Pristupljeno 19.9.2018.

**Prilozi:**

1. CD-R sa primjerom završnog rada
2. Katalog kondenzacijske jedinice
3. Katalog isparivačke jedinice

06-0005-01(1)
2
621.57.044
Германия
эд.1
ОТДЕЛ ПРОМЫШЛЕННЫХ КАТАЛОГОВ ВНИИПИ



BITZER
INTERNATIONAL

# Luftgekühlte Verflüssigungssätze

**mit halbhermetischen Hubkolbenverdichtern**

# Air-cooled Condensing Units

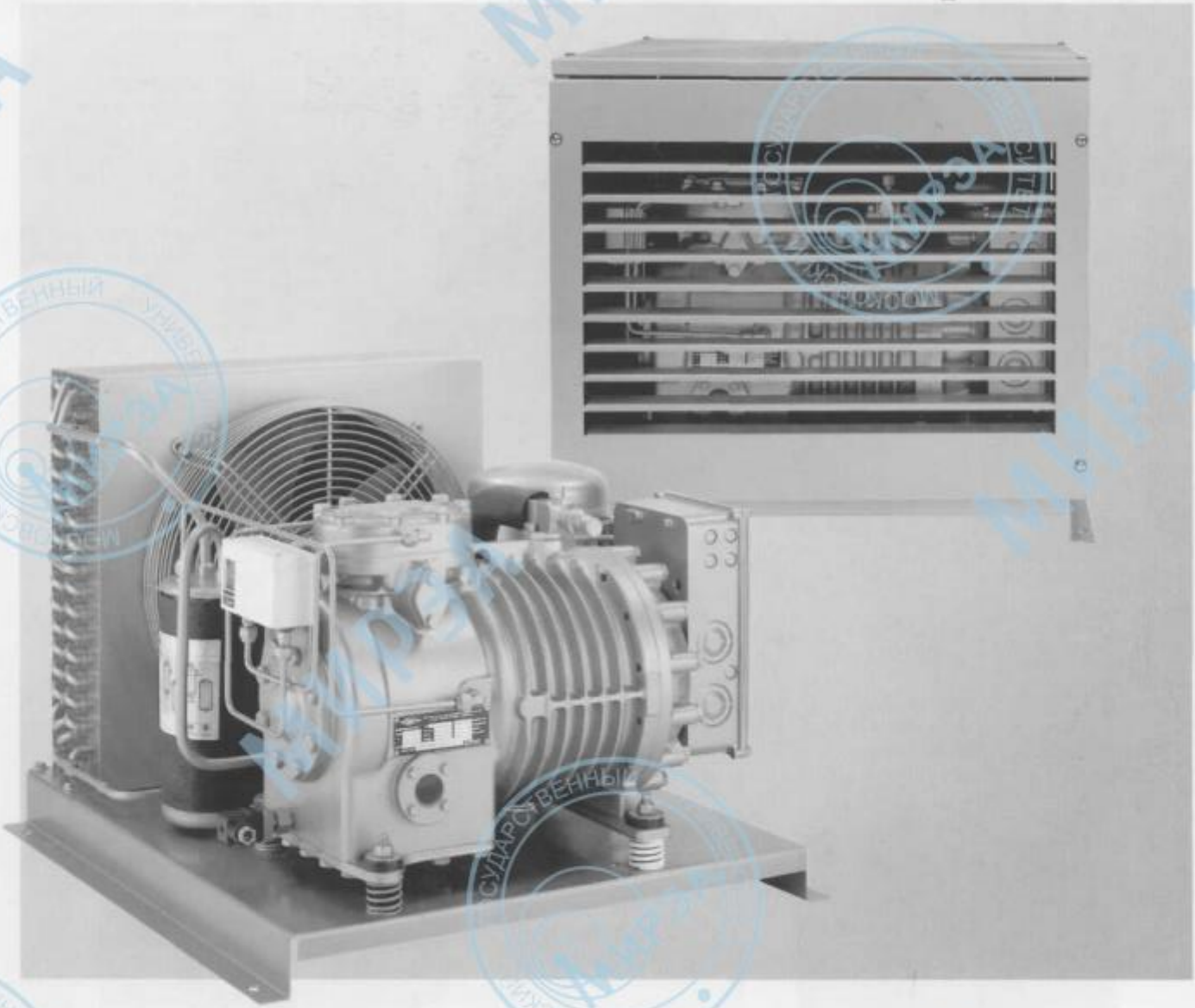
**with Semi-hermetic Reciprocating Compressors**

# Groupes de condensation à air

**avec compresseurs hermétiques-accessibles à pistons**

Bitzer

KP-215-4



**R134a ▪ R404A ▪ R507 ▪ R22**

Version 50 Hz

„Агропродмаш-99"
Подб. 2бр.

