

Ispitivanje rashladnih sistema

U razgovorima o standardima i propisima, ne jednom je zaključeno da će nam u nedostatku domaćih, svakako dobro doći i valjani strani propisi. Pogotovu iz oblasti koje su u nas nedovoljno standardizovane, kao što je hlađenje.

To je osnovni razlog zbog koga smo za ovaj broj časopisa izdvojili Preporuku R 916 Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) — Ispitivanje rashladnih sistema — koja je prvi put izdata decembra 1968. godine.

UVOD

Ova Preporuka ISO ima za cilj da odredi tehničke performanse sistema za hlađenje, ali ne i da definiše kompletne instalacije ili performanse pojedinačnih komponenata.

Pojam *rashladni sistem* primenjuje se na konvencionalne tipove za kompresiju para, koji se sastoje od uređaja za komprimovanje, kondenzovanje i isparavanje, zajedno sa cevovodom i pomoćnim uređajima potrebnim za cirkulisanje rashladnog sredstva. Određivanje tehničkih performansi za druge rashladne sisteme kao što su, na primer, apsorpcione mašine ili mašine ejektorskog tipa, nije obuhvaćeno ovom Preporukom, ali se može tretirati u okviru drugih preporuka ISO. Predviđeni su jedino testovi za kompletne rashladne sisteme, koji rade normalno i u ujednačenim radnim uslovima (frekvencija, napon, snabdevanje vodom itd.) i gde je rashladno sredstvo u tečnom stanju na ulasku u ekspanzioni ventil. Vođenje opita treba poveriti osobama koje imaju potrebno tehničko znanje i iskustvo.

U slučaju da nijedna metoda iz ove Preporuke nije praktična ili prihvatljiva, moguće je ispitivanje ograničiti samo na određivanje performansi kompresora, u saglasnosti sa Preporukom R 917, ISO *Ispitivanje rashladnih kompresora*.

Jedinice

Veličina	Simbol	Po Međ. sistemu jedinica	Uobičajena metrička jedinica
1	2	3	4
Temperatura	T, Θ t, θ	K	K °C
Pritisak	p	N/m ² (Pa)	kgf/cm ²
Gustina	ρ	kg/m ³	kg/m ³
Spec. entalpija	h	J/kg	kcal _{IT} /kg
Spec. entropija	s	J/(kg·K)	kcal _{IT} /(kg·K)

	1	2	3	4
Spec. toplotni kapacitet		c	J/(kg·K)	kcal _{IT} /(kg·°C)
Spec. latentna top. isparavanja ¹			J/kg	kcal _{IT} /kg
Termička provodljivost		λ	W/(m·K)	kcal _{IT} /(h·m·°C)
Površinski koef. prenosa toplote		α	W/(m ² ·K)	kcal _{IT} /(h·m ² ·°C)
Opšti koef. prenosa toplote		K	W/(m ² ·K)	kcal _{IT} /(h·m ² ·°C)
Kinematški viskozitet		ν	m ² /s	m ² /s St
Protok		q_m	kg/s	kg/h
Toplotni učinak		Φ	W	kcal _{IT} /h
Rashladni kapacitet (opšti, neto, korisni)		Φ_0	W	fg/h
Koeficijent hlađenja		ϵ	—	—
Efikasnost		η	—	—
Snaga		P	W	kW ch
Deo površine za izm.		A	m ²	m ²
Rel. vlažnost		ϕ_p	—	—
Spec. vlažnost (odnos smese)		x	—	—

Preporučuje se da se indeksi 1, 2, 3 itd. koriste za označavanje bilo koje tačke stanja rashladnog sredstva. Manje važni indeksi su: a — atmosfera okoline, vazduh; s — zasićen, v — voda; f — tečnost za prenos toplote (slani rastvor, alkohol itd.); rashladno sredstvo je bez indeksa.

2. DEFINICIJE I PODACI O ISPITIVANJU

2.1. Definicije

2.1.1. Bruto kapacitet hlađenja. Intenzitet kojim se toplota odvodi iz spoljne sredine rashladnim sredstvom. Jedine količine toplote koje se izuzimaju iz ovog rashladnog kapaciteta su one koje rezultiraju iz unutrašnjih izmena toplote u rashladnom toku.

Treba napomenuti da se u mnogo slučajeva bruto rashladni kapacitet može dobiti iz razlike specifične entalpije rashladnog sredstva koje ulazi u kompresor i one za rashladno sredstvo koje izlazi iz kondenzatora ili pothladivača, ukoliko postoji, pomnožena sa masenim protokom rashladnog sredstva koje cirkuliše.

