

# Best Practice Koudetechniek

## Inleiding

Deze best practice behandelt de ontwerpkeuzes voor een koelinstallatie met aandacht voor energie-efficiëntie. Het document is voor een ieder, die staat voor investering in een nieuwe installatie of voor actualisatie van een bestaande installatie om deze energiezuiniger te laten functioneren.

Energie-efficiëntie wordt bereikt door:

- Reduceren van de koudebehoefte
- Een energiezuinig systeemontwerp
- Hanteren van optimale verdampings-/condensatietemperaturen
- Energiezuinige compressoren
- Energiezuinige selectie van condensor/gaskoeler + ventilatoren
- Energiezuinige verdampers/wisselaar + ventilatoren
- Energiezuinige regeling
- Selectie geschikt koudemiddel
- Restwarmtegebruik
- Adequaat onderhoud
- Inpassing in de context van de omgeving

Op elk van de items wordt achtereenvolgens ingegaan.

De efficiëntie van de compressor of totaalefficiëntie van het koelsysteem wordt doorgaans aangeduid met de *COP* (Coëfficiënt of Performance), dit wordt gedefinieerd als de verhouding van geleverde koeling t.o.v. het energiegebruik. Hoe hoger de COP, hoe beter de prestatie.

## Reduceren Koudebehoefte

Voor de hand liggend, maar meest effectief in het terugbrengen van het energiegebruik van een koelinstallatie is het beperken van de koudebehoefte. Maatregelen die zich hierop richten zijn:

- Isolatie verbetering

### Best practice

Ruimten > -10°C:	Gevels&Dak	> 6,20 m <sup>2</sup> K/W
	Vloer	> 3,50 m <sup>2</sup> K/W
Ruimten < -10°C:	Gevels&Dak	> 10,50 m <sup>2</sup> K/W
	Vloer	> 5,00 m <sup>2</sup> K/W

Test een cel, na in bedrijf name, op lektheid. Slechte afwerking zorgt niet alleen voor energieverlies, maar ook voor vochtproblemen en, op termijn, schade aan de isolatie. Voer regelmatig foto's uit met een thermische camera om lekken in de schil op te sporen en te verhelpen.

- Deurverliezen beperken
  - o Strokengordijnen, tochtslabben, luchtgordijnen, luchtsluizen
  - o Minimaliseren deuropeningen
  - o Loopdeuren personen/rollerbanen goederen
  - o Vriescellen voorzien van gekoelde voorruimte
  - o Verdampers niet boven toegangsdeur
  - o Zelfsluitende automatische deuren
  - o Deurschakeling toepassen om

verdampventilatoren te onderbreken

- Ontdooiverliezen beperken
  - o Aanzuigkappen
  - o Ontdooisokken/Ontdooikleppen
  - o Gestuurd niet met tijds klok maar met voelers
- Vermindere interne warmtebronnen
  - o Toepassing van efficiënte verlichting
  - o Toepassing van efficiënte pompen
  - o Toepassing van efficiënte ventilatoren
- Toepassing vrije koeling  
Gebruik van koude buitenlucht. Zo veel mogelijk koelen, als de buitentemperatuur laag is.
- Isoleren leidingen/appendages

## Ontwerp koelinstallatie

Een koelinstallatie wordt in de basis ontworpen om in de koelbehoefte van gebouw of proces te voorzien.

De meest voorkomende wijze van koudeopwekking voor het koelen van processen, producten of ruimten is de mechanische damp-compressie-cyclus. In deze cyclus wordt achtereenvolgens het gasvormig koudemiddel gecomprimeerd en bij de compressiedruk afgekoeld tot het middel condenseert tot een vloeistof. De druk wordt afgebouwd in een expansieorgaan, waarna de vloeistof in de koeler weer kan verdampen en daarmee warmte onttrekt aan het proces of aan de ruimte.

Warmte onttrekken = koelen.

Voorop staat dat een koeltechnisch ontwerp geschikt is voor de beoogde specifieke koeltoepassing van een bedrijf. Hiernaast vindt ontwerpkeuze plaats in de context van investeringskosten, energie efficiëntie, milieu, regeldruk, bedrijfszekerheid e.d.

Dit heeft invloed op de gekozen systeemvariant.

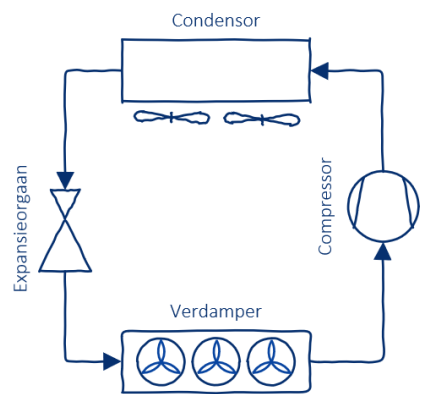
Onderstaand een overzicht van de te onderscheiden basisvarianten van systemen met een mechanische damp-compressie-cyclus met enkele voor- en nadelen.