**Leistungswerte,**
bezogen auf 25°C Sauggastemperatur;
mit Flüssigkeitsunterkühlung; 50 Hz

**Performance data,**
based on 25°C suction gas temperature;
with liquid subcooling; 50 Hz

**Données de puissance,**
se référant une température de gaz aspiré de 25°C; avec sous-refroidissement; 50 Hz

| Typ / Type / Type | Umgeb.-Temp. / Ambient temp. / Temp. ambiante °C | | Kälteleistung / Refrigerating capacity / Puissance frigorifique $Q_o$ [Watt] — Verdampfungstemperatur °C / Evaporation temperature °C / Température d'evaporation°C | | | | | | | Leistungsaufnahme / Power consumption / Puissance absorbée $P_e$ [kW] — Verdampfungstemperatur °C / Evaporation temperature °C / Température d'evaporation°C | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ↓ | | 10 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 |
| LH 64/2U-3.2Y | 27 | Q | | | | | 10400 | 8770 | 7280 | 5920 | 4720 | 3650 | 2730 |
| | | P | | | | | 4,30 | 3,83 | 3,40 | 3,01 | 2,63 | 2,28 | 1,95 |
| | 32 | Q | | | | | 9610 | 8110 | 6720 | 5460 | 4320 | 3320 | 2450 |
| | | P | | | | | 4,52 | 4,01 | 3,53 | 3,09 | 2,67 | 2,28 | 1,89 |
| | 43 | Q | | | | | | | 5450 | 4400 | 3450 | 2590 | 1840 |
| | | P | | | | | | | 3,78 | 3,25 | 2,75 | 2,27 | 1,81 |
| LH 84/2U-5.2Y | 27 | Q | | 17620 | 15290 | 13110 | 11100 | 9270 | 7630 | 6170 | 4880 | | |
| | | P | | 5,22 | 4,77 | 4,37 | 4,01 | 3,66 | 3,32 | 2,97 | 2,62 | | |
| | 32 | Q | | 16320 | 14190 | 12170 | 10310 | 8600 | 7070 | 5700 | 4480 | | |
| | | P | | 5,53 | 5,05 | 4,61 | 4,21 | 3,83 | 3,45 | 3,07 | 2,68 | | |
| | 43 | Q | | | | | 8480 | 7070 | 5780 | 4620 | 3580 | | |
| | | P | | | | | 4,62 | 4,16 | 3,71 | 3,26 | 2,80 | | |
| LH 64/2Q-4.2Y | 27 | Q | | | | | 11900 | 10120 | 8460 | 6930 | 5550 | 4330 | 3250 |
| | | P | | | | | 5,34 | 4,74 | 4,19 | 3,68 | 3,21 | 2,77 | 2,35 |
| | 32 | Q | | | | | 10940 | 9320 | 7780 | 6370 | 5080 | 3930 | 2920 |
| | | P | | | | | 5,61 | 4,93 | 4,33 | 3,77 | 3,25 | 2,76 | 2,29 |
| | 43 | Q | | | | | | | | 5080 | 4010 | 3040 | 2180 |
| | | P | | | | | | | | 3,93 | 3,33 | 2,75 | 2,20 |
| LH 84/2Q-6.2Y | 27 | Q | | 20050 | 17530 | 15140 | 12900 | 10840 | 8970 | 7290 | 5800 | | |
| | | P | | 6,55 | 5,95 | 5,43 | 4,94 | 4,49 | 4,05 | 3,61 | 3,17 | | |
| | 32 | Q | | 18480 | 16200 | 14010 | 11940 | 10030 | 8280 | 6710 | 5320 | | |
| | | P | | 6,90 | 6,26 | 5,69 | 5,17 | 4,68 | 4,20 | 3,72 | 3,22 | | |
| | 43 | Q | | | | | | 8170 | 6720 | 5410 | 4220 | | |
| | | P | | | | | | 5,03 | 4,46 | 3,89 | 3,31 | | |
| LH 84/2N-5.2Y | 27 | Q | | | | | 15270 | 12960 | 10820 | 8860 | 7100 | 5540 | 4180 |
| | | P | | | | | 6,60 | 5,87 | 5,19 | 4,56 | 3,97 | 3,40 | 2,85 |
| | 32 | Q | | | | | 14050 | 11950 | 9970 | 8160 | 6520 | 5060 | 3780 |
