

MOGUĆNOSTI UŠTEDE ENERGIJE U SUPERMARKETIMA

U RADU SU ANALIZIRANI POTROŠNJA ENERGIJE U SUPERMARKETIMA I MOGUĆNOSTI ZA NJENO SMANJENJE. GLAVNI POTROŠAČI SU UREĐAJI ZA HLAĐENJE ROBE I ZA KLIMATIZACIJU I RASVETA. POTROŠNJA ENERGIJE SE MOŽE SMANJITI: KVALITETNIM PROJEKTOVANJEM, UGRADNJOM ELEKTRONSKIH TERMOEKSPANZIONIH VENTILA, PREHLAĐIVANJEM TEČNOSTI RASHLADNOG SREDSTVA, UGRADNJOM ISPARIVAČA SA DIREKTNOM EKSPANZIJOM U KLIMA-UREĐAJIMA I KORIŠĆENJEM TOPLOTE KONDENZACIJE OD RASHLADNIH UREĐAJA ZA GREJANJE U ZIMSKOM PERIODU I PRIPREMU SANITARNE TOPLE VODE. PRIKAZANA SU TEHNIČKA REŠENJA ZA HLAĐENJE I KLIMATIZACIJU U SUPERMARKETIMA KOJA FIRMA SOKO INŽENJERING VEĆ VIŠE GODINA USPEŠNO PRIMENJUJE ŠIROM ZEMLJE.

KLJUČNE REČI: hlađenje; supermarket; elektronski termoelektromagnetski ventil; ušteda energije

**MILOVAN MAVRAK, dipl. inž. maš.,
SOKO Inženjering, Beograd**

Uvod

Supermarketi su izuzetno veliki potrošači energije, što značajno utiče na troškove poslovanja takvih objekata, pa je pitanje uštede energije postalo ključno pitanje pri projektovanju sistema hlađenja, grejanja i klimatizacije takvih objekata. To pre svega važi za lance supermarketa, jer smanjenje potrošnje energije predstavlja najefikasniji način da se održe cene i postigne bolja konkurentnost.

Potrošači energije u supermarketima mogu se svrstati u sledeće grupe:

- rashladni uređaji koji rade na temperaturnom režimu od 0 do 8°C (NT),
- niskotemperaturno hlađenje (LT) (rashladni uređaji koji rade na temperaturnom režimu od -25 do -18°C),
- oprema za klimatizaciju,
- rasveta,
- ostali.

Uobičajen način hlađenja u supermarketima je sa dva rashladna agregata sa više paralelno povezanih poluhermetičkih klipnih kompresora, jedan za "plus" sistem (NT compressor pack), a drugi za "minus" sistem (LT compressor pack), sa odgovarajućim vazduhom hlađenim kondenzatorima (slika 1). Ovo je način koji se izvodi standardnom opremom koja se lako može naći na tržištu.

Klimatizacija supermarketa se najčešće izvodi sa jednom ili više klima-komora. Hladnjaci u klima-komorama su uglavnom sa hladnom vodom od 12/7°C, a grejači sa toplom vodom iz gradskog toplovoda ili vlastite kotlarnice. Hladna

POSSIBILITIES OF ENERGY SAVINGS IN SUPERMARKETS

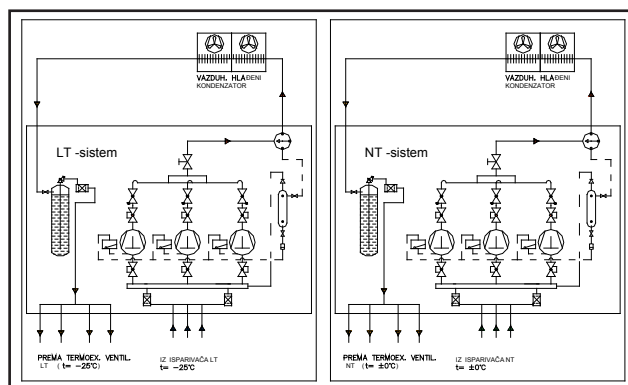
The paper deals with energy consumption and its reduction in supermarkets. The main energy consumer are units for cooling the goods and units for air-conditioning and lighting.