**Systeemontwerp: directe expansie/pompsysteem; direct systeem/indirect systeem**

### Directe expansie

In een direct expansiesysteem wordt het koudemiddel in een verdampers/wisselaar geëxpandeerd, levert daar de benodigde koude en gaat volledig over naar gas. Het gas wordt vervolgens aangezogen door de compressor. Om schade aan de compressor te voorkomen dient het gas vrij te zijn van vloeistofdeeltjes. Dit wordt oververhitting genoemd. Eenvoudige en oudere systemen zijn voorzien van thermostatische expansieventielen. Deze werken met vaste condensatiedrukken en dat geeft een hoog energiegebruik. Elektronische expansieventielen zijn voor meeste installateurs ondertussen standaard geworden. Deze maken de installatie aanmerkelijk

Intern gebruik  
energie zuiniger.



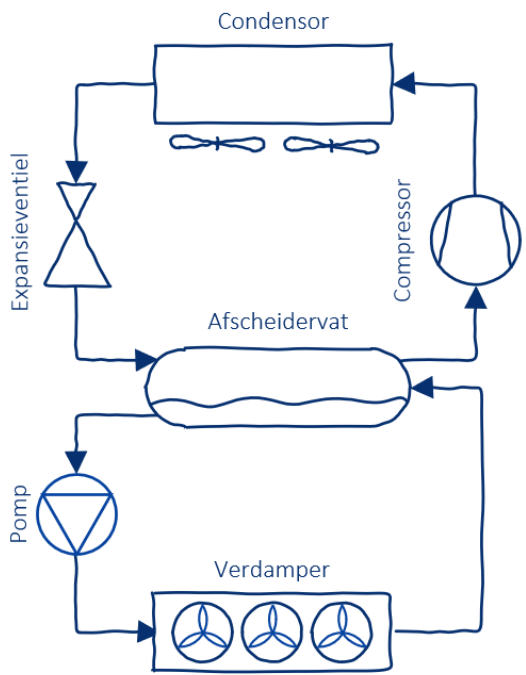
**Figuur 1 - Directe Expansie**

- ✓ Goedkoop
- ✗ Oververhitting nodig, zorgt voor minder efficiënt gebruik van verdamperoppervlak, waardoor lager moet worden verdampt en de COP daalt.
- ✗ Complex bij ammoniak als koudemiddel

**Pompsysteem**

In een pompsysteem wordt het koudemiddel geëxpandeerd naar een vat toe, hierbij ontstaat vloeistof en gas. Het vloeibare gedeelte van het koudemiddel wordt uit het vat, in overmaat, gepompt naar een verdamper, waar een gedeelte expandeert. Het vloeistof-/gasmengsel stroomt terug naar het vat. Het gas wordt aangezogen door de compressor.

Pompsystemen hebben als expansiesysteem vaak een vlotter. Hiermee kan erg zuinig koude gemaakt worden, omdat de werking drukonafhankelijk is. Waar temperatuurregeling zeer essentieel is (langdurige fruit opslag), zijn pompsystemen standaard.



