

## Nya köldmedier för kyl- och värmepumpsystem: nya alternativ till R404A

Jag har nyligen försvarat min doktorsavhandling med titeln "Nya köldmedier för kyl- och värmepumpsystem". Avhandlingen är ett resultat av den flera år långa studien som tillsattes för att undersöka nya köldmedier som kan användas för att uppfylla kraven i F-gasförordningen och målen i Parisavtalet. Denna artikel är den första i en serie artiklar som sammanfattar vissa slutsatser som erhållits under projektets tid och rapporterats i avhandlingen. Den här artikeln fokuserar främst på nya köldmedier som föreslås som alternativ till R404A.

### F-gasförordningen

Jag antar att F-gasförordningen och dess krav är väl bekant för läsaren av Kyla & Värme och inte kräver ytterligare introduktion. Förordningen har redan resulterat i en minskning av mängden HFC som placeras på EU:s marknad [1] (men olagligt importerade HFC:er är vanligt förekommande [2]), i en dramatisk prisökning för vissa konventionella HFC [3] och i utvecklingen av nya köldmedier tillsammans med ett ökat intresse för vissa redan kända köldmedier (t.ex. R32, CO<sub>2</sub>, HC och ammoniak).

Om bara några månader, från och med den 1 januari 2020, kommer de sedan länge kända förbuden i F-gasförordningen att begränsa användningen av köldmedier med GWP på  $\geq 2500$  för service och underhåll av kylsystem med en fyllningsstorlek på 40 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter eller mer, så länge det inte är regenererat eller återvunnet köldmedium (där särskilda regler gäller). Nya kylsystem som använder sådana köldmedier får inte installeras om de inte är avsedda för militärt syfte eller för att kyla produkter till temperaturer under -50 °C. Eftersom detta varit känt sedan länge (fr.o.m. 2014) har svensk kylindustri haft tillräckligt med tid för att förbereda sig på de kommande kraven och det finns också hjälpmedel tillgängliga online [4].

För den som tycker att de kommande förbuden är för hårda kan det vara värt att påminnas om att i det ursprungliga förslaget till F-gasförordningen planerades för liknande förbud fast vid en mycket tidigare tidpunkt. Bland annat planerades ett "påfyllningsstopp" för F-gaser med GWP på  $\geq 2150$  redan från år 2015. Ett annat förslag var att redan från 2020 begränsa placeringen av nya stationära kylanläggningar som innehåller någon F-gas [5]. I jämförelse med de ursprungliga förslagen framstår den slutliga versionen av F-gasförordningen som mycket mindre restriktiv och industrin fick därmed tillräckligt med tid för att förbereda sig för den minskade användningen av traditionella HFC.

### Nya köldmedier med reducerat GWP

Typiska lägre-GWP-enkomponentköldmedier med termodynamiska egenskaper som möjliggör en effektiv användning i traditionella ångkompressionssystem är listade i tabell 1 tillsammans med deras respektive kokpunkt vid normalt tryck och ASHRAE:s säkerhetsklass. Flera typiska HFC-köldmedier har lagts till som referens. Listan över köldmedier i denna kategori består av brännbara medier (inklusive HFC, HFO och HC) samt CO<sub>2</sub>. Med undantag av R1132a, ett nytt köldmedium som är lämpligt för användning i specifika applikationer vilka kräver mycket låga förångningstemperaturer, är alla dessa köldmedier kända sedan flera år och förutsättningarna för deras användning är väl studerade. Dessa medier är mestadels lämpliga för användning i system som är specifikt utformade för en viss användning; som ersättare till R134a, R404A, R507A eller R410A är deras användning begränsad till vissa applikationer på grund av termofysiska egenskaper och säkerhetsegenskaper. Många nya blandköldmedier har därför tillkommit under de senaste åren.

Tabell 1. Kokpunkt och säkerhetsklass för vanliga HFC:er och vissa lägre-GWP-medier [6]