Energy consumption may be reduced by design quality, building in electronic thermoexpansion valves, overcooling the liquid refrigerant, building in evaporators with direct expansion in air-conditioning units and by using condensation heat generated by cooling units for heating in the winter and heating the sanitary water.

The technical solution for cooling and air-conditioning in supermarkets, which «Soko Inženjering» successfully applies in our country for many years are also presented.

KEY WORDS: refrigeration; supermarket; electronic thermoexpansion valve; energy saving

voda se dobija iz rashladnih agregata – čilera sa vazduhom hlađenim kondenzatorima, jer se i oni lako nalaze na tržištu kao gotovi prizvodi.



Slika 1. Hlađenje sa dva nezavisna sistema

Rashladna oprema je uglavnom sa mehaničkim termoelektromagnetskim ventilima, dok se savremeni čileri sve više rade sa elektronskim ekspanzionim ventilima.

Firma SOKO INŽENJERING je na osnovu višegodišnjeg rada na ovakvim objektima (projektovanju, proizvodnji dela opreme, izvođenju kompletnih radova i održavanju) i praćenja dostignuća renomiranih svetskih firmi iz ove oblasti, usvojila neka rešenja koja omogućavaju značajne uštede energije. Ta rešenja su:

1. kvalitetno projektovanje;
2. ugradnja elektronskih termoelekspanzionih ventila na svim uređajima uz odgovarajuću automatiku za upravljanje i kontrolu rada kompletnih sistema;
3. prehladivanje tečnosti rashladnog fluida u svim sistemima gde je to moguće;
4. ugradnja hladnjaka (isparivača sa direktnom ekspanzijom) u klima-komore;
5. korišćenje toplote kondenzacije od rashladne opreme za grejanje u zimskom režimu rada.

1. Kvalitetno projektovanje

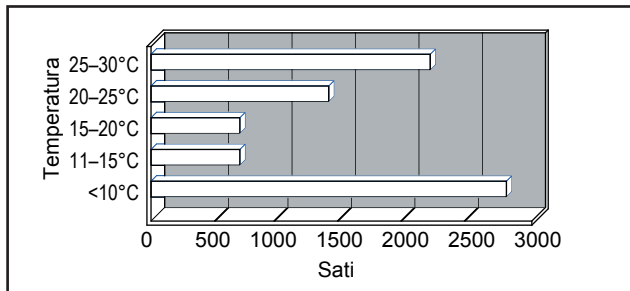
Da bi se kvalitetno projektovale sistemi hlađenja i klimatizacije, potrebno je:

- da se upozna funkcionisanje supermarketa,
- da projekat rashladnih i klima-sistema bude jedinstven,
- da potrošnja energije bude jedan od najvažnijih faktora pri izboru opreme,
- da se uzmu u obzir svi faktori koji utiču na toplotno opterećenje i veličinu rashladne i klima-opreme,
- da se pravilno odredi jednovremenost rada opreme,
- da se odredi optimalna lokacija mašinske sale,
- da se izaberu najkraće trase za instalacije,
- da se pravilno dimenzionišu svi cevovodi,
- da se izabere odgovarajući sistem za upravljanje i kontrolu rada.

2. Elektronski termoelekspanzioni ventili

Rashladna i klima-oprema u supermarketima uglavnom je sa vazдушnim hlađenjem kondenzatora. Temperatura spoljašnjeg vazduha je tokom godine promenljiva, što se odražava na pritisak kondenzacije. Da bi mehanički termoelekspanzioni ventili omogućili normalan protok rashladnog fluida kroz isparivače, mora se održavati pritisak kondenzacije dosta visoko (to su pritisci koji odgovaraju temperatura kondenzacije od 35 do 40°C).

U toku godine, temperatura vazduha niža od 20°C traje cca 65% vremena (slika 2).



