



With contribution of
the LIFE programme
of the European Union

Kennismaking

met alternatieve koelmiddelen

Inhoud

- 1 - Inleiding
- 2 - R744 (kooldioxide, CO₂)
- 3 - R717 (ammoniak, NH₃)
- 4 - R32 (HFK)
- 5 - R1234ze en R1234yf (HFO)
- 6 - R290, R1270 en R600a
- 7 - Veiligheid
- 8 - Beperkingen in gebruik
- 9 - Prestaties en werkingscondities
- 10 - Milieu-impact
- 11 - Beschikbaarheid
- 12 - Problemen bij lekkage
- 13 - Standaarden en wetgeving
- 14 - Zelftestvragen

	Type	Belangrijkste feiten	GWP ²
R744	Kooldioxide, CO ₂	Hoge drukken	1
R717	Ammoniak, NH ₃	Toxisch en lagere brandbaarheid	0
R32	Chloorfluorkoolwaterstof, HFK	Lagere brandbaarheid	675
R1234ze	Onverzadigde HFK (ook bekend als fluorwaterstof olefine)	Lagere brandbaarheid	7
R1234yf	Onverzadigde HFK (ook bekend als fluorwaterstof olefine)	Lagere brandbaarheid	4
R600a	ISO butaan, C ₄ H ₁₀ , koolwaterstof (KWS)	Zeer brandbaar	3
R290	Propan, C ₃ H ₈ , koolwaterstof (KWS)	Zeer brandbaar	3
R1270	Propeen (propyleen), C ₃ H ₆ , koolwaterstof (KWS)	Zeer brandbaar	3



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, assessments die gebruikt kunnen worden door opleidingscentra en 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 leermateriaal 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 examen centrum.

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 1 - Kennismaking met alternatieve koelmiddelen

1 Inleiding

Doel van Module 1

Deze module geeft een algemene inleiding tot de verschillende alternatieven voor gefluoreerde koelmiddelen (HFK's), die sterk bijdragen tot de opwarming van de aarde. In deze module worden onder meer hun eigenschappen, prestaties, veiligheidskenmerken, milieu-impact en gebruiksgemak vergeleken. Deze koelmiddelen worden gebruikt in nieuwe, speciaal ontworpen systemen – ze zijn zelden bruikbaar als drop-in. De belangrijkste alternatieven hebben een laag tot geen GWP ('global warming potential' of 'aardopwarmingsvermogen'), maar het is wel belangrijk om te weten dat een koelmiddel niet alleen op basis van zijn lage GWP-waarde wordt geselecteerd. Er moet ook met andere kenmerken rekening worden gehouden, zoals:

- Werkdrukken;
- Prestaties – capaciteit en efficiëntie;
- Materiaalcompatibiliteit, inclusief compressorolie;
- Veiligheid, inclusief brandbaarheid en toxiciteit;
- Temperatuur-glide;
- Gebruiksgemak en vereiste expertise van ingenieurs en technici die verantwoordelijk zijn voor de installatie, de service en het onderhoud van systemen die met deze koelmiddelen werken.

Dit is handig referentiemateriaal voor iedereen die werkzaam is in de koel-, airconditioning- en warmtepompsector (RACHP). De auteurs van deze cursus gaan ervan uit dat u al over de vereiste kennis beschikt over RACHP- systemen die met HFK-koelmiddelen werken.

Beperkingen

Dit document biedt een inleiding tot dit onderwerp. Het vervangt geen praktische training en ervaring.

Bron van extra informatie en nuttige links

Aan het einde van de module vindt u linken naar nuttige aanvullende informatie uit een reeks bronnen die door vakgenoten zijn beoordeeld als u meer wilt weten over deze topics.



Zie REAL Alternatives
Referenties

Het gebruik van standaarden

Om inbreuken op het auteursrecht te voorkomen, is in dit document niets uit de internationale, Europese of nationale standaarden overgenomen. Standaarden vormen een onschatbare bron van informatie. We verwijzen er dan ook naar en bevelen het gebruik ervan ten zeerste aan.

Bereik

De volgende koelmiddelen komen aan bod:

- R744 (kooldioxide, CO₂);
- R717 (ammoniak, NH₃);
- R32 (HFK met lagere GWP-waarde in vergelijking met andere veel gebruikte HFK's);

- R1234ze en R1234yf (fluorwaterstof olefine met lage GWP-waarde);
- R290 (propanaan), R1270 (propeen, propyleen) en R600a (isobutaan).

Korte geschiedenis

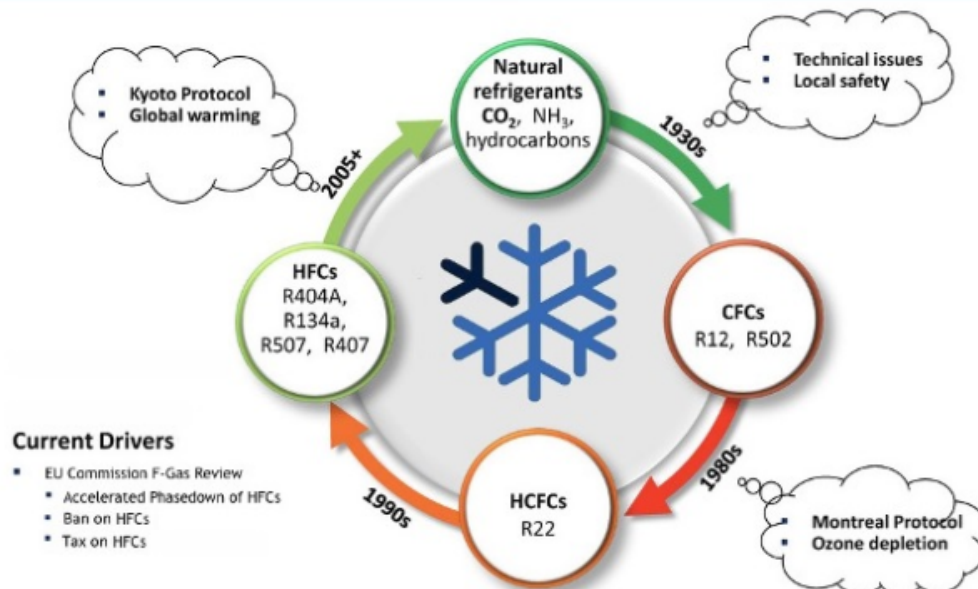
Voor meer informatie over de geschiedenis en de ontwikkeling van verschillende synthetische en alternatieve koelmiddelen, zie de Eurammon-film “naturally cool”

Zie Eurammon “naturally cool” film

R744, R717 en R290 waren enkele van de eerste koelmiddelen die in mechanische koelsystemen werden gebruikt. Ze werden steeds minder gebruikt toen CFK's en HCFK's op het toneel verschenen; R744 en R290 werden slechts zelden gebruikt. R717 wordt wel nog altijd in industriële systemen toegepast.

Toen de ozonaantastende koelmiddelen¹ geleidelijk van de markt verdwenen, begon men opnieuw R290 en andere koolwaterstoffen te gebruiken. Tegelijk werden HFK-koelmiddelen op de markt gebracht en op ruime schaal gebruikt. Maar de combinatie van hun hoge GWP-waarde en het hoge aantal lekkagegevallen in sommige toepassingen deed een deel van de industrie besluiten om te opteren voor alternatieven met een lagere GWP-waarde. Zo gebruikt men R744 sinds het jaar 2000 in retailsystemen en worden HFK's met een lagere GWP-waarde momenteel getest.

The Closed CycleDriving Natural & Alternative Refrigerant Solutions



bron: www.fridgehub.com

¹ Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en hydrochloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's)

Basiseigenschappen

De basiseigenschappen van deze koelmiddelen vindt u in tabel 1 hieronder.

