



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje



Zavod za termodinamiku toplinsku i procesnu tehniku
Laboratorij za toplinu i toplinske uređaje

Projektiranje rashladnih sustava (Laboratorijski rad)

LABORATORIJSKA VJEŽBA NA RASHLADNOM UREĐAJU

Puštanje rashladne komore u rad

Pripremili:

dr.sc. Vladimir Soldo, izv.prof.

prof.dr.sc. Srećko Švaić

Suradnik:

Leon Lepoša, dipl.ing.

Zagreb, 1999.-2015.

A. SVRHA VJEŽBE

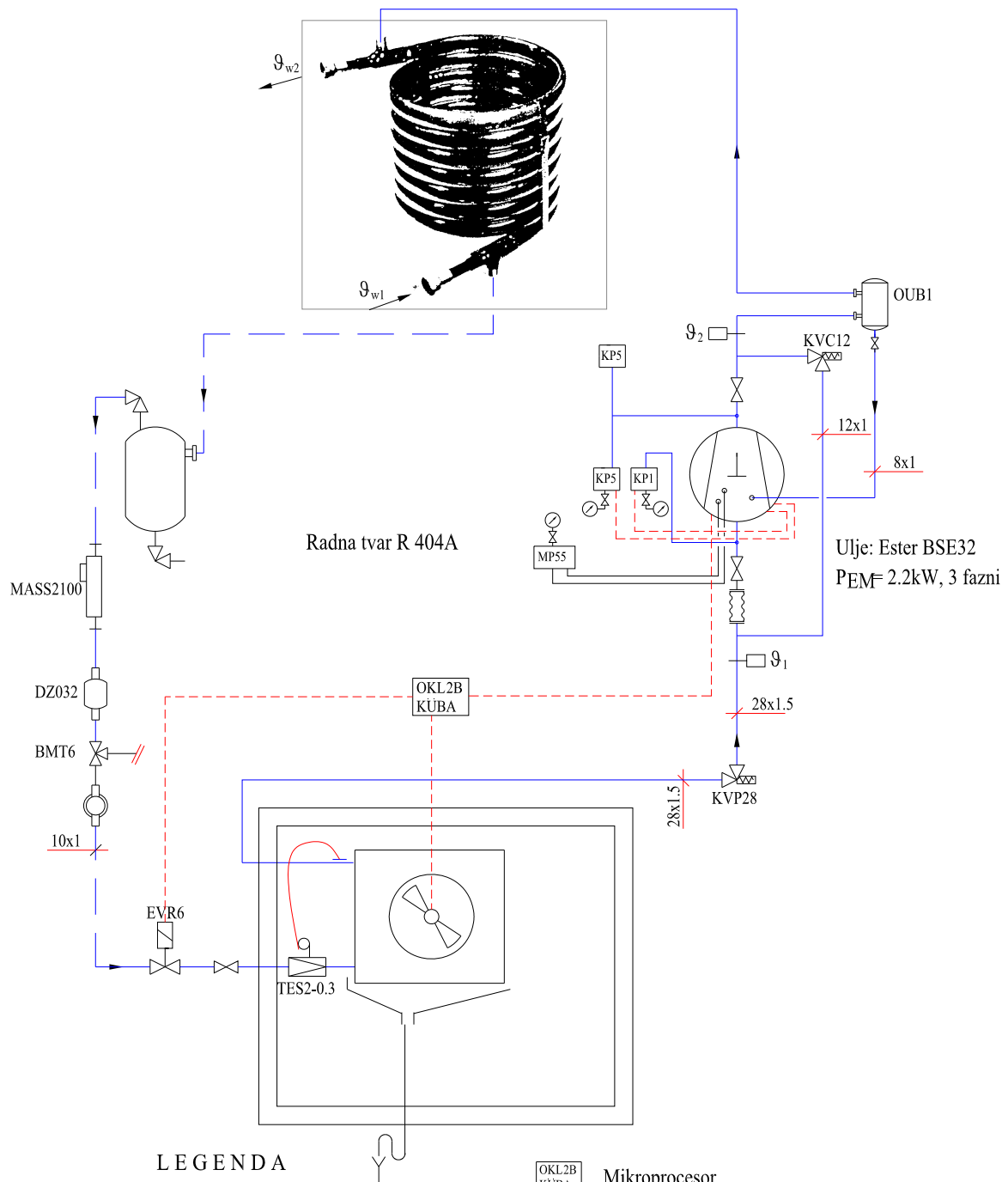
Svrha vježbe je upoznavanje studenata sa radom rashladnog uređaja, razmatranje glavnih komponenti (kompresor, kondenzator, prigušni ventil, isparivač) kao i upoznavanje s načinom rada sigurnosne automatike (presostati i termostati) te nekim karakterističnim elementima tehnike hlađenja.