Slika 2. Učestanost temperatura vazduha u toku godine (podaci za Milano)

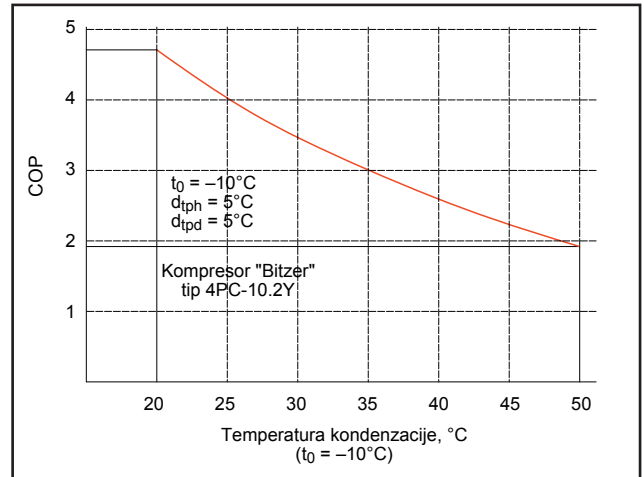
Elektronski termoelekspanzioni ventili mogu da rade potpuno normalno i pri znatno nižim pritiscima kondenzacije (npr. temperaturom kondenzacije od 20°C). Tokom godine pritisak, odnosno temperatura kondenzacije, menjaju se prema spoljašnjoj temperaturi. Na dijagramu log p-h vidi se uticaj temperature kondenzacije na rashladni kapacitet jednog kompresora i njegovu potrošnju energije (slika 4).

Odnos rashladnog kapaciteta i utrošene energije je određen rashladnim koeficijentom COP.

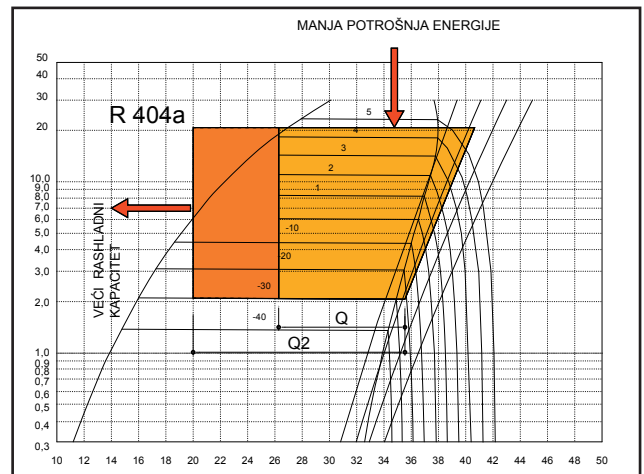
Uticaj temperature kondenzacije na rashladni koeficijent je prikazan na dijagramu COP–temperatura kondenzacije (slika 3).

Fima CAREL je vršila merenja potrošnje energije u jednom supermarketu u Milanu i upoređivala sisteme sa elektron-

skim (EEV) i mehaničkim termoelekspanzionim ventilima (TEV) [1]. Merenja su vršena nešto duže od 10 meseci rada supermarketu (od jula 2002. do maja 2003. god.). Rezultati su prikazani u tabelama 1 i 2.



Slika 3. Vrednosti koeficijenta hlađenja (COP) u funkciji temperature kondenzacije za temperaturu isparavanja -10°C



Slika 4. Dijagram log p-h – uticaj temperature kondenzacije na koeficijent hlađenja (COP)

Tabela 1. Potrošnja i ušteda energije u periodu jula 2002–maja 2003.

Period	Tehnologija	Potrošnja, kWh	Broj dana	Ušteda energije
Juli 2002 – maj 2003.	tradicionalno (TEV)	331 802	142	20%
	elektronski (EEV)	264 981	141	

Pored uštede u potrošnji električne energije, korišćenje elektronskih termoelekspanzionih ventila ima i druge prednosti:

- mnogo kraći period rada kompresora sa visokim temperaturama kondenzacije,
- ukupno kraće vreme rada kompresora,
- kvalitetnije hlađenje u dužem periodu,
- produžavanje radnog veka kompresora.

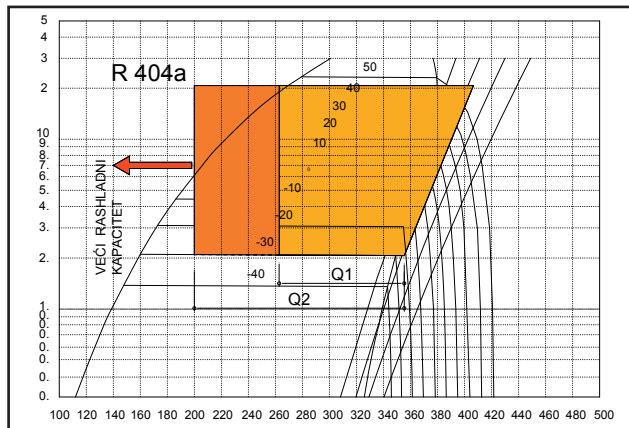
Upotreba elektronskih termoelekspanzionih ventila podrazumeva i upotrebu odgovarajućih elektronskih sistema za upravljanje i kontrolu, kako samih ventila, tako i celog rashladnog sistema, što omogućava i dodatnu uštedu u potrošnji energije.

