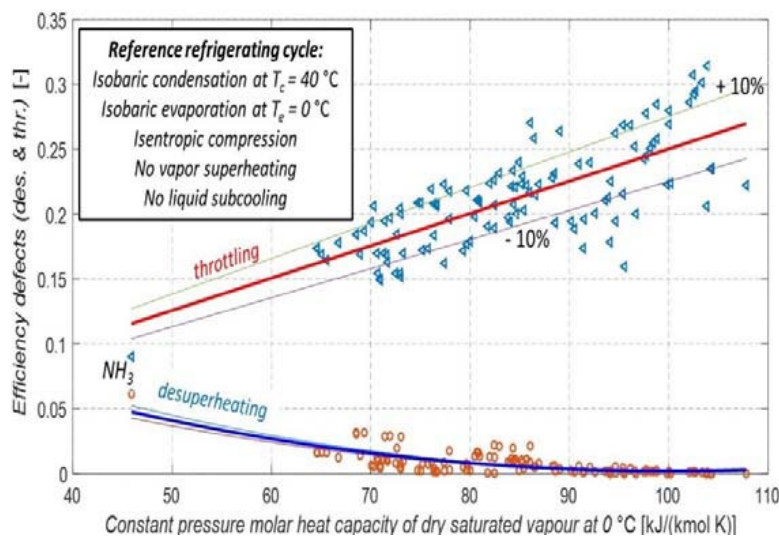


Några generaliseringar om köldmediers egenskaper, del 3

I förra numret av Kyla & Värme konstaterade vi att ångbildningsvärmerna skiljer mycket mellan olika medier och visade vad detta beror på. Vi utgick från Clapeyrons ekvation och kunde från den se att vid en given temperatur blir ångbildningsvärmerna högre för ämnen med små lätta molekyler, som ammoniak och vatten än för ämnen med större och tyngre molekyler. Ångbildningsvärmerna är också högre för ämnen med högre mättnadstryck (vid lika molekylvikt och given temperatur), vilket beror på att ångtryckskurvans lutning ökar med trycket. Clapeyrons ekvation hjälper oss att förstå varför olika medier kan vara "smala" h-log(p) diagrammen (som R134a) eller "breda" (som ammoniak).

I ett tidigare nummer beskrev vi några generella trender angående köldmediers egenskaper. Vi visade att det finns en klar koppling mellan den kyleffekt man kan få från en given kompressor (givet slagvolymflöde) och mättnadstrycket. Ämnen med lågt mättnadstryck vid en given temperatur kräver alltid en större kompressor för en given kyl- eller värmeeffekt oavsett vilket köldmedium vi väljer. Vi har också visat att värme- och köldfaktorn kan förväntas minska ju närmare toppen av köldmediedomen i h-log(p) diagrammet, vi kommer.

Vi har också tidigare beskrivit att kompressorkylprocessen har två typer av förluster jämfört med en ideal process, kopplade till: 1) expansionen (strypförluster) och 2) upphettningen av gasen under kompressionen (överhettningsförluster). Vi visade hur dessa förluster varierar med molekylens komplexitet genom ett diagram lånat från en källa i den vetenskapliga litteraturen. Tyvärr fanns dock ett fel i diagrammet som vi genast borde ha uppmärksammat: Beteckningarna på de två kurvorna var omkastade och för att i någon mån korrigera vårt misstag visar vi diagrammet igen, nu med korrekta beteckningar på kurvorna (Fig. 1)

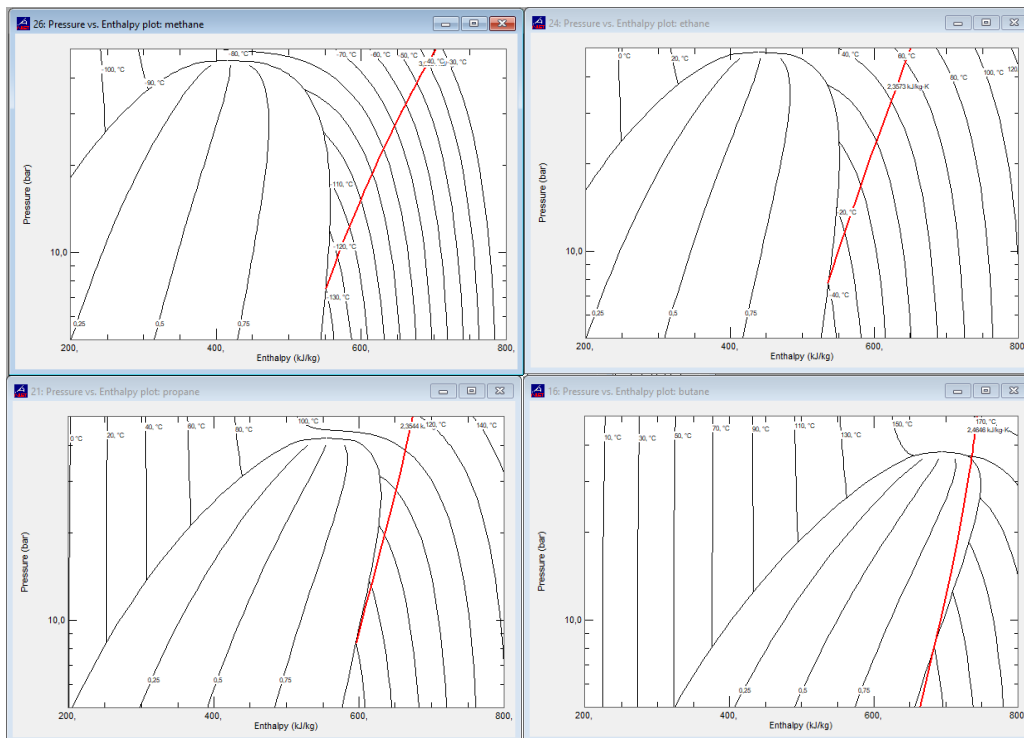


Figur 1: Förlusternas beroende av den molara värmekapaciteten vid konstant tryck, C_p , för mättad gas vid 0 °C. Från [1]

