

Stručni rad

Ključne reči: industrijsko hlađenje; amonijčni rashladni sistemi; smanjenje punjenja; pumpni amonijačni sistemi; ušteda energije; amonijačni sistemi sa direktnom ekspanzijom; amonijak; prirodni rashladni fluid

Key words: industrial refrigeration; ammonia refrigeration systems; charge reduction; pump ammonia systems; energy saving; ammonia systems with direct expansion; ammonia; natural refrigerant

SMANJENJE PUNJENJA AMONIJAČNIH RASHLADNIH SISTEMA I POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI – DANFOSS „NEOCHARGE“

REDUCTION OF AMMONIA CHARGE IN REFRIGERATION SYSTEMS AND INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY – DANFOSS „NEOCHARGE“

Pavle BABIĆ

Danfoss d.o.o., Tehnika Hlađenja, Beograd

Vladimir BELJANSKI*

Danfoss d.o.o., Tehnika Hlađenja, Beograd

* *vladimir.beljanski@danfoss.com*

Luca ANGLOLANI

Danfoss S.r.l., Pessano con Bornago, Milano, Italy

Smanjenje punjenja rashladnog fluida u amonijačnim rashladnim sistemima postaje sve značajnije uzimajući u obzir donošenje oštrijih mera u pogledu bezbednosti i zaštite zdravlja na radu i zaštite životne sredine. Ključna stvar kod redukcije punjenja amonijaka je da se prilikom implementacije ni na koji način ne ugrozi efikasnost rada sistema nego da se čak optimizacijom procesa efikasnost rada i poveća.

Primena tehnologije za smanjenje punjenja amonijaka (Danfoss NeoCharge) može se primeniti kako na pumpne sisteme (preplavljenje isparivače, sa cirkulacionim brojem većim od 1), tako i na amonijačne sisteme sa direktnom ekspanzijom. Kod pumpnih sistema ključna stvar je sniziti i kontrolisati cirkulacioni broj amonijaka u svim radnim režimima. Na taj način dolazi do drastičnog smanjenja punjenja i povećanja efikasnosti sistema usled manjeg pada pritiska u usisnom cevovodu. Kod sistema sa direktnom ekspanzijom ne kontroliše se cirkulacioni broj već se umesto pregrevanja na izlazu iz isparivača reguliše stepen vlažnosti parne faze. Na taj način, dolazi do povećanje efikasnosti sistema, jer se zadnji (izlazni deo) isparivača ne koristi za pregrevanje već isparavanje i rezultuje manjoj temperaturnoj razlici u isparivaču – slično kao kod preplavljenih isparivača. Kod sistema sa direktnom ekspanzijom ne dolazi do smanjenja punjenja amonijaka već samo do povećanja efikasnosti (što ne predstavlja problem jer ove sisteme već odlikuje nisko punjenje amonijaka).

Danfoss-ovo tehničko rešenje, nazvano NeoCharge, sastoji se od posebnog senzora kojim se definiše stanje parne faze (heated sensor), senzora pritiska, senzora temperature, kontrolnog ventila (pulsnog ili modulacionog) i pripadajućeg kontrolnog sistema sa specijalnim patentiranim algoritmom. Rešenje je primenljivo kako na pumpne tako i na sisteme sa direktnom ekspanzijom.

Reducing the charge of refrigerant in ammonia refrigeration systems is becoming more and more important, taking into account the adoption of stricter measures in the field of safety and health protection at work and the protection of the environment. The key thing in the reduction of ammonia

charge is that during implementation of this technical solution, the efficiency of the system is not jeopardized in any way, but even by optimizing the process, the efficiency is increased.

The application of ammonia charging reduction technologies (Danfoss NeoCharge) can be applied both to pumping systems (evaporator flooding, with a circulation number greater than 1) and to direct expansion ammonia systems. With pumping systems, the key thing is to lower and control the circulation number of ammonia in all operating modes. In this way, there is a drastic reduction in charge and an increase in the efficiency of the system due to a smaller pressure drop in the suction pipeline. In systems with direct expansion, the circulation number is not controlled, but instead of overheating at the exit from the evaporator, the degree of liquid in the vapor phase is regulated. In this way, there is an increase in the efficiency of the System, because the outlet of the evaporator is not used for overheating but evaporation and results in a smaller temperature difference in the evaporator – similar to a flooded evaporator. In systems with direct expansion, there is no reduction in ammonia loading, but only an increase in efficiency (which is not a problem because these systems are already characterized by low ammonia loading).

Danfoss' technical solution, called "NeoCharge", consists of a special sensor that defines the quality of the vapor phase (heated sensor), a pressure sensor, a temperature sensor, a control valve (pulse or modulating) and an associated control system with a special patented algorithm. The solution is variable both on pumps and on systems with direct expansion.