| | | P | | | | | 6,93 | 6,14 | 5,40 | 4,71 | 4,06 | 3,43 | 2,82 |
| | 43 | Q | | | | | | | | 6590 | 5240 | 4020 | 2940 |
| | | P | | | | | | | | 5,06 | 4,28 | 3,52 | 2,80 |
| LH 104/2N-7.2Y | 27 | Q | | 25200 | 22100 | 19080 | 16270 | 13680 | 11320 | 9210 | 7330 | | |
| | | P | | 8,27 | 7,57 | 6,90 | 6,26 | 5,65 | 5,07 | 4,52 | 3,98 | | |
| | 32 | Q | | 23200 | 20350 | 17620 | 15050 | 12660 | 10470 | 8500 | 6750 | | |
| | | P | | 8,69 | 7,96 | 7,25 | 6,57 | 5,91 | 5,28 | 4,66 | 4,06 | | |
| | 43 | Q | | | | | | 10310 | 8530 | 6900 | 5440 | | |
| | | P | | | | | | 6,49 | 5,74 | 4,99 | 4,26 | | |
| LH 104/4Z-8.2Y | 27 | Q | | 25450 | 22200 | 19090 | 16200 | 13550 | 11140 | 8990 | 7090 | | |
| | | P | | 7,97 | 7,30 | 6,64 | 6,01 | 5,40 | 4,81 | 4,24 | 3,67 | | |
| | 32 | Q | | 23450 | 20500 | 17630 | 14970 | 12500 | 10250 | 8240 | 6440 | | |
| | | P | | 8,43 | 7,70 | 6,98 | 6,28 | 5,60 | 4,95 | 4,32 | 3,69 | | |
| | 43 | Q | | | | | | 10150 | 8270 | 6560 | 5020 | | |
| | | P | | | | | | 6,02 | 5,22 | 4,46 | 3,73 | | |
| LH 84/4V-6.2Y | 27 | Q | | | | | 17010 | 14510 | 12140 | 9960 | 7980 | 6220 | 4670 |
| | | P | | | | | 7,69 | 6,77 | 5,94 | 5,18 | 4,47 | 3,81 | 3,18 |
| | 32 | Q | | | | | 15630 | 13340 | 11160 | 9140 | 7290 | 5640 | 4180 |
| | | P | | | | | 8,04 | 7,02 | 6,12 | 5,30 | 4,54 | 3,81 | 3,11 |
| | 43 | Q | | | | | | | | 7300 | 5750 | 4350 | 3100 |
| | | P | | | | | | | | 5,48 | 4,61 | 3,80 | 3,01 |
| LH 114/4V-10.2Y | 27 | Q | | 29500 | 25750 | 22200 | 18920 | 15880 | 13120 | 10650 | 8450 | | |
| | | P | | 9,31 | 8,54 | 7,79 | 7,07 | 6,38 | 5,71 | 5,05 | 4,40 | | |
| | 32 | Q | | 27200 | 23800 | 20550 | 17510 | 14690 | 12120 | 9800 | 7740 | | |
| | | P | | 9,86 | 9,02 | 8,20 | 7,41 | 6,64 | 5,90 | 5,18 | 4,47 | | |
| | 43 | Q | | | | | | 11980 | 9840 | 7900 | 6140 | | |
| | | P | | | | | | 7,17 | 6,27 | 5,42 | 4,61 | | |
| LH 104/4T-8.2Y | 27 | Q | | | | | 21250 | 18100 | 15160 | 12460 | 10020 | 7850 | 5950 |
| | | P | | | | | 9,37 | 8,28 | 7,31 | 6,41 | 5,57 | 4,79 | 4,05 |
| | 32 | Q | | | | | 19540 | 16670 | 13960 | 11450 | 9170 | 7140 | 5340 |
| | | P | | | | | 9,81 | 8,61 | 7,55 | 6,58 | 5,67 | 4,80 | 3,97 |
| | 43 | Q | | | | | | | | 9180 | 7280 | 5550 | 4010 |
| | | P | | | | | | | | 6,84 | 5,80 | 4,83 | 3,90 |
| LH 114/4T-12.2Y | 27 | Q | | 33450 | 29550 | 25750 | 22150 | 18740 | 15610 | 12770 | 10240 | | |
| | | P | | 11,99 | 10,94 | 9,92 | 8,95 | 8,03 | 7,17 | 6,33 | 5,51 | | |
| | 32 | Q | | | 27200 | 23750 | 20450 | 17300 | 14400 | 11760 | 9380 | | |
| | | P | | | 11,52 | 10,41 | 9,35 | 8,35 | 7,40 | 6,49 | 5,61 | | |
| | 43 | Q | | | | | | | 11660 | 9460 | 7460 | | |
| | | P | | | | | | | 7,86 | 6,81 | 5,81 | | |

