



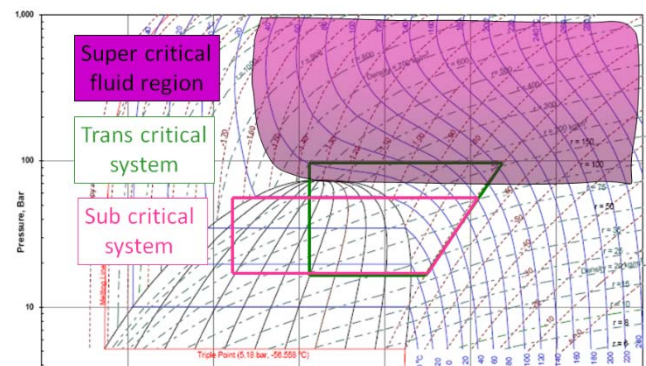
With contribution of
the LIFE programme
of the European Union

Ontwerpverschillen

Bij gebruik van alternatieve koelmiddelen

Inhoud

- 1 - Lekkagepotentieel tot een minimum beperken
- 2 - R744 (Koolstofdioxide)
- 3 - R717 (Ammoniak)
- 4 - R32
- 5 - R1234ze
- 6 - R600a (Isobutaan)
- 7 - R290 en R1270 (Propan en Propeen)
- 8 - Bijlage 1, Ontwerpproces voor systemen met brandbare koelmiddelen
- 9 - Zelftestvragen





With contribution of
the LIFE programme
of the European Union

Welkom bij het REAL Alternatives 4 LIFE Blended Learning Programma

Deze module is onderdeel van een blended learning programma voor technici werkzaam in de koel-, airconditioning- en warmtepompsector en is ontwikkeld om de vaardigheden en kennis aangaande het gebruik van alternatieve koelmiddelen te verbeteren. Het programma wordt ondersteund door een mix van interactieve e-learning, gedrukte trainingsgidsen, tools en assessments die gebruikt kunnen worden door opleidingscentra. Er is ook een e-bibliotheek met bijkomende informatiebronnen (gepost door gebruikers) op www.realalternatives.eu

REAL Alternatives 4 LIFE is ontwikkeld door een consortium van verenigingen en opleidingsinstellingen uit heel Europa en is medegefinancierd door de EU. Daarnaast wordt het gesteund door stakeholders uit de industrie. Leraren, fabrikanten en ontwerpers van installaties hebben bijgedragen aan de inhoud. Het leer materiaal is beschikbaar in Kroatisch, Tsjechisch, Nederlands, Engels, Frans, Duits, Italiaans, Pools, Roemeens, Spaans en Turks.

Modules	
1	Kennismaking met alternatieve koelmiddelen – veiligheid, efficiëntie, betrouwbaarheid en goede praktijk
2	Veiligheid en risicobeheer
3	Systeemontwerp
4	Lekdichtheid en lekdetectie
5	Onderhoud en herstellingen
6	Retrofitten met lage GWP-koelmiddelen
7	Checklist met wettelijke verplichtingen
8	Metten van de financiële en de ecologische impact van lekkende koelinstallaties
9	Hulpmiddelen en begeleiding voor het uitvoeren van een onderzoek ter plaatse

Je kan iedere module afzonderlijk studeren of je kan de hele cursus vervolledigen en het bijhorende examen afleggen.

www.realalternatives.eu



Meer informatie is beschikbaar in de online

e-bibliotheek. Doorheen de tekst van iedere module vindt u verwijzingen naar bronnen met meer gedetailleerde informatie. In de e-bibliotheek kan u deze informatie raadplegen <http://www.realalternatives.eu/e-library>. Er bestaat ook de mogelijkheid om zelf extra bronnen toe te voegen aan de e-bibliotheek, zoals weblinks en handleidingen. Module 7 biedt een complete lijst van relevante wetgeving en normen waarnaar wordt gerefereerd.

Assessment is beschikbaar indien je een CPD-certificaat wenst te behalen.

Aan het einde van iedere module zijn een aantal eenvoudige zelftestvragen en oefeningen voorzien om u te helpen uw leerproces te evalueren. De assessment (schriftelijk examen) is enkel beschikbaar in een daartoe erkend examencentrum.

Registreer je interesse in alternatieve

koelmiddelen op www.realalternatives.eu om updates te ontvangen, nieuws en event uitnodigingen gerelateerd aan training, vaardigheden en ontwikkelingen in de koeltechniek.

Je kan dit materiaal gebruiken en

verdelen voor individuele training. Het Institute of Refrigeration en partners behouden het copyright over de leerboekjes en de inhoud. Het leermateriaal mag gebruikt worden als geheel of gedeelten ervan voor opleidingsdoeleinden op schriftelijk verzoek van het REAL Alternatives Consortium, c/o Institute of Refrigeration, UK email: ior@ior.org.uk. Vragen over het leerprogramma of inhoudelijke vragen kunnen gericht worden aan ior@ior.org.uk.

Achtergrondinformatie en hoe het programma werd ontwikkeld.

Dit leerprogramma werd ontwikkeld als onderdeel van een door de EU medegefinancierd project en wordt geleid door een consortium van partners uit heel Europa. Het leerprogramma werd ontwikkeld om het gebrek aan vaardigheden gerelateerd aan het veilig gebruiken van alternatieve koelmiddelen onder koeltechniekers, airconditioningtechniekers en warmtepomptechniekers aan te pakken. Het programma geeft onafhankelijke en up to date informatie in een gemakkelijk format. Werkgevers, fabrikanten, sectorfondsen, en professionele organisaties uit heel Europa hebben leermateriaal ter beschikking gesteld, het projectteam geadviseerd en de inhoud gerecenseerd tijdens de ontwikkeling.

De consortium partners:

- Association of European Refrigeration Air Conditioning & Heat Pump Contractors, Belgium
- Associazione Tecnici del Freddo, Italy
- IKKE training centre Duisburg, Germany
- Institute of Refrigeration, UK
- International Institute of Refrigeration
- University College Leuven-Limburg, Belgium
- London South Bank University, UK
- PROZON recycling programme, Poland.

Met dank aan onze stakeholders:

- CNI National Confederation of Installers, Spain
- CHKT Czech Association for cooling and air conditioning technology
- HURKT, Croatian Refrigeration Airconditioning and Heat Pumps Association
- RGAR Association General of Refrigeration, Romania
- SOSIAD Association of Refrigeration Industry and Businessmen, Turkey
- SZ CHKT Slovak Association for Cooling and Airconditioning technology

Module 3 –

Ontwerpverschillen bij gebruik van alternatieve koelmiddelen

Doel van deze module

Deze module biedt een inleiding tot de ontwerpverschillen van systemen die met alternatieve koelmiddelen werken. Het vervangt in geen geval praktische training en ervaring. Doorheen deze module vindt u verwijzingen naar nuttige aanvullende informatie uit een reeks bronnen die door experts zijn beoordeeld als relevant en worden aanbevolen.

De basisprincipes van een goed en efficiënt ontwerp moeten altijd gevolgd worden. De kenmerken van de koelmiddelen bepalen de verschillen, zoals uit tabel 1 hieronder blijkt. In de tabel worden deze bepalende kenmerken vergeleken met R404A. Als de cel leeg is, betekent dit dat er voor dat specifieke kenmerk geen groot verschil is ten opzichte van R404A. R404A werd gekozen voor illustratieve doeleinden, hoewel het vooral een LT-koelmiddel is.

Tabel 1, Kenmerken van alternatieve koelmiddelen die een invloed hebben op het systeemontwerp

Koelmiddel	Druk	Brandbaarheid	Toxiciteit	Koelcapaciteit	Kritische temperatuur	Persgas-temperatuur	Materialen
R744	Zeer hoog		Matig	Zeer hoog	Laag	Hoog	
R717		Mild	Hoog	Zeer hoog		Hoog	Geen koper of koperlegeringen
R32	Hoog	Mild		Hoog			
R1234ze	Laag	Mild		Laag			
R600a	Zeer laag	Hoog		Zeer laag			
R290 R1270		Hoog					

In het volgende deel komen de ontwerpverschillen voor elk koelmiddel aan bod. De verschillen met betrekking tot R744 zijn groter dan voor de andere koelmiddelen, daarom wordt dieper ingegaan op het ontwerp van R744-systemen. De belangrijkste verschillen met R717 en KWS-en hebben betrekking op veiligheid. Uitdagingen in verband met brandbaarheid gelden voor alle alternatieve koelmiddelen, behalve voor R744. Om herhalingen binnen dit document te voorkomen, is deze informatie opgenomen in Bijlage 1.

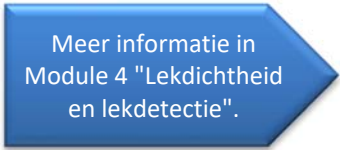
Voor alle koelmiddelen worden de maximaal toelaatbare werkdrukken (PS) vermeld. In alle gevallen – behalve voor R744 – zijn deze waarden voor de druk gebaseerd op een maximale omgevingstemperatuur van 32 °C en een maximale condensatietemperatuur van 55 °C.

1 Lekkagepotentieel tot een minimum beperken

Het is belangrijk dat het risico op lekken zoveel mogelijk wordt beperkt, ongeacht het gebruikte koelmiddel.

Houd daarom rekening met de volgende tips:

- ✓ Houd het eenvoudig.
- ✓ Gebruik zo weinig mogelijk verbindingen.
- ✓ Gebruik zo weinig mogelijk onderdelen.
- ✓ Houd de druk tijdens de werking en bij stilstand zo laag mogelijk.
- ✓ Beperk het aantal servicepunten zoveel mogelijk en voorzie ze op de plaatsen waar ze het nuttigst zijn.
- ✓ Probeer schräderventielen te vermijden. Als een servicepunt toch onvermijdelijk is, gebruik dan zeker een servicekraan (zorg er bovendien voor dat ze wordt afgesloten met de juiste dop wanneer ze niet wordt gebruikt).
- ✓ Vermijd het gebruik van open compressoren met een as-doorvoer.
- ✓ Zorg ervoor dat het leidingnet op een correcte manier gebeugeld is en dat er geen trillingen kunnen worden overgezet.
- ✓ Stel informatie beschikbaar:
 - Aanduiding van de servicepunten op de isometrische tekening in de machinekamer;
 - Over de aanhaalmomentwaarden;
- ✓ Ontwerp een onderhoudsvriendelijke installatie, zodat lekken gemakkelijk op te sporen zijn en andere essentiële onderhoudsactiviteiten eenvoudig kunnen plaatsvinden.