1. Uvod – Industrijska rashladna postrojenja sa prirodnim rashladnim fluidima

Industrijski rashladni sistemi su namenjeni za potrebe hlađenja malih, srednjih i velikih rashladnih kapaciteta, koji se koriste u različitim industrijama, kao što su prerada hrane i pića, hladnjače za skladištenje zamrznute robe, farmaceutski i hemijski proizvodni procesi.

Industrijski rashladni sistemi trebaju da zadovolje specifične potrebe industrije i najčešće se sistemi projektuju da rade sa prirodnim rashladnim fluidima, kako bi obezbedili efikasno hlađenje i kontrolu temperature za prostore ili industrijske procese.

Rashladni fluid koji se najčešće koristi u industrijskim rashladnim sistemima je R717 – Amonijak (NH_3), koji ima odlične termodinamičke osobine, visoku sposobnost prenosa toplote i nizak uticaj na životnu sredinu, što ga čini poželjnim izborom za mnoge primene.

Amonijak ima nulti potencijal oštećenja ozona ($\text{ODP} = 0$) i nulti potencijal globalnog zagrevanja ($\text{GWP} = 0$). Ne doprinosi uništavanju ozonskog omotača niti značajno doprinosi klimatskim promenama, što ga čini ekološki prihvatljivim izborom rashladnog fluida.

Iako je amonijak efikasno rashladno sredstvo, on je takođe toksičan i zapaljiv – B2L klasifikovan rashladni fluid. Zbog toga se moraju primeniti odgovarajuće mere bezbednosti prilikom projektovanja, ugradnje i eksploatacije rashladnih sistema sa amonijakom.

Upotreba amonijaka kao rashladnog sredstva regulisana je raznim bezbednosnim propisima i standardima, kao što su smernice Međunarodnog instituta za hlađenjene (IIAR) i lokalni propisi. Usklađenost sa standardima osigurava bezbednu i odgovornu upotrebu rashladnih sistema sa amonijakom.

Uzinamjući u obzir donošenje oštrijih mera u pogledu bezbednosti i zaštite zdravlja na radu, kao i zaštite životne sredine u slučaju akcidenta u radu sistema, smanjenje punjenja rashladnog fluida u amonijačnim rashladnim sistemima postaje sve značajnije.

Potreba industrije i tržišta je dovela do razvoja i primena tehnologije za smanjenje punjenja amonijaka „Danfoss NeoCharge“, koje kao tehničko rešenje može se primeniti, kako na pumpne sisteme (preplavljenje isparivače, sa cirkulacionim brojem većim od 1), tako i na amonijačne sisteme

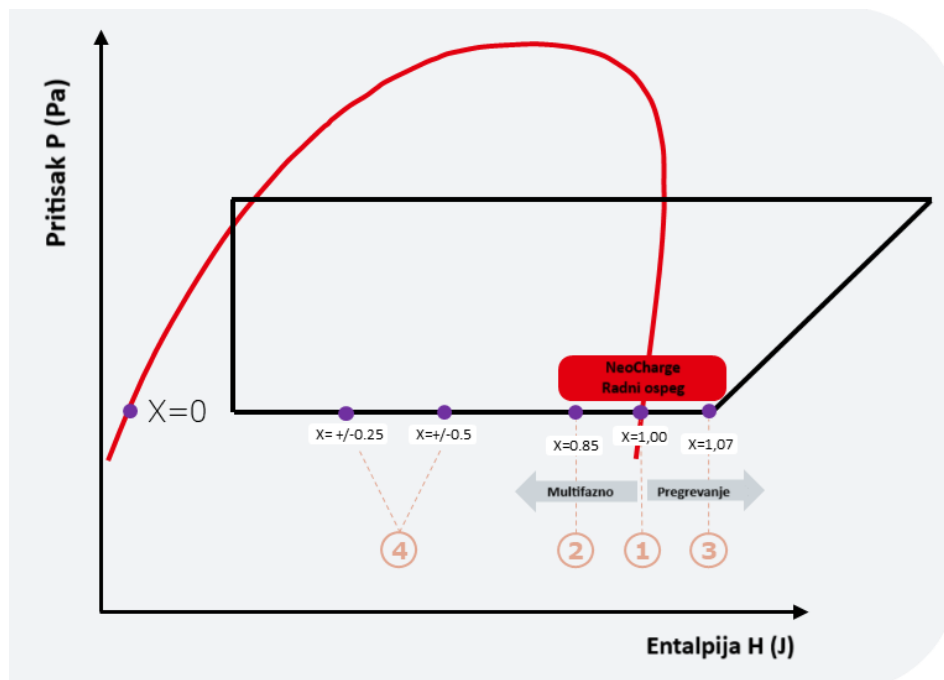
sa direktnom ekspanzijom. Ključna stvar kod smanjena punjenja amonijaka je da se prilikom implementacije ovog tehničkog rešenja, ni na koji način ne ugrozi efikasnost rada sistema, nego da se optimizacijom procesa razmene toplote kod isparivača, efikasnost rada i poveća.