① Leistungsaufnahme des Verdichters; Werte für Verflüssiger-Ventilatoren siehe "Technische Daten" (siehe Seite 16)

① Power consumption of compressor; values for condenser fans see "Technical data" (see page 16)

① Puissance absorbée du compresseur; pour les valeurs des condenseur-ventilateurs veuillez vous référer aux "Caractéristique techniques" (voir page 16)

| Verflüssigungssatz Typ | Verdichter Compressor Compresseur | | | | Lüfter Fan Ventilateur ② | | | Sammler Receiver Réservoir | | | | Option größerer Sammler | Gewicht (Stand.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Stromart ① | | max. Betr.-Strom | | Stromaufnahme | Leistungsaufnahme | Luftdurchsatz Verflüssiger | Standard Typ | Maximale Kältemittelfüllung ③ | | | Option größerer Sammler | Gewicht (Stand.) |
| Condensing unit type | Kind of current ① | | max. working current | | Current consumption | Power consumption | Air flow condenser | Standard type | Maximum refrigerant charge ③ | | | Option larger receiver | Weight (Stand.) |
| Groupe compresseur-condenseur type | Genre de courant ① | | Courant de service max. | | Consom. de courant | Consom. d'énergie | Débit d'air condenseur | Type standard | Charge maximum de fluide frigorigène ③ | | | Option réservoir plus grand | Poids (Stand.) |
| | 3-Ph | 1-Ph „E" | 3-Ph | 1-Ph „E" | | | | | R134a | R404A R507 | R22 | | |
| | | | A | A | A | Watt | m³/h | | kg | kg | kg | | kg |
| **LH33/2HC-1.2(E)(Y)** | 230 VΔ±10%/3/50 Hz 400 VY±10%/3/50 Hz | 230 V±10%/1/50 Hz | 5,9/3,4 | 12,5 | 0,55 | 118 | 1710 | FS35 | 3,1 | 2,6 | 3,1 | FS55 | 71 |
| **LH33/2HC-2.2(Y)** | | | 7,8/4,5 | – | 0,55 | 118 | 1710 | FS35 | 3,1 | 2,6 | 3,1 | FS55 | 73 |
| **LH33/2GC-2.2(E)(Y)** | | | 8,4/4,9 | 15,0 | 0,55 | 118 | 1710 | FS35 | 3,1 | 2,6 | 3,1 | FS55 | 73 |
| **LH44/2GC-2.2(E)(Y)** | | | 8,4/4,9 | 15,0 | 0,56 | 125 | 1840 | FS55 | 5,9 | 4,7 | 5,8 | FS75 | 81 |
| **LH44/2FC-2.2(E)(Y)** | | | 8,8/5,1 | 15,0 | 0,56 | 125 | 1840 | FS55 | 5,9 | 4,7 | 5,8 | FS75 | 80 |
| **LH44/2FC-3.2(Y)** | | | 10,4/6,0 | – | 0,56 | 125 | 1840 | FS55 | 5,9 | 4,7 | 5,8 | FS75 | 81 |
| **LH44/2EL-2.2(E)(Y)** | | | 9,7/5,6 | 18,0 | 0,56 | 125 | 1840 | FS55 | 5,9 | 4,7 | 5,8 | FS75 | 99 |
| **LH64/2EL-3.2(E)(Y)** | | | 11,3/6,5 | 19,6 | 1,41 | 301 | 3890 | FS75 | 8,2 | 6,6 | 8,0 | FS125 | 130 |
| **LH53/2DL-2.2(Y)** | | | 12/6,9 | | 0,88 | 194 | 2530 | FS55 | 5,9 | 4,7 | 5,8 | FS75 | 115 |
| **LH64/2DL-3.2(Y)** | | | 13,8/8,0 | | 1,41 | 301 | 3890 | FS75 | 8,2 | 6,6 | 8,0 | FS125 | 130 |
| **LH64/2CL-3.2(Y)** | | | 13,8/8,0 | | 1,41 | 301 | 3890 | FS75 | 8,2 | 6,6 | 8,0 | FS125 | 130 |
| **LH84/2CL-4.2(Y)** | | | 15,5/9,0 | | 3,08 | 485 | 4580 | FS125 | 13,6 | 11,0 | 13,4 | FS200 | 139 |
| **LH64/2U-3.2(Y)** | | | 16,9/9,6 | | 1,41 | 301 | 3890 | FS75 | 8,2 | 6,6 | 8,0 | FS125 | 142 |
| **LH84/2U-5.2(Y)** | | | 21,6/12,5 | | 3,08 | 485 | 4580 | FS125 | 13,6 | 11,0 | 13,4 | FS200 | 158 |
| **LH64/2Q-4.2(Y)** | | | 19,6/11,3 | | 1,41 | 301 | 3890 | FS75 | 8,2 | 6,6 | 8,0 | FS125 | 145 |
| **LH84/2Q-6.2(Y)** | | | 23,3/13,5 | | 3,08 | 485 | 4580 | FS125 | 13,6 | 11,0 | 13,4 | FS200 | 158 |
| **LH84/2N-5.2(Y)** | | | 22,9/13,2 | | 3,08 | 485 | 4580 | FS125 | 13,6 | 11,0 | 13,4 | FS200 | 160 |
| **LH104/2N-7.2(Y)** | | | 31,1/18,0 | | 2 x 1,47 | 2 x 316 | 7250 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 206 |
| **LH104/4Z-8.2(Y)** | 400 V±10%/3/50 Hz Y - YY | | 17 | | 2 x 1,47 | 2 x 315 | 7250 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 251 |
| **LH84/4V-6.2(Y)** | | | 14 | | 3,08 | 485 | 4580 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 221 |
| **LH114/4V-10.2(Y)** | | | 21 | | 2 x 1,4 | 2 x 300 | 7800 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 268 |
| **LH104/4T-8.2(Y)** | | | 17 | | 2 x 1,47 | 2 x 318 | 7250 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 249 |
| **LH114/4T-12.2(Y)** | | | 24 | | 2 x 1,4 | 2 x 300 | 7800 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 272 |
| **LH114/4P-10.2(Y)** | | | 21 | | 2 x 1,4 | 2 x 300 | 7800 | F150H | 15,7 | 12,7 | 15,4 | | 271 |
| **LH135/4P-15.2(Y)** | | | 31 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 333 |
| **LH124/4N-12.2(Y)** | | | 24 | | 2 x 3,08 | 2 x 480 | 9100 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 310 |
| **LH135/4N-20.2(Y)** | | | 37 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 336 |
| **LH135/4J-13.2(Y)** | | | 27 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 360 |
| **LH135/4J-22.2(Y)** | | | 39 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 371 |
| **LH135/4H-15.2(Y)** | | | 31 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 364 |
| **LH135/4H-25.2(Y)** | | | 45 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 384 |
| **LH135/4G-20.2(Y)** | | | 37 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 373 |
| **LH135/6J-22.2(Y)** | | | 39 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 394 |
| **LH135/6H-25.2(Y)** | | | 45 | | 2 x 1,62 | 2 x 750 | 12650 | F300H | 31,4 | 25,4 | 30,9 | | 405 |