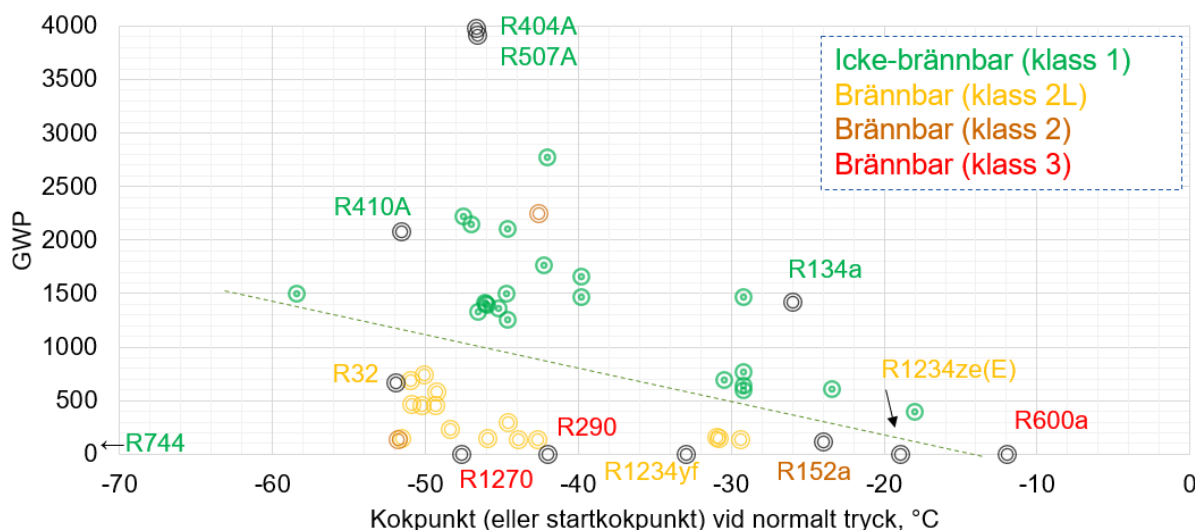
Köldmedium	Kokpunkt (vid normalt tryck), °C	ANSI/ASHRAE säkerhetsklass
R600a	-11.7	A3
R1234ze(E)	-19.0	A2L
R152a	-24	A2
R134a	-26	A1
R1234yf	-29.5	A2L
R717	-33.3	B2L
R290	-42.1	A3

R404A	-46.6*	A1
R1270	-47.7	A3
R410A	-51.6*	A1
R32	-52	A2L
R744	-78.4	A1
R1132a	-86.7	A2

\* startkokpunkt/bubbelpunkt

Köldmedieblandningar utvecklas för att erhålla specifika egenskaper hos köldmedierna. Att minska GWP-värdena men samtidigt bibehålla låg eller ingen brännbarhet är en typisk trend i den utvecklingen. Andra efterfrågade egenskaper inkluderar ökad volymetrisk köldalstring och förbättrad energieffektivitet.

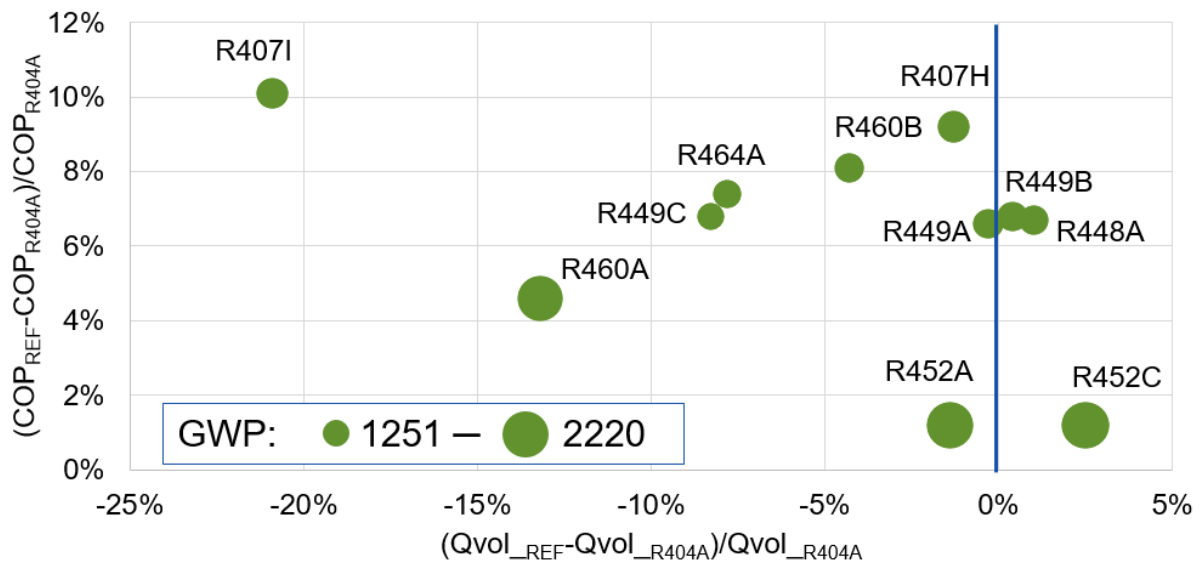
Antalet nya blandningar (de som har fått ASHRAE-nummer under de senaste åren) illustreras i Figur 1. Där framgår också deras respektive GWP-värde samt kokpunkt i jämförelse med traditionella köldmedier. Det framgår att alla de nya köldmedieblandningarna kan delas in i grupper, vilka representerar icke-brännbara och brännbara alternativ till R134a, R404A/R507A och R410A.