Tabel 1, basiseigenschappen alternatieve koelmiddelen

	Type	Belangrijkste feiten	GWP ²	Verz. temp ³	Typische toepassingen
R744	Kooldioxiide, CO ₂	Hoge drukken	1	-78 °C	Koeling in retail, warmtepompen, integrale systemen
R717	Ammoniak, NH ₃	Toxisch en lagere brandbaarheid	0	-33 °C	Industrieel
R32	Chloorfluorkoolwaterstof, HFK	Lagere brandbaarheid	675	-52 °C	Split airconditioning
R1234ze	Onverzadigde HFK (ook bekend als fluorwaterstof olefine)	Lagere brandbaarheid	7	-19 °C	Chillers, split airconditioning, geïntegreerde systemen
R1234yf	Onverzadigde HFK (ook bekend als fluorwaterstof olefine)	Lagere brandbaarheid	4	-29.5 °C	Chillers, air conditioning, MAC, warmtepompen
R600a	Isobutaan, C ₄ H ₁₀ , koolwaterstof (KWS)	Uiterst brandbaar	3	-12 °C	Huishoudkoelkasten en kleine commerciële systemen
R290	Propanaan, C ₃ H ₈ , koolwaterstof (KWS)	Uiterst brandbaar	3	-42 °C	Chillers, geïntegreerde systemen
R1270	Propeen (propyleen), C ₃ H ₆ , koolwaterstof (KWS)	Uiterst brandbaar	3	-48 °C	Chillers, geïntegreerde systemen

Sommigen van deze koelmiddelen worden al op ruime schaal gebruikt. Andere doorlopen momenteel hun eerste tests of worden geleidelijk aan op de markt gebracht. Hun brandbaarheid en toxiciteit beperken vaak hun toepassingsmogelijkheden. In de tabel op de volgende pagina vindt u een overzicht van de toepassingen waarvoor ze het meest geschikt zijn.

Brandbare koelmiddelen zijn gecategoriseerd met een lagere of hogere brandbaarheid, afhankelijk van de concentratie die nodig is om ontbranding mogelijk te maken, de hitte van de verbranding en de snelheid waarmee de vlam zich verspreidt. Lagere brandbaarheid betekent niet niet-brandbaar!

² GWP is van F Gas Verordening EU 517:2014

³ De verz. temp. is de verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk (1 bar a). Behalve bij R744, waar dit de oppervlaktemperatuur van vaste R744 bij atmosferische druk is.

Tabel 2, toepassingen met alternatieve koelmiddelen

Koelmiddel	Centrale installatie	VRV, VRF	Split AC / warmtepompen	Chillers	Condensing units	Geïntegreerde systemen
R744						
R717						
R32						
R1234ze R1234yf						
R600a						
R290 and R1270						

In deze tabel ziet u voor welk systeemtype het koelmiddel het meest geschikt is. In het deel hieronder vindt u meer informatie over huidige toepassingen.



Groen – Deze systemen zijn geschikt voor het vermelde koelmiddeltype en de vulhoeveelheid bevindt zich meestal binnen de limieten die in EN378 zijn gespecificeerd. Bij het ontwerp van de systemen zijn een aantal aanpassingen noodzakelijk t.o.v. systemen met traditionele koelmiddelen. – vb. M.b.t. elektrische apparatuur en/of de ventilatie.



Oranje – Deze systemen zijn geschikt voor het vermelde koelmiddeltype. Wel moet men rekening houden met bepaalde beperkingen wegens de maximale vulhoeveelheid of de praktische limiet die in EN378-2 zijn vastgelegd. Bij het ontwerp van de systemen zijn een aantal aanpassingen noodzakelijk t.o.v. systemen met traditionele koelmiddelen - vb. M.b.t. elektrische apparatuur en/of ventilatie. In sommige gevallen is de volumetrische capaciteit van het koelmiddel niet ideaal voor de toepassing.



Rood – Bij deze systemen mag men het vermelde koelmiddeltype niet gebruiken, in de meeste gevallen omdat de vulhoeveelheid groter is dan de maximumwaarde die in EN3781-1 is gespecificeerd.

Toelichtingen:

(1) VRV (Variable Refrigerant Volume) en VRF (Variable Refrigerant Flow)

(2) De praktische limiet voor koelmiddel vertegenwoordigt de concentratie die wordt gebruikt voor vereenvoudigde berekening om de maximaal aanvaardbare hoeveelheid koelmiddel in een bezette ruimte te bepalen. Het is gebaseerd op toxiciteit of brandbaarheid. Voor volledige informatie, zie EN378 Deel 1 - Tabel E.1.

Geschiktheid van Alternatieve Koelmiddelen voor Retrofits

De meeste alternatieve koelmiddelen zijn niet geschikt als retrofit in systemen die werden ontworpen voor conventionele (niet-brandbare) HFK- of HCFK-koelmiddelen. Sommige HFO-koelmiddelen kunnen wel gebruikt worden als retrofit - Zie Module 6 voor meer details.

Op de volgende pagina's vindt u een beknopte inleiding tot elk koelmiddel. Meer details vindt u in module 3 'Ontwerpverschillen voor systemen met alternatieve koelmiddelen'.



REAL Alternatives Module 3,
Systeemontwerp

2 R744 (koolstofdioxide, CO₂) GWP = 1

R744 heeft hoge werkingstemperaturen, een lage kritische temperatuur (31 °C) en een hoog tripelpunt. De volumetrische koelcapaciteit van R744 ligt vijf tot acht keer hoger dan die van HFK's, waardoor het vereiste slagvolume van de compressor en de grootte van de leidingen kleiner zijn. De eigenschappen van dit koelmiddel hebben een effect op hoe het systeem wordt ontworpen en hoe het werkt, meer bepaald bij hoge omgevingstemperaturen. Het heeft een hoge persgastemperatuur, waardoor de compressie in twee fasen moet verlopen bij lagetemperatuursystemen. Het rechts afgebeelde document bevat gedetailleerde informatie over hoe deze eigenschappen R744-toepassingen beïnvloeden.

Danfoss Application Handbooks "Food retail CO₂ refrigeration systems" and "CO₂ for industrial refrigeration"



CO₂ molecule

R744 wordt gebruikt in de volgende systeemtypes:^{[1][2]}

- Gepompte secundaire vloeistof – hierbij is R744 de secundaire vloeistof die door een primair systeem wordt gekoeld. R744 is een vluchtige secundaire vloeistof die in combinatie met zijn hoge koelcapaciteit en dichtheid minder pompvermogen vereist dan andere secundaire vloeistoffen.
- Cascade – de door de R744 afgevoerde warmte (condensor) wordt geabsorbeerd door een verdampend koelmiddel in een aparte hoge trap. R744 werkt in zulke systemen onder het kritisch punt en de druk in de lage trap (condensorzijdig) is meestal lager dan 40 bar g. De hoge trap kan een HFK, KWS, HFO of R717 als koelmiddel bevatten.
- Transkritische systemen – hierbij wordt de warmte van de R744 afgegeven aan de omgevingslucht. Bij omgevingstemperaturen hoger dan +/- 25 °C komt de R744 boven het kritisch punt (31 °C) – d.w.z. vanaf dat moment werkt het systeem transkritisch. De R744 condenseert niet: het blijft een superkritische stof tot zijn druk onder de kritische druk (72,8 bar g) gezakt is.

Danfoss Application Handbook "Cascade HC/HFC – CO₂ system"

Danfoss CO₂ Handbook. Danfoss article "Transcritical refrigeration systems with CO₂"

In Europa wordt R744 momenteel reeds toegepast in duizenden supermarktinstallaties en in industriële systemen. Dit koelmiddel wordt ook steeds vaker in warmtepompen en in integrale systemen gebruikt.

Shecco Guide Europe 2014

De introductie van R744 vereist niet alleen extra vaardigheden van de ontwerpers en de onderhoudstechnici, maar ook de beschikbaarheid van nieuwe componenten.