2.1.2. Neto rashladni kapacitet. Intenzitet pri kojem se pomoću rashladnog sredstva odvodi toplota od medijuma za hlađenje, koji se koristi za postizanje rashladnog efekta.

2.1.3. Koristan rashladni kapacitet. Intenzitet pri kome se, pomoću rashladnog sredstva ili sekundarnog medijuma za hlađenje, odvodi toplota između dve specifične tačke, uzimaju u obzir uslove korišćenja.

2.2. Podaci o opitu

2.2.1. Potrebno je iskazati jedan od tri rashladna kapaciteta data u tački 2.1.

2.2.2. U slučaju da rashladni sistem ima više stupnjeva isparavanja, potrebno je dati i međutemperature.

2.2.3. U svim slučajevima je potrebno dati sledeće podatke o potrošnji:

- primljenu snagu (izraženu u potrošnji električnosti, uglja, vodene pare, goriva, ulja itd., zajedno sa neophodnim podacima koji se odnose na karakteristike);
- voda za hlađenje, ukoliko je upotrebljena, zajedno sa potpunim podacima o napajanju.

2.2.4. Preporučljivo je da se daju sledeći radni podaci:

- upotrebljeno rashladno sredstvo;
- broj obrtaja kompresora;
- pritisak rashladnog sredstva na usisu kompresora, na ulazu u kondenzator i na izlazu iz isparivača;
- kada je specificiran opšti kapacitet hlađenja (videti tačku 2.1.1), uslovi rashladnog sredstva u ekspanzionom ventilu i na ulazu u kompresor;
- kada je dat neto rashladni kapacitet (videti tačku 2.1.2):
 - temperatura medijuma za prenos toplote na ulasku i izlasku iz kondenzatora i isparivača,
 - ili temperatura medijuma za prenos toplote, bilo onog na ulazu ili izlazu iz kondenzatora i isparivača, zajedno sa odgovarajućom brzinom protoka; prednost treba dati sledećem:
 - za evaporativni kondenzator: ulazna temperatura vode, temperatura vazduha i relativna vlažnost okolnog vazduha (uopšte, temperatura na ulasku);
 - za isparivač hlađen vazduhom: ulazna temperatura vazduha i, ukoliko je pogodno, njegova relativna vlažnost;
 - za isparivač kroz koji cirkuliše slani rastvor: izlazna temperatura slanog rastvor.

2.2.5. Nije potrebno procenjivati protok medijuma za prenos toplote, pošto je njegova temperatura oko isparivača u prostoru ili u rezervoaru praktično ravnomerna (tj. tank za slani rastvor).

3. ODREĐIVANJE PERFORMANSI

3.1. Određivanje tehničkih performansi koje se u uvodu zahtevaju, odnosi se na sledeće podatke:

3.1.1. Rashladni kapacitet dat u tački 2.2.1. treba odabrati tako da bude sposoban za praktičnu verifikaciju.

3.1.2. Odgovarajuća potrošnja, data u tački 2.2.3.

3.1.3. Uslovi rada, dati u tački 2.2.4.

3.2. Kako su uslovi opita, u praksi, predmet privremenih neklasifikovanih varijacija, preporučljivo je da podaci budu izloženi tako da budu primenljivi u toku određenog perioda opita.

3.3. Podaci treba da su podobni za verifikaciju pod uslovima rada postavljenim za opit.

3.3.1. Zato je preporučljivo da se podaci iz tačaka 2.2.1. do 2.2.3. obezbede za uslove koji variraju u blizini radnih uslova iz tačke 2.2.4, a naročito za različite vrednosti datih temperatura. Radi lakšeg interpoliranja i u cilju sprečavanja bilo kakvih doterivanja pri izračunavanju, ove vrednosti mogu se prikazati grafički, u granicama odstupanja za svaki par specificiranih temperatura. Maksimalna dozvoljena odstupanja biće kasnije izložena.

4. ORGANIZACIJA ISPITIVANJA

4.1. Opiti se odnose isključivo na rashladna postrojenja koja rade u ujednačenim radnim uslovima (videti uvod).

4.2. Preliminarni opiti doterivanja do specificiranih uslova treba da se izvedu pre početka zvaničnog opita.

4.3. Opiti treba da se izvedu pod uslovima definisanim u tački 4.4, koji treba da su što bliži radnim uslovima.

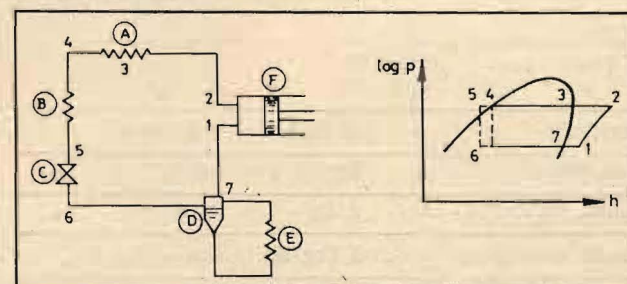
4.4. Stabilnost rada (ujednačen uslov rada) treba prvenstveno da se proverava grafičkim beleženjem uzastopnih merenja u toku dovoljno dugog vremenskog intervala, a sve dotle dok početno i krajnje stanje budu isti za sve vrednosti koje su od značaja za verifikiranje podataka.