Povećanjem efikasnosti rada isparivača možemo indirektno uticati na potrošnju energije celog sistema, što je jedan od najznačajnijih faktora u radu industrijskih postrojenja. Kada se uzme u obzir da je rad ovakvih postrojenja celodnevni i tokom cele godine, relativno mala unapređenja dovode do velikih ušteda.

1.1. Danfoss NeoCharge – Smanjenje punjenja amonijaka u rashladnom sistemu

Danfoss-ovo novo tehničko rešenje sa komercijalnim imenom *NeoCharge*, sastoji se od posebnog senzora (heated sensor – heat assisted superheat signal), senzora pritiska, senzora temperature, kontrolnog ventila koji u zavisnosti od izbora može da ima pulsnu ili modulacionu regulaciju, kao i pripadajućeg upravljačkog sistema sa specijalnim patentiranim algoritmom za ovu primenu. Rešenje je primenljivo kako na pumpne tako i na sisteme sa direktnom ekspanzijom.

Primenom ovog tehničkog rešenja, kod pumpnih sistema se utiče na regulaciju cirkulacionog broja unutar izmenjivača, kako bi on bio približnoj vrednosti 1 do 1,5. Stanje amonijačne pare na izlazu iz izmenjivača je približno suvozasićenom stanju. NeoCharge tehničko rešenje ima radni opseg gde se kvalitet pare kreće u opsegu blago vlažne ($x = 0.85$) do blago pregrejane ($x = 1.07$) suvozasićene pare. Radni opseg NeoCharge tehničkog je prikazan na log p-h dijagramu (Slika 1). Kod sistema koji imaju direktnu ekspanziju, oni su već tradicionalno sa smanjenim punjenjem, ovim tehničkim rešenjem se unapređuje efikasnost rada izmenjivača toplote održavajući nivo pregrevanja što niže vrednosti.

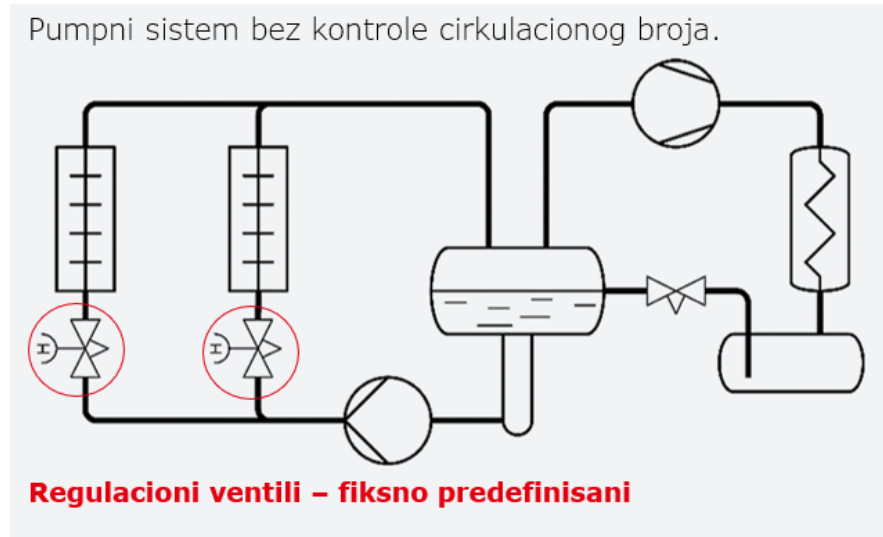


Slika 1. Radni opseg NeoCharge tehnologije prikazan na log p-h dijagramu

1.2. Isparivači u pumpnom amonijačnom rashladnom sistemu

Kod tradicionalnih pumpnih amonijačnih sistema, najveća količina rashladnog fluida se nalazi na strani niskog pritiska – u izmenjivačima toplote i separatorima tečnosti. Pumpni sistemi su se projektovani sa preplavljenim isparivačima, čiji su cirkulacioni brojevi najčešće vrednosti u opsegu

od 2-5 cirkulacija. Na izlazu iz isparivača se nalazi vlažna para, koja u zavisnosti od cirkulacionog broja ima različit nivo vlažnosti i čiji se stepen vlažnosti najčešće kreće u kvalitetu $x = 0.25$ do $x = 0.5$. Tradicionalni pumpni sistemi nemaju kontrolu cirkulacionog broja, odnosno kontrolu količine tečne faze koja dolazi u isparivač. Ovakvi sistemi poseduju fiksno predpodešene regulacione ventile, u svrhu hidrauličkog balansiranja sistema sa ciljem ravnomerne distribucije rashladnog fluida do svih potrošača. Šematski prikaz tradicionalnog pumpnog sistema bez kontrole cirkulacionog broja je prikazan na *Slici 2*.