Vježba se provodi na rashladnom uređaju za hlađenje zraka u rashladnoj komori. Prate se promjene temperature isparivanja \mathcal{G}_i i temperature hlađenja \mathcal{G}_o s vremenom, od početka hlađenja do temperature hlađenja $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mjere se i više drugih parametara sustava u radu (temperature rashladnog procesa, tlakovi isparavanja i kondenzacije, temperatura vode za hlađenje kondenzatora, protok vode).

















B. OPIS UREĐAJA

Uređaj se sastoji od slijedećih osnovnih komponenata (sl. 1):

- *kompresor*
- *kondenzator*
- *prigušni ventil*
- *isparivač*
- *spremnik ukapljene radne tvari (receiver)*
- *odvajač ulja*
- *sušilo (filter)*
- *ogledno staklo*
- *regulator tlaka isparivanja*
- *regulator kapaciteta*
- *sigurnosna automatika*
 - presostat niskog tlaka
 - presostat visokog tlaka
 - presostat ulja
 - termostat zraka
 - magnetski ventil

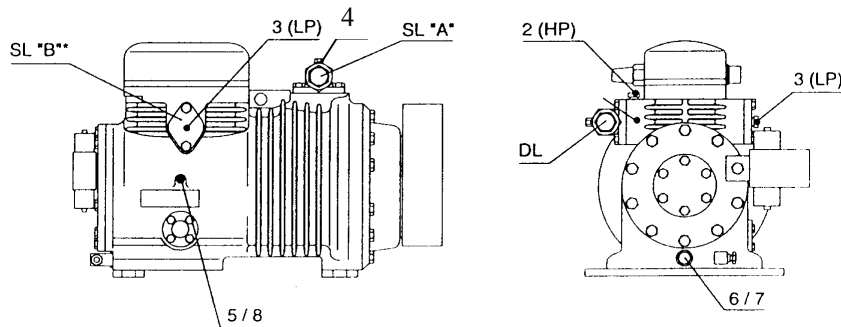


LEGENDA

	Protokomjer		Mikroprocesor
	Sušilo (filter)		Termostat
	Ogledno staklo		Presostat niskog tlaka
	Magnetski ventil		Presostat visokog tlaka
	Termoekspanzijski ventil s vanjskim izjednačenjem tlaka		Presostat ulja
			Regulator kapaciteta
			Regulator tlaka isparivanja
			Manometar
			Kompenzator vibracija
			Odvajač ulja
			Termopar

Sl. 1 Shematski prikaz rashladnog uređaja

Kompresor (sl. 2) LH64/2U-3.2Y) je poluhermetički sa slijedećim priključcima:



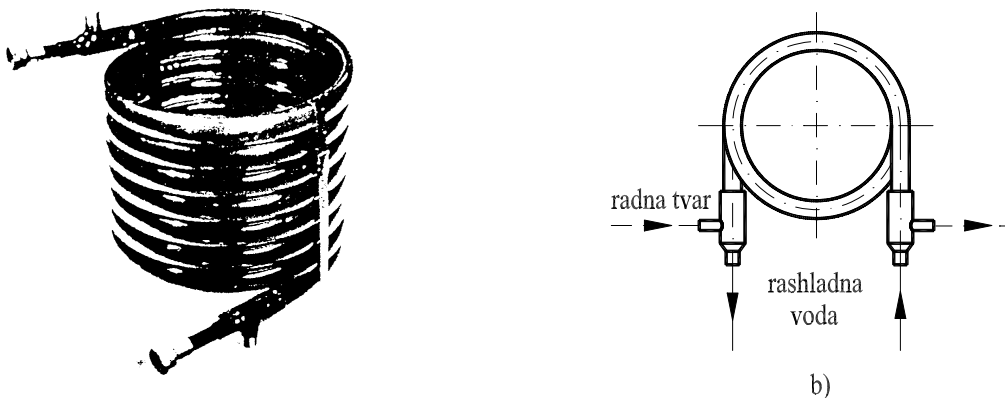
- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 2 - zaštitna izlazna temp. plina | 6 - ispust ulja |
| 3 - priključak za PVT | 7 - uljni filter |
| 4 - priključak za PNT | 8 - povrat ulja |
| 5 - priključak za punjenje ulja | SL "A"- usisni vod |
| | SL "B"- tlačni vod |

Sl. 2 Rashladni kompresor

Kondenzator je vodom hlađen, cijev u cijevi.