Meer informatie in
Module 4 "Lekdichtheid
en lekdetectie".

2 R744 (Koolstofdioxide)

Zie REAL Alternatives
Module 1, figuur 2

De eigenschappen van CO₂ bepalen hoe het kan worden toegepast:

	Type	Key facts	GWP ¹	Verz.temp ²	Toepassingen
R744	Koolstofdioxide, CO ₂	Hoge drukken	1	-78°C	Commerciële koeling, warmtepompen, integrale systemen

- Alle onderdelen moeten tegen hoge druk bestand zijn wegens de hoge maximale druk van R744 tijdens de werking en stilstand van het systeem.
- R744 heeft wegens zijn lage toxiciteit een lagere praktische limiet dan de meeste HFK's. Zie Module 4 voor meer details over vaste lekdetectie.
- De praktische limiet van een koelmiddel wordt bepaald door de laagste concentratie in een gebruikte ruimte die niet leidt tot hinder bij ontruiming. Voor volledige informatie zie EN378-1, tabel E.1.
- R744 is een verstikkende stof en een vast lekdetectiesysteem moet worden gemonteerd als er een lek in een afgesloten bezette ruimte, zoals in een koelcel of bepaalde zones waar een CO₂-installatie staat opgebouwd, kunnen leiden tot een concentratie die hinder veroorzaakt bij ontruiming. Het wordt aanbevolen dat het alarm is ingesteld op 50% van de Acute Toxicity Exposure Limit (ATEL) of Oxygen Deprivation Limit (ODL), zoals gespecificeerd in EN 378 voor machinekamers. Dit is het niveau waarboven er een nadelig effect is dat resulteert hetzij in één enkele of meerdere blootstellingen in een korte tijd (meestal minder dan 24 uur). Voor R744 is de ATEL/ODL 0,036 kg/m³. Het alarm zal dus moeten worden ingesteld op 0,018 kg/m³ (ongeveer 20000 ppm). Doorgaans zal ook een vooralarm worden ingesteld op 5000 ppm door de snelle toename van de concentratie bij lekkage door de hoge werkdrukken.
- Het slagvolume van de compressor en de diameters van de buizen zijn kleiner wegens de hoge koelcapaciteit van R744 in vergelijking met andere koelmiddelen. Het slagvolume van de compressor is bijvoorbeeld ongeveer 1/5^{de} van het slagvolume dat nodig is voor R404A.
- De lage kritische temperatuur van R744 geeft aanleiding tot verschillen in het algemene ontwerp van het systeem. R744 wordt in de volgende systeemtypes gebruikt:
 - **Transkritische systemen:** deze systemen werken altijd of gedurende een deel van de tijd boven de kritische temperatuur aan de hoge drukzijde. In deze systemen wordt de warmte van de R744 naar de omgevingslucht overgezet, waardoor ze transkritisch werken bij hoge omgevingstemperaturen – meestal wanneer de omgevingstemperatuur meer dan 21 tot 27 °C bedraagt.
 - **Cascadesystemen:** deze systemen werken altijd subkritisch. In deze systemen is R744 het koelmiddel van de lage trap in het cascadesysteem. Het verdampende

¹ GWP uit F Gas Verordening EU 517:2014

² Verz. Temp. is de oppervlaktetemperatuur van vast R744 bij atmosferische druk

koelmiddel van de hoge trap absorbeert de warmte die de condenserende R744 afgeeft. Het systeem van de hoge trap is meestal een conventioneel systeem met een HFK, een KWS of R717. In sommige systemen wordt zowel in de hoge trap als in de lage trap R744 gebruikt. R744 in de lage trap is altijd subkritisch, maar in de hoge trap wordt het transkritisch bij hoge omgevingstemperaturen.

- **Gepompte systemen:** de R744 wordt als secundaire vloeistof gebruikt en wordt rondgepompt doorheen de warmtewisselaars. Wegens de vluchtigheid van R744 kan er gedeeltelijke verdamping optreden, maar uit de verdamper komt verzadigd koelmiddel (d.w.z. dat het niet wordt oververhit zoals in de systemen hierboven).
- Omwille van de hoge persgastemperaturen die worden bereikt, wordt tweetrapscompressie gebruikt voor transkritische lage temperatuursystemen (LT).
- In veel R744-systemen is de vloeistoftemperatuur lager dan de omgevingstemperatuur. Daarom zal er geen natuurlijke onderkoeling optreden. Vandaar dat vaak mechanische onderkoeling wordt toegepast, zoals het gebruik van een warmtewisselaar waarbij het zuiggas wordt gebruikt om de vloeistofleiding af te koelen.

Veel R744-systemen combineren twee of meer van de systeemtypes die hierboven aan bod komen. Zo kan een cascadesysteem met een gepompte secundaire kring uitgerust zijn en/of door een transkritisch R744-systeem worden gekoeld.



Figuur 1, Voorbeeld van een R744-systeem

2.1 Transkritische werking

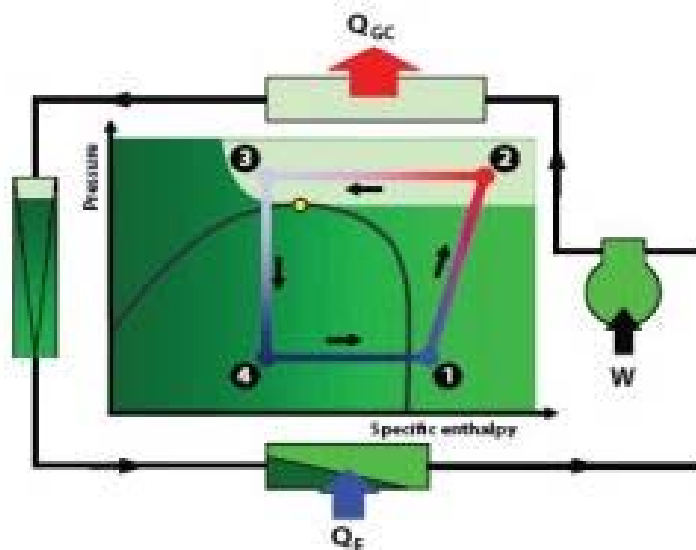
Kritische temperatuur

Een belangrijk verschil tussen R744 en alle andere koelmiddelen is dat R744 in veel systemen boven de kritische temperatuur (31°C) werkt. Een praktisch demonstratie en uitleg over het kritische punt krijgt u in de Danfoss-video. De meeste systemen die met R744 werken en hun warmte aan de omgevingslucht afgeven, werken gedurende een deel van de tijd ofwel constant boven het kritische punt. In deze systemen wordt de condensor een 'gaskoeler' genoemd, aangezien het koelmiddel tijdens de transkritische fase niet in dit onderdeel condenseert. De R744 wordt alleen vloeibaar wanneer de druk wordt verlaagd:

Danfoss video, CO₂ phase change

NaReCO2 manual Natural Refrigerant CO₂

- R744-systemen zijn subkritisch wanneer de condensatietemperatuur onder 31°C ligt.
- R744-systemen zijn transkritisch wanneer de 'gaskoelertemperatuur' boven 31°C ligt. Systemen met een HFK, een KWS of R717 werken altijd subkritisch, aangezien de condensatietemperatuur nooit boven de kritische temperatuur stijgt (bv. 101°C in het geval van R134a).



Figuur 2, transkritisch systeem uitgetekend in een log p/h diagram, van www.danfoss.com

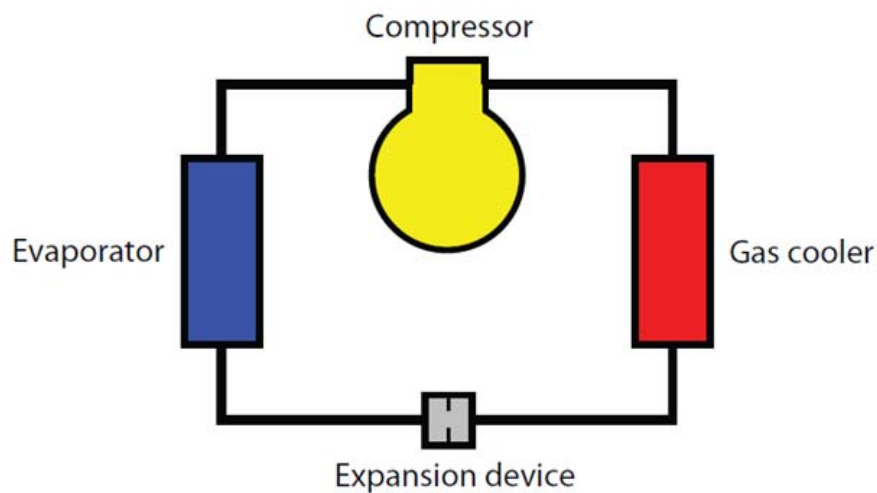
Eenvoudig transkritisch systeem

Figuur 3 geeft een eenvoudig transkritisch systeem weer.

In dergelijk systeem is de druk in de gaskoeler afhankelijk van de hoeveelheid koelmiddel in het systeem.

Hierdoor variëren de capaciteit en de efficiëntie aanzienlijk. Meer informatie over kleine transkritische systemen vindt u in het document van Danfoss (zie link).