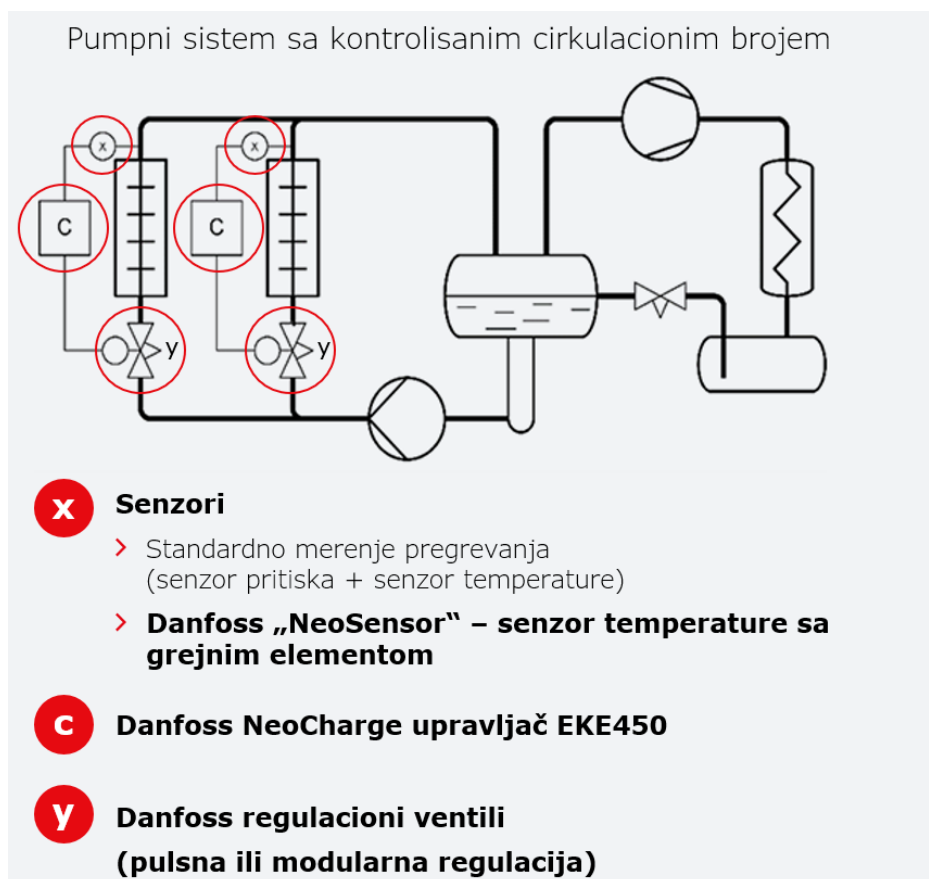
Slika 2. Šematski prikaz pumpnog sistema bez kontrole cirkulacionog broja

Primenom tehničkog rešenja NeoCharge na postojeće ili novoprojektovane pumpne sisteme možemo da kontrolišemo cirkulacioni broj u isparivačima tako da vrednost bude približno 1-1,5 cirkulacija, tako da je stanje pare na izlazu iz izmenjivača blisko suvozasićenom stanju.

Šematski prikaz pumpnog sistema sa kontrolom cirkulacionog broja koristeći tehničko rešenje NeoCharge je prikazano na *Slici 3*.

Kao posledicu primene ovog tehničkog rešenja, imao potrebu za manjim punjenjem sistema usled kontrole cirkulacionog broja i kontrole količine tečnosti koje je neophodna prema stvarnoj potrebi toplotnog opterećenja isparivača u datom trenutku. Manja količina rashladnog fluida u sistemu zahteva i instalaciju manjeg gabarita, što se može odraziti prilikom dimenzionisanja separatora i cevovoda. Primenom ovog tehničkog rešenja se indirektno utiče na povećanje sveukupne efikasnosti rashladnog sistema, jer sa manjom količinom tečnosti imamo i manju potrošnju energije za pogon sistemskih pumpi od separatora do potrošača. Efikasnost povećava i manja potrošnja energije za pogon rashladnih agregata, obzirom da na usisnoj strani imamo skoro suvozasićenu paru, za koju je potreban manji napor u odnosu na vlažnu paru koju imamo kod tradicionalnih pumpnih sistema, bez regulacije cirkulacionog broja. Primenom tehničkog rešenja NeoCharge moguće je smanjiti i količinu punjenja rashladnog fluida do 40% u odnosu na tradicionalne pumpne sisteme. To tehničko rešenje je dinamički prilagodljivo, jednostavno za implementaciju, a količina tečnosti je stabilna i kontinuirano kontrolisana tokom rada isparivača u svim režimima rada. Veliki potencijal je u činjenici da postojeće instalacije mogu proširiti kapacitet, sa istim punjenjem amonijaka koje već poseduju.