Tabela 2. Potrošnja i ušteda energije za niske temperaturno hlađenje (LT sistem) za tri perioda

	Period	Tehnologija	Potrošnja kWh	Broj dana	kW, prosek	Ušteda energije
LT kompresori	Juli–novembar 2002.	tradicionalno (TEV)	54 634	64	35,7	19%
		elektronski (EEV)	51 517	74	28,9	
	Decembar 2002 – februar 2003.	tradicionalno (TEV)	32 978	48	28,6	33%
		elektronski (EEV)	17 063	37	19,3	
	Mart–maj 2003.	tradicionalno (TEV)	28 001	30	38,5	33%
		elektronski (EEV)	18 768	30	25,7	

3. Prehlađivanje tečnosti rashladnog fluida

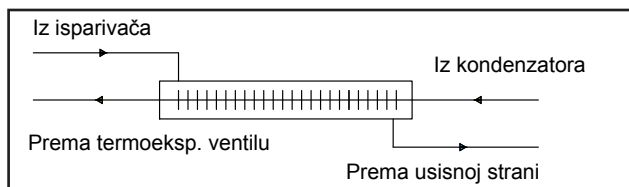
Prehlađivanjem tečnosti rashladnog fluida može se značajno povećati rashladni kapacitet uređaja, što se jasno vidi iz dijagrama log p–h (slika 5).



Slika 5. Dijagram log p–h – uticaj prehlađivanja na rashladni kapacitet

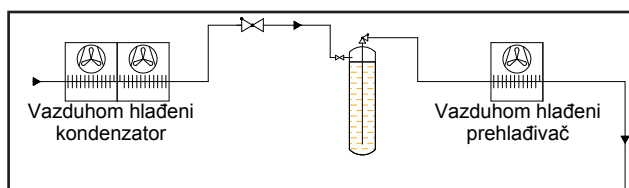
Prehlađivanje tečnosti vrši se na više načina:

- a) U prehlađivačima koji na račun pregrevavanja usisne pare vrše prehlađivanje tečnosti pre ulaska u termoekspanzioni ventil (slika 6). U ovom slučaju nema dodatne potrošnje energije, ali je pregrevavanje usisne pare ograničeno uslovima rada kompresora.



Slika 6. Prehlađivanje tečnosti usisnom parom

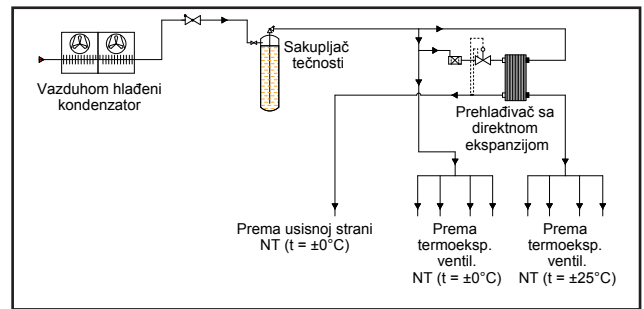
- b) U dodatnim vazduhom hlađenim razmjenjivačima koji se postavljaju iza sakupljača tečnosti (slika 7).



Slika 7. Prehlađivanje tečnosti spoljnim vazduhom

Prehlađivanje tečnosti zavisi od temperature spoljašnjeg vazduha.

- c) U razmenjivačima sa direktnom ekspanzijom, gde se za rashlađivanje tečnosti rashladnog fluida LT sistema koristi deo toplote iz NT sistema (slika 8).