3 R717 (Ammoniak, NH₃) – GWP = 0

R717 heeft een vrij hoge verzadigingstemperatuur bij atmosferische druk, is bijzonder toxisch, heeft een lagere brandbaarheid en verspreidt een doordringende geur. Dit koelmiddel kan al worden geroken bij concentraties van amper 3 mg/m³, wat betekent dat het duidelijk waarneembaar is op niveaus die veel lager liggen dan de gevarenniveaus (de ATEL/ODL⁴ bedraagt 350 mg/m³). Dit is het enige vaak gebruikte koelmiddel dat lichter is dan lucht, wat betekent dat verspreiding van gelekt koelmiddel snel plaatsvindt.



NH₃ molecule

Institute of
Refrigeration Safety
Code Ammonia

De relatief hoge verzadigingstemperatuur betekent dat vele lage temperatuurtoepassingen werken bij subatmosferische drukken aan de lagedruk zijde.

R717 werkt met zeer hoge persgastemperaturen. Hierdoor kan eentrapcompressie normaliter boven -10°C verdampingstemperatuur worden gebruikt. Onder deze temperatuur moet tweetrapscompressie met tussenkoeling worden toegepast.

Wegens zijn hoge toxiciteit is R717 alleen geschikt voor systemen met een relatief kleine vulhoeveelheid of voor industriële systemen (d.w.z. systemen in zones die niet toegankelijk zijn voor het algemene publiek). Typische voorbeelden daarvan zijn koelhuizen in de distributiesector en voedselverwerkende bedrijven. Daarbij worden vaak secundaire systemen gebruikt met R717 als het primaire koelmiddel.

Hieronder enkele voorbeelden van ammoniaksystemen:



Ammoniak veroorzaakt corrosie bij koper, waardoor er stalen leidingen en open compressoren moeten worden gebruikt. Dit koelmiddel kan niet met conventionele minerale oliën worden vermengd. Daarom moet bij dit soort koelsystemen ook een olieterugwinsysteem worden voorzien. Het gebruik van stalen buizen, open compressoren en olieterugwinning heeft een impact op de investeringskosten van een installatie die met ammoniak werkt.

REAL Alternatives Video
Example of Ammonia
System design in
e-library

⁴ ATEL/ODL is de Actual Toxicity Exposure Limit / Oxygen Deprivation Limit die in de lijst van EN 378-1:2016 opgenomen is. (De laagste van beide waarden is van toepassing)

4 R32 (HFC) GWP 675

R32 is een HFK dat een lagere brandbaarheid heeft (2L). De prestaties en de bedrijfsdrukken van dit koelmiddel zijn heel goed te vergelijken met die van R410A. R32 wordt dan ook steeds vaker voor vergelijkbare toepassingen gebruikt: warmtepompen, gecombineerde koeling/verwarmingssystemen en chillers. Contacteer uw leverancier voor vragen aangaande de geschiktheid van dit koelmiddel.

Institute of
Refrigeration Safety
Code for Flammable
Refrigerants



R32 molecule

Doordat R32 een lagere brandbaarheid heeft (2L), is de maximale vulhoeveelheid van dit koelmiddel beperkt. Zij het niet in dezelfde mate dan voor de zeer brandbare koolwaterstoffen. Elektrische apparaten op het systeem mogen geen vonken voortbrengen als een lek kan leiden tot een ontvlambare concentratie rond het elektrische apparaat.

De werkingsdrukken liggen hoger dan voor de meeste HFK's, maar zijn vergelijkbaar met die van R410A. In de meeste gevallen bedraagt de maximumdruk aan de hogedruk zijde 35 bar g.

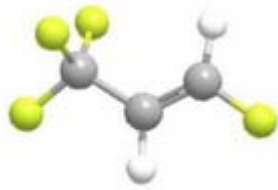


R32 air conditioning units in production

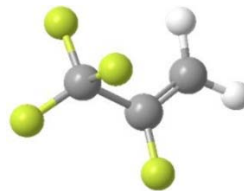
5 R1234ze en andere HFO's

De belangrijkste HFO-koelmiddelen (hydrofluorolefine) zijn R1234ze en R1234yf. Het zijn beide enkelvoudige stoffen van dezelfde familie, bestaande uit waterstof, fluor en onverzadigde koolstof. Ze hebben beide een lagere brandbaarheid (2L) en hebben een zeer laag GWP.

Een HFO - hydrofluorolefine is een halogeenkoolwaterstof die waterstof, fluor en onverzadigde koolstof bevat.



R1234ze molecule



R1234yf molecule

Bitzer refrigerant Report
19

Institute of
Refrigeration Safety
Code for Flammable
Refrigerants

Hun lagere brandbaarheid begrenst de hoeveelheid koelmiddelvulling, maar niet in dezelfde mate als de koolwaterstoffen met hogere brandbaarheid. Elektrische apparaten op het systeem mogen geen vonken voortbrengen als een lek kan leiden tot een ontvlambare concentratie rond het elektrische apparaat.

De verzadigingstemperatuur van R1234ze bij atmosferische druk is hoog in vergelijking met andere koelmiddelen, zodat deze onder vacuüm zal werken aan de lagedrukzijde van het systeem voor toepassingen bij lage temperaturen. Het is daarom het meest geschikt voor MT en HT toepassingen, zoals chillers. De koelcapaciteit is laag in vergelijking met andere HFK's, wat betekent dat compressoren met een groter slagvolume nodig zijn.

R1234ze wordt gebruikt in chillers en geïntegreerde units.

R1234yf wordt op grote schaal gebruikt in de airconditioning van auto's. Het wordt momenteel ook al gebruikt in commerciële chillers. Het is vergelijkbaar met R1234ze, omdat het ook werkt onder de atmosferische druk aan de lagedruk zijde van het systeem bij LT toepassingen, waardoor het meer geschikt is voor MT en HT-toepassingen, zoals chillers. Het heeft een vergelijkbare koelcapaciteit dan R134a, wat betekent dat dezelfde compressoren kunnen worden gebruikt.

Verscheidene mengsels met HFO's worden commercieel gebruikt. Ze hebben lagere GWP's dan HFK's zoals R404A en R134a, maar sommige zijn brandbaar. Zie module 5 voor meer informatie.

Honeywell leaflet:
Solstice – a full range of
... refrigerant solutions



Voorbeelden van apparaten werkend met R1234ze

Climalife website for
Chemours refrigerant
information

6 R290, R1270 en R600a (KWS-en) GWP = 3

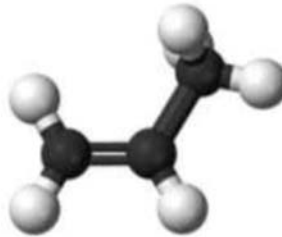
R290 (propan), R1270 (propeen, propyleen) en R600a (isobutaan) zijn allemaal koolwaterstoffen. Ze zijn uiterst brandbaar, waardoor de vulhoeveelheid van het koelmiddel bij veel toepassingen beperkt is. Hierdoor blijft het gebruik van KWS-en voornamelijk beperkt tot geïntegreerde systemen en chillers.

Elektrische apparaten op het systeem mogen geen vonken voortbrengen als een lek kan leiden tot een ontvlambare concentratie rond het elektrische apparaat.

Institute of
Refrigeration Safety
Code for Flammable
Refrigerants



Propan molecule



Propeen molecule



Isobutaan molecule

R290 en R1270 halen vergelijkbare prestaties en werken met vergelijkbare werkingsdrukken als R404A. Ze worden gebruikt in commerciële toepassingen met hoge, medium en lage temperaturen.

R600a heeft een veel hogere verzadigingstemperatuur dan andere koelmiddelen en werkt in de meeste toepassingen onder de atmosferische druk aan de lagedruk zijde. Dit koelmiddel is alleen geschikt voor gebruik in huishoudelijke en zeer kleine commerciële koelsystemen met minimaal lekkagepotentieel, zodat er geen lucht en vocht in het systeem kunnen doordringen ten gevolge van lekkage.

Mengsels van KWS-en zijn ook verkrijgbaar, zoals Care 30 (propan en isobuteen) en Care 50 (propan en ethaan). Deze mengsels zijn ook bijzonder brandbaar en hebben een aanzienlijke temperatuurglide.