4.5. Očitavanja koja pokazuju izuzetno odstupanje od srednjeg, treba odbaciti.

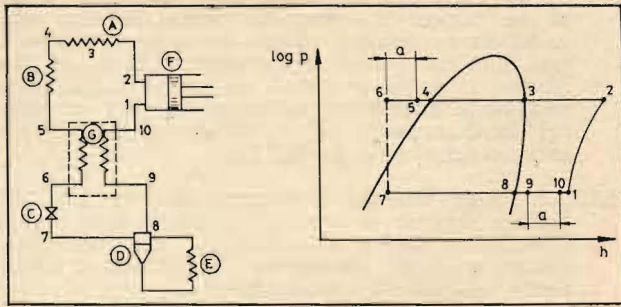
4.6. Očitavanja potrebnih za izračunavanje treba da je najmanje deset. Očitavanja treba da su vremenski pravilno raspoređena i u maksimalnim intervalima od 20 minuta.

4.7. Sva merenja treba da su usaglašena sa međunarodnim propisima koji su na snazi, ili u sag-

SI. 1. A — kondenzator, B — pothladnjak, C — ekspanzioni ventil, D — separator, E — isparivač, F — kompresor, G — unutrašnji izmenjivač toplote



Sl. 2. Unutrašnji prenos toplote; simboli isti kao na sl. 1.



lasnosti sa nacionalnim propisima prihvaćenim od onih na koje se ispitivanje odnosi. Svi meri instrumenti treba da su ispitani i propisno overeni za opite.

- 4.8. Rashladni sistem treba da je opremljen potrebnim termometarskim i manometarskim priključcima. Oni treba da su takvi, da odgovaraju nameni, da bi se izbegle greške u merenju (smrzavanje, uzdužni toplotni tok itd.).
- 4.9. Oprema potrebna za ove opite ne sme ni na koji način da utiče na radne uslove ili radne karakteristike.
- 4.10. Preporučljivo je da stakla za posmatranje budu postavljena ispred ekspanzionog ventila, kako bi služila za određivanje nivoa rashladnog sredstva. Zatim je potrebno utvrditi da li je postrojenje očišćeno pre ispitivanja.
- 4.11. Preporučljivo je da se, kad god je to moguće, izvedu dva simultana opita, a posebno pažljivo drugi, prema indirektnim metodama opisanim u tački 5.2.
- 4.12. Pažnja se obraća na uzroke netačnosti u merenjima protoka tečnosti i pare pomoću kalibrisanih merača protoka (pozicije u cevovodu, zahvatanje ulja, nečistoće u cirkulacionom toku).

5. MERENJE RASHLADNOG KAPACITETA

5.1. Direktne metode

5.1.1. Ukupni rashladni kapacitet. Kada je para rashladnog sredstva koje cirkuliše na ulasku u kompresor u zasićenom ili pregrejanom stanju tj. bez suspendovane ili zahvaćene tečnosti, bruto rashladni efekat može se izračunati iz jednačine:

$$\Phi_o = g_m (h_1 - h_5) \quad (1)$$

Stanje 1 je ono na ulaznoj strani kompresora, a stanje 5 je stanje na izlasku iz pothlađivača (preciznije rečeno na ulaznoj strani ekspanzionog ventila ili izlaznoj strani unutrašnjeg izmenjivača toplote na strani visokog pritiska, kako je prikazano na sl. 1. ili 2).

Specifične entalpije za više srodnih rashladnih sredstava date su u tabelama i dijagramima na koje upućuje tačka 10.1.

Merenje brzine masenog protoka na strani niskog pritiska treba vršiti ili toplotnim balansiranjem (videti tačku 5.1.1.1), ili kalibrisanim meračem protoka (videti tačku 5.1.1.2).

5.1.1.1. Merenje toplotnom ravnotežom. U principu, brzina masenog protoka može se dobiti iz toplotne ravnoteže ma kog elementa u cirkulacionom kolu, pod uslovom da je u njemu ostvaren isti tok.