① Andere Spannungen und Stromarten auf Anfrage.
② LH33/2HC-1.2(Y) ... LH124/4N-12.2(Y): 230 V/1/50Hz ±10%; LH135/.../...: 230VΔ/400 VY/3/50 Hz ±10% eingebauter Wicklungsthermostat
③ 50°C Flüssigkeitstemperatur, 95% Behälterinhalt, Standard-Typ

① Other voltages and electrical supplies on request.
② LH33/2HC-1.2(Y) ... LH124/4N-12.2(Y): 230 V/1/50Hz ±10%; LH135/.../...: 230VΔ/400 VY/3/50 Hz ±10% incorporated winding thermostat
③ 50°C liquid temperature, 95% tank capacity, standard type

① D'autres types de courant et tensions sur demande
② LH33/2HC-1.2(Y) ... LH124/4N-12.2(Y): 230 V/1/50Hz ±10%; LH135/.../...: 230VΔ/400 VY/3/50 Hz ±10% thermostat de bobinage incorporé
③ 50°C température de liquide, 95% contenance du réservoir, type standard

BITZER INTERNATIONAL
Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH
P. O. Box 240 • D-71044 Sindelfingen (Germany)
Tel. ++49(0)7031/932-0 • Fax ++49(0)7031/932-146+147
http://www.bitzer.de • mail@bitzer.de

Änderungen vorbehalten / Subject to change / Toutes modifications réservées 05/98

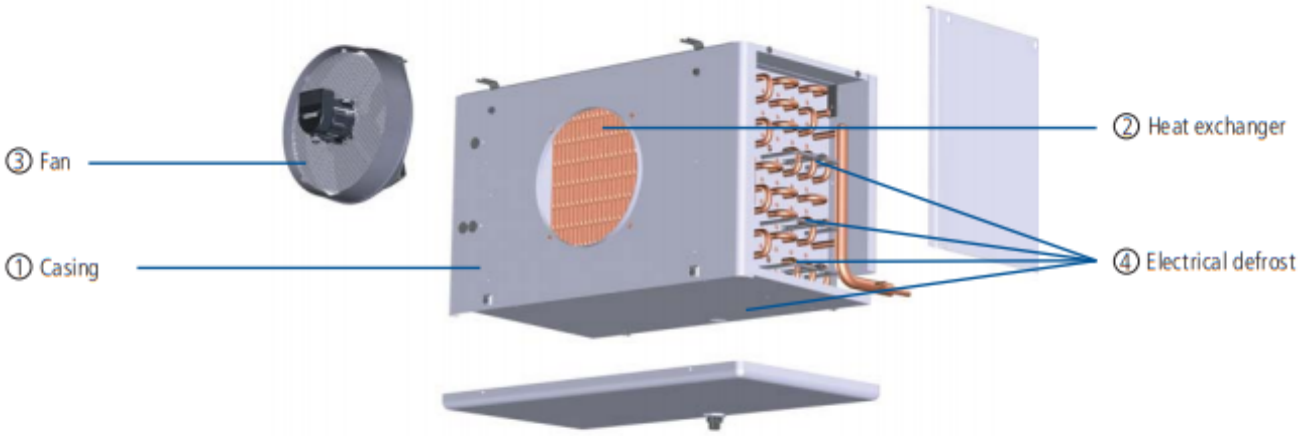


# Küba SG *commercial*





## Construction






### 1. Casing

- Al-Stucco
- High-grade powder coating, papyrus white RAL 9018
  - Food quality
  - Easy to clean
  - Optimum corrosion protection
- Drip tray and side panels removable
- Stainless steel mounting material and brackets
- Plastic drain

### 2. Heat exchanger

- Fin spacing
  SGA.C: 4,5 mm
  SGB.C: 7 mm
  SGL.C: 12 mm
- Tube arrangement aligned, spacing 50 x 50 mm
- HFE® tube / fin system
- Tubing: Cu-special
  Fins: Al
  End plates: Al
- Küba-CAL® refrigerant distributor for multiple injection