Princip rada tehničkog rešenja NeoCharge je da kontrolu cirkulacionog broja vrši na nivou ce-log isparivača, a ne za svaki strujni krug posebno, što se može videti na *Slici 4*.



Slika 3. Šematski prikaz pumpnog sistema sa kontrolom cirkulacionog broja

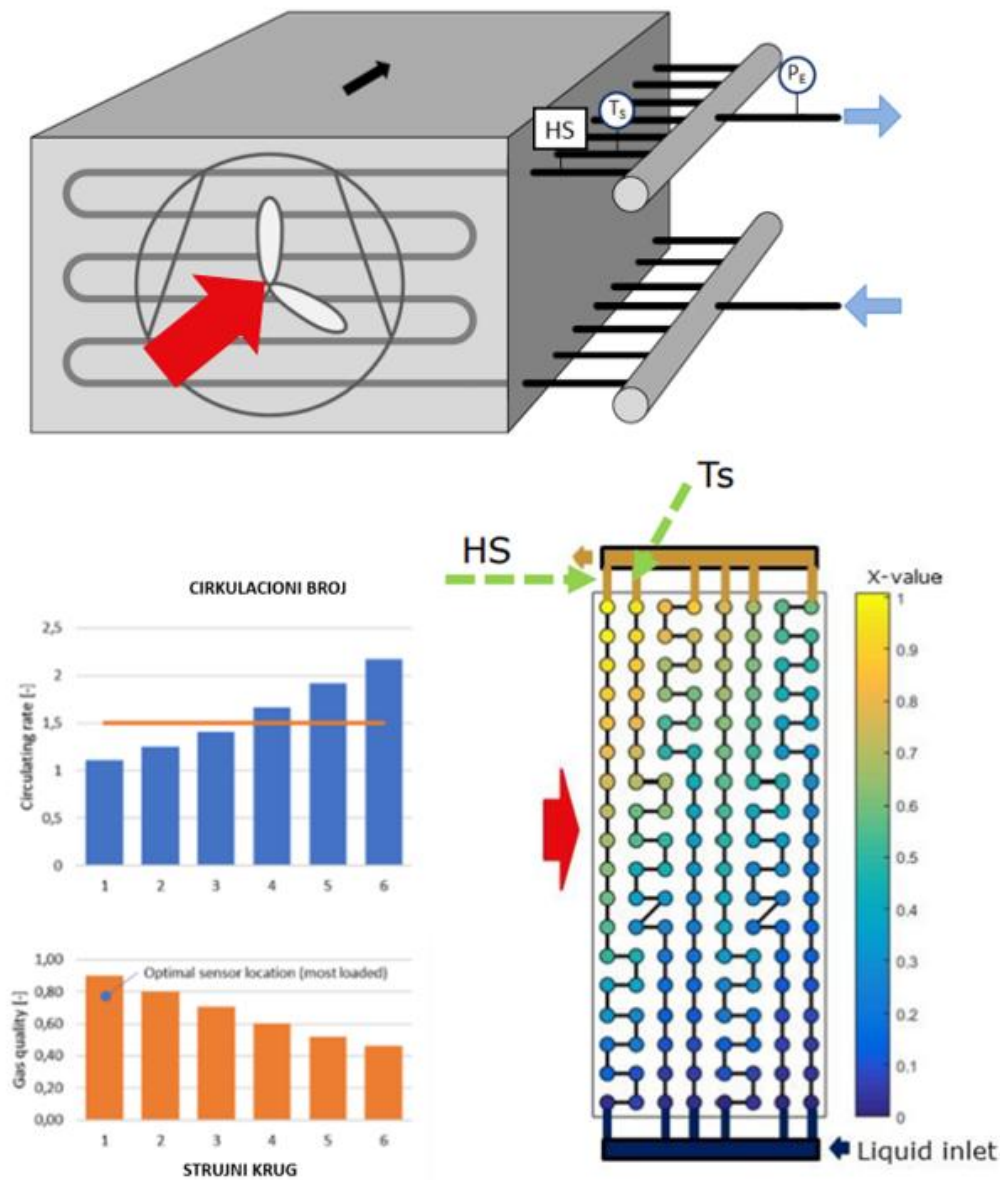
Na Slici 4 prikazan je isparivač koji ima napajanje amonijaka sa donje strane. Temperaturski senzor NeoCharge sa grejnim elementom se postavlja na termički najopterećeniju cev u isparivaču, koja je obično prvi strujni krug u pravcu strijanja vazduha kroz isparivač. Temperaturski senzor za merenje temperature pregrevanja se postavlja na sledeću cev po opterećenju, obično drugi sledeći strujni krug u pravcu strujanja vazduha. Senzor pritiska se postavlja na zajedničku cev, koji je ujedno i izlazni priključak isparivača.