Ukoliko je deo količine rashladnog sredstva istekao prethodno u pomoćni tok, istu je potrebno uzeti u obzir.

a) Za jednostepene instalacije, najpogodniji element utvrđivanja toplotne ravnoteže je kondenzator, kada je uređeno da služi za hlađenje

tečnošću, bez isparavanja. Protok je tada dat jednačinom:

$$q_{mw} = \frac{q_{mw} \cdot C_w \cdot t_w + \Phi_o}{\Delta h} \quad (2)$$

gde se indeks w odnosi na tečnost za hlađenje (uglavnom vodu); Δh je pad specifične entalpije rashladnog sredstva koje prolazi kroz kondenzator.

Brzina masenog protoka q_{mw} tečnosti dobija se jednom od metoda u opštoj upotrebi za merenje protoka (kalibrisani rezervoari, otvori sa definisanim otvorom itd.).

Toplotni tok Φ_c je korektivni izraz koji treba da se primeni kad god je temperatura unutrašnje površine elementa različita od temperature okoline. Ova korekcija data je formulom:

$$\Phi_c = K \cdot A (t_m - t_a) \quad (3)$$

gde je:

K — opšti koeficijent prenosa toplote između tečnosti koja cirkuliše u spolnjem delu elementa i okoline; pošto je Φ_c čisto korektivni izraz, dovoljno je tačno koristiti aproksimativnu vrednost $K = 7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $K \approx 6 \text{ kcal}_{\text{IT}}/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}$, kada element nije izolovan;

A — je veličina površine elementa koji je u dodiru sa okolinom koja ga okružuje;

t_m — je srednja temperatura spoljne površine, uzeta za ovaj korektivni izraz kao temperatura fluida u delu cirkulacionog sistema neposredno uz ovu;

t_a — temperatura okoline.

Korektivni izraz Φ_c , pozitivan ili negativan u zavisnosti od slučaja, treba da bude mali u odnosu na druge izraze u toplotnoj ravnoteži, pošto je njegovo određivanje samo približno. U ovom slučaju, potrebno je odlučiti se, prema toleranciji izloženoj u tački 8.4.1, da li je potrebno izolovati aparaturu u cilju daljeg smanjenja vrednosti ovog izraza.

Ako je tako, vrednost K će se odrediti približnom formulom za ravne ploče, koja glasi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha} + \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

gde je, prema odabranim jedinicama (videti definiciju za K, ispod jednačine 3):

$$\alpha = 7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ ili } \alpha = 6 \text{ kcal}_{\text{IT}}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C})$$

a e i λ predstavljaju debljinu izolacije i njen koeficijent termičke provodljivosti, pod uslovima koji preovladavaju.

b) Ukoliko iza kondenzatora sledi pothlađivač, toplotna ravnoteža biće prvenstveno ostvarena na dva dela aparature razmatrana zajedno.

c) Za atmosferske kondenzatore efekti isparavanja često čine uspostavljanje toplotne ravnoteže teškim, ali je ovu teškoću moguće smanjiti sledećim postupkom: kada je rashladno sredstvo bez nečistoća, brzinu protoka mase treba ustanoviti preko neke druge aparature, uglavnom pothlađivača. Zbog toga je preporučljivo da se pothlađivač opremi za uzimanje neophodnih temperaturnih očitavanja. Zbog veće tečnosti potrebno je protok rashladnog medijuma ograničiti tako, da postoji minimalna temperaturna razlika od 3°C između ulaza i izlaza iz pothlađivača. Međutim, ova metoda nije preporučljiva, ako rashladno sredstvo nije bez nečistoća.

Mora se voditi računa da ova metoda zahteva korišćenje aparature čija je zahtevana tačnost data u tački 8.4.1.

5.1.1.2. Merenje kalibrisanim meračem protoka. Brzina masenog protoka može se takođe meriti ispitanim i overenim meračima protoka, postavljenim u tački u kojoj se rashladno sredstvo nalazi u potpuno tečnom stanju, ili tamo gde se nalazi u obliku pregrejane pare, a u slučaju da su antipulsirajući uređaji obezbeđeni ili da nema pulsacije.

Merenje protoka pregrejane pare ima prednosti, pošto je uticaj izvesnih nečistoća manje zapažen nego u tečnoj fazi. U svakom slučaju, treba da se zadovolje uslovi izloženi u standardnim propisima koji su na snazi za takve uređaje.

5.1.2. Neto rashladni kapacitet

5.1.2.1. Sekundarni rashladni medijum (tečnost). Opisane su dve metode merenja.

5.1.2.1.1. Prva metoda merenja zasnovana je na formuli:

$$\Phi_o = q_{mf} c_f (\Delta t_f) + \Phi_c \quad (5)$$

gde se indeks f odnosi na sekundarni rashladni medijum.