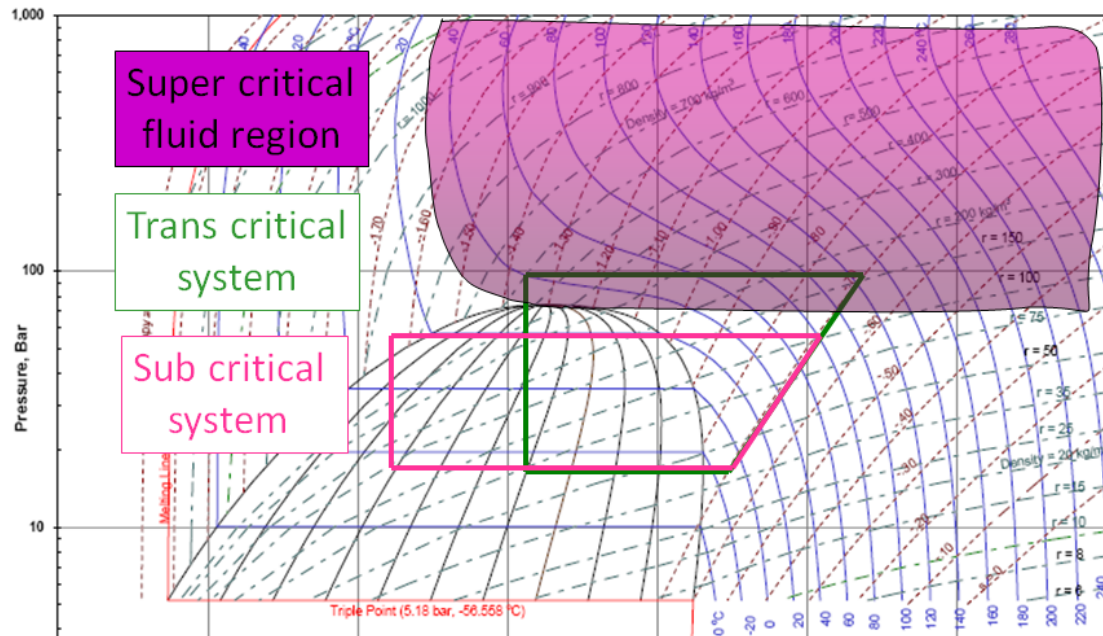
Danfoss "Transcritical refrigeration Systems with CO₂, how to design a small capacity system "



Figuur 3, Eenvoudig transkritisch systeem

Log p/h diagram – Eenvoudig systeem

Het log p/h diagram in onderstaande afbeelding toont een voorbeeld van een eenvoudig R744-systeem dat subkritisch werkt bij een lage omgevingstemperatuur (de roze cyclus) en transkritisch bij een hogere omgevingstemperatuur (de groene cyclus). In het diagram is duidelijk zichtbaar dat de koelcapaciteit veel lager is bij transkritische werking.

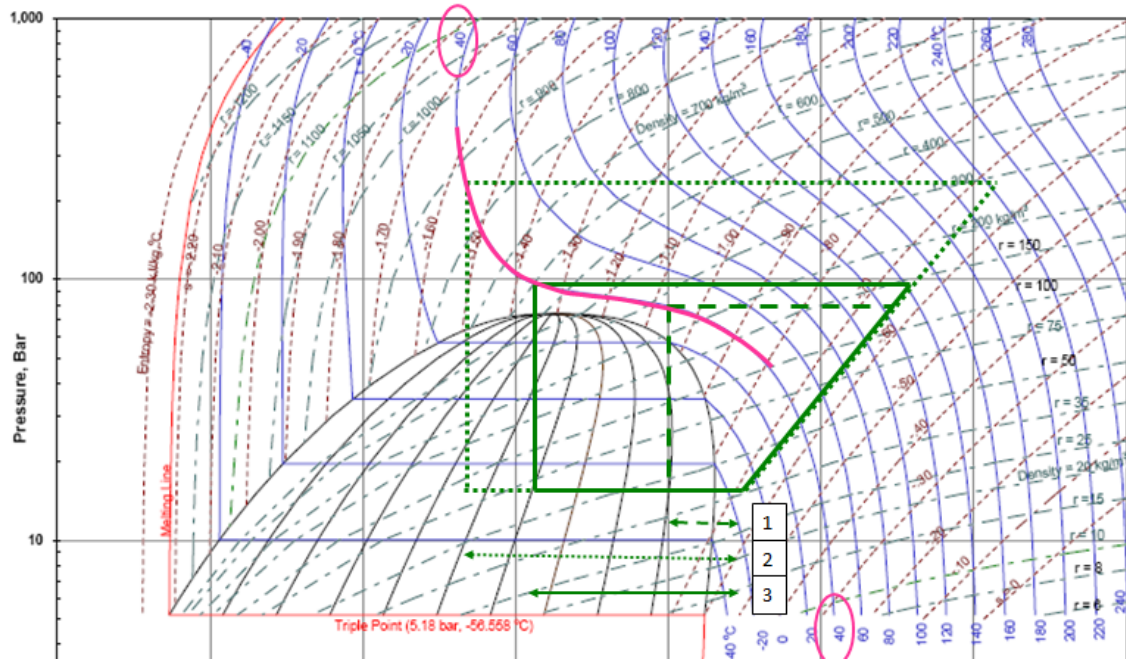


Figuur 4, Subkritische en transkritische werking in het log p/h diagram

Bij transkritische werking, condenseert het koelmiddel niet in de gaskoeler, maar zakt de temperatuur van de R744 en wordt zo warmte afgegeven. R744 condenseert niet tot zijn druk tot onder de kritische druk gezakt is (72,8 bar g).

Bij transkritische werking, wordt de druk in de gaskoeler bepaald door de hoeveelheid koelmiddel in de gaskoeler (tenzij dit wordt gestuurd). De temperatuur van de superkritische R744 zakt wanneer deze door de gaskoeler stroomt. De temperatuur aan de uitgang van de gaskoeler wordt bepaald door de grootte van de gaskoeler en de temperatuur van de lucht.

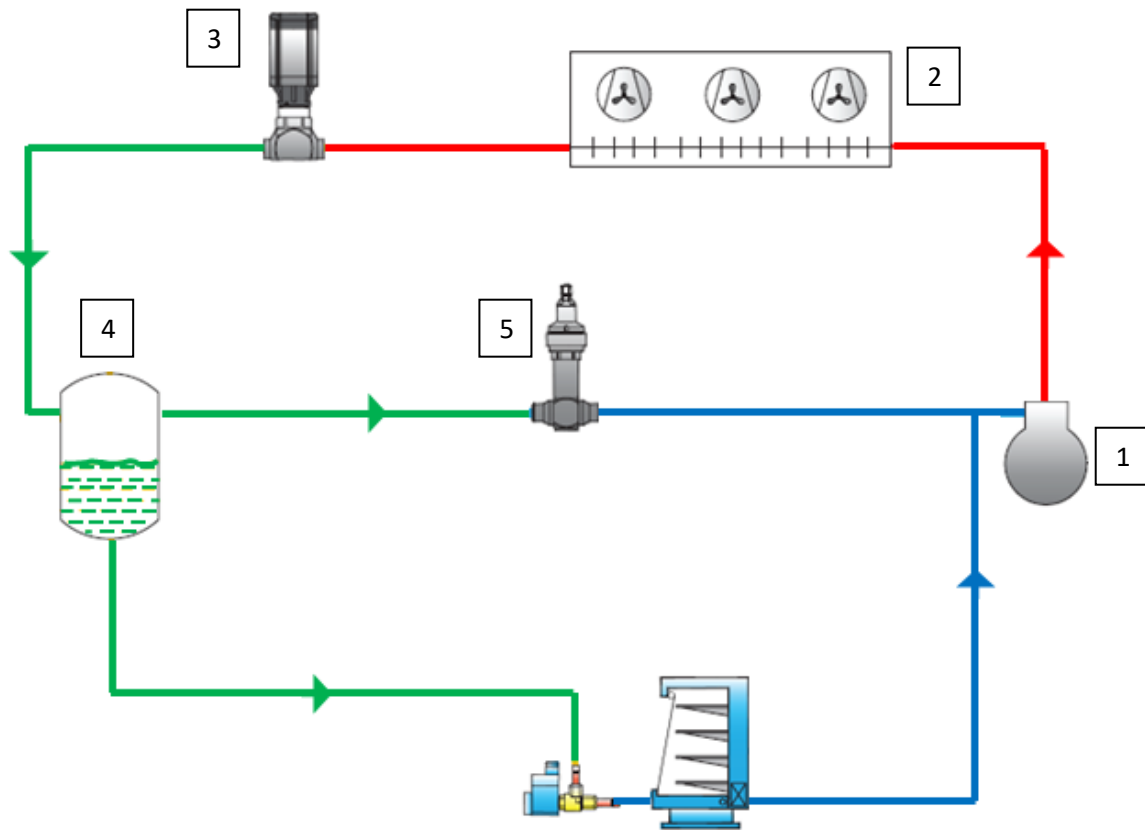
Wanneer de installatie boven het kritische punt werkt, stijgt de koelcapaciteit door een toename van de druk aan de hogedruk zijde. Dat ziet u op het log p/h diagram in figuur 5. De beste bedrijfsdruk is omstandigheid 3, aangezien er niet veel meer energie nodig is om een hogere capaciteit te verkrijgen in vergelijking met omstandigheid 1.



Figuur 5, Weergave van 3 drukomstandigheden in de gaskoeler in het log p/h diagram

Groot transkritisch systeem

In een typische transkritische installatie wordt de gaskoelerdruk gestuurd. Onderstaande figuur geeft een vereenvoudigde kring van dergelijk systeem weer.



Figuur 6, Typisch transkritisch systeem

1. De compressor is een transkritische compressor die ontworpen werd met het oog op de hogere druk en de hoge koelcapaciteit van het koelmiddel;
2. De gaskoeler is qua ontwerp vergelijkbaar met een conventionele condensor, hoewel de diameters van de buizen kleiner zijn en tegen een hogere druk bestand moeten zijn;
3. De regelklep achter de gaskoeler wordt gestuurd door de druk in de gaskoeler en houdt de druk op een optimaal punt (meestal tussen de 73 en 90 bar g wanneer het systeem transkritisch werkt, wat doorgaans het geval is wanneer de omgevingstemperatuur boven 21 °C tot 25 °C ligt);
4. In de vloeistofafscheider en de bijbehorende vloeistofleiding (in het groen weergegeven) heerst een tussendruk;
5. Deze regelklep wordt gestuurd op basis van de druk in de vloeistofafscheider. Ze regelt de druk in de vloeistofafscheider tot een peil dat de ontwerper heeft gespecificeerd (doorgaans in een bereik tussen 35 en 65 bar g).