Ova tri senzora daju informacije i ulazne analogne promenljive signale koje se obrađuju u namenskom upravljaču NeoCharge EKE450, koji poseduje patentirani algoritam. Upravljač uz pomoć izvšnog regulacionog ventila, koji može biti pulsog (sekventnog) ili modulacionog (kotinualnog dejstava), kontroliše količinu tečnosti koja je potrebna isparivaču, kako bi na izlazu isparivača kvalitet pare bio u kontrolisanom opsegu. Oba temperaturska senzora (sa grejnim elementom i standardni) su nalegajućeg tipa i jednostavni su za montažu.

1.3. Isparivači sa direktnom ekspanzijom u amonijačnom rashladnom sistemu

Tradicionalni amonijačni sistemi sa direktnom ekspanzijom već imaju nisku količinu punjenja sistema rashladnim fluidom, i na dodatno smanjenje količine rashladnog fluida se ne može uticati. Šema i princip rada kod tradicionalne kontrole direktne ekspanzije je prikazana na Slici 5. Isparivač je opremljen standardnom armaturom i senzorikom za kontrolu i merenje pregrevanja kod sistema sa direktnom ekspanzijom. Na izlazu isparivača se meri pritisak isparavanja i temperatura gasa, na osnovu kojih upravljač preračunava nivo pregrevanja i upravlja radom ekspanzionog ventila. Kako bi sistem dobro i sigurno funkcionisao neophodno je obezbediti minimalno stabilno pregrevanje rashladnog fluida – MMS. Pregrevanje je neophodno obezbediti kako bi zaštitili kompresore od uslova

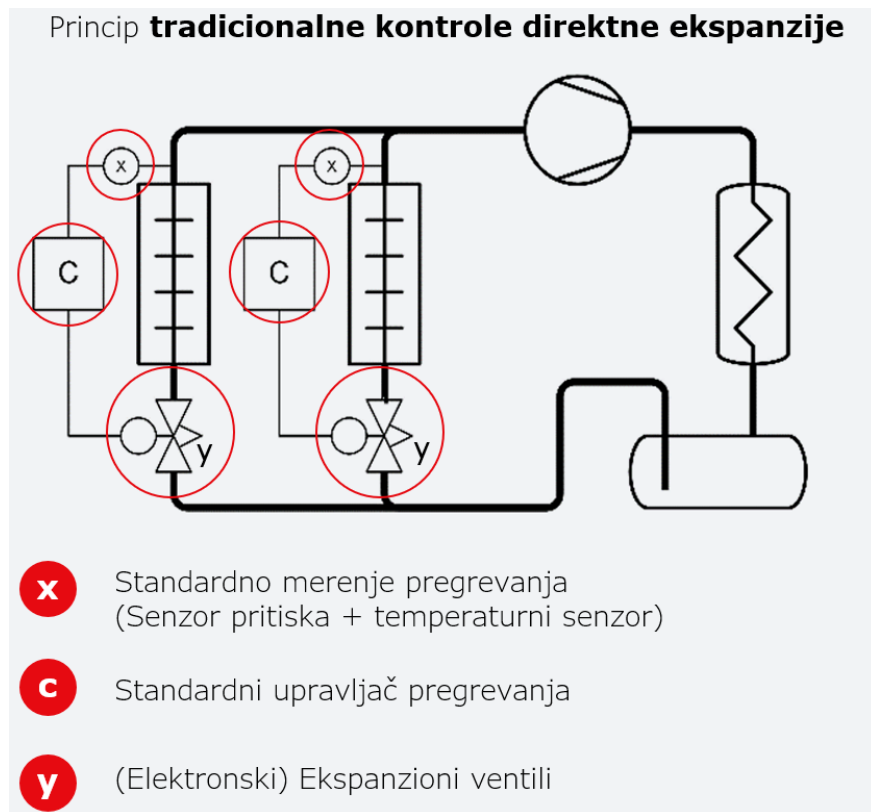
rada u kojim bi tečna (nekompresibilna) faza dospela do njih i izazvala tečni udar, usled čega dolazi do mehaničkih oštećenja. Pregrevanje zahteva da temperatura isparavanja bude niža, kako bi se ova temperaturna razlika kompenzovala. Sa snižavanjem temperature isparavanja, povećava se potošnja energije usled promene stepena kompresije u sistemu. Zbog činjenice da amonijačni sistemi sa tradicionalnom kontrolom direktne ekspanzije, nisu efikasni i pored činjenice da imaju nisko punjenje sistema rashladnim fluidom, retko se sreću u praksi. Primena tehničkog rešenja NeoCharge na ovakav tip sistema je isključivo u svrhu povećanja efikasnosti rada.