- Maseni protok q_{mf} treba da se meri jednom od metoda u zajedničkoj upotrebi, bilo na ulazu ili izlazu iz isparivača. Za merenje malih protoka preporučuje se upotreba kalibrisanih tankova, dok se za velike protoke preporučuje korišćenje volumetrijskih merača protoka.
- Vrednosti specifične toplote c_f sekundarnog rashladnog medijuma, u zajedničkoj upotrebi, date su u izdanjima koja se odnose na tačku 10.1.
- Pad temperature t_f sekundarnog rashladnog medijuma, između ulaza i izlaza iz isparivača, treba da je najmanje 3°C. Otuda ova metoda nije primenljiva kada je takav temperaturni opseg nekompatibilan sa specificiranim uslovima ili kada se ne može ostvariti.
- Korektivni izraz Φ_c obično je mali, pa se može odrediti i aproksimativno, imajući na umu tolerancije izložene u tački 8.4.1. Ovaj korektivni izraz obuhvata:

- toplotni ekvivalent apsorbovane snage pomoćne opreme, koja može biti postavljena između tačaka merenja u sekundarnom rashladnom ciklusu (cirkulacione pumpe, mešalice itd.);
- izraz Φ_c , koji treba primeniti kad god sekundarni rashladni medijum u isparivaču nije potpuno izolovan od okoline koja ga okružuje.

Izraz se može izračunati iz odnosa:

$$\Phi_c = K \cdot A (t_a - t_m)$$

gde je:

K — koeficijent prenosa toplote između okoline i sekundarnog rashladnog medijuma; ovaj koeficijent može se izračunati koristeći jednačinu (4);

A — deo spoljne površine isparivača izložen okolini;

t_m — srednja temperatura koja je:

- aritmetička sredina ulazne i izlazne temperature sekundarnog rashladnog medijuma za elementarnu sa prinudnom cirkulacijom (suprotnostrujni aparati, istostrujni aparati itd.);
- izlazna temperatura tankova sa slanim rastvorom, opremljenih pogodnom mešalicom.

Treba napomenuti da se izraz Φ_c odnosi samo na toplotni efekat okoline koja okružuje sekundarno rashladno sredstvo koje se hladi, a da se ne odnosi na termički efekat okoline oko rashladnog sredstva. Kada se potonji efekat javi, kao na primer u aparaturi u kojoj je rashladno sredstvo u dodiru sa spoljnim zidovima spoljašnje aparature, ne treba ga uzeti u obzir pri izračunavanju neto rashladnog kapaciteta, shodno definiciji u tački 2.1.2.

5.1.2.1.2. Druga metoda, kalorimetarska metoda, uključuje zamenu normalnog toplotnog opterećenja isparivača jednim alternativnim merljivim toplotnim izvorom, sposobnim za održavanje zahtevanih ujednačenih radnih uslova.

a) Ukoliko se, kao alternativni toplotni izvor koristi vodena para, potrebno je meriti kondenzat. Da bi se obezbedila tačnost, preporučljivo je da para bude slabo pregrejana pre dolaska u dodir sa isparivačem, kao i da kondenzat bude pothlađen ispod njegove temperature zasićenja. Treba sprečiti smrzavanje kondenzata i obrazovanje vodenih džepova u zmiastoj cevi za paru, obezbeđenjem njenog kontinualnog nagiba.

b) Topla voda, specijalni slani rastvor ili električno zagrevanje, mogu se takođe koristiti kao toplotni izvori.

5.1.2.2. Sekundarni rashladni medijum (gas). U ovom slučaju merenje neto rashladnog kapaciteta zahteva određivanje protoka i hidrometarskog stanja gasa ili vazduha kao rashladnim medijuma. Ova činjenica čini merenje nešto težim. Međutim, za izvesne hladnjake sa prinudnom cirkulacijom vazduha ili gasa, nešto su mogućnija merenja koja su prihvatljiva i kompatibilna sa tolerancijama izloženim u tački 8.4.1. Koristeći ukupnu promenu entalpije H , moguće je izračunati neto rashladni kapacitet, prema sledećoj jednačini:

$$\Phi_o = H_1 - h_2 + \Phi_c$$

$$\Phi_o = q_{m1} h_1 - (q_{m2} h_2 + q_{mlik} h_{lik} + q_{mrast} h_{rast}) + \Phi_c \quad (6)$$

gde je, na ulaznom delu isparivača:

$$H_1 = h_1 q_{m1} = h_{1suv} q_{m1suv}$$

i slično, na izlaznom delu isparivača:

$$H_2 = h_2 q_{m2} = h_{2suv} q_{m2suv}$$

u zavisnosti od toga da li je uzeta specifična entalpija sekundarnog rashladnog medijuma, ili entalpija koja se odnosi na kilogram suvog gasa ovog medijuma. Protok se takođe može meriti upotrebom standardnih metoda.