Voda ima znatno veći specifični toplinski kapacitet od zraka, a kad je raspoloživa u prosjeku je niže temperature od zraka što znači da se kod vodom hlađenih kondenzatora postižu niže temperature kondenzacije (niži tlakovi kondenzacije), a time i manja potrošnja energije za pogon kompresora.

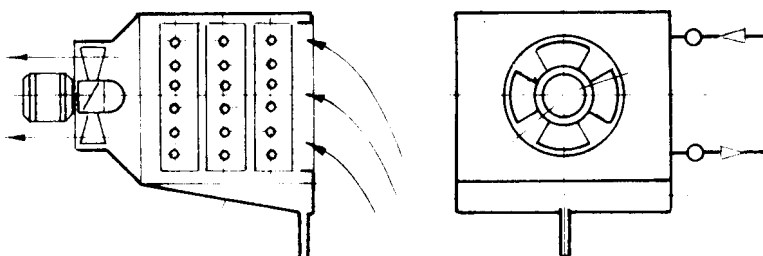
U kondenzatoru se vruće pare radne tvari iz kompresora prvo hlade, kondenziraju, te pothlađuju prije napuštanja kondenzatora. Kondenzator je protustrujni, koaksijalni, cijev-u-cijevi izmjenjivač (slika 3). Kroz cijev dimenzija 22.2x1.25x6000 mm (orebrenje na vanjskoj strani cijevi) koja se nalazi u vanjskoj cijevi unutarnjeg promjera 35 mm struji rashladna voda, dok radna tvar kondenzira oko cijevi.



Slika 3 Koaksijalni kondenzator

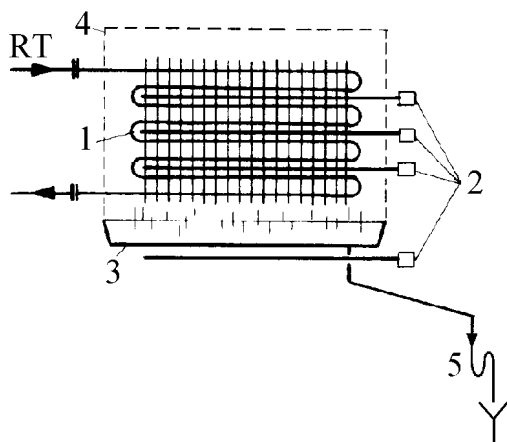
Sabirnik je zapremine 7.8 l. Dopuštena radna temperatura je 120 °C, a tlak 28 bar. Zadatak spremnika je prihvati ukapljene radne tvari iz kondenzatora ili čitavog sustava, akumulacija ukapljene radne tvari za trenutačne potrebe isparivača te održavanje kondenzatora praznim.

Isparivač (SGLE 91 - KÜBA) s prisilnim strujanjem zraka izrađen je od tipskih cijevnih sekcija koje čine jedinični isparivač za zidnu ugradnju. Za ostvarivanje prinudnog strujanja zraka preko površine isparivača koristi se aksijalni ventilator. Ventilator siše zrak kroz poprečno postavljene pakete orebrenih cijevi i ubacuje ga u hladeni prostor. Cijevi isparivača su bakrene, dok je orebrenje izvedeno Al - lamelama na strani zraka gdje je manji koeficijent prijelaza topline. Time se povećala površina izmjene topline. Orebrene cijevne sekcije povezane i obuhvaćene su kućištem za usmjeravanje zraka koje nosi i ventilator, dok je s donje strane isparivača postavljena okapnica za sakupljanje vode pri odleđivanju isparivača. Kondenzat se kroz priključak na okapnici odvodi izvan hladnog prostora.