Danfoss "Food Retail
CO₂ Refrigeration"

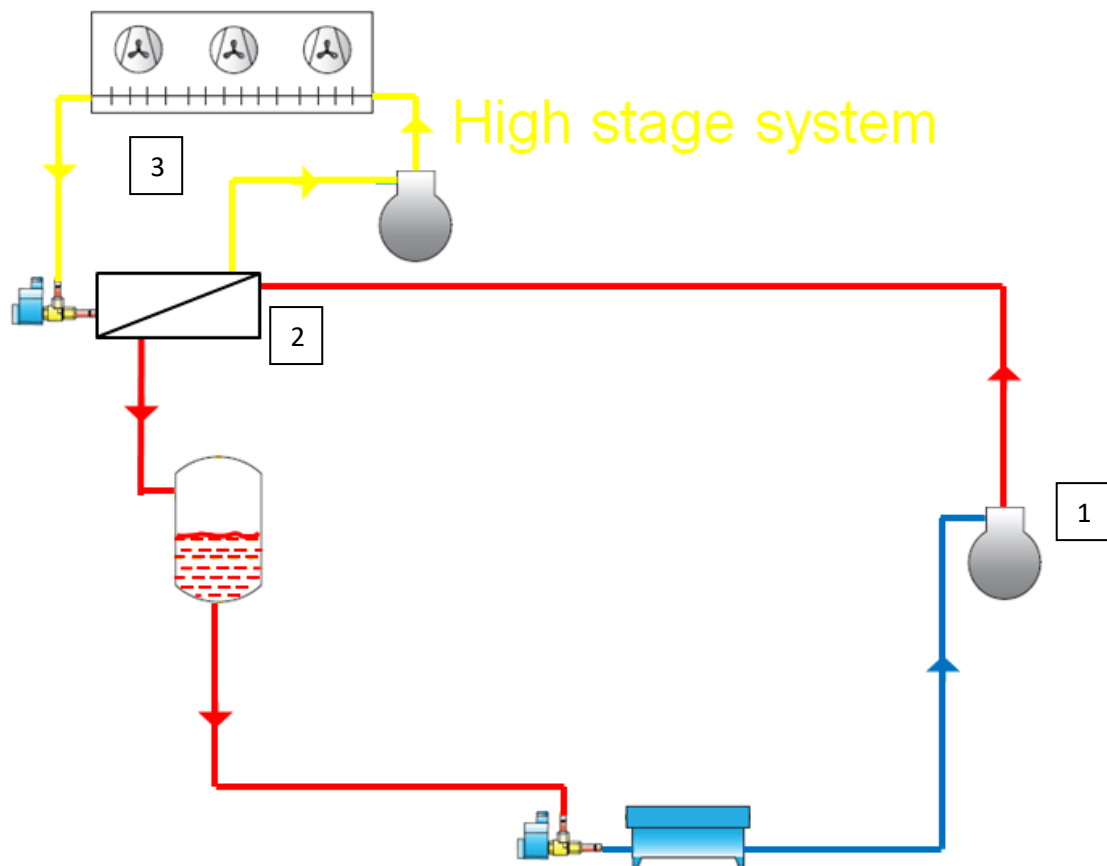
Emerson Guide,
"Introduction to R744
Systems"

Emerson Guide "R744
System Design"

Raadpleeg de documenten van Danfoss en Emerson in de links voor meer informatie over transkritische systemen.

Subkritische cascade systemen

R744 wordt ook gebruikt in cascadesystemen, zoals te zien is op onderstaande afbeelding.



Figuur 7, Eenvoudig cascadesysteem

1. In de meeste gevallen is een compressor voor R744 vergelijkbaar met een compressor voor R410A (hij werkt ook meestal bij vergelijkbare drukken);
2. De R744 condenseert in de cascadowarmtewisselaar en geeft zijn warmte af aan het verdampende koelmiddel in de hoge trap;
3. Het systeem van de hoge trap is meestal een eenvoudig koelsysteem dat een HFK, een KWS of R717 gebruikt als koelmiddel. De hoge trap kan ook R744 gebruiken als koelmiddel. In dat geval zal het systeem gedurende een deel van de tijd transkritisch werken. De werking van de hoge trap wordt in de meeste gevallen gestuurd door de druk in de vloeistofafscheider voor de R744.

Danfoss "Cascade CO₂ System"

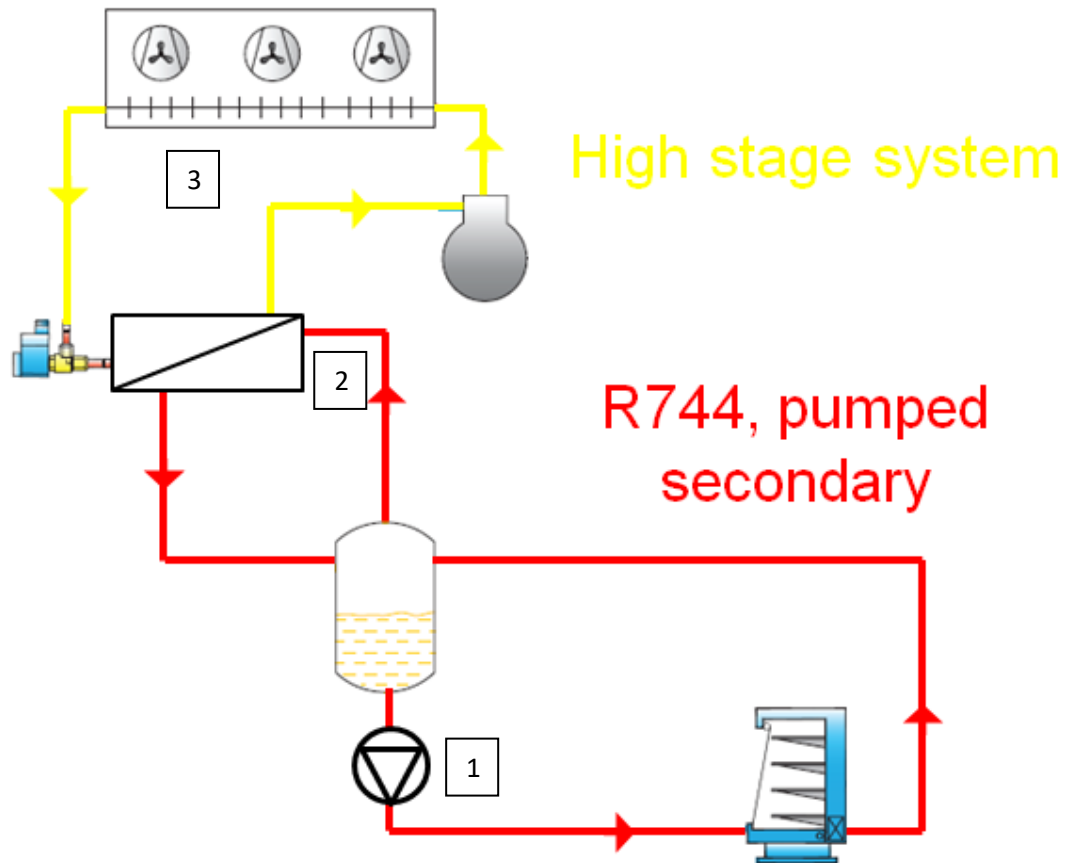
Emerson Guide "Introduction to R744 Systems"

Emerson Guide "R744 System Design"

Meer informatie over cascadesystemen vindt u in de documenten die in de linken worden getoond.

Gepompte systemen

R744 wordt ook als gepompt koelmiddel gebruikt, zoals in onderstaande figuur wordt weergegeven.



Figuur 8, Eenvoudig gepompt systeem

1. De vloeistofpomp die de R744 rondpompt, is meestal van het centrifugale type en wordt gekoeld door het vloeibare koelmiddel. Het is belangrijk dat de pomp constant vloeistof toegevoerd krijgt, zodat er geen cavitatie ontstaat. Dat kan de betrouwbaarheid en de prestaties van de pomp ongunstig beïnvloeden;
2. De R744 condenseert in de warmtewisselaar en geeft zijn warmte af aan het verdampende koelmiddel in de hoge trap;
3. Het systeem van de hoge trap is meestal een eenvoudig koelsysteem dat een HFK, een KWS of R717 gebruikt. De werking ervan wordt meestal gestuurd door de druk in de R744-vloeistofafscheider.

R744 biedt meerdere voordelen ten opzichte van andere secundaire vloeistoffen:

- Doordat het koelmiddel vluchtig is, verdampt het gedeeltelijk in de warmtewisselaar (verdampers) en absorbeert het latente warmte. Op die manier beperkt het de temperatuurverschillen in de verschillende zones van de warmtewisselaar;
- Door de hoge dichtheid van R744 kan een pomp met een lager vermogen worden geïnstalleerd.

De druk ligt bij R744 wel aanzienlijk hoger dan bij andere secundaire vloeistoffen. Bij een temperatuur van -3 °C bedraagt de druk ongeveer 30 bar g.

Drukken

Typische drukken die in R744 systemen heersen worden in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2, Typische R744 drukken

	Typische druk Bar g (MPa)	Typische PS ³ Bar g (MPa)
Hoge drukzijde van het transkritische systeem, dat boven het kritische punt werkt	90 (9)	120 (12)
Tussendruk in een transkritisch systeem	35 tot 65 (3.5 tot 6.5)	45 tot 75 (4.5 tot 7.5)
Hoge drukzijde in de lage trap van een cascadesysteem	30 (3)	40 (4)
Lagetemperatuurverdamper (LT)	15 (1.5)	30 (3.0)
Hogetemperatuurverdamper (HT)	30 (3)	52 (5.2)
Installatie bij stilstand bij een omgevingstemperatuur van 20 °C	56 (5.6)	

De hogedruk van R744 kan leiden tot meer lekkage en bijgevolg een aanzienlijke stijging van het energieverbruik. Op die manier neemt ook de onrechtstreekse impact op het milieu toe. Om het risico op lekken zoveel mogelijk te beperken, moeten de leidingen en de onderdelen geschikt zijn voor de PS van dat deel van het systeem. Dit betekent vaak dat er andere onderdelen dan in HFK-systemen en leidingen met een dikkere wand of stalen leidingen moeten worden gebruikt.

De verbindingen moeten worden gesoldeerd of gelast en mechanische verbindingen moeten zoveel mogelijk worden vermeden.

Waar Schraders worden gebruikt, moeten deze geschikt zijn voor het druk- en temperatuurbereik voor CO₂ en de compressorolie.

Het is mogelijk dat onderdelen zoals een cascadowarmtewisselaar met een hoog temperatuurverschil tussen de inlaat- en de uitlaatzijde werken. Dit veroorzaakt thermische schokken, met lekkages als gevolg. Daarmee moet u rekening houden als u het onderdeel kiest. U kunt het temperatuurverschil beperken door het gas af te koelen voordat het de condensor bereikt. Er kan ook koelmiddel verloren gaan door problemen die verband houden met de overdrukkleppen (pressure relief valves of PRV's).

Er moet voldoende verschil zitten tussen de PS (en dus de afblaasdruk van de PRV) en de gebruikelijke werkdruk voor dat deel van het systeem. Zo is de nood om de R744 via PRV's af te blazen minimaal. In veel systemen is dat niet het geval en zorgt zelfs een beperkte stijging van de werkdruk ervoor dat het systeem via de PRV's wordt afgeblazen. Deze toestand wordt nog verergerd doordat de druk van R744 heel snel kan stijgen. Daardoor wordt de afblaasdruk van de PRV bereikt voordat de hogedrukpressostaat wordt geactiveerd (zoals in andere systemen mag de instelling van de hogedrukpressostaat niet meer dan 90 % van de PS bedragen).