Jednačina (6) može se takođe i u sledećem obliku:

$$\Phi_o = q_{m2} (h_1 - h_2) + q_{m_{teč}} (h_1 - h_{teč}) + q_{m_{rast}} (h_1 - h_{rast}) + \Phi_c \quad (7)$$

pri čemu je vođeno računa o konstantnosti brzine masenog protoka:

$$q_{m1} = q_{m2} + q_{m_{teč}} + q_{m_{rast}}$$

Entalpije h_1 , h_{1suv} , h_2 , h_{2suv} , su određene izračunavanjem ili pomoću psihrometrijske karte, merenjem temperature i relativne vlažnosti u svakoj ujednačenoj sekciji toka, na ulazu i na izlazu.

Ukoliko je vazduh zasićen, razlika entalpija može se odrediti iz izotermičkih linija u zoni magle iz istog dijagrama, a ukoliko je ventilator po-

stavljen između dve merne tačke, mereni kapacitet je tada korisni rashladni kapacitet. Neto rashladni kapacitet može se utvrditi adiranjem termičkog ekvivalenta snage koja se saopštava ventilatoru.

Korektivni izraz Φ_c određuje se kako je naznačeno u tački 5.1.2.1d, za korekciju Φ'_c .

5.1.3. Koristan rashladni kapacitet. Koristan rashladni kapacitet, kada je u obliku kvantitativnog merenja između dveju specificiranih tačaka, u cirkulacionom toku sekundarnog rashladnog medijuma može se utvrditi metodama opisanim u tački 5.1.2. za neto rashladni kapacitet, ali uzimajući u obzir korekcije uslovljene načinima iskorišćenja.

Kvalitativne karakteristike iskorišćenja ne spadaju u ove Preporuke.

5.2. Indirektne metode

Preporučuje se da indirektne metode budu korišćene:

- kada su direktne metode nepraktične ili su manje precizne od indirektnih;
- kao načini verifikacije opita direktnim metodama (videti tačku 4.11).

5.2.1. Metoda kalibrisanog kompresora. Pod ovim se podrazumeva ispitivanje kapaciteta samog kompresora, obično izvedeno u fabrici proizvođača, pod uslovima (specijalno temperature isparavanja i kondenzacije) koji odgovaraju uslovima korišćenja.

Ovaj postupak se često koristi zbog njegovih pogodnosti. Ona je, u stvari, direktna metoda za ispitivanje kompresora kao odvojene komponente, kao što je propisano u Preporuci R 917 ISO — Ispitivanje rashladnih kompresora. Međutim, ona je ovde uključena u direktne metode, zbog toga što se ova Preporuka, u svom sadašnjem obliku, odnosi na principijelno ispitivanje kompletnih sistema (videti uvod).

5.2.2. Metode zasnovane na merenju opšteg rashladnog kapaciteta. Takođe je moguće da se neto rashladni kapacitet (videti tačku 5.1.2) izvede iz merenja opšteg rashladnog kapaciteta (videti tačku 5.1.1) uvek kada postoji način utvrđivanja gubitaka kroz izolaciju, između ekspanzionog ventila i usisa kompresora.

5.2.3. Metoda zasnovana na opštoj toplotnoj ravnoteži rashladnog sistema. Ova metoda je klasirana kao indirektna metoda, pošto obezbeđuje način provere primarnih direktnih opita i treba je primeniti kad god je to moguće.

Ako se pojave bitne razlike, potrebno je ispitati uzroke. U slučaju rashladnog sistema sa direktnom ekspanzijom i koji ima kondenzator hlađen vodom bez isparavanja, primenjuje se sledeća jednačina za toplotnu ravnotežu:

$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_I + \dot{Q}_{II} + \dot{Q}_{III} - P + \dot{Q}_{IV} \quad (8)$$

ili u slučaju jednostupne kompresije:

$$\dot{Q}_o = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} (P - \dot{Q}_{II} - \dot{Q}_{IV}) \quad (9)$$

Svi izrazi u jednačinama (8) i (9) treba da budu u istom sistemu jedinica. U gornjim formulama je:

- \dot{Q}_o — bruto rashladni kapacitet;
- \dot{Q}_I — brzina odavanja toplote vodi i okolnom vazduhu u kondenzatoru i pothladivaču;
- \dot{Q}_{II} — brzina odavanja toplote vodi za hlađenje u cilindričnim omotačima, i kada

je pogodno, u međuhladnjacima (više-stupna postrojenja) i u pomoćnoj opremi;

\dot{Q}_{III} — toplotni gubitak od vrelih cevi;

P — snaga koja se predaje osovini kompresora;

\dot{Q}_{IV} — gubitak toplote iz kompresora, isključujući toplotu iz tačke \dot{Q}_{III} ;

Indeks 1 se odnosi na uslove pri ulasku u kompresor, indeks 2 na uslove pri izlasku iz kompresora, a indeks 5 na izlaz pothladivača ili, ukoliko nema pothladivača, na kondenzator.