Sl. 4 Jedinični isparivač za zidnu ugradnju

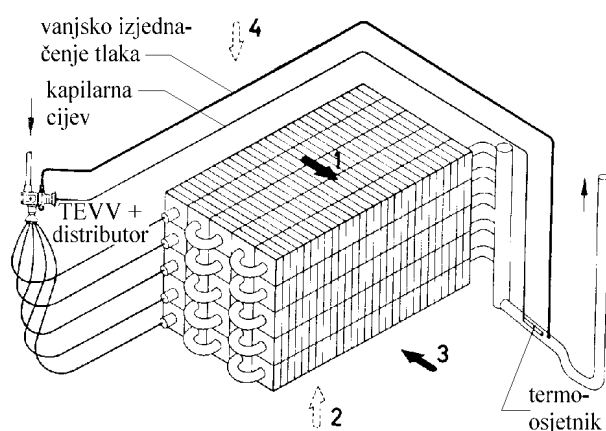
Odleđivanje isparivača je električnim grijačima. Električni grijači pogodne (štapne) izvedbe, ugrađenim u konstrukciju isparivača postiže se vrlo djelotvorno odleđivanje. Zagrijavanje električnom energijom je čisto i jednostavno, ali se moraju poštovati posebni sigurnosni propisi za hladene i vlažne prostorije.



Sl. 5 Shematski prikaz odleđivanja isparivača električnim grijačima

Ako se to ne učini, može u zagrijanom isparivaču znatno porasti tlak uz moguće oštećenje uređaja.

Prigušni ventil, termoekspanzijski s vanjskim izjednačenjem tlaka TEVV (TES 2-0.3) primjenjuje se kod isparivača s velikim hidrauličkim otporima strujanja. Priključuje se na pripadni isparivač prema shemi na sl. 6. Prigušni regulatori pregrijanja često se primjenjuju za regulaciju napajanja isparivača malih i srednji rashladnih uređaja. Vanjsko izjednačenje tlaka pogoduje konstantnoj temperaturi pregrijanja u odnosu na stanje na izlazu iz isparivača, što se ogleda u osjetno nižoj temperaturi radne tvari nakon kompresije, te manjoj utrošenoj snazi za pogon kompresora.



Sl. 6 Shematski prikaz spoja TEVV s isparivačkim sekcijama.
Distributor RT ravnomjerno napaja redove cijevi.
Termosjetnik je prislonjen na gornji dio cijevi.

Odvajač ulja (OUB) se koristi na svim rashladnim postrojenjima, kod kojih se ulje kompresora u svim uvjetima mora dovesti natrag u karter kompresora (najčešće u sustavima s freonima kao radnim tvarima). Tako se sprečava da ulje iz kompresora s radnom tvari dospije u rashladni optok. Funkcija odvajača ulja:

- sprečava koroziju klipa u kompresoru
- produljuje vijek trajanja kompresora
- bolje iskorištavanje učina kondenzatora (nema nakupljanja ulja)
- prigušenje pulzacije i šumova na visokotlačnoj strani uređaja

Sušilo (filter) za radnu tvar, patrona u tekućinskom vodu punjena silikagelom. Služi za uklanjanje vlage u rashladnom uređaju i kao zaštita od kiseline. Uzrokuje neznatan pad tlaka.

Ogledno staklo (SGI) služi za pokazivanje stanja radne tvari u kapljevinskom vodu (mjehura pare, koji mogu biti uzrokovani nedovoljnim pothlađenjem). Opremljeno je pokazivačem vlage, čija se boja mijenja ovisno o sadržaju vlage u rashladnom sredstvu. Postavlja se na mjesto iza sušila, a ispred ekspanzijskog ventila.

Regulator tlaka isparivanja (KVP) ugrađen je u usisni vod iza isparivača, a koristi se za održavanje konstantnog tlaka isparivanja. Prigušivanjem usisnog cjevovoda količina usisnih para radne tvari prilagođuje se opterećenju isparivača. Regulator također osigurava od preniskog tlaka isparivanja, budući se regulator zatvara, čim tlak u isparivaču padne ispod namještene vrijednosti.

Regulator kapaciteta (KVC) ugrađuje se u obilazni vod između visokotlačne i niskotlačne strane. Niskotlačnoj strani dovodi se vrući plin s visokotlačne strane. Time se postiže:

- dulji vijek trajanja kompresora, jer se izbjegava često uključivanje i isključivanje
- usisni tlak za kompresore ne pada ispod dopuštenog minimuma
- izbjegavaju se udari ulja u kompresoru, jer ne nastaje nikakvo kuhanje pri niskom tlaku

Sigurnosna automatika uređaja sastoji se od:

- presostata niskog tlaka
- presostata visokog tlaka
- presostata ulja
- termostata zraka
- magnetskog ventila za radnu tvar

Presostat niskog tlaka (KP1) je tlačno upravljani električni prekidač koji osigurava kompresor od preniskog usisnog tlaka. Na njemu je namještene veličina najnižeg dopuštenog tlaka u rashladnom sustavu.