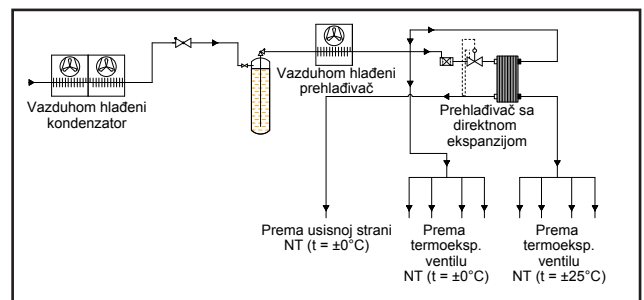
Slika 8. Prehlađivanje tečnosti u hladnjaku sa direktnom ekspanzijom

Projektni uslovi za NT sistem: $t_0 = -10^\circ\text{C}$; $t_k = 45^\circ\text{C}$; $\Delta t_{ph} = 5^\circ\text{C}$; $\Delta t_{pg} = 5^\circ\text{C}$; **COP = 2,1**.

Projektni uslovi za LT sistem: $t_0 = -30^\circ\text{C}$; $t_k = 45^\circ\text{C}$; $\Delta t_{ph} = 5^\circ\text{C}$; $\Delta t_{pg} = 5^\circ\text{C}$; **COP = 1,2**.

Ušteda je u tome što se toplota potrebna za prehlađivanje tečnosti u rashladnom sistemu LT (COP = 1,2) "pozajmljuje" iz sistema NT (COP = 2,1).

U praksi se koriste najčešće sve tri mogućnosti, kao što je prikazano na sl. 9.



Slika 9. Prehlađivanje tečnosti

4. Hladnjak klima-komore sa direktnom ekspanzijom

Prednost hladnjaka sa direktnom ekspanzijom u odnosu na hladnjak sa vodom je u tome što se izbacuje posredni fluid (voda) za prenos toplote. Time se omogućava da rashladni sistem radi sa većim rashladnim koeficijentom, pa je posledica manja potrošnja energije za isti rashladni kapacitet.

Projektni uslovi za rad čilera: $t_0 = +2^\circ\text{C}$; $t_k = 45^\circ\text{C}$; $\Delta t_{ph} = 5^\circ\text{C}$; $\Delta t_{pg} = 5^\circ\text{C}$; **COP = 3,7**.

Projektni uslovi za rad agregata: $t_0 = +7^\circ\text{C}$; $t_k = 45^\circ\text{C}$; $\Delta t_{ph} = 5^\circ\text{C}$; $\Delta t_{pg} = 5^\circ\text{C}$; **COP = 4,4**.

Kompresor SCROLL COPELAND, tipa ZR 19 M3E.

Pored uštede u potrošnji energije u rashladnom ciklusu, sistem sa direktnom ekspanzijom ima i druge prednosti: nema pumpe, cevovode i ostale delove armatura, a nema ni vodu koja se mora ispuštati u zimskom režimu rada ili mešati sa nekim sredstvom protiv zamrzavanja, što povećava troškove održavanja.

Mogućnost upotrebe direktne ekspanzije je ograničena dužinama freonskih instalacija, ali zbog pomenutih prednosti, treba je koristiti kad god je to moguće.

5. Korišćenje toplote kondenzacije od rashladnih uređaja za grejanje u zimskom periodu

S obzirom da je količina rashladne opreme instalisane u jednom supermarketu velika, to je i količina toplote kondenzacije takođe velika. Uobičajeno je da ti uređaji rade sa vazduhom hlađenim kondenzatorima, pa tu toplotu spoljašnji vazduh nepovratno odnosi.

Da bismo razumeli o kolikim količinama toplote se radi, navešćemo podatke za jedan supermarket od cca 1000 m² prodajnog prostora (što je kod nas najčešći slučaj):

- rashladni kapacitet uređaja NT $Q_{ONT} = 60$ kW;
- rashladni kapacitet uređaja LT $Q_{OLT} = 20$ kW;
- toplota za grejanje objekta $Q_G = 120$ kW.