Voorbeelden van toestellen ontworpen voor koolwaterstoffen

7 Veiligheid

Aan alle natuurlijke koelmiddelen en lage GWP-koelmiddelen zijn gevaren verbonden in vergelijking met de traditionele HFK's. Deze zijn:

- Brandbaarheid
- Toxiciteit
- Hoge drukken

De onderstaande tabel vat de gevaren van de natuurlijke- en lage GWP-koelmiddelen samen. Het stoplichtsysteem geeft de ernst van het gevaar aan in vergelijking met R404A.

Tabel 3, Gevaren verbonden aan alternatieve koelmiddelen vergeleken met R404A

Koelmiddel	Inademen	Brandbaarheid	Druk	Andere gevaren
R744	Lage Toxiciteit	Niet brandbaar	Veel hoger	Grote drukstijging door ingesloten vloeistof mogelijk. Vorming van droogijs.
R717	Hoge Toxiciteit	Lagere brandbaarheid	Lager	
R32	Verstikkend	Lagere brandbaarheid	Hoger	Ontbindingsproducten bij verbranding zeer giftig.
R1234ze	Verstikkend	Lagere brandbaarheid	Lager	Ontbindingsproducten bij verbranding zeer giftig.
R600a	Verstikkend	Uiterst brandbaar	Veel lager	
R290	Verstikkend	Uiterst brandbaar	Gelijk	
R1270	Verstikkend	Uiterst brandbaar	Gelijk	

Groen - vergelijkbaar met R404A of niet zo ernstig;

Oranje - iets ernstiger dan R404A;

Rood - aanzienlijk ernstiger dan R404A.

Voor alle koelmiddel geldt (inclusief voor HFK's): De risico's verminderen door het lekpotentieel te minimaliseren!

Veiligheidsclassificatie

De veiligheidsclassificaties hieronder worden gedefinieerd in ISO817:2014⁵ en worden ook gebruikt in EN378-1:2016⁶.

De classificaties bestaan uit twee delen: A of B gevolgd door 1, 2L, 2 of 3.

- A of B geeft de toxiciteitsgraad weer
 - Klasse A is de klasse met de laagste toxiciteit (de meeste koelmiddelen behoren tot deze klasse)
 - Klasse B is de klasse met de hoogste toxiciteit (R717 behoort tot klasse B)
- 1, 2L, 2 of 3 geeft de mate van brandbaarheid weer
 - 1, niet brandbaar
 - 2L, lagere brandbaarheid
 - 2, brandbaar
 - 3, uiterst brandbaar

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de veiligheidsclassificatie van de natuurlijke koelmiddelen en een aantal lage GWP-koelmiddelen.

Tabel 2, veiligheidsinformatie

Koelmiddel	Veiligheidsclassificatie ^a	LFL, kg/m ³ ^b	Zelfontbrandings-temp, °C	PL, kg/m ³ ^c	ATEL / ODL ^d kg/m ³
CO ₂ R744	A1	Niet van toepassing	Niet van toepassing	0.1	0.072
NH ₃ R717	B2L	0.116	630	0.00035	0.00022
HFK R32	A2L	0.307	648	0.061	0.30
HFO R1234ze	A2L	0.303	368	0.061	0.28
HFO R1234yf	A2L	0.289	405	0.058	0.47
KWS R600a	A3	0.043	460	0.011	0.059
KWS R290	A3	0.038	470	0.008	0.09
KWS R1270	A3	0.047	455	0.008	0.0017

- a. De veiligheidsclassificatie zoals vermeld in EN378-1.
- b. LFL (kg/m³) is de Lower Flammability Limit (onderste ontvlambaarheidslimiet) zoals vermeld in EN378-1.
- c. PL is de Practical Limit (praktische limiet) zoals vermeld in EN378-1. Voor A1-koelmiddelen is dit de hoogste concentratie in een gebruikte ruimte die niet zal leiden

⁵ ISO817:2014 Koelmiddelen – Definities en veiligheidsclassificaties.

⁶ EN378-1:2016, Koelsystemen en warmtepompen – Veiligheids- en milieu-eisen – Deel 1: Basiseisen, definities, classificatie en selectiecriteria

tot een belemmering van ontsnapping. Voor A3-koelmiddelen bedraagt deze waarde ongeveer 20 % LFL.

- d. ATEL/ODL is de Acute Toxicity Exposure Limit / Oxygen Deprivation Limit zoals vermeld in EN 378-1. Dit is het peil waarboven een ongunstig effect ontstaat ten gevolge van één enkele of meerdere blootstellingen in een korte periode (meestal minder dan 24 uur)

8 Beperkingen bij het gebruik van alternatieve koelmiddelen

EN378⁷ legt maximale koelmiddelvullingen op voor RACHP-apparatuur:

- Tabel C.1 is voor koelmiddelen met toxiciteit als het dominante gevaar, b.v. R717 en R744;
- Tabel C.2 is voor koelmiddelen die brandbaarheid hebben als het dominante gevaar, b.v. KWS-en en A2L-koelmiddelen.

De maximale koelmiddelvulling is afhankelijk van:

- Locatie van apparatuur, bijvoorbeeld of bepaalde of alle apparatuur zich in de bezette ruimte bevindt;
- Toegangs categorie, b.v. onbeperkte toegang voor het publiek of alleen geautoriseerde toegang;
- Type systeem - voor comfortkoeling/ verwarming of andere toepassingen.

Er zijn drie toegangs categorieën zoals weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 5, bezettingsclassificatie

Categorie	Plaats waar ...	Voorbeelden
A	... mensen kunnen slapen; ... het aantal aanwezigen niet wordt gecontroleerd; ... iedereen toegang toe heeft zonder dat ze vertrouwd moeten zijn met de persoonlijke veiligheidsvoorzieningen.	Ziekenhuizen en verzorgingstehuizen Gevangenis Schouwburgen, auditoria Supermarkten, restaurants, hotels Transportterminals Overdekte ijsbanen
B	... slechts een beperkt aantal mensen mogen samenkomen, van wie sommigen zeker vertrouwd moeten zijn met de algemene veiligheidsvoorschriften. Dit kan een kamer of een deel van een gebouw zijn.	Laboratoria Algemene productiehallen Kantoorgebouwen
C	... het algemene publiek geen toegang toe heeft, alleen bevoegde personen. De bevoegde personen zijn vertrouwd met de algemene veiligheidsvoorzieningen.	Koelkamers en slachthuizen Raffinaderijen Ruimten in supermarkten die niet voor het algemene publiek toegankelijk zijn Productie-installaties (bv. chemische producten, voeding)

Er zijn vier classificatie categorieën voor apparatuur:

Klasse I - alle mechanische apparatuur bevindt zich binnen de bezette ruimte;

Klasse II - compressoren bevinden zich in een machinekamer of in de open lucht;

Klasse III - alle koelapparatuur bevindt zich in een machinekamer of in de open lucht;

Klasse IV - alle koelapparatuur bevindt zich in een geventileerde behuizing.

⁷ EN378-1:2016 Annex C

Voor comfortkoeling en -verwarming gelden andere regels met betrekking tot de maximale vulhoeveelheid dan voor andere toepassingen.

Hieronder vindt u enkele veelvoorkomende voorbeelden van beperkingen wat betreft de maximale koelmiddelvulling, maar u moet EN 378 raadplegen voor de volledige informatie.

Voorbeeld 1 – Koelcel met condensing-unit (buiten opgesteld), koelmiddel is R290

De veiligheidsclassificatie van het koelmiddel is A3, dus tabel C.2 in EN 378-1:2016 is van toepassing.

De toegangscategorie is **B** in dit voorbeeld.

Toepassing is “andere toepassing”.

Het systeem bevindt zich bovengronds.

De classificatiecategoriën voor apparatuur is II omdat de condensing-unit buiten staat opgesteld.

Tabel C.2 specificeert de maximale koelmiddelvulling als volgt:

$20\% \times \text{LFL} \times \text{volume van de koelcel}$ en niet meer dan 2,5 kg.