Diagrammet visar alltså strypförluster (throttling) och överhettningsförluster (desuperheating) som funktion av värmekapaciteten, C_p , för köldmediet uttryckt per kmol. Eftersom C_p ökar med ökande molekylstorlek och komplexitet kan vi generalisera och säga att vi har små, enkla molekyler till vänster och stora komplexa till höger i diagrammet. Varje punkt motsvarar ett rent medium som klassificerats, dvs fått ett nummer, av ASHRAE. Som framgår är strypförlusterna som regel betydligt större än överhettningsförlusterna och båda typerna är beroende av molekylernas storlek: Strypförlusterna ökar med ökande molekylstorlek (ökande C_p) men överhettningsförlusterna minskar. Analysen gjordes för en enkel process utan underkylning eller överhettning. Underkylning ger alltid en ökad effektivitet för processen, men förbättringen blir olika för olika köldmedier.

Överhettningsförlusterna är kopplade till att temperaturen efter kompressionen är högre än kondenseringstemperaturen. (En temperaturdifferens kan i princip utnyttjas för att driva en värmemotor för att få ut mekanisk energi.) För att bättre förstå kurvan för överhettningsförlusterna kan vi jämföra temperaturen efter kompressionen för några olika medier med olika storlek på molekylerna. Enkla kolväten kan fungera som ett bra exempel. Vi vet att metan, etan, propan och butan alla består av en eller flera kolatomer i en kedja, med väteatomer kopplade till varje kolatom.

Metan har en kolatom och butan fyra. Butan är alltså den mest komplexa molekylerna och därmed den molekyl som har högst förmåga att lagra energi, dvs högst C_p (per molekyl eller per kmol), och befinner sig längre till höger i Figur 1 än de övriga. I Figur 2 visas h - $\log(p)$ diagram för de fyra medierna. De röda kurvorna till höger illustrerar förloppet vid isentropisk (förlustfri) kompression. Det är tydligt att metan, det enklaste mediet, kommer att ha en hög överhettning ut ur kompressorn, och därmed större överhettning förluster än de andra medierna. För etan och propan ligger isentropkurvan successivt närmare tvåfasområdet och vid kompression av butan går isentropkurvan in i tvåfasområdet. Detta innebär att det bildas vätska vid kompressionen och alltså kan det inte bli någon överhettning i kompressorutloppet! (I praktiken finns ju vissa förluster i kompressorn vilket gör att vid den verkliga kompressionen så hamnar man något till höger om de röda kurvorna och risken för vätskebildning är liten).



Figur 2: h - $\log(p)$ diagram för metan, etan, propan och butan, med kurva för isentropisk kompression. Notera skillnaden i lutning.

Vi kan också jämföra det gamla R12 med ersättningsköldmedierna R134a och R1234yf. Orsaken till att de två senare kan ersätta det första är det vi nämnde inledningsvis: De tre medierna har nästan identiska ångtryckskurvor, dvs ger samma tryck vid en given mättnadstemperatur, och därmed blir kyleffekterna nästan lika. Det finns dock en annan skillnad: Redan beteckningarna avslöjar att de tre uppräknade är successivt mer komplexa molekyler: R12 har en kolatom, R134a har två och R1234yf tre. Detta avspeglar sig också på de molara värmekapaciteterna, C_p . Värdena för dessa tre medier, samt för ammoniak, en liten och enkel molekyl, har lagts in i Tabell 1. Som framgår har ammoniak betydligt lägre C_p än de andra, vars värden ökar med molekylstorleken. Dessa värden kan jämföras med värdena på den horisontella skalan i Figur 1. R1234yf ligger långt till höger i diagrammet, medan ammoniak ligger längre till vänster än något annat medium och överhettning förlusterna är för detta medium nästan lika stora som stryfförlusterna. Ammoniak ger som vi vet höga hetgastemperaturer, medan R1234yf inte ger någon överhettning alls vid förlustfri kompression. Detta kunde vi alltså ha gissat oss till bara genom att titta på namnet på köldmediet!

Tabell 1: Molar värmekapitet för några köldmedier

	Cp vid 0°C för gasfas	
R12	76,2	kJ/(kmol K)
R134a	91,5	kJ/(kmol K)
R1234yf	105,6	kJ/(kmol K)

Ammoniak	45,6	kJ/(kmol K)
----------	------	-------------

Förutom att C_p för gasen påverkar förlusterna enligt Fig. 1 så påverkas alltså, enligt Fig. 2, också temperaturen ut ur kompressorn. Hetgastemperaturen är avgörande för hur stor tryckstegring som kan åstadkommas i ett steg. Med stora komplexa molekyler är risken att nå alltför höga temperaturer i kompressorutloppet liten och därmed är det möjligt att klara större tryckuppsättningar. Men detta kommer till priset av högre strypförluster. Dessa förluster kan dock minskas genom underkylning, som ju också ökar kapaciteten och värme/köldfaktorn för processen.

Referenser:

[1] Journal of Physics: Conference Series 1599 (2020) 012001, IOP Publishing, doi:10.1088/1742-6596/1599/1/012001

Följ gärna våra publikationer och få vårt digitala nyhetsbrev. Anmäl dig genom att följa länken www.energy.kth.se/ett_news.