Ukupna toplota kondenzacije za oba sistema je:

$$Q_K = Q_{KNT} + Q_{KLT}$$

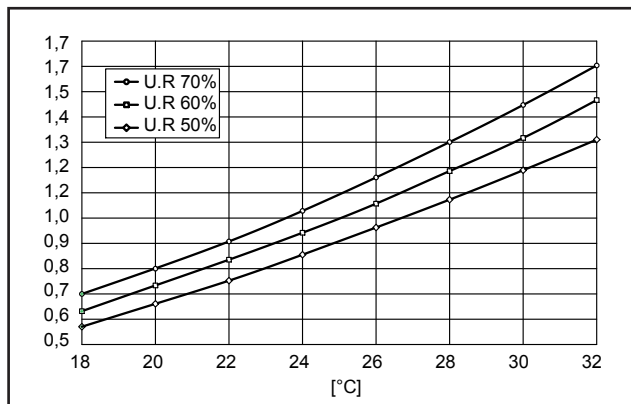
$$Q_{KNT} = 60 \times 1,35 = 81 \text{ kW}$$

$$Q_{KLT} = 20 \times 1,70 = 34 \text{ kW}$$

$$Q_K = 115 \text{ kW}$$

Ovi podaci vrede za rad rashladne opreme u ambijentu 25°C i 65% rel. vlažnosti (klasa 3 vitrina prema standardu EN441-4). U zimskom periodu rashladna oprema radi u drugim uslovima (npr. 20°C i 50% rel. vlažnosti), što značajno smanjuje potrošnju toplote za hlađenje.

Ozbiljni proizvođači rashladne opreme daju podatke o potrošnji energije u različitim uslovima rada, što se može videti iz sledećih dijagrama firme ARNEG, slike 10 i 11.



Slika 10. Koeficijent opterećenja za različite uslove okoline otvorenih NT vitrina

S druge strane rashladni kapaciteti agregata su određeni na bazi npr. 20 sati rada kompresora u toku dana.

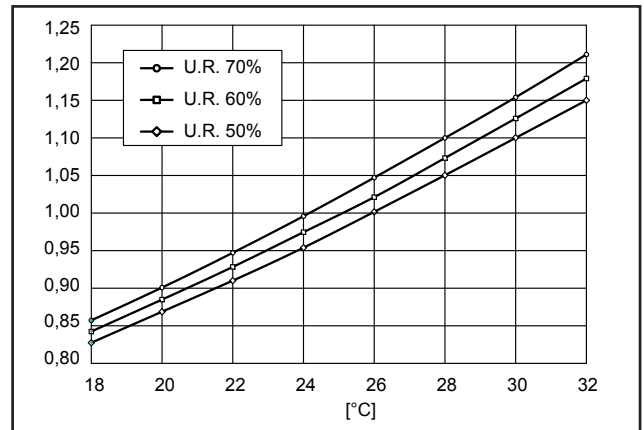
Kada se sve ovo uzme u obzir, minimalna toplota kondenzacije sa kojom se može računati u zimskom periodu je cca 60% od Q_K (u ovom slučaju cca 70 kW). Očigledno je da ova toplota zavisi od količine i vrste rashladne opreme.

Da bi se ova toplota mogla koristiti, rashladni sistemi (NT i LT) se izvode sa jednim zajedničkim vazduhom hlađenim kondenzatorom i jednim (paralelno postavljenim) zajedničkim vodom hlađenim kondenzatorom. To znači da rashladni sistem može raditi sa vazdušnim ili sa vodenim kondenzatorom.

Za takav (paralelan) rad kondenzatora postoje trokraki elektromagnetni ventili koji omogućavaju bezbedno i vrlo prosto uključivanje jednog ili drugog kondenzatora. Jedan od takvih ventila je i ventil američke firme SPORLAN koji je

namenski razvijen za ovu upotrebu, a on omogućava i paralelnu i serijsku vezu kondenzatora.