### 3. Fans

- Ø 250 to 500 mm
- In accordance with VDE specifications with built-in protector
- Application range: -40 °C bis +45 °C
- SG. 011 -083C: 230 ±10%V-1~, 50/60Hz
- SG.091 -103C: 400±10%V-3~, 50/60Hz
- Protection class IP44 in accordance with EN 60529
- Insulation class F in accordance with EN 60034
- Operating data can be found with Küba Select or in the technical data

| • Optional Controller: | 011-083 | 091-103 |
|---|---|---|
| Phase control | ☑ | ☑ |
| Transformer | ☑ | ☑ |
| Delta / star | ☐ | ☐ |
| Frequency converter | ☐ | ☑ |

⚠ Please observe the manufacturer's information.

**Motor label data** (max. allowable value +40°C)

| | 50 Hz | | | 60 Hz | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | min⁻¹ | W | A | min⁻¹ | W | A |
| SG.011/021C | 1300 | 38 | 0,17 | 1500 | 52 | 0,21 |
| SG.031/041C | 1300 | 90 | 0,40 | 1415 | 128 | 0,51 |
| SG.051-081C | 1360 | 210 | 0,95 | 1395 | 148 | 0,58 |
| SG.091/101C | 1400 | 450 | 1,00 | 1600 | 630 | 1,2 |

**Note:**
4 and 4 motor models on request

### 4. Electrical defrost

- 230 ±10% V-1~ or 400 ±10% V-3~ -Y
- Heaters with CrNi steel sleeve
- Vapour-tight connections
- Connector cable 1.5 mm² x 1000 mm
- Designed to defrost the fin package quickly and evenly
- To prevent vapour build-up and to accomplish heat transfer with almost no loss, the heaters are mounted in special expanded tube sleeves
- Wired ready for connection to the connection box in accordance with VDE specifications