³ PS is gedefinieerd in EN378-1: 2016, Koelsystemen en warmtepompen - Veiligheids- en milieueisen, Basisvereisten, definities, classificatie- en selectiecriteria, zie Module 6 - Wettelijke verplichtingen, voor meer informatie.

Als er vaak CO₂ wordt afgeblazen, wordt de veer van de overdrukklep zwakker en daalt de afblaasdruk, waardoor er nog vaker wordt afgeblazen. Bovendien ontstaan er lekken als de overdrukklep daarna niet correct naar haar positie terugkeert, zelfs na één keer afgeblazen te hebben.

Koelcapaciteit

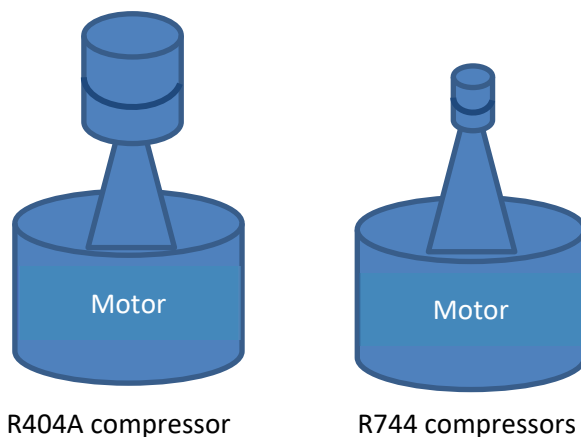
Zoals reeds aangehaald in module 1 is de koelcapaciteit van R744 vele malen hoger dan die van andere koelmiddelen. Dit heeft een impact op:

- Het ontwerp van de compressor – er is minder slagvolume nodig. Daarom worden compressoren gebruikt die specifiek voor R744 zijn ontwikkeld;
- De leidingdiameters – de leidingen hebben een kleinere diameter;
- De warmtewisselaars – er kunnen kleinere verdampers en condensoren worden gebruikt om hetzelfde temperatuurverschil (temperature difference, TD) te bekomen. Als er geen kleinere condensor en verdamper worden gebruikt, daalt het temperatuurverschil en verbetert de capaciteit van het systeem.

See REAL Alternatives
Module 1 “Inleiding”

Emerson Guide “R744
System Design”

Verwar koelcapaciteit niet met efficiëntie. Met koelcapaciteit wordt de hoeveelheid warmte bedoeld die het koelmiddel absorbeert in de verdamper. De koelcapaciteit van R744 is hoog in vergelijking met andere koelmiddelen, maar de efficiëntie is vergelijkbaar.

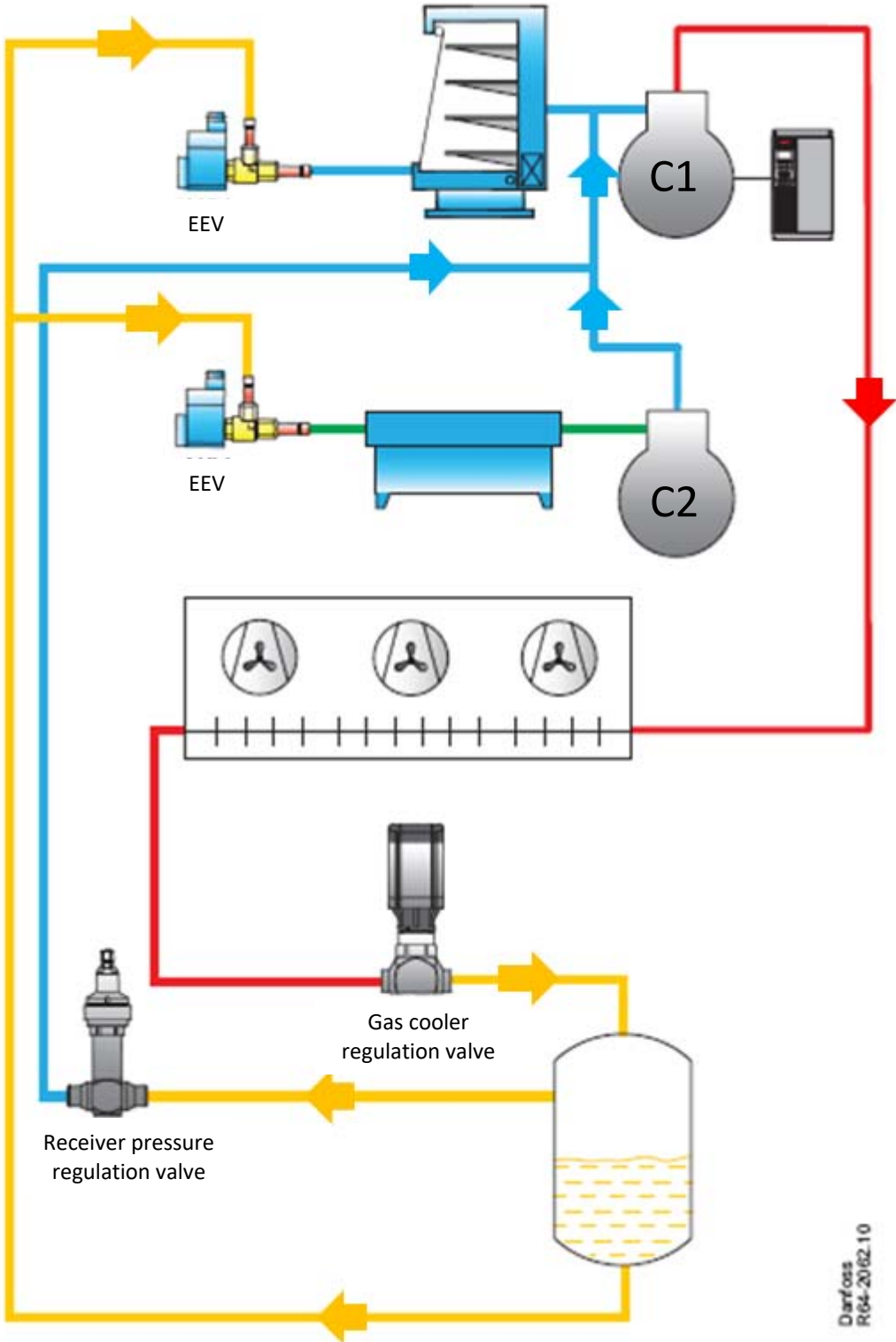


Beide compressoren halen dezelfde koelcapaciteit en verbruiken ongeveer dezelfde hoeveelheid energie.

Tweetrapscompressie (booster)

Een extreem hoge persgastemperatuur komt voor bij LT-systemen (diepvries) die hun warmte aan de omgevingslucht afgeven. Om dit te voorkomen, wordt tweetrapscompressie toegepast. De tussenfase (tussen de hoge temperatuurcompressor en de lage temperatuurcompressor) wordt meestal gekoeld door het zuiggas van de positieve verdamper en het gas uit de vloeistofafscheider. Onderstaand schema geeft een transkritisch boostersysteem weer dat vaak wordt gebruikt in de retailsector.

Het gas uit de LT- verdamper stroomt binnen in de aanzuigzijde van de compressor van de lage trap (C2). Deze compressor voert het gas naar het zuiggedeelte van de compressor van de hoge trap (C1). Het persgas (C2) en het gas uit de vloeistofafscheider, stromen samen het zuiggedeelte van de compressor van de hoge trap (C1) binnen.



Figuur 9, Transkritisch booster system

3 R717 (Ammoniak)



NH₃
1 Stikstof-molecule
3 Waterstof-moleculen

De verschillen in ontwerp van R717-systemen zijn vooral toe te schrijven aan de toxiciteit, de lagere brandbaarheid, de hoge persgastemperatuur, de incompatibiliteit tussen materialen en het feit dat olie niet oplost in ammoniak:

	Type	Key facts	GWP ⁴	Verz. temp ⁵	Toepassingen
R717	Ammoniak, NH ₃	Giftig en lagere brandbaarheid	0	-33°C	Industrieel

- De vulhoeveelheid is beperkt wegens de toxiciteit van R717. In Module 1 vindt u hier meer informatie over (R717 wordt ingedeeld als een koelmiddel van de B2L-groep);
- Bepaalde elektrische onderdelen werden ontworpen voor gebruik in een explosieve atmosfeer. In Bijlage 1 vindt u meer gedetailleerde informatie over het ontwerpproces voor systemen die met een ontvlambaar koelmiddel werken. Dit geldt voor mild brandbare koelmiddelen zoals R717;
- In de meeste gevallen bedraagt de maximale systeemdruk (PS) 22 bar g aan de hogedruk zijde en 11,4 bar g aan de lagedruk zijde, dus de druk in het systeem is niet buitengewoon hoog;
- Tweetrapscompressie wordt toegepast bij lagetemperatuurtoepassingen zoals bij de verwerking en de opslag van ingevroren voedsel, zodat te hoge persgastemperaturen worden voorkomen;
- R717 veroorzaakt corrosie bij koper. Leidingen en montagestukken zijn daarom meestal van staal gemaakt. Daarnaast worden open compressoren gebruikt die specifiek ontworpen zijn voor het gebruik van R717;
- R717 vermengt niet met olie. Olie die in de lagedruk zijde van het koelsysteem terechtkomt, blijft daar achter als een olielaag onder de R717. Er moet een olieterugwinsysteem worden geïnstalleerd. Bij voorkeur een integraal olieterugwinsysteem dat olie opvangt en het naar de olietank terugvoert.

Zie REAL Alternatives
Module 1 "Inleiding"

Danfoss Refrigerant
Slider App
Bitzer PT App

IoR Safety Code of
Practice for
Refrigerating Systems
utilizing R717

⁴ GWP uit F Gas Verordening EU 517:2014

⁵ Verz. temp. is de verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk (1 bar a)



Figuur 10, Voorbeelden van R717 systemen

- R717 is giftig en heeft een zeer lage praktische limiet ($0,00035 \text{ kg/m}^3$). Vaste lekdetectie moet worden gebruikt als een lek tot een hogere concentratie kan leiden. Het lage niveau moet worden ingesteld op 500 ppm en moet mechanische ventilatie en een bewaakt hoorbaar alarm activeren. Het hoge niveau moet worden ingesteld op 30.000 ppm en moet de installatie stoppen en de elektriciteit isoleren.

Momenteel worden er R717-systemen met een kleine koelmiddelinhoud ontwikkeld voor gebruik in commerciële systemen. In zulke systemen worden tot nog toe vooral HFK's gebruikt.