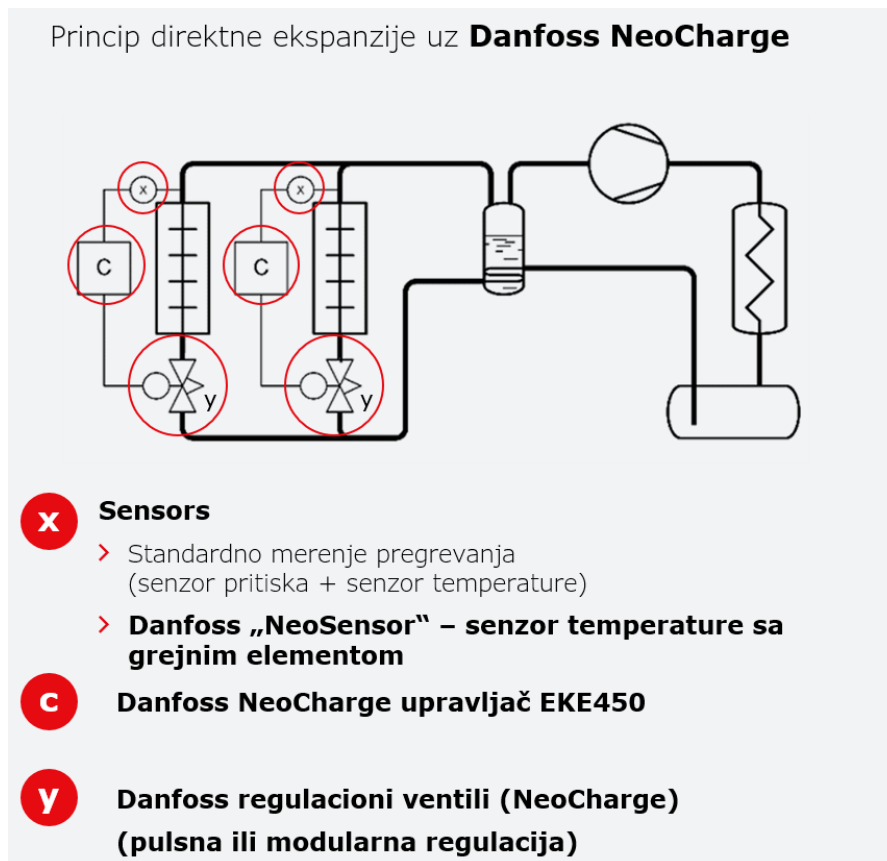
Slika 4. Kontrolisano recirkulaciono napajanje isparivača, kontrola cirkulacionog broja za ceo isparivač

Šema i princip rada tehničkog rešenja NeoCharge direktne ekspanzije je prikazana na Slici 6. To tehničko rešenje direktne ekspanzije konceptualno podseća na tradicionalni način kontrole direktne ekspanzije. Pored merenja temperature gasa odnosno pare na izlazu iz isparivača i pritiska isparavanja, imamo i temperaturski senzor NeoCharge sa grejnim elementom. Temperaturski senzor NeoCharge se postavlja na termički najmanje opterećenu cev u isparivaču, koja je obično poslednji

strujni krug u pravcu strijanja vazduha kroz isparivač. Merna mesta na isparivaču sa direktnom ekspanzijom su prikazana na Slici 7.



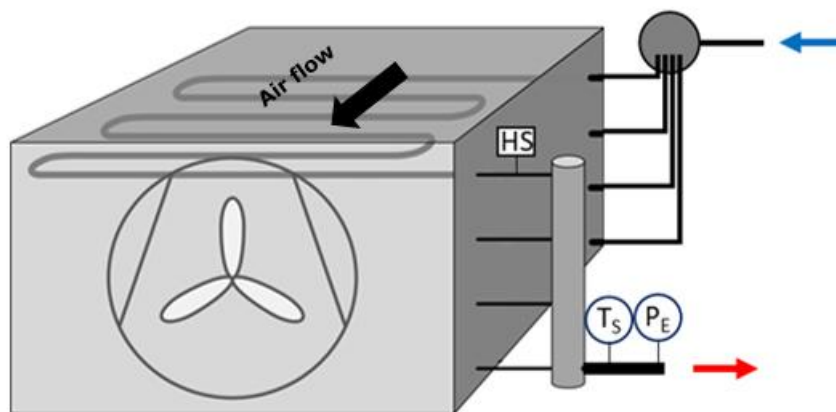
Slika 5. Šematski prikaz sistema sa tradicionalnom direktnom ekspanzijom



Slika 6. Šematski prikaz sistema NeoCharge sa direktnom ekspanzijom

Ova tri osetna elementa daju informacije i ulazne analogne signale koji se obrađuju u namenskom upravljaču NeoCharge EKE450, koji poseduje patentirani algoritam. Upravljač uz pomoć izvršnog regulacionog ventila, koji može biti pulsog (sekventnog) ili modulacionog (kontinualnog dejstva), kontroliše količinu tečnosti koja je potrebna isparivaču, kako bi na izlazu isparivača kvalitet pare bio u kontrolisanom opsegu.