Afmetingen koelcel 3,5 m x 3 m x 2,4 m;

Koelcel volume = 25,2 m³;

R290 LFL = 0.038 kg/m³;

Maximale koelmiddelvulling = 0,2 x LFL x volume

= 0,2 x 0,038 x 25,2 = 0,192 kg

Dit is minder dan 2,5 kg



Voorbeeld 2 – R32 split airconditioning met plafondmodel als binnentoestel

De veiligheidsclassificatie van het koelmiddel is A2L, dus tabel C.2 in EN 378-1:2016 is van toepassing.

De toegangscategorie is **A** in dit voorbeeld.

Toepassing is “comfort koeling/ verwarming”.

De classificatiecategorieën voor apparatuur is II omdat de condensing-unit buiten staat opgesteld.

Tabel C.2 specificeert de maximale koelmiddelvulling als volgt:

Vergelijking C2 en niet meer dan $m_2 \times 1.5$ kg

Vergelijking C2 is:

$$M = 2.5 \times \text{LFL}^{1.25} \times h \times A^{1/2}$$

M = max koelmiddelinhoud, kg

LFL = lower flammability limit, kg/m³

h = hoogte dat het binnentoestel staat opgesteld, m

(0,6: vloermodel - 1,0: raammodel – 1,8: wandmodel – 2,2: plafondmodel)

A = vloeroppervlakte, m²

$$m_2 = 26 \times \text{LFL}$$

$$\text{LFL}_{\text{R32}} = 0.307 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 9 \text{ m} \times 5.5 \text{ m} = 49.5 \text{ m}^2$$

$$M = 2.5 \times 0.307^{1.25} \times 2.2 \times 49.5^{1/2}$$

$$M = 8.84 \text{ kg.}$$

$$\text{Dit is minder dan } m_2 \times 1.5 = 26 \times 0.307 \times 1.5 = 12 \text{ kg.}$$

Opmerking - EN 378 maakt grotere maximale koelmiddelhoeveelheden mogelijk als alternatieve veiligheidsvoorzieningen zijn getroffen, waaronder koelmiddeldetectie en alarm, afsluitkleppen en ventilatie.

Voorbeeld 3 - R744 Centrale koeling (meubels) in de winkel en koelcellen

De veiligheidsclassificatie van het koelmiddel is A1, dus tabel C.1 in EN 378-1:2016 is van toepassing.

De toegangscategorie is **A en B** in dit voorbeeld. (in de winkel is **A** en de koelcellen is **B** omdat ze enkel toegankelijk zijn voor personeel).

De classificatiecategorïeën voor apparatuur is II omdat de centrale buiten staat opgesteld.

Voor de winkel (toegangscategorie is **A**) tabel C.1 specificeert de maximale koelmiddelvulling als volgt:

Toxiciteitslimiet x volume van de ruimte

De oppervlakte van de winkel is 25 m x 50 m en de winkel is 5 m hoog
ATEL voor R744 is 0.072 kg/m³

$$M = 0.072 \times 25 \times 50 \times 5 = 450 \text{ kg}$$

Voor de koelcellen (toegangscategorie is **B**) er is geen beperking wat betreft de maximale koelmiddelvulling. Maar EN 378-3: 2016, paragraaf 9.1, specificeert dat als de concentratie de praktische limiet kan overschrijden, er koelmiddeldetectors moeten worden gebruikt die een alarm activeren. Voor R744 zou de detector moeten alarmeren bij 50% ATEL/ ODL, dus bij 0,5 x 0,072 voor R744 (0,036 kg/m³). Opmerking - de praktische limiet voor R744 is 0,1 kg/m³, dus dit zal waarschijnlijk worden overschreden in kleine koelcellen in het geval van een lek.

Aanvullend verwijst tabel C.1 naar EN 378-3: 2016 4.2 voor installaties die buiten staan opgesteld en geeft aan dat koudemiddel niet in staat zou mogen zijn in gebouwen binnen te dringen in het geval van een lek. Als het risico bestaat dat gelekt koelmiddel de veiligheidslimieten van EN378 overschrijdt, inclusief in het geval van samenvoeging of stagnatie, dan is een gasdetectie- en alarmsysteem vereist.

Voorbeeld 4 – R717 chiller buiten opgesteld

De veiligheidsclassificatie van het koelmiddel is B2L, dus tabel C.1 in EN 378-1:2016 is van toepassing.

De classificatiecategorieën voor apparatuur is III omdat de chiller buiten staat opgesteld. Er is geen beperking wat betreft koelmiddelvulling voor deze toegangscategorie.

Aanvullend verwijst tabel C.1 naar EN 378-3: 2016 4.2 voor installaties die buiten staan opgesteld en geeft aan dat koudemiddel niet in staat zou mogen zijn in gebouwen binnen te dringen in het geval van een lek. Als het risico bestaat dat gelekt koelmiddel de veiligheidslimieten van EN378 overschrijdt, inclusief in het geval van samenvoeging of stagnatie, dan is een gasdetectie- en alarmsysteem vereist.

Voorbeeld 5 – berekening van het minimum volume van de ruimte waar een koeltoog staat opgesteld met een koelmiddelinhoud (R1270) van 350 g

De veiligheidsclassificatie van het koelmiddel is A3, dus tabel C.2 in EN 378-1:2016 is van toepassing.

De toegangscategorie is **A** in dit voorbeeld.

Toepassing is “andere toepassing”.

De classificatiecategorieën voor apparatuur is I voor een geïntegreerde koeltoog.

Tabel C.2 specificeert de maximale koelmiddelvulling als volgt:

$$20\% \times \text{LFL} \times \text{volume van de ruimte en niet meer dan } 1,5 \text{ kg}$$

Dus het minimale volume van de ruimte = koelmiddelvulling / $0.2 \times \text{LFL}$ = $0.35 / 0.2 \times 0.046$ = 38 m³.

9 Prestaties en werkingscondities

In onderstaande tabel vindt u een indicatie van de prestaties van alternatieve koelmiddelen. De gegevens van R404A zijn ter vergelijking. Deze informatie komt uit CoolPack-software, tenzij anders vermeld.

Coolpack Software

De cijfers hieronder geven een indicatie van de comparatieve prestaties, aangezien dit op een theoretische cyclus gebaseerd is. Vergelijkingen in de praktijk zijn afhankelijk van de gebruikte compressortechnologie, de toepassing, de omgeving en het systeemtype. Met behulp van de software/gegevens van de fabrikant is een meer accurate vergelijking voor een specifieke toepassing mogelijk.

Bitzer selection software
Bitzer Refrigerant Report 19, pages 38, 39

Dit is zeker het geval voor R744, waar de verwachte COP bijvoorbeeld hoger zou zijn dan hieronder aangegeven voor het type systeem en bedrijfsomstandigheden waarbij R744 doorgaans wordt gebruikt.

Tabel 4, performantie vergelijking

Koelmiddel	Verzadigings temperatuur bij 0 bar g, °C	Vereist Slagvolume m ³ /h	COP	Persgas-temperatuur, °C	Compressie verhouding ^a
R404A	-46	14.84	2.94	57	3.82
R744	-78	3.88	1.75 ^c	114	3.42
R717	-33	14.3	3.27	152	4.82
R32 ^b	-52	9.65	3.17	99.5	3.77
R1234ze ^b	-19	35.14	3.28	52	4.54
R600a	-12	47.13	3.26	51	4.40
R290	-42	17.35	3.18	59	3.61
R1270	-48	14.3	3.17	67	3.53

- De compressieverhouding is de persgasdruk gedeeld door de zuigdruk. Beide waarden worden in bar abs uitgedrukt.
- Data van Refprop⁸
- Alle COP-waarden in deze tabel zijn theoretische COP-waarden van de koelcyclus. R744 werkt boven het kritische punt in de referenticyclus, maar in de praktijk zal de COP-waarde hoger liggen dan wat in de eenvoudige vergelijking hierboven wordt weergegeven.