See Ammonia system
video in REAL
Alternatives e-library

4 R32

R32 vertoont heel veel gelijkenissen met R410A. Alleen is R32 geclassificeerd als een koelmiddel met een lagere brandbaarheid (A2L). Zie module 1 voor meer informatie rond classificatie van koelmiddelen.

	Kookpunt °C	Veiligheids- groep	Onderste ontvlambaarheids- niveau kg/m ³	Praktische limiet kg/m ³	Ontbrandings temp. °C	GWP
R32	-51	A2L	0.307	0.061	648	675

De meeste systeemonderdelen zijn dezelfde als de onderdelen die in R410A-systemen worden gebruikt. De verschillen worden bepaald door de mate van brandbaarheid:

- De vulhoeveelheid is beperkt, zie Module 1 voor meer informatie (R32 is ingedeeld als A2L koelmiddel);
- Sommige elektrische onderdelen moeten ontworpen zijn voor gebruik in een brandbare atmosfeer. In Bijlage 1 vindt u meer gedetailleerde informatie over het ontwerpproces voor systemen die met een brandbaar koelmiddel werken. Dit geldt voor 2L koelmiddelen zoals R32.

Zie REAL Alternatives
Module 1

De druk in een R32-systeem tijdens werking en bij stilstand is bijna identiek als voor R410A. Dat betekent dat de gebruikte onderdelen geschikt moeten zijn voor die druk. Het is mogelijk dat onderdelen die voor andere HFK's worden gebruikt, niet geschikt zijn. In de meeste gevallen bedraagt de maximale systeemdruk (PS) 34,2 bar g aan de hogedruk zijde en 19,3 bar g aan de lagedruk zijde.

Zie REAL Alternatives
Module 1, figuur 2

De koelcapaciteit van R32 is vergelijkbaar met die van R410A, wat betekent dat er onderdelen voor R410A kunnen worden gebruikt.

	Type	Key facts	GWP ⁶	Verz. temp ⁷	Toepassing
R32	Gefluoreerde koolwaterstof, HFK	Lagere brandbaarheid	675	-52°C	Split airconditioning



Figuur 11, Voorbeeld van een R32 buitengroep

⁶ GWP uit F Gas Verordening EU 517:2014

⁷ Verz. temp is de verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk (1 bar a)

5 R1234ze

Het ontwerp van R1234ze-systemen verschilt enerzijds doordat dit koelmiddel geclassificeerd is als lager brandbaar en anderzijds door de lage drukken en de lage capaciteit:

- De vulhoeveelheid is beperkt, zie Module 1 voor meer informatie (R1234ze is geclassificeerd als A2L koelmiddel);
- Een aantal elektrische onderdelen moeten worden ontworpen voor gebruik in een brandbare atmosfeer. In bijlage 1 vindt u meer gedetailleerde informatie over het ontwerpproces voor systemen die met een brandbaar koelmiddel werken. Dit geldt voor A2L koelmiddelen zoals R1234ze;
- Typische maximum systeemdrukken zijn (PS) 10,3 bar g aan de hogedruk zijde en 5,1 bar g aan de lagedruk zijde. Dat betekent dat de onderdelen en de buizen voor een veel lagere druk kunnen worden gespecificeerd dan systemen die gebruik maken van andere HFK's;
- De koelcapaciteit bedraagt ongeveer 75% van die van R134a; de COP-waarden van beide koelmiddelen verschillen nauwelijks. Dit betekent dat de compressor bijna even groot moet zijn, maar een slagvolume moet hebben dat 30 % hoger is dan voor R134a om dezelfde capaciteit te halen. Momenteel zijn er heel weinig compressoren verkrijgbaar voor R1234ze-systemen.

Zie REAL Alternatives
Module 1

Zie REAL Alternatives
Module 1, figuur 1

Danfoss Refrigerant
Slider App
Bitzer PT App

UNEP Case Study
including Waitrose trial

	Type	Key facts	GWP ⁸	Verz. temp ⁹	Toepassingen
R1234ze	Onverzadigde HFK (aka HFO)	Lagere brandbaarheid	7	-19°C	Chillers, split air-conditionings, geïntegreerde systemen



Figuur 12, Voorbeelden van apparatuur die is ontworpen om R1234ze te gebruiken

⁸ GWP uit F Gas Verordening EU 517:2014

⁹ Verz. temp is de verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk (1 bar a)

6 R600a (Isobutaan)

De verschillen in het ontwerp van systemen die met R600a werken, zijn toe te schrijven aan de hoge brandbaarheid van het koelmiddel, de lage werkdrukken en lage capaciteit:

- De vulhoeveelheid is beperkt. In bijlage 1 vindt u hierover meer informatie (R600a wordt ingedeeld als een koelmiddel van de A3-groep).
- Een aantal elektrische onderdelen zijn ontworpen voor gebruik in een brandbare atmosfeer. In Bijlage 1 vindt u meer gedetailleerde informatie over het ontwerpproces voor systemen die met een ontvlambaar koelmiddel werken. Dit geldt voor brandbare koelmiddelen zoals R600a;
- Typische maximum systeemdrukken (PS) zijn 6,8 bar g aan de hogedruk zijde en 3,3 bar g aan de lagedruk zijde. Dat betekent dat de onderdelen en de leidingen voor een veel lagere druk kunnen worden gespecificeerd dan systemen die werken met HFK's;
- De koelcapaciteit bedraagt ongeveer 50% van die van R134a; de COP-waarden van beide koelmiddelen verschillen nauwelijks. De compressor heeft dan ook een groter slagvolume maar een ongeveer even grote motor nodig om dezelfde koelcapaciteit te halen. Compressoren voor R600a worden op grote schaal gebruikt voor huishoudelijke en kleine commerciële systemen, maar niet voor grotere systemen.

Zie REAL Alternatives
Module 1

Zie REAL Alternatives
Module 1, figuur 1

Danfoss Refrigerant
Slider App
Bitzer PT App

	Type	Key facts	GWP ¹⁰	Verz. temp ¹¹	Toepassingen
R600a	Isobutaan, C ₄ H ₁₀ , koolwaterstof (KWS)	Brandbaar	3	-12°C	Huishoudelijke en kleine commerciële systemen

¹⁰ GWP uit F Gas Verordening EU 517:2014

¹¹ Verz. Temp. is de verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk (1 bar a)

7 R290 en R1270 (Propaan en Propeen)

R290 en R1270 hebben een vergelijkbare druk-temperatuurverhouding en koelcapaciteit ten opzichte van R404A. Het grootste verschil in het ontwerp van de systemen is toe te schrijven aan de hoge brandbaarheid van beide koelmiddelen:

- De vulhoeveelheid is beperkt. Zie module 1 voor meer informatie. (R290 en R1270 worden ingedeeld als koelmiddelen van de A3-groep);
- Een aantal elektrische onderdelen zijn ontworpen voor gebruik in een brandbare atmosfeer. In Bijlage 1 vindt u meer gedetailleerde informatie over het ontwerpproces voor systemen die met een ontvlambaar koelmiddel werken. Dit geldt voor brandbare koelmiddelen zoals R290 en R1270.

Zie REAL Alternatives
Module 1

Zie REAL Alternatives
Module 1, figuur 1

Danfoss Refrigerant
Slider App
Bitzer PT App

Typische maximum systeemdrukken (PS) zijn:

- Voor de **hogedruk** zijde: 18,1 bar g voor R290 en 21,8 bar g voor R1270
- Voor de **lagedruk** zijde: 10,4 bar g voor R290 en 12,7 bar g voor R1270

In systemen die met R290 en R1270 werken, worden typische R404A-componenten gebruikt, met uitzondering van de elektrische onderdelen (zie volgende deel).

	Type	Key facts	GWP ¹²	Verz. temp ¹³	Toepassingen
R290	Propaan, C ₃ H ₈ , koolwaterstof (KWS)	Brandbaar	3	-42°C	Chillers, geïntegreerde systemen
R1270	Propeen (propyleen), C ₃ H ₆ , koolwaterstof (KWS)	Brandbaar	3	-48°C	Chillers, geïntegreerde systemen



Figuur 13, Voorbeelden van supermarktininstallaties die gebruik maken van koolwaterstoffen

¹² GWP uit F Gas Verordening EU 517:2014

¹³ Verz. Temp. is de verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk (1 bar a)

Case Study – Klein, eenvoudig supermarktsysteem met koolwaterstof als koelmiddel

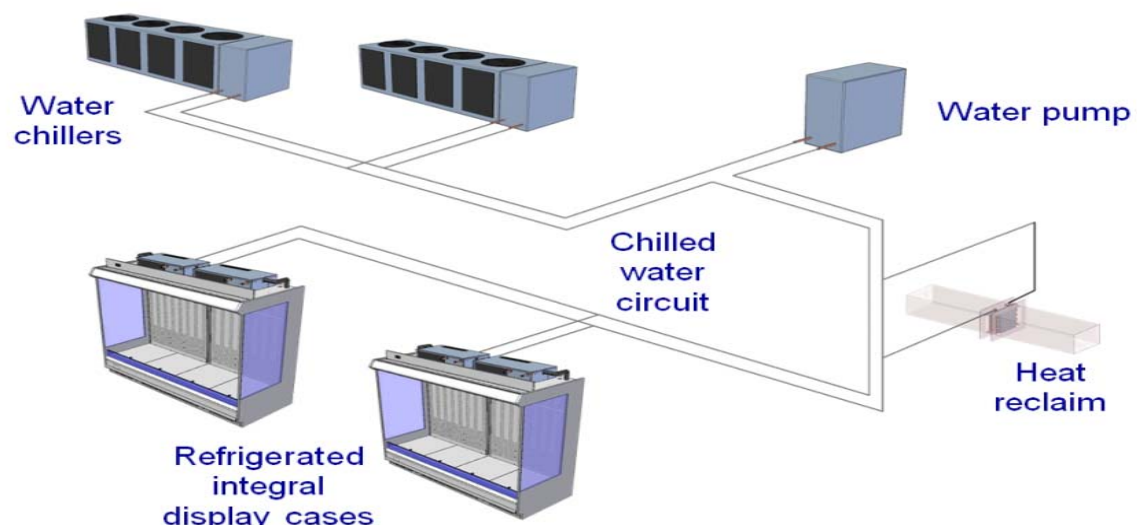
In het VK zijn in meer dan honderd supermarkten in de plaats van grote centrale systemen kleine, eenvoudige koelsystemen geïnstalleerd die met koolwaterstof als koelmiddel werken.