Figur 1. Nya köldmedier som kartlagts baserat på deras kokpunkt och GWP.

### R404A: Icke brännbara alternativ

Elva icke-brandfarliga alternativ till R404A har utvecklats med GWP under 2500. Alla är blandningar och har olika sammansättningar och därför också olika egenskaper. Komponenterna i blandningarna har till exempel olika kokpunkter, vilket resulterar i en betydande temperaturglide för alla alternativ (från 3,3 K till 9,6 K vid normala förhållanden). Jämför man dem med R404A i den teoretiska ångkompressionscykelanalysen förväntas alla resultera i en ökad energieffektivitet (uttryckt som köldfaktor) medan den volymetriska köldalstringen kommer att variera mellan alternativen, såsom indikeras i Figur 2. En ytterligare observation är ökningen i modellerad hetgastemperatur, som är lägst för R452A (3,8 K ökning) och högst för R407H (35,9 K ökning).



Figur 2. Modellerad köldfaktor (COP) och volymetrisk köldalstring ( $Q_{vol}$ ) för de nya icke-brännbara R404A-alternativen, relativt R404A

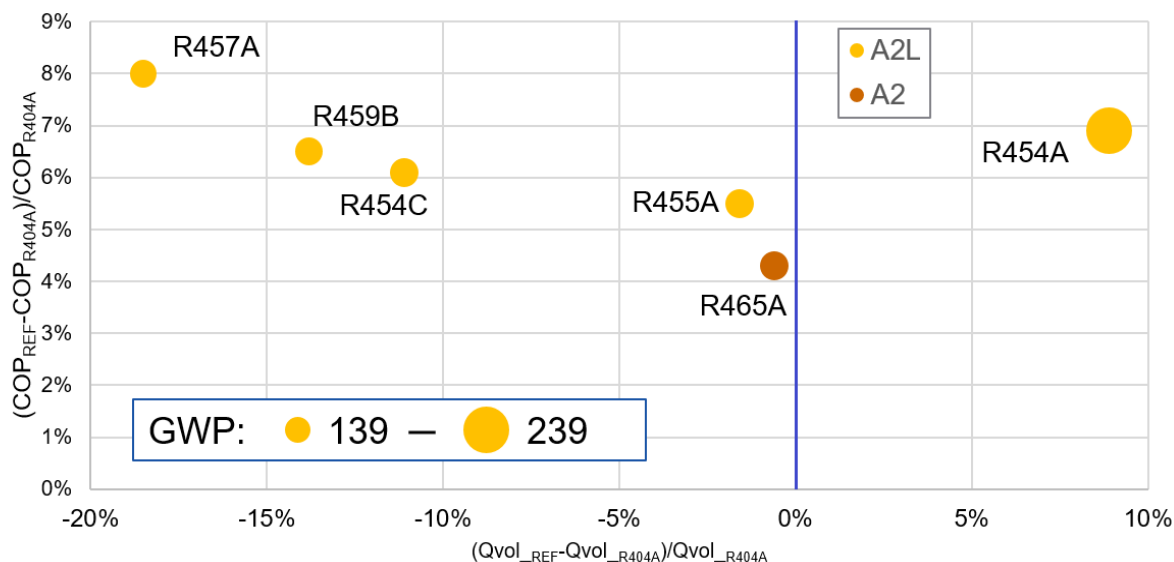
I den teoretiska jämförelsen som presenteras i Figur 2 antas jämförbara medeltemperaturer för köldmedierna i förångare ( $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) och kondensor ( $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), en konstant volymetrisk (100%) och isentropisk (70%) verkningsgrad och 5 K överhettning och underkyllning. I verklig systemdrift, när ett alternativ används som ersättning för R404A i ett befintligt kylsystem och utan systemmodifieringar (ett s.k. "drop-in"-utbyte), kan driftsparametrarna skilja sig åt beroende på vilket köldmedium som valts och således även resultera i ytterligare prestandaskillnader när man jämför dem med R404A. I en fältstudie som genomfördes 2016 utvärderades R449A som alternativ till R404A i systemen för livsmedelskyla, och där belyses bland annat detta [7].

Till exempel, när man jämför prestanda för R404A indirekt kylsystem (används för att tillhandahålla kylning vid medium temperaturnivå) noterades minskningen av köldfaktor (3,6% i genomsnitt) och köldalstring (12,8% i genomsnitt) efter omvandling till R449A [8]. Detta är resultatet av flera faktorer, mest p.g.a. ändrat beteendet i värmeväxlarna hos nytt köldmedium. Detta resulterade i lägre medeltemperaturer i förångare med R449A än med R404A för att för att leverera samma köldbärartemperatur. Detta beror delvis på lägre värmeöverföring vilket är typiskt för köldmedier med högre temperaturglid [9] [10] (t.ex. 23-43% reduktion av de lokala värmeöverföringskoefficienterna visades för R449A i en studie av lokala konvektiva kokande mätningar i ett mikrofinnrör, i jämförelse med R404A [10]).