## Technical data (R404A) SGL...C 12 mm

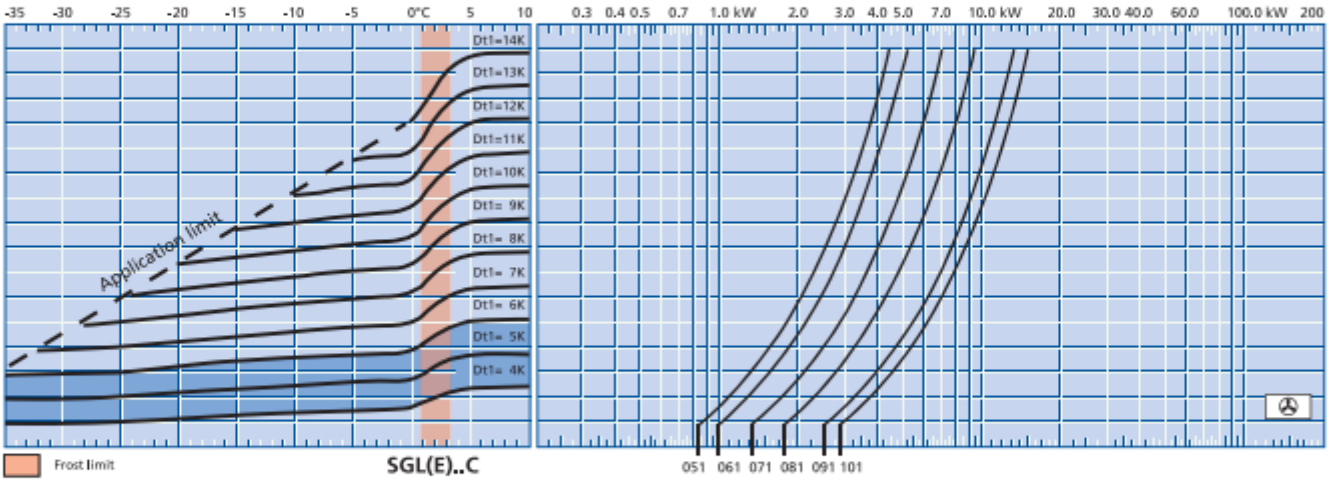
| Model | | Rating $Q_0$ at 50 Hz $t_{L1}$ ±0 °C DT1 = 8K | Rating $Q_0$ at 50 Hz $t_{L1}$ -18 °C DT1 = 7K | Surface | Air flow | Air throw | Tube volume | Connections Inlet | Connections Outlet | Blade | Type of current | Fans (operating values at 50 Hz) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kW | kW | m² | m³/h | m | dm³ | Ø mm | Ø mm | Ø mm | | min⁻¹ | W | A |
| SGL 051C | ✇ | 2,20 | 1,74 | 9,5 | 1910 | 15 | 3,8 | 10 | 22 | 400 | 230±10% V-1~ 50/60 Hz | 1307 | 105 | 0,46 |
| SGL 061C | ✇ | 2,60 | 2,06 | 11,8 | 1900 | 15 | 4,8 | 10 | 22 | 400 | | 1307 | 105 | 0,46 |
| SGL 071C | ✇ | 3,69 | 2,92 | 14,1 | 3020 | 21 | 5,7 | 10* | 22 | 400 | | 1362 | 205 | 0,90 |
| SGL 081C | ✇ | 4,70 | 3,73 | 21,1 | 3130 | 21 | 8,8 | 10* | 28 | 400 | 230/400 ±10% V-3~ 50/60 Hz | 1362 | 205 | 0,90 |
| SGL 091C | ✇ | 6,58 | 5,21 | 25,2 | 4890 | 28 | 10,6 | 10* | 28 | 500 | | 1417 | 360 | 0,86 |
| SGL 101C | ✇ | 7,48 | 5,93 | 33,5 | 5020 | 28 | 13,6 | 12* | 35 | 500 | | 1417 | 360 | 0,86 |
| SGL 012C | ✇✇ | 1,45 | 1,15 | 5,9 | 1610 | 14 | 2,3 | 10 | 15 | 250 | | 1301 | 32 | 0,15 |
| SGL 022C | ✇✇ | 1,75 | 1,39 | 8,0 | 1470 | 14 | 3,1 | 10 | 18 | 250 | | 1301 | 32 | 0,15 |
| SGL 032C | ✇✇ | 2,55 | 2,02 | 10,1 | 2990 | 19 | 3,9 | 10 | 18 | 300 | 230±10% V-1~ 50/60 Hz | 1295 | 86 | 0,38 |
| SGL 042C | ✇✇ | 3,09 | 2,45 | 13,5 | 2710 | 19 | 5,3 | 10 | 22 | 300 | | 1295 | 86 | 0,38 |
| SGL 052C | ✇✇ | 4,40 | 3,49 | 18,5 | 3820 | 21 | 7,6 | 10* | 28 | 400 | | 1307 | 105 | 0,46 |
| SGL 062C | ✇✇ | 5,21 | 4,13 | 23,2 | 3800 | 21 | 9,1 | 12* | 28 | 400 | | 1307 | 105 | 0,46 |
| SGL 072C | ✇✇ | 7,38 | 5,84 | 27,8 | 6050 | 30 | 10,6 | 12* | 35 | 400 | | 1362 | 205 | 0,90 |
| SGL 082C | ✇✇ | 9,39 | 7,45 | 41,5 | 6260 | 30 | 16,2 | 15* | 35 | 400 | 230/400 ±10% V-3~ 50/60 Hz | 1362 | 205 | 0,90 |
| SGL 092C | ✇✇ | 13,14 | 10,41 | 50,0 | 9780 | 40 | 19,8 | 15* | 35 | 500 | | 1417 | 360 | 0,86 |
| SGL 102C | ✇✇ | 14,95 | 11,85 | 66,3 | 10000 | 40 | 26,1 | 15* | 42 | 500 | | 1417 | 360 | 0,86 |
| SGL 013C | ✇✇✇ | 2,17 | 1,72 | 8,7 | 2410 | 17 | 3,4 | 10 | 15 | 250 | | 1301 | 32 | 0,15 |
| SGL 023C | ✇✇✇ | 2,63 | 2,08 | 11,6 | 2210 | 17 | 4,5 | 10 | 22 | 250 | | 1301 | 32 | 0,15 |
| SGL 033C | ✇✇✇ | 3,82 | 3,03 | 15,0 | 4490 | 24 | 5,8 | 10 | 28 | 300 | 230±10% V-1~ 50/60 Hz | 1295 | 86 | 0,38 |
| SGL 043C | ✇✇✇ | 4,63 | 3,67 | 20,0 | 4240 | 24 | 8,1 | 10* | 28 | 300 | | 1295 | 86 | 0,38 |
| SGL 053C | ✇✇✇ | 6,61 | 5,23 | 27,7 | 5730 | 26 | 11,0 | 12* | 35 | 400 | | 1307 | 105 | 0,46 |
| SGL 063C | ✇✇✇ | 7,81 | 6,19 | 34,6 | 5700 | 26 | 13,1 | 12* | 35 | 400 | | 1307 | 105 | 0,46 |
| SGL 073C | ✇✇✇ | 11,05 | 8,75 | 41,3 | 9070 | 37 | 16,2 | 15* | 35 | 400 | | 1362 | 205 | 0,90 |
| SGL 083C | ✇✇✇ | 14,10 | 11,17 | 62,1 | 9400 | 37 | 24,5 | 22* | 42 | 400 | 230/400 ±10% V-3~ 50/60 Hz | 1362 | 205 | 0,90 |
| SGL 093C | ✇✇✇ | 19,72 | 15,63 | 74,5 | 14700 | 49 | 29,6 | 22* | 54 | 500 | | 1417 | 360 | 0,86 |
| SGL 103C | ✇✇✇ | 22,43 | 17,77 | 99,1 | 15100 | 49 | 38,5 | 22* | 54 | 500 | | 1417 | 360 | 0,86 |