Deze systemen bestaan doorgaans uit geïntegreerde systemen met watergekoelde condensoren en mono-bloc koelsystemen, die ook met watergekoelde condensoren zijn uitgerust. Glycol-chillers die buiten opgesteld zijn, koelen de glycol af die nodig is voor de koelmeubelen en de mono-blocs (zie onderstaande afbeelding).

Luchtgekoelde AC split-units worden ook gebruikt. Het systeem is zo ontworpen dat het geschikt is voor R1270. Het zijn allemaal systemen met een beperkte vulhoeveelheid. Behalve split-units zijn ze allemaal in de fabriek getest en gevuld.

Bij deze systemen gaat op jaarbasis in de meeste gevallen 1 % van de totale vulhoeveelheid verloren, in vergelijking met 100 % voor sommige centrale systemen. Een hoger energieverbruik door lekken is hier dus niet aan de orde.

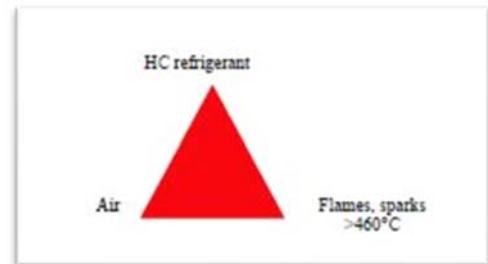
Het gebruik van een KWS als koelmiddel leidde tot de toepassing van kleinere systemen met een beperkte vulhoeveelheid, waardoor lekkages ingrijpend beperkt worden.



Figuur 14, Schematische voorstelling van koelmeubelen gevoed door een koudedragers, de koudedragers wordt gekoeld door een propaan-chiller

8 Bijlage 1, Ontwerpproces voor systemen met brandbare koelmiddelen

Bij een lek ontstaat het risico op een ontvlambare atmosfeer rond het systeem. Dit kan tot ontbranding leiden als er zich een ontstekingsbron in de ontvlambare zone bevindt. Daarom moeten de principes van ATEX¹⁴ worden toegepast:



- Om de omvang van een ontvlambare zone te identificeren in het geval van een lek;
- Bij elektrische toestellen met een potentieel ontvlambare zone in het geval van een lek.

In deze bijlage vindt u meer gedetailleerde informatie over het ontwerpproces voor systemen die met een brandbaar koelmiddel werken. Ontstekingsbronnen binnen een potentieel ontvlambare zone vormen een gevaar bij een lek. Een essentieel aspect van het ontwerpproces bestaat erin om ervoor te zorgen dat er zich geen ontstekingsbronnen bevinden binnen potentieel ontvlambare zones. Deze doelstelling kan men bereiken door te verhinderen dat lekken leiden tot de vorming van een brandbare zone of door ontstekingsbronnen uit de brandbare zone te verwijderen.



In de volgende standaarden vindt u hierover meer gedetailleerde informatie:

- EN60079-10-1 Explosieve atmosferen – Classificatie van gebieden -Explosieve gasatmosferen
- EN60335-2-89 Huishoudelijke en soortgelijke elektrische toestellen – Veiligheid, Deel 2-89: Bijzondere eisen voor commerciële diepvriestoestellen met ingebouwde of gescheiden opgestelde koeleenheid of compressor
- EN 389-2, Annex I leksimulatietesten voor brandbare koelmiddelen.

¹⁴ ATEX 95 (94/9/EC - Equipment) – ESP (The Equipment and Protective Systems Intended for Use in Potentially Explosive Atmosphere Regulations)

Het ontwerpproces

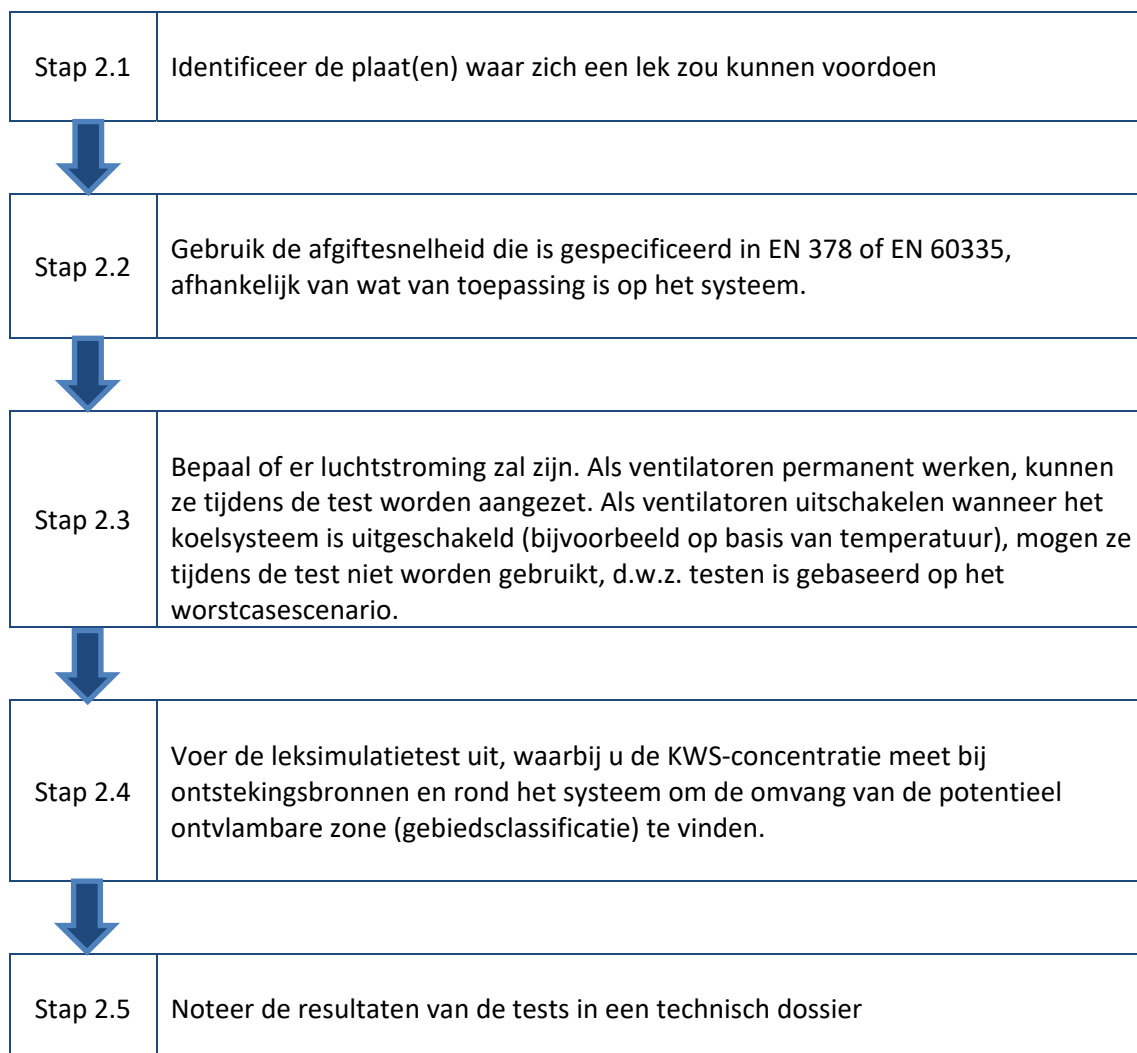
Hieronder vindt u een samenvatting van het ontwerpproces dat de veiligheid van systemen die met brandbare koelmiddelen werken moet garanderen. Elk systeem dat ontstekingsbronnen omvat komt aan bod, ongeacht de vulhoeveelheid.

Stap 1.1	Voer tests uit in de ontvlambare zone (gebiedsclassificatie) om de omvang van het potentieel ontvlambare gebied in het geval van een lek te bepalen.	
		
Stap 1.2	Identificeer ontstekingsbronnen binnen het potentieel ontvlambare gebied.	
		
Stap 1.3	Optie 1 of Optie 2 of Optie 3 of Optie 4	Verwijder de ontstekingsbron uit het potentieel ontvlambare gebied. EN 60079-14 (Explosieve atmosferen–Ontwerp, selectie en oprichting van elektrische installaties) vereist dat elektrische apparatuur - indien mogelijk - in ongevaarlijke zones moet worden opgesteld. Vervang de ontstekingsbron door een geschikt toestel. Verhoog het luchtdebiet en/of zorg voor een permanente luchtstroom om het potentieel brandbare gebied zoveel mogelijk te beperken. Plaats de ontstekingsbronnen in een gesloten behuizing (deze oplossing is meestal duur en moeilijk te realiseren voor kleine systemen).

Gesimuleerde lektests

Er worden gesimuleerde lektests uitgevoerd om de omvang van een potentieel ontvlambaar gebied te bepalen in het geval van een lek. De tests moeten worden uitgevoerd door een competent persoon.

De tests moeten beantwoorden aan de eisen zoals beschreven in EN 60079-10-1 Explosieve atmosferen – Classificatie van gebieden – Explosieve gasatmosferen. In de procedure hieronder wordt het proces op een beknopte manier beschreven. De volledige informatie vindt u in de standaard. EN 378 en EN 60335 bevatten beide richtlijnen voor lektests.



De gesimuleerde lekttest moet plaatsvinden in een omgeving die vergelijkbaar is met de plaats waar het systeem zal worden opgesteld. Tijdens de test moet u ook rekening houden met de afmetingen van de ruimte en de apparatuur die in de nabijheid is opgesteld, met betrekking tot ontstekingsbronnen.

Potentiële lekpunten

Potentiele lekpunten zijn meestal verbindingpunten, een bocht van meer dan 90°, beschadigde leidingen en onderdelen en andere zwakke punten in het systeem.

Zorg ervoor dat de bron van lekkage (bv. de slang die verbonden is met de KWS-fles en waarlangs het lekkende koelmiddel in het gebied terechtkomt), de positionering van het koelsysteem en de apparatuur waarmee u stalen van het koelmiddel neemt de testresultaten niet al te zeer beïnvloeden. De apparatuur waarmee u de concentratie van het koelmiddel meet, moet snel genoeg reageren op veranderingen in de concentratie (meestal 2 tot 3 seconden).

Elke plaats waar de concentratie tijdens een deel van de test boven 50 % van het LFL (Lower Flammability Limit) ligt, wordt beschouwd als potentieel ontvlambaar. De factor 0,5 wordt gebruikt omdat een lek van een brandbaar koelmiddel als een secundaire uitstroming wordt gedefinieerd.