De vergelijking werd gedaan onder de volgende omstandigheden:

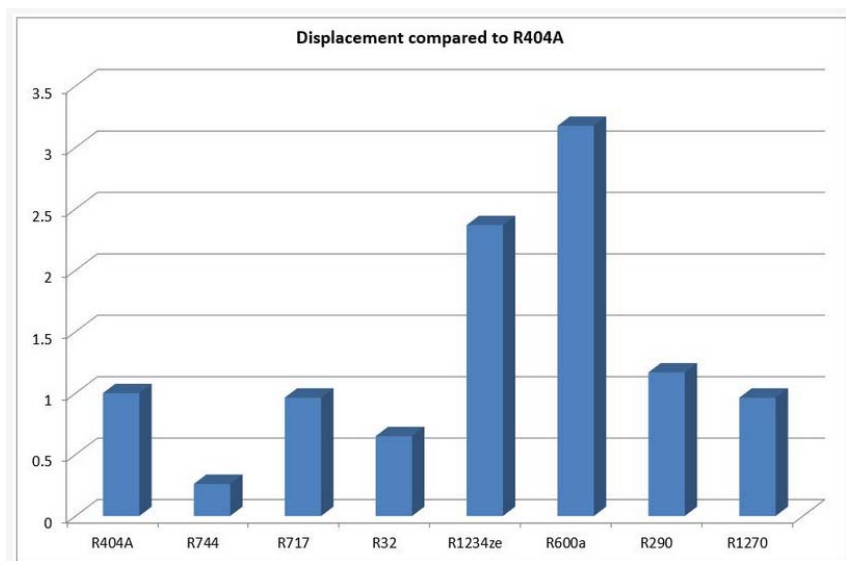
- Koelcapaciteit, 10kW
- Verdampingstemperatuur, -10°C
- Condensatietemperatuur 35°C (R744 is transkritisch en heeft een temperatuur aan de uitgang van de gaskoeler van 35°C)

⁸ Refprop (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database) is beschikbaar van www.nist.gov

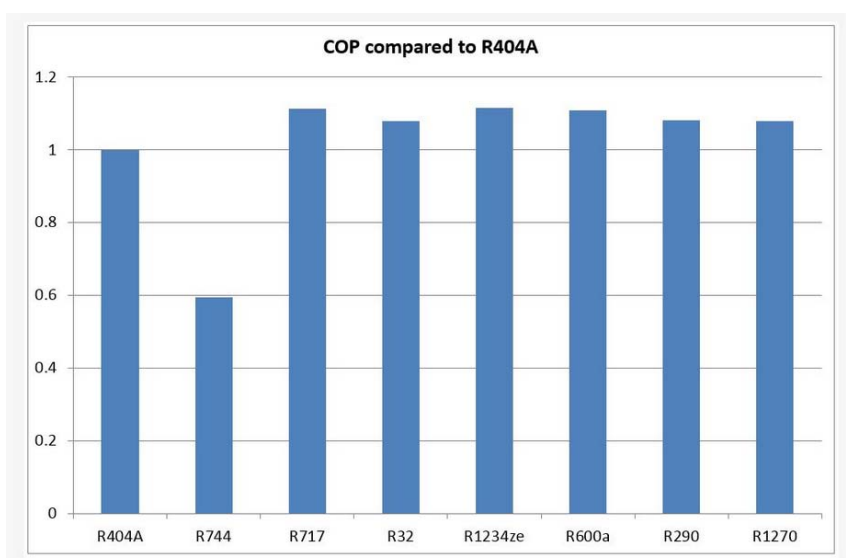
- Oververhitting, 5K
- Onderkoeling, 2K
- Drukverliezen komen overeen met 0,5K
- Isentropische efficiëntie is 0,7

De grafieken hieronder geven het slagvolume weer dat nodig is voor een bepaalde koelcapaciteit en de COP-waarde in vergelijking met R404A in de hierboven vermelde bedrijfsomstandigheden.

Figuur 1, slagvolume vergeleken met R404A



Figuur 2, COP vergeleken met R404A



Merk op dat de COP-waarde voor R744 laag is, aangezien dit een theoretische cyclusvergelijking is in omstandigheden waarin de meeste koelsystemen zouden werken (inclusief 35°C condensatietemperatuur). R744 ligt voor deze vergelijking evenwel boven de kritische temperatuur. In de praktijk wordt de gaskoelerdruk op een andere druk ingesteld om een betere COP-waarde op te bekomen, hierdoor komt de COP-waarde aanzienlijk hoger uit voor CO₂-systemen.

Energy Efficiency Ratio

EER of Energy Efficiency Ratio kan ook worden gebruikt om de efficiëntie van airconditioning- en warmtepomptoepassingen te vergelijken. Dit is de verhouding van de koelcapaciteit van een airconditioning in kW/uur of BTU/uur, vergeleken met de totale elektrische input in kW bij gegeven testcriteria.

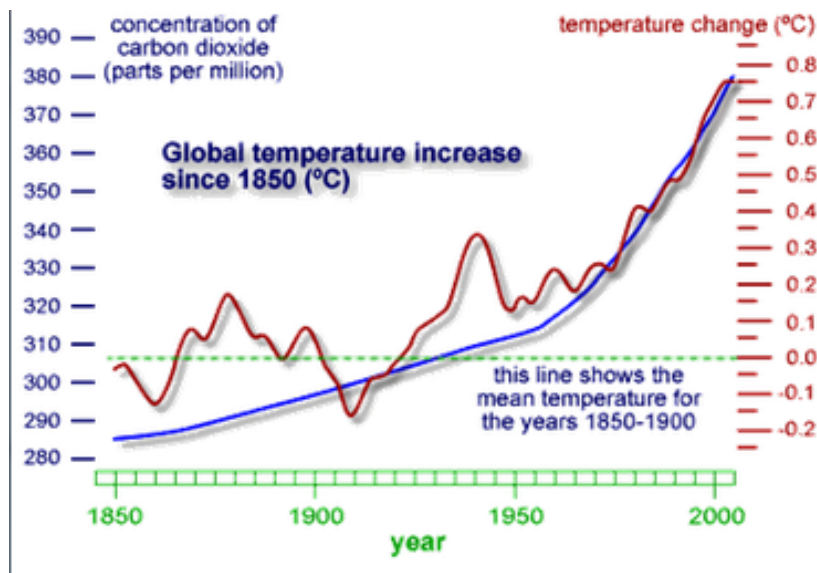
Dit is normaal gebaseerd op de Europese standaard EN 14511-2:2007 "Air Conditioning, Liquidchilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling. Test Conditions".

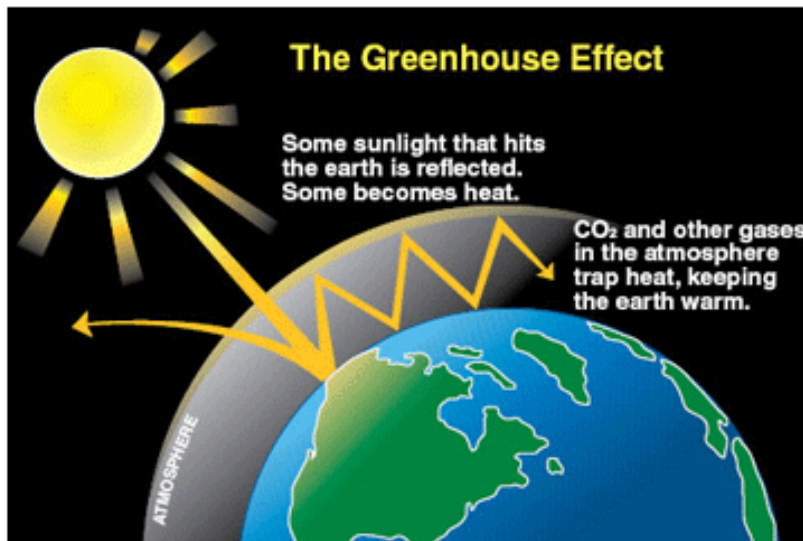
10 Milieu-impact

Global Warming Potential (GWP)

De gegevens in onderstaande tabel geven de directe GWP-waarde van een aantal alternatieve koelmiddelen weer. U mag deze gegevens echter niet afzonderlijk beschouwen als u een koelmiddel voor een specifieke toepassing kiest. De impact van de GWP-waarde van het koelmiddel ligt veel lager als het koelmiddel tijdens de normale werking van de installatie niet lekt en als geen koelmiddel verloren gaat bij onderhoud aan het systeem. Door de herziening van de F-gasregelgeving, zullen koelmiddelen met een lage GWP-waarde moeten worden gebruikt.