Tehničko rešenje NeoCharge ima tendenciju da održava kvalitet gasa, odnosno pare, približno vrednosti $x = 1$ (suvozasiceeno stanje), odnosno da pregrevanje smanji i kontroliše u granicama oko 0 K. Posledica kontrole pregrevanja u uskim granicama je smanjenje potrošnje energije pošto se temperatura (pritisak) isparavanja postepeno pomera na viši i stabilniji nivo (gubi se razlika za kompenzaciju). Rešenjem NeoCharge povećava se efikasnost i utilizacija rada isparivača, obzirom da celokupna površina isparivača radi u uslovima razmene toplote gde je prisutna parna faza, kako bi na izlazu iz isparivača bilo blisko suvozasiceenom stanju. U ovakvim uslovima rada je moguće imati prisustvo tečnih (nekompresibilnih) kapi amonijaka, prema tome neophodno je obezbediti siguran rad kompresora od tečnog udara, što se postiže integracijom usisnog akumulatora – separatora tečne faze u sistem, na usisu kompresora. Primenom tehničkog rešenja NeoCharge moguće je ostvariti od 5% do 15% manju potrošnju energije u odnosu na tradicionalne DX sisteme.



Slika 7. Kontrolisana direktna ekspanzija isparivača sa tehničkim rešenjem NeoCharge

2. Zaključak

Povećanje efikasnosti rada sistema i nivoa bezbednosti u eksploataciji su glavni potencijali za razvoj tehnike hlađenja u bliskoj budućnosti. NeoCharge igra ključnu ulogu u omogućavanju bezbedne i energetski efikasne primene hlađenja u amonijačnim sistemima.

NeoCharge je kompletno rešenje koje industrijskim rashladnim sistemima daje mogućnost da smanje utrošak energije i količinu punjenja rashladnog sredstva u sistemima – ili povećaju kapacitet sa istim punjenjem u postojećem sistemu.

U pumpnim sistemima sa recirkulacijom, rešenje NeoCharge pruža stabilan i kontrolisan nizak odnos recirkulacije bez obzira na promenljive uslove rada i parcijalno opterećenje. Ovo smanjuje punjenje amonijaka za 30–40% u postojećim sistemima ili čak i više u novim sistemima

U sistemima sa direktnom ekspanzijom (DX), NeoCharge kontroliše pregrevanje u uskim granicama kako bi isparivači radili na mnogo stabilniji i kontrolisaniji način. To znači da amonijak izlazi iz isparivača bez pregrevanja ili kao vlažana para blisko suvozasiceenog stanja.

Ukratko, NeoCharge je rešenje koje obuhvata paket proizvoda NeoCharge EKE 450 upravljač sa patentiranim algoritmom, NeoSenzor sa grejnim elementom i ventile NeoCharge.

Pregled proizvoda

Upravljač NeoCharge. Tehnologija NeoCharge, koju pokreće namenski upravljač EKE450 sa patentiranim algoritmom, kontroliše protok rashladnog sredstva za optimalne performanse hlađenja. Ovaj napredni sistem može da radi sa ventilima koji mogu biti pulsni ili modulacioni, obezbeđujući fleksibilnost i dinamičku prilagodljivost uslovima rada. Ugrađene sigurnosne funkcije garantuju neprekidan rad, minimizirajući zastoje i maksimizirajući rad sistema.

Senzor NeoCharge. Senzor NeoCharge sa grejnim elementom precizno prati uslove rada isparivača. Ovaj kompaktan senzor koji se lako instalira je idealan za rekonstrukciju sistema, poboljšavajući performanse postojećih industrijskih hladnjaka vazduha.

Ventili NeoCharge. Namenski razvijani ventilski moduli NeoCharge mogu se lako integrisati sa postojećim ICF platformama, nudeći veću fleksibilnost i mogućnosti primene, Moduli mogu biti za pulsnu ili modulacionu regulaciju.. Sistem je takođe kompatibilan sa ICM i AKVA ventilima.

3. Reference

- [1] **Markovski**, Rashladnji uređaji, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, 2006.
- [2] **Vujić, S., M. Markovski, S. Pejković, R. Raičević, P. Hrnjak**, Rashladnji uređaji, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, 1980.
- [3] ***, Introducing NeoCharge: Cut energy costs and increase capacity, Danfoss, 2024
- [4] ***, NeoCharge Take the shortcut to low-charge, Danfoss, 2024