Tijdens de gesimuleerde lekttest wordt ook het gebied rond het systeem geïdentificeerd waarin zich geen ontstekingsbronnen mogen bevinden. Als er zich een potentieel ontvlambaar gebied kan vormen rondom de grondinname van het systeem, is het belangrijk dat andere apparatuur in dat gebied geschikt is voor gebruik in een potentieel ontvlambare omgeving.

Elektrische toestellen

Uit de gesimuleerde lekttest blijkt of er zich ontstekingsbronnen binnen het potentieel ontvlambare gebied bevinden. Elektrische toestellen die zich binnen het potentieel ontvlambare gebied bevinden, mogen:

- **Geen** boog of een vonk voortbrengen (tenzij deze boog of vonk geen ontsteking kan veroorzaken in overeenstemming met IEC EN 60079-15 Explosieve atmosferen – Bescherming van materieel door beschermingswijze 'n', bepalingen 16 tot 20);
- **Geen** maximale oppervlaktemperatuur voortbrengen die hoger ligt dan de maximale temperatuur die geschikt is voor de temperatuurklasse van het apparaat (tenzij de temperatuur geen ontsteking kan veroorzaken in overeenstemming met IEC EN 60079-15, bepalingen 16 tot 20).

Ontstekingsbronnen

Ontstekingsbronnen in verband met koelsystemen omvatten meestal:

- Aan/uit-schakelaars of contactoren;
- Relais;
- Pressostaten;
- Thermische beveiligingen;
- Ventilatormotoren;
- Thermostaten;
- Condensaatpompen;
- Automaten;
- Verwarmingselementen voor ontdooiing als de oppervlaktemperatuur een temperatuur kan overschrijden die 100°C lager ligt dan de ontstekingstemperatuur

van het koelmiddel, bv. 360°C voor KWS-en (de maximale oppervlaktemperatuur van de verwarmers moet worden aangetoond door tests in de uiterste omgevingsomstandigheden van de werkingsomgeving, in de veronderstelling dat de uitschakeling van de ontdooiingsinstallatie niet heeft gewerkt).

- Oppervlakken boven de 360°C.

Dit is geen volledige lijst, maar ze omvat wel de meest gebruikelijke elektrische componenten waarmee u rekening moet houden.

De volgende items zijn **onder de meeste omstandigheden** geen ontstekingsbron:

- Verlichting (zelfs voor verlichting op laagspanning moet u rekening houden met de schakelaar, starter en eindpunten);
- Condensatoren (het gebruik van aftapweerstand wordt aanbevolen om het gevaar van ontladingen tijdens de werking zoveel mogelijk te beperken);
- Spoelen van magneetkleppen;
- Elektrische aansluitingen (ongewilde ontkoppeling, bv. tijdens onderhoudswerken, kan een vonk veroorzaken. Om het risico met (schuif) kabelschoenen zoveel mogelijk te beperken, wordt het gebruik van gesoldeerde eindpunten aanbevolen die niet per ongeluk kunnen worden ontkoppeld);
- Zekeringen (worden beschouwd als toestellen die geen vonken voortbrengen als ze niet opnieuw kunnen worden bedraad, smeltzekeringen met en zonder statusaanduiding zijn volgens IEC 60269-3 (Laagspanningssmeltveiligheids – Deel 3: Aanvullende eisen voor smeltveiligheids voor gebruik door niet- deskundige personen (smeltveiligheids voornamelijk voor huishoudelijke en soortgelijke toepassingen) – Voorbeelden van gestandaardiseerde systemen van zekeringen A tot F), die binnen hun klasse werken¹⁵).

Hoe omgaan met ontstekingsbronnen

Er bestaan verschillende opties om met ontstekingsbronnen binnen een potentieel ontvlambaar gebied om te gaan, zoals wordt weergegeven in Stap 1.3.

Wanneer u optie 2 ('geschikte toestellen') kiest, moet het apparaat beantwoorden aan de eisen van IEC EN 60079-15. Deze standaard definieert beschermingswijze 'n' als een beschermingswijze die in normale werkingsomstandigheden en in sommige gespecificeerde abnormale omstandigheden niet in staat is om een explosieve gasatmosfeer te ontsteken.

Toestellen van het type 'n' moeten door een erkende instantie worden getest en moeten op een correcte manier worden gedocumenteerd.

Elektrische verbindingen binnen een potentieel ontvlambare zone zijn gevaarlijk als ze worden losgekoppeld terwijl ze onder stroom staan. Stekkers en contactdozen, als ze zijn toegewezen en aangesloten op slechts één deel van de apparatuur, moeten mechanisch worden vastgezet om onbedoelde scheiding te voorkomen of een minimale scheidingskracht van 15 Nm hebben. De apparatuur moet als volgt worden gemarkeerd ¹⁶:

WAARSCHUWING – NIET SCHEIDEN WANNEER DE ELEMENTEN BEKRACHTIGD ZIJN

¹⁵ EN60079-15:2010 Explosive atmospheres – Equipment protection by type of protection "n", 9.1

¹⁶ EN60079-15:2010 Explosive atmospheres – Equipment protection by type of protection "n", 10.1 and 24.3.1

Zekeringkasten moeten zodanig worden vergrendeld dat de zekeringen alleen kunnen worden verwijderd of vervangen wanneer de voeding is losgekoppeld of de behuizing moet het volgende waarschuwingsetiket dragen ¹⁷:

WAARSCHUWING – VERWIJDER OF VERVANG GEEN ZEKERING WANNEER HET SYSTEEM BEKRACHTIGD IS

Er mogen geen onbeschermd 1-aderige kabels worden gebruikt voor geleiders die onder spanning staan, tenzij ze in schakelkasten, kasten of in het leidingsysteem geïnstalleerd zijn. ¹⁸

Ventilatoren.

In de volgende omstandigheden kan ventilatie een alternatief zijn voor wijzigingen aan de elektrische apparatuur of kasten:

- De condensorventilatoren kunnen constant draaien (d.w.z. ze worden niet uitgeschakeld wanneer de temperatuur van het systeem tot het gewenste peil is gezakt). Met deze oplossing stijgt het stroomverbruik van het systeem wel.

Of

- Er kan een extra ventilator worden ingeschakeld wanneer de condensorventilator uitvalt. Een kleinere ventilator dan de ventilator die voor de koeling van de condensor wordt gebruikt, kan in de meeste gevallen voldoende luchtstroom opwekken. Zo wordt bij deze optie minder stroom verbruikt dan wanneer er voortdurend een condensorventilator zou moeten draaien. De luchtstroom van de extra ventilator moet met leksimulatie worden getest, zodat kan worden nagegaan of de luchtstroom groot genoeg is om het KWS-koelmiddel te laten vervliegen.

De nodige aandacht moet gaan naar defecte condensoren of defecte ventilatormotoren, aangezien die de beschikbare luchtstroom aanzienlijk doen dalen. Dit is zeker zo wanneer deze apparaten de primaire bescherming vormen tegen ontstekingsbronnen.

¹⁷ EN60079-15:2010 Explosive atmospheres – Equipment protection by type of protection “n”, 9.4

¹⁸ EN60079-14:2014 Explosive atmospheres – Electrical installations design, selection and erection

9 Zelftestvragen

Probeer de meerkeuzevragen hieronder om uw leerproces te checken:

Vraag 1 -

Wat is de druk van R744 in een systeem dat stilstaat bij een omgevingstemperatuur van 20°C?

- i. 4.9 bar g
- ii. 7.4 bar g
- iii. 56 bar g
- iv. 72.8 bar g

Vraag 2 –

Hoeveel koelmiddel moet verpompt worden door een compressor die werkt op R600a in vergelijking met een compressor die werkt op R134a om hetzelfde koelvermogen te krijgen?

- I. 7x
- II. 2x
- III. Hetzelfde
- IV. De helft

Vraag 3 –

Onder welke condensatietemperatuur is een R744 systeem subkritisch?

- I. 55° C
- II. 43° C
- III. 31° C
- IV. 72° C

Vraag 4 –

Boven welke temperatuur worden hete oppervlakken een ontstekingsbron bij gebruik van R1270 als koelmiddel?

- I. 60° C
- II. 150° C
- III. 260° C
- IV. 360° C

(De juiste antwoorden worden getoond aan het einde van de volgende pagina.)

Volgende stappen

De informatie in deze modules geeft een inleiding tot de veiligheidsrisico's en hoe deze moeten worden beheerd voor de meest voorkomende alternatieve koelmiddelen. Er is veel meer informatie in de documenten die in de links zijn gemarkeerd. Ga naar de online e-bibliotheek op <http://www.realalternatives.eu/e-library> om alle aanvullende informatie te bekijken die u mogelijk nuttig vindt.

Als je een REAL Alternatives Certificaat wilt behalen, moet je een volledig eindexamen afleggen bij een gelicentieerd opleidingscentrum voor REAL Alternatives. Informatie over het examen is beschikbaar op <http://www.realalternatives.eu/>

Je kunt nu je zelfstudie voortzetten met een van de volgende REAL Alternatives leermodules:

1. Kennismaking met alternatieve koelmiddelen – veiligheid, efficiëntie, betrouwbaarheid en goede praktijk
2. Veiligheid en risicobeoordeling
3. Systeemontwerp voor systemen met alternatieve koelmiddelen
4. Lekktheid en lekdetectie bij alternatieve koelmiddelen
5. Richtlijnen in verband met onderhoud en herstellingen van systemen die met alternatieve koelmiddelen werken
6. Bestaande koelsystemen retrofitten met lage GWP-alternatieven
7. Checklist met wettelijke verplichtingen bij werken met alternatieve koelmiddelen
8. Meten van de financiële en ecologische impact van lekkage
9. Hulpmiddelen en begeleiding voor het uitvoeren van een onderzoek ter plaatse

Gebruiksvoorwaarden

De REAL Alternatives e-learning materialen worden kosteloos ter beschikking gesteld voor educatieve doeleinden en mogen niet worden verkocht, afgedrukt, gekopieerd of gereproduceerd zonder voorafgaande schriftelijke toestemming. Alle materialen blijven eigendom van het Institute of Refrigeration (UK) en partners. Materialen zijn ontwikkeld door experts en zijn onderworpen aan een grondige collegiale toetsing en testen, maar het IoR en partners accepteren geen aansprakelijkheid voor fouten of weglatingen. © IOR 2015, herzien 2017

Dit project is gefinancierd met steun van de Europese Commissie. Deze publicatie [communicatie] geeft uitsluitend de mening van de auteur weer en de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gehouden voor het gebruik van de informatie die erin is vervat.

Juiste antwoorden: V1 = iii, V2 = ii, V3 = iii, V4 = iv.