Koelm.	R744	R717	R32	R1234yf	R1234ze	KWS'en	R404A	R410A
GWP	0	1	675	4	7	3	3922	2088





The greenhouse effect is thrown out of balance by too much man-made carbon dioxide.

Image courtesy of Washington State Department of Ecology

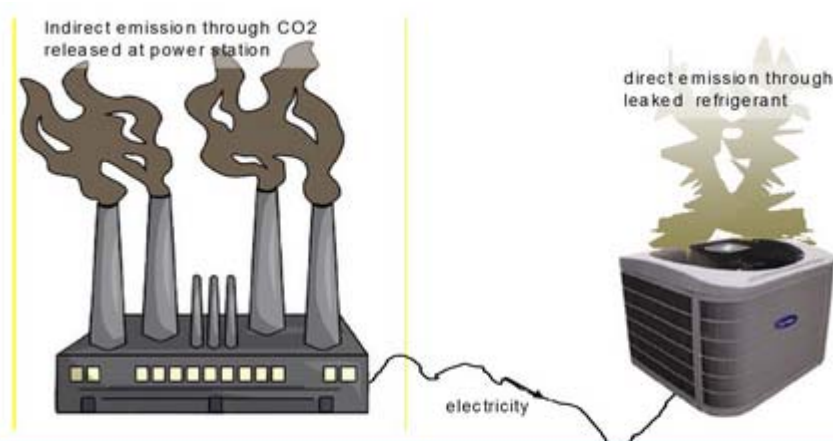
Total Equivalent Warming Impact

De totale impact van een systeem en het bijbehorende koelmiddel op de klimaatverandering wordt geschat met behulp van TEWI, de Total Equivalent Warming Impact⁹. Bij deze methode wordt de impact op de klimaatverandering tijdens de volledige levensduur van een systeem gemeten door de volgende elementen met elkaar te combineren:

rechtstreekse bijdrage in de vorm van de emissies van het koelmiddel in de atmosfeer

+

onrechtstreekse bijdrage van de CO₂ die ontstaat ten gevolge van het elektrisch verbruik om een installatie te laten werken



RAC contributes 10% of all worldwide GHG emissions.
8% through electricity use and 2% through leakage

⁹ EN378 deel 1, Bijlage B

Het is een heel nuttige methode om tijdens de ontwerpfase of bij het overwegen van een vervanging (bv. bij een systeem dat eerder met R22 werkte) verschillende opties voor systemen en koelmiddelen met elkaar te vergelijken.

De TEWI kan op verschillende manieren worden beperkt, bv.:

- Koelmiddellekkage beperken (waardoor zowel de rechtstreekse als de onrechtstreekse impact verkleint, aangezien lekkende systemen meer energie verbruiken);
- Koelmiddelen met een lage GWP-waarde gebruiken;
- De belasting van de koeling zoveel mogelijk beperken;
- De energie-efficiënte maximaliseren door een geschikt ontwerp en een correct gedimensioneerde installatie;
- Het systeem correct onderhouden;
- Verlies van koelmiddel tijdens de werking zoveel mogelijk beperken;
- Gebruikt koelmiddel (en gebruikte isolatie wanneer hiervoor een schuimmiddel met een GWP-waarde wordt gebruikt) opvangen en recycleren.

TEWI wordt berekend als volgt:

TEWI = impact door lekken + impact door koelmiddelverlies bij recupereren + impact door energieconsumptie

$$\text{Impact door lekken} = \text{GWP} \times L \times n$$

$$\text{Impact door koelmiddelverlies bij recupereren} = \text{GWP} \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}})$$

$$\text{Impact door energieconsumptie} = n \times E_{\text{annual}} \times \beta$$

Waarbij:

L = lekkage in kg/jaar

n = levensduur installatie in jaren

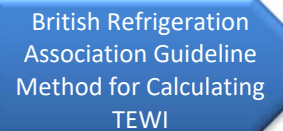
m = koelmiddelinhoud in kg

α_{recovery} = terugwinnings-/recyclagefactor, tussen 0 en 1

E_{annual} = energieverbruik in kWh per jaar

β = CO₂-uitstoot in kg/kWh, opmerking: dit verschilt aanzienlijk van land tot land.

Veel factoren die in deze berekening worden gebruikt, variëren aanzienlijk en zijn systeemspecifiek. U kunt de factoren zelf bepalen op basis van uw eigen ervaringen (Bv. lekkage), bekende factoren gebruiken (Bv. voor β) of door de industrie aanbevolen factoren gebruiken, zoals de factoren die de British Refrigeration Association beschikbaar stelt in het VK.



British Refrigeration
Association Guideline
Method for Calculating
TEWI

Als u heel verschillende systeemopties op een nauwkeurige manier met elkaar wilt vergelijken, gebruikt u het best specifieke TEWI:

$$\text{TEWI} / (E_{\text{useful cooling}} + E_{\text{heating}} + E_{\text{heat reclaim}})$$

Waarbij:

$E_{\text{useful cooling}}$: de nuttige koelcapaciteit (koelsystemen) in kWh/jaar

$E_{\text{useful heating}}$: verwarmingscapaciteit (warmtepompen) in kWh/jaar

$E_{\text{heat reclaim}}$: de nuttige warmteterugwinning in kWh/jaar.

11 Beschikbaarheid van koelmiddelen, onderdelen en ervaren ingenieurs/ techniekers

De tabel hieronder geeft een idee van de beschikbaarheid van een aantal belangrijke aspecten van systemen die met alternatieve koelmiddelen werken. Het eenvoudige 'stoplichtsysteem' biedt u een duidelijk zicht op de beschikbaarheid en daardoor op het installatiegemak in de huidige omstandigheden.

Tabel 5, beschikbaarheid van alternatieve koelmiddelen en andere belangrijke aspecten

	Koelmiddel	Kennis	Skills / Opleiding	Componenten	Gereedschappen en uitrusting
R744	CO ₂ voor koeltoepassingen verkrijgbaar in cilinders (verschillende maten)	Ruime aantal opties voor systeemontwerp vormen een uitdaging voor de ontwerpers	Gevaaren en ruime aantal systeemtypes vormen een uitdaging voor technici. Opleiding beschikbaar	Beschikbaar voor grote en kleine systemen	Beschikbaar
R717	NH ₃ voor koeltoepassingen verkrijgbaar in cilinders (verschillende maten)	Ruime kennis voorhanden in de industriële sector	Ruime kennis voorhanden in industrie. Opleiding beschikbaar	Vlot verkrijgbaar	Beschikbaar
R32	Beschikbaar	Fabrikanten van R32-apparatuur hebben een goed inzicht in de materie	Heel weinig ervaring en vragen aangaande "ontstekingsbronnen". KWS-opleiding beschikbaar	Geïntroduceerd in AC-systemen sinds 2015	Vlot verkrijgbaar (de meeste KWS-gereedschappen /apparatuur zijn hiervoor geschikt)
R1234ze	Beschikbaar in beperkte hoeveelheden, duur	Heel beperkte kennis	Heel weinig ervaring, maar ervaring met KWS-en kan worden benut. KWS-opleiding beschikbaar	Compressoren niet vlot verkrijgbaar	Vlot verkrijgbaar (de meeste KWS-gereedschappen/ apparatuur zijn hiervoor geschikt)
R1234yf	Commercieel beschikbaar, duur	Beperkte kennis maar veel gebruikt in auto A/C	Heel weinig ervaring, maar ervaring met KWS-en kan worden benut. KWS-opleiding beschikbaar	Compressoren niet vlot verkrijgbaar	Vlot verkrijgbaar (de meeste KWS-gereedschappen/ apparatuur zijn hiervoor geschikt)
R600a	KWS-en voor koeltoepassingen verkrijgbaar in cilinders in verschillende maten	Op grote schaal gebruikt en ruime kennis beschikbaar	Ruime ervaring. Opleiding beschikbaar	Op ruime schaal toegepast, onderdelen vlot verkrijgbaar	Vlot verkrijgbaar, maar recuperatiemachine enkel bij één leverancier verkrijgbaar
R290 R1270		Informatie over toepassing van KWS-en in commerciële systemen vlot verkrijgbaar	Ruime ervaring in de commerciële sector. Opleiding beschikbaar	Op grote schaal toegepast in geïntegreerde systemen en chillers, onderdelen vlot verkrijgbaar	

12 Problemen bij lekkage

In dit deel komen de problemen aan bod die verband houden met de lekkage van alternatieve koelmiddelen. Meer gedetailleerde informatie hierover vindt u in Module 4, Lekkage en lekdetectie.