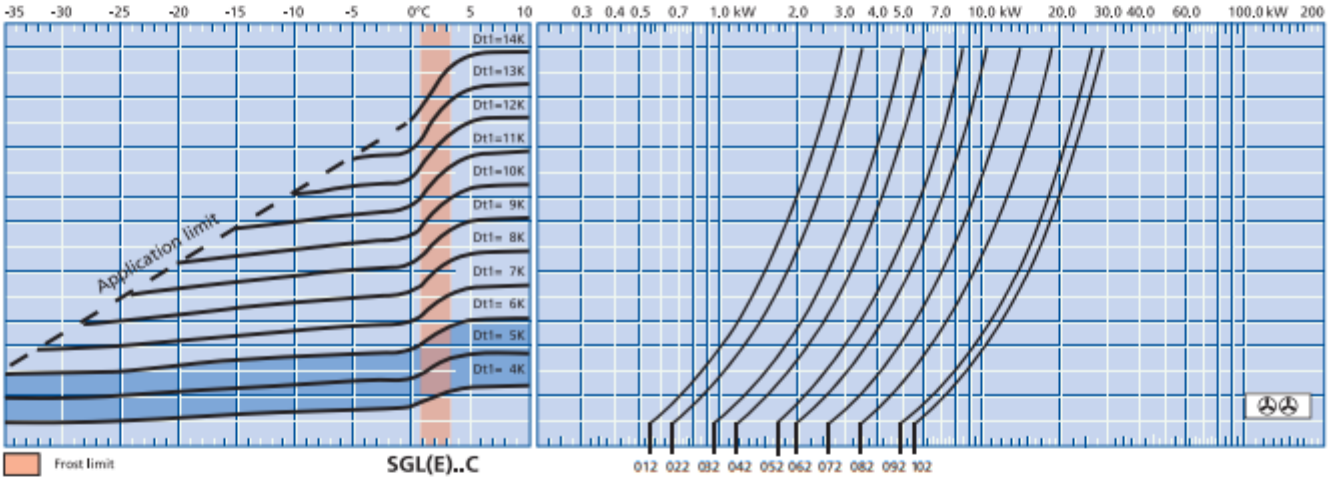
* Multiple injection with direct expansion using Küba CAL® distributors. The cooler rating at 60 Hz is 10% higher on average due to the higher speed and higher air flow.

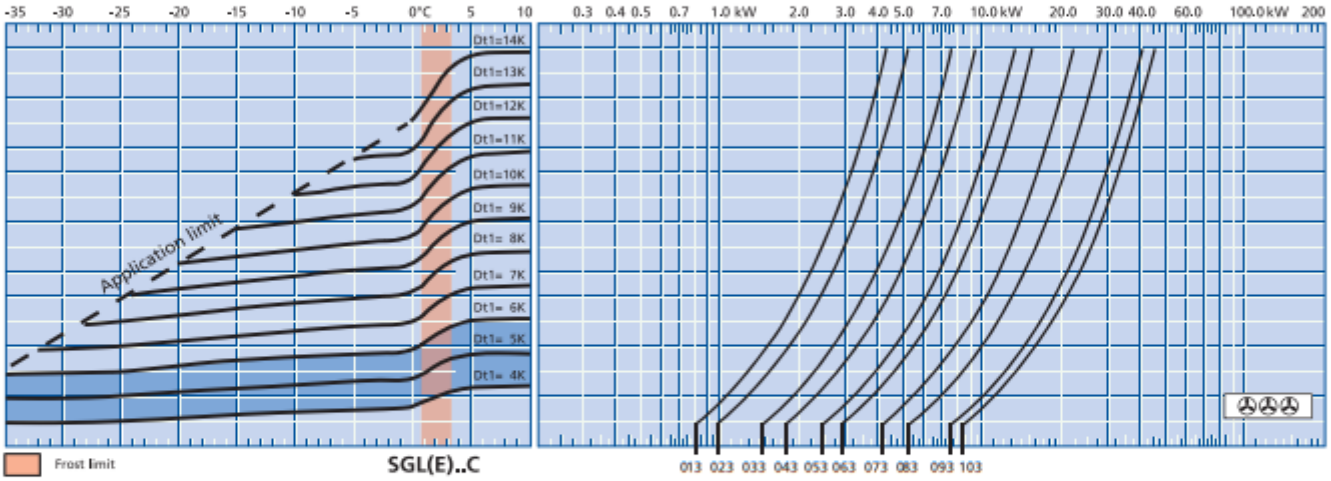
## $Q_V$ chart (EN328, R404A) SGL...C 12 mm

$t_{L1}$ [°C] Air inlet temperature

$Q_0$ [kW] Cooling capacity




$Q_0$ = Cooling capacity
$t_{L1}$ = Air inlet temperature
$t_0$ [°C] = Evaporating temperature (coil outlet)
**DT1 [K]** = Temperature difference = $t_{L1} - t_0$ (°C)

**DT1** = 4 K bis 6 K
with electronic expansion valve

**Example selection:**
For example and explanation, see the information section on p. 136.