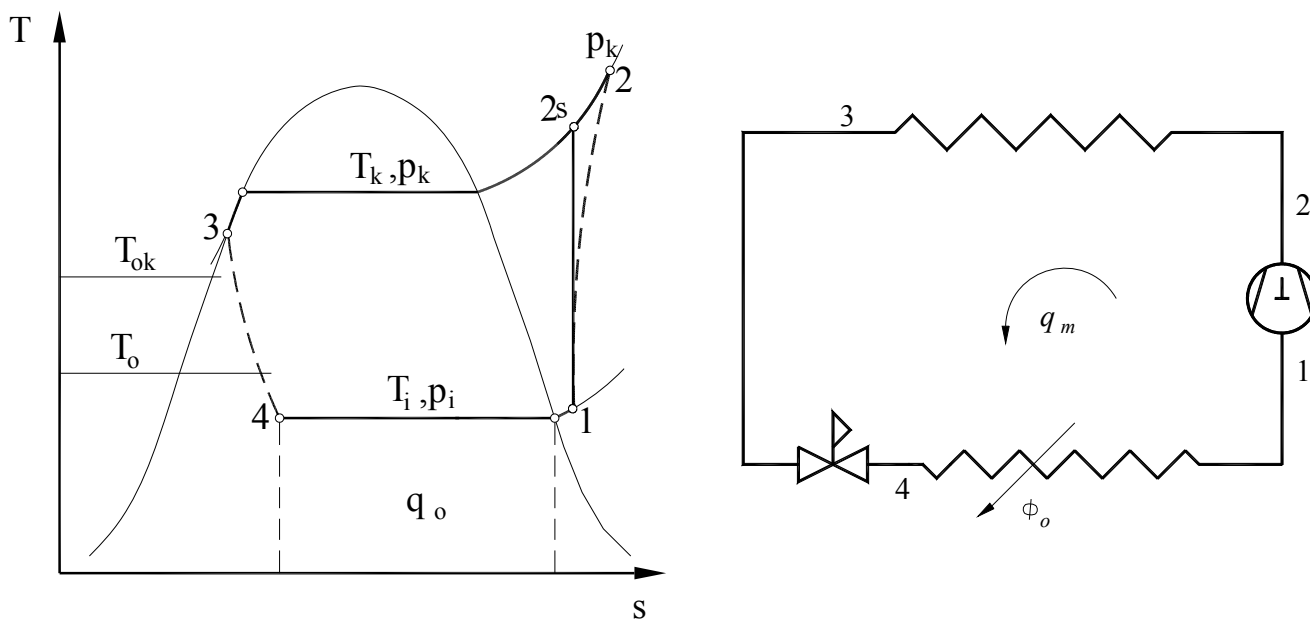
U normalnom radu rashladnog uređaja on će djelovati u slijedećem slučaju; Ako je u hladionici ostvarena željena temperatura hlađenja, termostati T (KP61) će zatvoriti elektromagnetski ventil (EVR6). Radna tvar više ne stiže u isparivač, te u njemu neminovno pada tlak. Kada tlak padne ispod veličine najniže dopuštenog tlaka PNT reagira i isključuje

kompresor iz pogona. Ako temperatura u hladionici poraste, termostat otvara elektromagnetski ventil, tlak u isparivaču počinje rasti pa PNT ponovno starta kompresor.

Presostat visokog tlaka (KP5) je također tlačno upravljani električni prekidač koji osigurava kompresor od previsokog tlaka ukapljivanja (kondenzacije). Na samom presostatu može se uočiti postavna veličina tlaka pri kojoj on stupa u funkciju. Jedan takav isti presostat upravlja ventilatorom za hlađenje kondenzatora.

Presostat ulja (MP55) je diferencijalni prekidač tlaka koji se koristi na kompresorima s mehaničkim podmazivanjem. U slučaju padanja uljnog tlaka uređaj isključuje kompresor sa zateznim vremenom. Potrebno je naglasiti da je ovo presostat s ponovnim ručnim upuštanjem, što znači da ponovno uključivanje kompresora slijedi ručno, nakon otklanjanja smetnje i resetiranja presostata.

Kružni proces kompresijskog rashladnog uređaja obuhvaća četiri procesa promjene stanja radne tvari (sl. 7).



Sl. 7 Prikaz kružnog procesa hlađenja u T-s dijagramu i skica uređaja

Radna tvar R404a je smjesa sastava R143a/R125/R134a (52/44/4 %). To je zeotropna smjesa s neznatnim prirastom temperature pri promjeni agregatnog stanja, koja posjeduje dobra termofizikalna svojstva. Primjenjuje se u sustavima s niskim temperaturama isparivanja. Koristi se kao zamjenska radna tvar za R502, a u nekim slučajevima i kao zamjena za R22.