### R404A: Brännbara alternativ

Sex brännbara alternativ till R404A har tagits fram. De flesta har ett GWP inom spannet 139-148, detta för att möta kommande förbud som begränsar användningen av köldmedier med  $\text{GWP} \geq 150$  i specifika typer av kommersiella systems. En blandning med ett något högre GWP har också tagits fram, med GWP 239 (R454A).

Även här varierar kokpunkten för de olika komponenterna vilket ger upphov till en temperaturglide för alla alternativen (från 6,8 K till 12,5 K vid normala förhållanden). Jämfört med R404A, och baserat på den teoretiska ångkompressionscykelanalysen (med samma förhållanden som används i jämförelsen med de icke-brandfarliga alternativen) förväntas alla resultera i en ökad energieffektivitet samtidigt som den volymetriska köldalstringen minskar för köldmedierna med GWP understigande 150, Figur 3. En ökning av hetgastemperaturerna kan också förväntas (från 12-17 K).



Figur 2. Modellerad köldfaktor (COP) och volymetrisk köldalstring ( $Q_{vol}$ ) för de nya brännbara R404A-alternativen, relativt R404A

## Sammanfattning

Användningen av R404A påverkas starkt av F-gasförordningen och dess förbud mot köldmedier med  $GWP \geq 2500$ . Många alternativ har därför utvecklats under de senaste åren med fokus på att begränsa GWP-värdet och därmed matcha kraven i förordningen. Egenskaperna för dessa R404A-alternativ skiljer sig dock åt så valet bör göras mot bakgrund av önskade egenskaper och givna parametrar.

För "drop-in" i befintliga system har inga helt designkompatibla alternativ identifierats och lämpligheten för ett specifikt alternativ bör således verifieras för varje system. De mest påtagliga skillnaderna mellan alternativen och R404A är en ökning av hetgastemperatur, en ökad temperaturglide och en ändring av den volymetriska köldalstringen. Den ökade köldfaktorn, som ses i en teoretisk modellering, kan förväntas minska om systemet inte är optimerat för användning det nya köldmediet.

I de följande artiklarna kommer jag att sammanfatta information om de nya alternativen till R134a och R410A, samt diskutera vad som kan förväntas i framtiden. För mer djupgående information om R404A-alternativ och andra nya köldmedier kan jag hänvisa till min doktorsavhandling [11] som enkelt kan laddas ned från [bit.ly/new\\_refrigerants](http://bit.ly/new_refrigerants).

## Källor

- [1] European Environment Agency, "Fluorinated greenhouse gases. EEA Report No 21/2018," Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
- [2] Environmental investigation agency, "Doors wide open. Europe's flourishing illegal trade in hydrofluorocarbons (HFCs)," London, UK, 2019.
- [3] EPEE, "EPEE F-gas industry roundtable," 2018.
- [4] Allt om F-gas, "Hjälpmedel," 2019. [Online]. Available: [alltomfgas.se/lankar-o-material/hjalpmedel](http://alltomfgas.se/lankar-o-material/hjalpmedel).
- [5] European Parliament, "Draft Report on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases," 2013.
- [6] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 34-2016. Design and safety classification of refrigerants, Atlanta, GA: American National Standards Institute, 2016.

- [7] J. Rogstam, S. Bolteau, P. Makhnatch och R. Khodabandeh, "Utvärdering av en potentiell R404A-ersättare. Fältprov med R449A," Stockholm, 2016.
- [8] P. Makhnatch, A. Mota-Babiloni, J. Rogstam och R. Khodabandeh, "Retrofit of lower GWP alternative R449A into an existing R404A indirect supermarket system," *International journal of refrigeration*, vol. 76, pp. 184-192, 2017.
- [9] M. Azzolin, A. Berto, S. Bortolin, L. Moro och D. D. Col, "Condensation of ternary low GWP zeotropic mixtures inside channels.," *International Journal of Refrigeration*, vol. 103, pp. 77-90, 2019.
- [10] M. A. Kedzierski och D. Kang, "Horizontal convective boiling of R448A, R449A, and R452B within a micro-fin tube," *Science and technology for the built environment*, vol. 22, nr 8, pp. 1090-1103, 2016.
- [11] P. Makhnatch, "New refrigerants for vapour compression refrigeration and heat pump systems: evaluation in a context of the requirements set by the F-gas Regulation and the Paris Agreement goals.," Stockholm, 2019.