Izraz $\dot{Q}_o / (h_1 - h_5)$ je jednak srednjoj količini protoka rashladnog sredstva q_m .

Do vrednosti \dot{Q}_{III} se može doći utvrđivanjem entalpije rashladnog sredstva na svakom kraju sistema cevi i merenjem količine masenog protoka rashladnog sredstva. Protok se može utvrditi metodom iz tačke 5.1.1.1.

Pošto su \dot{Q}_I , \dot{Q}_{II} i \dot{Q}_{III} samo korektivni izrazi, njihovo određivanje može biti približno.

6. MERENJE UTROŠKA ENERGIJE

6.1. U saglasnosti sa vidovima potrošnje specificiranim u tački 2.2.3, potrebno je meriti sledeće količine.

6.1.1. Ukupna potrošnja pogonske snage

- a) Za elektromotor, potrošnja snage se meri na krajevima motora ili u specificiranoj tački.
- b) Za druge oblike pogonske energije potrošnja energije se meri na specificiran način.

6.1.2. Efektivna mehanička snage merena ka osovini kompresora

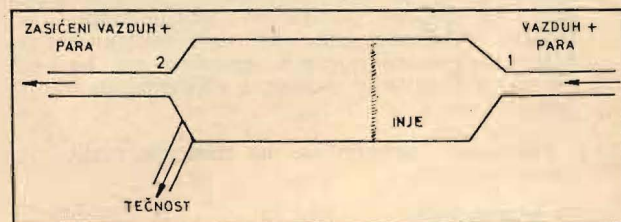
Retko je moguće meriti efektivnu snagu. Međutim, to treba činiti kad god je moguće.*

6.1.2.1. Direktna metoda. Merenjem obrtne sile pomoću bilo koje od dinamometrijskih metoda u opštoj upotrebi i ustanovljavanjem brzine osovine.

6.1.2.1. Indirektne metode

- a) Pomoću kalibrisanog elektromotora. U pitanju je zamena jednog elektromotora, poznatih ka-

Sl. 3.



rakteristika, prirodnim pogonskim sredstvima. Efektivna snaga kompresora odbija se tada od potrošnje električne energije na krajevima za napajanje motora, a u saglasnosti sa propisima koji su u opštoj upotrebi za ispitivanje elektromotora.

- b) Merenje potrošnje ukupne energije korišćenog motora, kada je efikasnost motora poznata. Ako je upotrebljen kaišni prenos i nema podataka o njegovoj efikasnosti, može se usvojiti pogonska efikasnost od 0,95 do 0,97.

6.2. Ova Preporuka može se primeniti i na bilo koji pomoćni uređaj, koji je uključen u rashladni sistem.

* Zbog mogućih ozbiljnih poteškoća u praksi, merenje indicirane snage u konjskim snagama nije obuhvaćeno ovom Preporukom.

7. MERNI INSTRUMENTI

- 7.1. Temperatura se može meriti upotrebom termometra na bazi širenja fluida, termoparovima, otpornim termometrima ili bilo kojom drugom poznatom metodom. Za temperature koje se koriste za izračunavanje rashladnog kapaciteta i prenosa toplote u kondenzatoru, gradiranje termometra treba da je u takvom odnosu sa temperaturnim razlikama, da se mogu obezbediti tolerancije iz tačke 8.4.1. Za sve druge temperature, baždarenje treba da omogući očitavanje od 0,5°C.
- 7.2. Temperature kondenzacije i isparavanja treba da su izvedene iz merenja pritiska, saglasno pogodnim tabelama osobina rashladnog sredstva (videti tačku 4.10). Takve tabele date su u publikacijama pomenutim u tački 10.1, za rashladna sredstva u opštoj upotrebi. Pritisci treba da se mere pomoću U-cevi ili ispitanim i overenim uređajima za merenje pritiska, sa stepenom tačnosti koji dozvoljava izračunavanje odgovarajućih temperatura, sa tolerancijom manjom od 0,5°C. (Iz ovog razloga upotreba manometara sa živim stubom preporučuje se za merenje niskih pritiska.)