Radna tvar R404a ima visoku vrijednost GWP broja ($GWP = 3922$), te je među prvima na popisu radnih tvari za izvrštavanje iz srednjih i većih rashadnih uređaja prema F-gas regulativi (Uredba EU br. 517/2104). Zamjenske radne tvari za R404a su R449A ($GWP=1379$) i R407F ($GWP = 1825$), koje su ujedno i “drop in” radna tvari za R404a.

C. TOK VJEŽBE NA RASHLADNOM UREĐAJU

1. Upoznavanje s uređajem

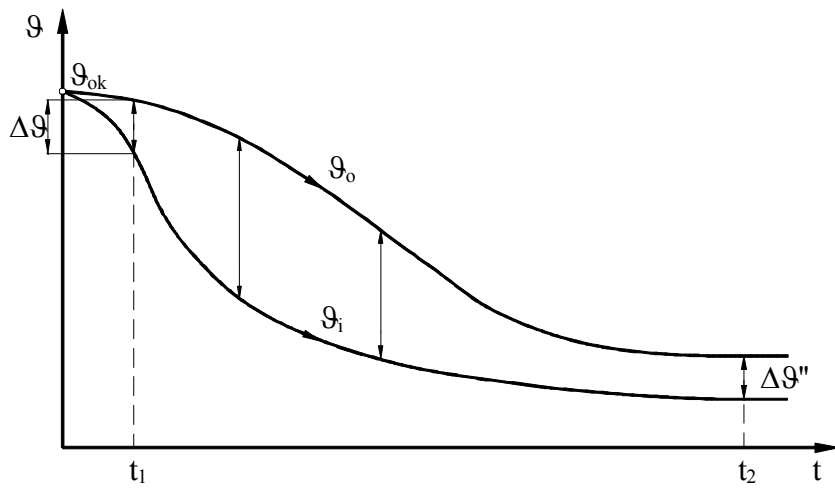
Od sudionika u vježbi očekuje se da je upoznat s osnovnim principima rada rashladnog uređaja (predavanja kolegija Nauka o toplini II i Tehnika hlađenja) kao i sadržajem ove upute.

Praktičnom izvođenju vježbe prethodi auditorni dio u kojem se slušačima daju uvodne napomene o svrsi i načinu izvođenja vježbe.

U samom laboratoriju učesnici u vježbi najprije razgledaju ispitni uređaj, te su dužni prepoznati njegove osnovne komponente i razmotriti njihovu ulogu u radu cjelokupnog uređaja. Pri tome treba posebnu pažnju posvetiti slijedećim elementima:

- načinu izvedbe stapnog rashladnog kompresora s pripadnom armaturom (smještaj i broj cilindara, priključci na instalaciju, zaporni ventili)
- način izvedbe kondenzatora i pripadne armature kao i način priključivanja vode
- hladnjak zraka - isparivač (smještaj i način izvedbe)
- termoekspanzijski prigušni ventil (mjesto i način priključivanja, termoosjetnik, vod za izjednačenje tlaka)
- sušilo radne tvari (smještaj mogućnost demontaže i regeneracije punjenja)
- ogledno staklo (pojava mjehura u kapljevinskom vodu)
- sigurnosna automatika (smještaj i mjesto priključivanja osjetnika presostata i termostata)
- termometri i manometri (podjela skale, pozicioniranje mjernog mjesta u procesu)
- upravljački ormar (identifikacija sklopki za ukapčanje kompresora i ventilatora)

2. Puštanje uređaja u pogon



Sl.9 Promjena θ_i i θ_o s vremenom, od početka hlađenja do projektog stanja θ_o , u vremenu t_2 postignuto je projektno stanje

Rezultati mjerenja

	Radna točka 1	RT2	RT3	RT4	RT4	RT5	RT6	RT7
T_{hl} , °C								
Tlak isparavanja p_i , bar								
Tlak kondenzacije p_k , bar								
Temp pregrijanja T_{preg} , °C								
Temp na ulazu u kondenz. T_{komp} , °C								
Temp pothlađenja, T_{poth} , °C								
Temp rashladne vode T_{w1} , °C								
Temp rashladne vode T_{w2} , °C								
Maseni protok vode q_{mw} , kg/s								

t [min]	ϑ_i [°C]	ϑ_o [°C]
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		