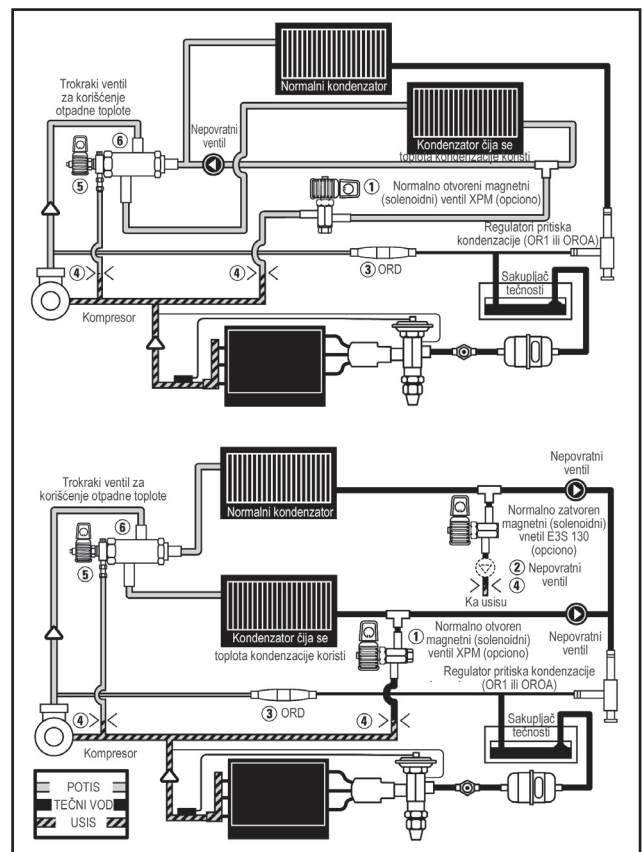
Ovaj ventil omogućava izvlačenje rashladnog sredstva iz dela instalacije koji trenutno nije u funkciji (npr. iz vazdušnog kondenzatora kada je vođeni u funkciji i obrnuto).



Slika 11. Koeficijent opterećenja za različite uslove okoline zatvorenih LT vitrina

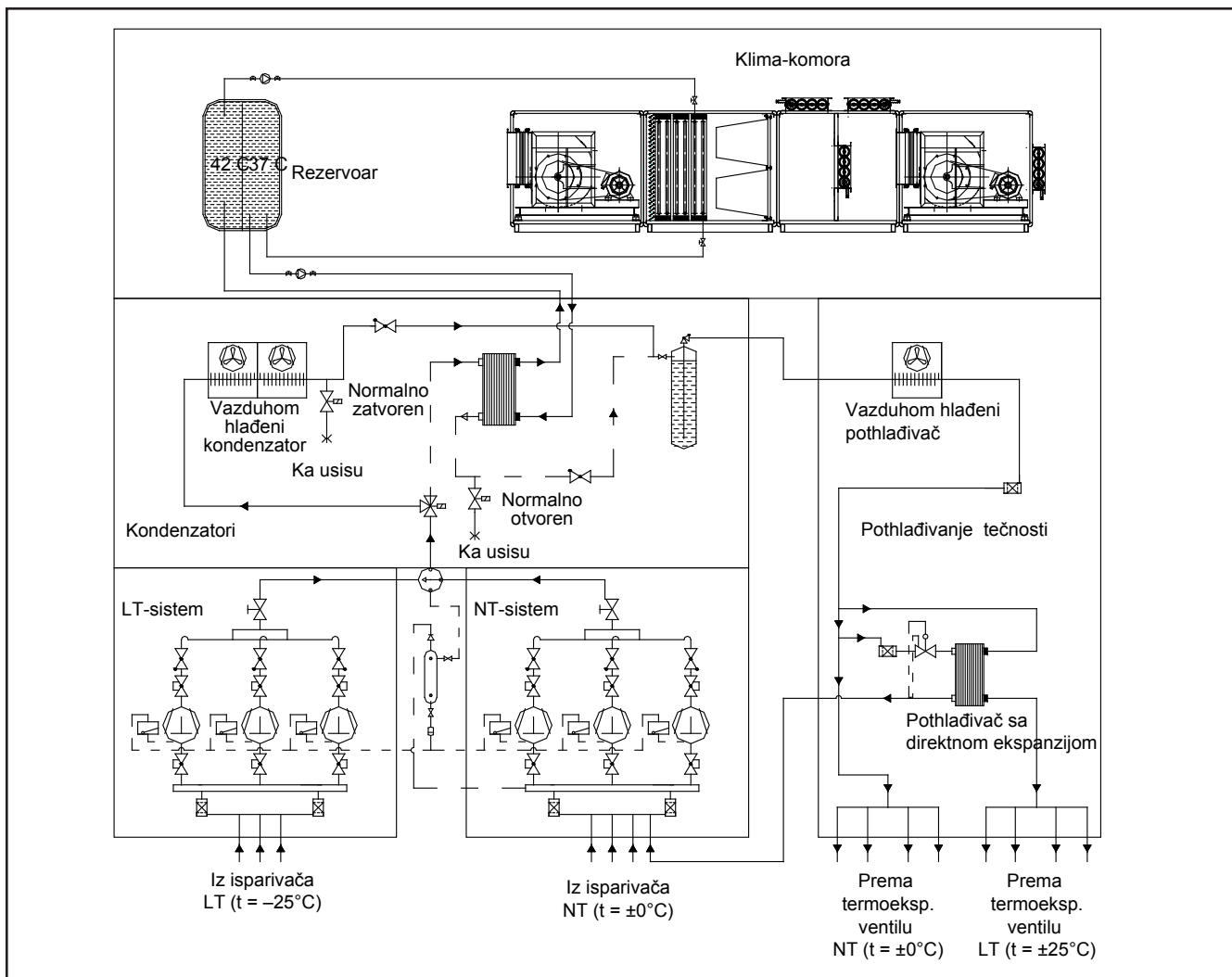
Serijska veza se koristi ako se "skida" samo toplota pregrevanja, npr. za zagrevanje tople sanitarne vode.