8. TOLERANCIJE

- 8.1. Za svaku vrednost koju treba meriti, treba dati odgovarajuću indikativnu pozitivnu ili negativnu toleranciju.
- 8.2. Da bi se došlo do ove tolerancije, uzima se srednja greška (kvadrat srednje greške) svih merenja uključenih u izračunavanje odgovarajuće vrednosti; ova vrednost treba da se zaokruži na najbliži ceo broj.
- 8.3. Numeričke vrednosti rashladnog kapaciteta i utrošene snage su funkcije merenih količina. Rezultujuća greška za bilo koju vrednost može se izračunati kao funkcija grešaka u svakoj od merenih količina, koristeći zakon kvadrata za kombinovanje slučajnih grešaka. Između merenih količina koje treba da se uzmu u obzir, nalaze se i temperature isparavanja i kondenzacije.
- 8.4. Tolerancije za vrednosti rashladnog kapaciteta i apsorbovane snage ne treba da pređu vrednosti postavljene u tačkama 8.4.1. i 8.4.2. Ove vrednosti su usvojene sledeći uporednu studiju postojećih nacionalnih standarda i dokumenata. (Uslovi stabilnosti rada dati su u sekciji 4. i posebno se ponovo pominju, posebno oni koji utiču na snabdevanje vodom i električnom energijom.)

8.4.1. Tolerancije primenljive na merenje rashladnog kapaciteta

— prema tački	5.1.1.1a	=	6%
— prema tački	5.1.1.1b	=	6%
— prema tački	5.1.1.1c	=	9%
— prema tački	5.1.1.2.	=	7%
— prema tački	5.1.2.1.1.	=	7%
— prema tački	5.1.2.1.2a	=	7%
— prema tački	5.1.2.1.2b	=	7%
— prema tački	5.1.2.2.	=	10%
— prema tački	5.2.3.	=	10%

8.4.2. Tolerancije primenljive na merenje apsorbovane snage

— prema tački	6.1.1a	=	5%
— prema tački	6.1.1b	=	5%
— prema tački	6.1.2.1.	=	5%
— prema tački	6.1.2.2.	=	5%

- 8.5. Pri merenju snage koju troše pomoćne mašine (pumpe, ventilatori, motori itd.), dozvoljene opšte tolerancije su one navedene u nacionalnim ili odgovarajućim međunarodnim propisima.

- 8.6. Tolerancije preporučene u tačkama 8.4.1. i 8.4.2. primenjuju se u normalnim industrijskim opitima. Opiti sa preciznošću (kao na primer oni izvedeni u laboratoriji) mogu dati znatno više tačnosti.

- 8.7. Kada se granice ovih tolerancija prekorače, potrebno je utvrditi razloge prekoračenja. Ako se granice znatno prekorače, preporučuje se izvođenje novog opita pod povoljnijim uslovima.

9. ISKAZIVANJE REZULTATA

- 9.1. Vrednost koja treba da se prihvati kao merena količina je srednja aritmetička vrednost momentanih očitavanja, uzetih u toku opita.
- 9.2. Vrednost sastavnih količina treba odrediti uvođenjem ovih srednjih vrednosti u razne formule date u ovoj Preporuci, kao i u druge na kojima se ova Preporuka zasniva.
- 9.3. Kada se vrednosti merene količine nađu unutar granica iz tačaka 8.4.1. i 8.4.2, treba da se usvoji srednja vrednost dva opita, simultana ili konsektivna, pri čemu je neophodno da razlika između dva rezultata ne prelazi 10% od manje vrednosti.
- 9.4. Izveštaj o opitu treba da sadrži:
- podatke o opitu (videti tačku 2.2);
 - metodu ili metode upotrebene u opitu;
 - merna očitavanja;
 - proračun merenih rashladnih kapaciteta;
 - izračunavanje odgovarajuće greške;
 - podatak o poreklu usvojenih fizičkih konstanti;
 - sva druga korisna zapažanja o toku izvođenja opita.

10. TABELE I DIJAGRAMI

- 10.1. Potrebno je dati podatke o poreklu svih usvojenih numeričkih vrednosti. Ovo se odnosi na najnovija izdanja publikacija specijalizovanih vodećih nacionalnih ili međunarodnih organizacija.
- 10.2. Kada između raznih preporučenih tabela u odnosu na izvesne fizičke konstante postoje razlike, treba navesti jednu od preporučenih grupa tabela i dijagrama koja isključuje sve druge u vezi sa opitom na koji se odnose.

**ĐURO ĐAKOVIĆ**
SLAVONSKI BROD-JUGOSLAVIJA

 **oriolik**


Termomehanika