REAL Alternatives
Guide 4

Het risico op lekken moet altijd zoveel mogelijk worden beperkt, ongeacht het koelmiddel dat wordt gebruikt. Aan alternatieve koelmiddelen met een lage GWP-waarde zijn meestal gevaren verbonden die te maken hebben met hoge druk, brandbaarheid of toxiciteit. Lekkage is daarom ook een veiligheidsprobleem. Bovendien verbruikt een lekkend koelsysteem meer elektriciteit, waardoor het een grotere onrechtstreekse impact op de klimaatverandering heeft.

Het risico op lekken is een combinatie van verschillende factoren, zoals de werkdruk, de grootte van de koelmiddel moleculen en de omvang/het type van het systeem. In de tabel hieronder vindt u een samenvatting, samen met de vermelding van de gevaren die verband houden met lekkage en hoe lekken op te sporen zijn.

Tabel 6, lekpotentieel, gevaren en hoe lekken op te sporen

Koelmiddel	Lekpotentieel	Gevaren	Hoe detecteren
R744	Groot <ul style="list-style-type: none"> Hoge werkdrukken Gebruikt in grote systemen met veel verbindingpunten Afgeblazen tijdens service-werkzaamheden 	Hoge drukken tijdens werking en stilstand	Goed – detectieapparatuur beschikbaar
R717	Matig <ul style="list-style-type: none"> Middelhoge tot lage werkdrukken Vaak gebruikt in chillers met een minimum aan verbindingen Open compressors met asdoorvoer 	Giftig en lagere brandbaarheid	Goed – heeft een doordringende geur en detectieapparatuur beschikbaar
R32	Matig <ul style="list-style-type: none"> Middelhoge tot hoge werkdrukken Gebruikt in AC-systemen, meestal met gesoldeerde verbindingen 	Lagere brandbaarheid	Detectieapparatuur stilaan verkrijgbaar
R1234ze R1234yf	Matig <ul style="list-style-type: none"> Middelhoge tot lage werkdrukken Vaak gebruikt in chillers met een minimum aan verbindingen 	Lagere brandbaarheid	Detectieapparatuur stilaan verkrijgbaar
R600a R290 R1270	Laag <ul style="list-style-type: none"> Middelhoge tot lage werkdrukken Gebruikt in systemen met een beperkte koelmiddelinhoud in overeenstemming met de eisen voor A3-koelmiddelen 	Uiterst brandbaar	Detectieapparatuur verkrijgbaar

13 Overzicht van relevante standaarden en wetgeving

De onderstaande tabel toont de meest bruikbare standaarden en wetgeving die relevant zijn bij toepassen van alternatieve koelmiddelen. Meer informatie is beschikbaar in de e-bibliotheek en in het boekje met aanvullende bronnen. Belangrijke standaarden en wetgeving worden meer in detail uitgelegd in Module 7 - Checklist met wettelijke verplichtingen.

Tabel 7, standaarden en wetgeving

Document	Titel	Leidraad (relevant voor brandbare koelmiddelen)
ISO 817:2014	Refrigerants -- Designation and Safety Classification	Een duidelijk systeem waarmee koelmiddelen worden genummerd. Het omvat veiligheidsclassificaties (A1, A2 en A3).
EN 378-1:2016	Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements, Basic requirements, definitions, classification and selection criteria	Praktische limiet Maximale koelmiddelinhoud
EN 378-2:2016	Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements, Design, construction, testing, marking and documentation	Bescherming tegen hoge druk Geventileerde behuizingen Leksimulatietest voor brandbare koelmiddelen
EN 378-3:2016	Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements, Installation site and personal protection	Machinekamers Koelmiddeldetectors
EN 378-4:2016	Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements, Operation, maintenance, repair and recovery	Herstellingen aan systemen die brandbare koelmiddelen bevatten Competentie van personeel dat aan systemen met brandbare koelmiddelen werkt
EN 60079-0:2012+A1 2013	Explosive atmospheres – Equipment – general requirements	Indeling van brandbare gassen in categorieën Classificatiecategorieën voor apparatuur Zones
EN 60079-10-1:2015	Explosive atmospheres – Classification of areas – explosive gas atmospheres	Zones en classificatie van apparatuur Leksimulatieproeven Eisen op het vlak van het luchtdebiet
EN 60079-14:2014	Explosive atmospheres – Electrical installations design, selection and erection	Locatie van ontstekingsbronnen Bedrading
EN 60079-15:2010	Explosive atmospheres – Equipment protection by type of protection “n”	Elektrische apparatuur behuizingen voor gebruik in zones met potentieel gevaar voor explosie

		Elektrische apparatuur labelen
EN 60335-2-24:2010	Household & similar electrical appliances – Safety Part 2-24: Particular requirements for refrigerating appliances, ice-cream appliances & ice-makers	Systemen met een koelmiddelinhoud van minder dan 150 g brandbaar koelmiddel.
EN 60335-2-40:2012	Household & similar electrical appliances – Particular requirements for electrical heat pumps, air conditioners and dehumidifiers	Ontwerp, installatie en onderhoud van AC-systemen die met brandbare koelmiddelen werken
EN 60335-2-89:2010	Household & similar electrical appliances – Safety Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances with an incorporated or remote refrigerant condensing unit or compressor	Systemen met een koelmiddelinhoud van minder dan 150 g brandbaar koelmiddel, leksimulatieproeven voor zoneclassificatie.
ADR	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road	Transport van brandbare gassen over de weg.
RID	Regulations concerning the international carriage of dangerous goods by rail	Transport van brandbare gassen over het spoor.
ATEX	European Directive on Minimum Requirements for Improving the Safety and Health Protection of Workers Potentially at Risk from Explosive Atmospheres	Geldt voor werkplekken waar brandbare koelmiddelen worden gebruikt

14 Zelftestvragen Module 1

Vraag 1 -

Wat is een HFO:

- i. Waterstof plus fluor plus olie
- ii. Waterstof plus fluor plus onverzadigde koolstof
- iii. Een ozonafbrekend koelmiddel

Vraag 2 –

Wat is de maximum koelmiddelinhoud voor R290 toegestaan in een winkel?
(toegangscategorie A)

- i. R290 mag niet gebruikt worden in deze omstandigheden
- ii. 150 g
- iii. 1,5 kg
- iv. Er is geen limiet

Vraag 3 –

Welk van de volgende koelmiddelen heeft de hoogste GWP:

- I. R717
- II. R32
- III. R744
- IV. R1270

Vraag 4 –

Wat is volgens EN 378 de maximale koelmiddelinhoud van een R290-systeem met direct expansie, dat een koelcel koelt (grootte 5x4m hoog 2,5 m) en de compressor, condensor en vloeistofvat staan opgesteld buiten de koelcel.

- I. 1.5kg
- II. 0.38kg
- III. 2.6
- IV. 0.15kg

(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. Lekkichtheid 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.