Na sledećim šemama su prikazane serijska i paralelna veza kondenzatora (slika 12).



Slika 12. Serijska veza (gornja šema) i paralelna (donja šema)

Topla voda koja se dobije iz vodenog kondenzatora koristi se za grejanje. Temperatura te vode je ograničena temperaturom kondenzacije rashladnog sistema i mi je ograničavamo na 42°C, a vodenim kondenzator dimenzionišemo tako da temperatura kondenzacije ne prelazi 47°C.



Slika 13. Šema kompletnog sistema

Rashladni sistemi (NT i LT) rade sa promenljivim toplotnim opterećenjima, što se manifestuje uključivanjem i isključivanjem pojedinih kompresora. Da bi se što bolje iskoristila toplota kondenzacije i da bi prebacivanje sa jednog kondenzatora na drugi bilo što ređe, potreban je rezervoar sa određenom količinom vode. Taj rezervoar se postavlja u mašinsku salu pored agregata, pa se vodi (najčešće) ne mora dodavati nikakvo sredstvo protiv zamrzavanja.

Topla voda iz rezervoara (cca 40°C) koristi se za predgrejač klima-komora. Predgrejač je uvek u funkciji i on se uvek maksimalno koristi od početka do kraja grejne sezone. Kada je toplota kondenzacije nedovoljna za zagrevanje objekta uključuje se dodatno grejanje i dodatni grejač. Temperatura vode u rezervoaru podešava se prema potrebama sistema za grejanje (max 42°C).

Toplota koja se dobija od rashladne opreme postoji uvek, čak i kad supermarket ne radi (noću, nedeljom i praznicima), jer se roba mora hladiti.

Kada se sve ovo ima u vidu, onda objektu treba obezbediti samo dodatno grejanje. U tom slučaju je to cca 50 kW (od ukupno potrebnih 120 kW).

Zaključak

Očigledno da navedena rešenja omogućuju velike uštede energije u supermarketima, gde energija predstavlja jedan od najvećih troškova u poslovanju.

Svako od rešenja je relativno jednostavno, pa povećanje investicije za rashladnu i klima-opremu ne prelazi 5%.

Navedena rešenja daju sistemu i dodatni kvalitet sa tehničke strane, što se manifestuje u kvalitetnijem hlađenju, kvalitetnijem upravljanju i kontroli sistema i dužem radnom veku opreme zbog povoljnijih uslova rada.

Za primenu ovih rešenja neophodno je da projekti rashladnih sistema i projekti klimatizacije budu jedinstveni, što je kod nas dosta retko.

Oznake

- t_0 – temperatura isparavanja [°C]
- t_k – temperatura kondenzacije [°C]
- Δt_{ph} – temperatura prehlađenja [°C]
- Δt_{pg} – temperatura pregrevanja [°C]
- COP – koeficijent hlađenja
- Q_0 – rashladni kapacitet [kW]
- Q_k – kapacitet kondenzacije [kW]
- NT – sistem za hlađenje iznad 0°C ($t_0 = -10^\circ\text{C}$)
- LT – sistem za niske temperature hlađenja ($t_0 = -30^\circ\text{C}$).