**Figuur 2 - Pompsysteem**

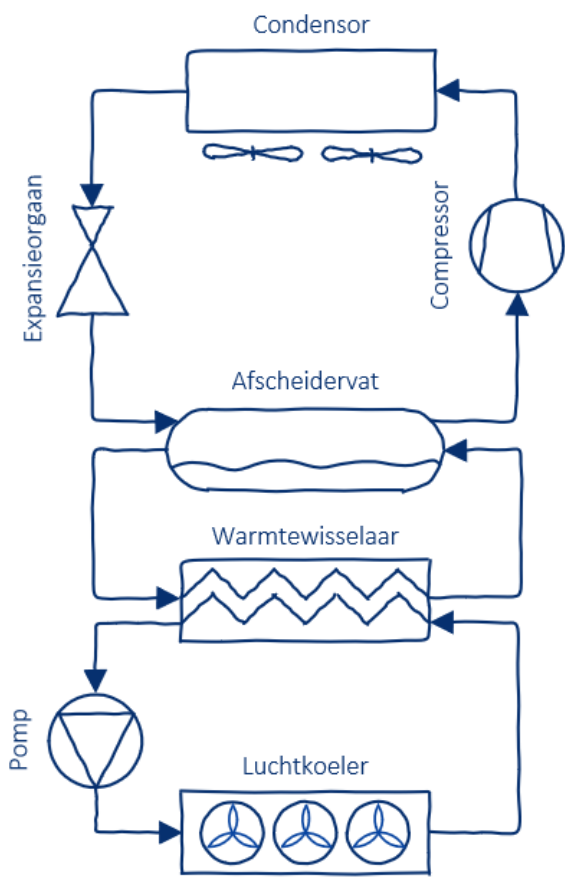
- ✗ Duurder

- ✗ Pompenergie
- ✗ Grotere koudemiddelinhoud
- ✓ Efficiënter, geen oververhitting nodig (optimaal gebruik verdamperoppervlak)
- ✓ Optimale bewaarconditie

**Direct-/ Indirect-systeem**

In een direct systeem levert het koudemiddel direct de koude af, daar waar benodigd. Het systeem is weergegeven in voorgaande paragrafen.

In een indirect -systeem wordt koude getransporteerd door een tussenmedium, een koudedragers. Dit kan zowel een 1-fasige koudedragers (bijv. glycol) als 2-fasige koudedragers zijn (bijv. CO<sub>2</sub> of ijsslurry). Redenen om een koudedragers toe te passen zijn doorgaans: (voedsel-) veiligheid, beperken koudemiddelinhoud of beperkingen aan drukken.



**Figuur 3 - Indirect-systeem (pomp)**

- Direct:
- ✓ Energie efficiënter
- Indirect:
- ✗ Extra temperatuurovergang in wisselaar, hierdoor hoger verdampen, minder efficiënt.
  - ✗ Pompenergie
  - ✓ Lagere koudemiddel inhoud; koudemiddel binnen machinekamer

Specifieke energiebesparingsopties:

Intern gebruik

Intern gebruik

- Energiezuinige pompen

**Systeemontwerp: Eén- of meertrapscompressie, cascadesysteem**

Keuze voor één- of meertrapscompressie wordt doorgaans ingegeven doordat ééntrapscompressie niet haalbaar of efficiënt is. Dit is vaak het geval, omdat door de hogedrukverhouding, die optreedt bij een grote temperatuurstep, bij ééntrapscompressie de compressie inefficiënt wordt en de persgastemperaturen te hoog.

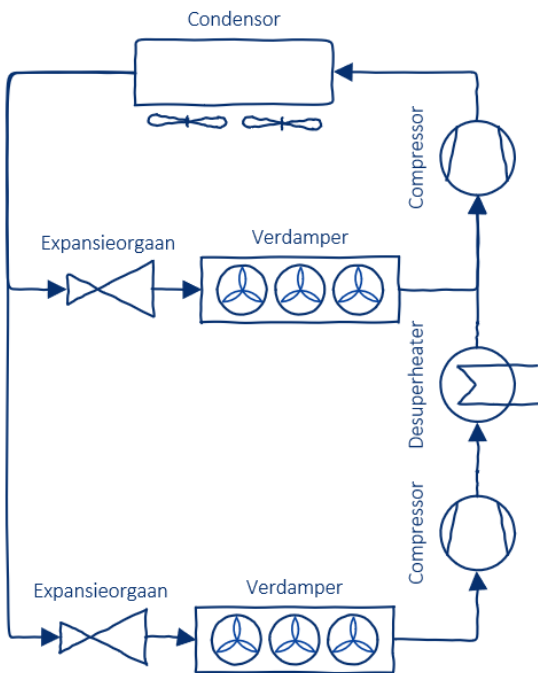
**Ééntrapscompressie**

Ééntrapscompressie is de meest eenvoudige kringloop; er is sprake van één verdampingstemperatuur:

1. Lagedruk gas wordt aangezogen door de compressor;
2. In druk verhoogd door de compressor;
3. Afgekoeld in de condensor waar het hierdoor overgaat naar een vloeistof;
4. Geëxpandeerd tot een lagedruk gas, waarbij warmte wordt opgenomen uit de omgeving (koeling wordt geleverd).

**Meertrapscompressie**

In een meertrapscompressiesysteem wordt het lagedruk gas i.p.v. in één, twee of meer stappen gecompriemd.



**Figuur 4 - Meertrapscompressie (boostersysteem)**

Het hete gas wordt na een eerste compressiestap afgekoeld ter verhoging van efficiëntie en omdat de eindtemperaturen anders te hoog oplopen na de tweede compressiestap.

- ✓ Efficiënter bij grotere temperatuurstappen
- ✓ Efficiënter bij koelvraag op LT & MT niveau dan expanderen vanaf LT voor MT-niveau

Intern gebruik

✗ Kostbaarder

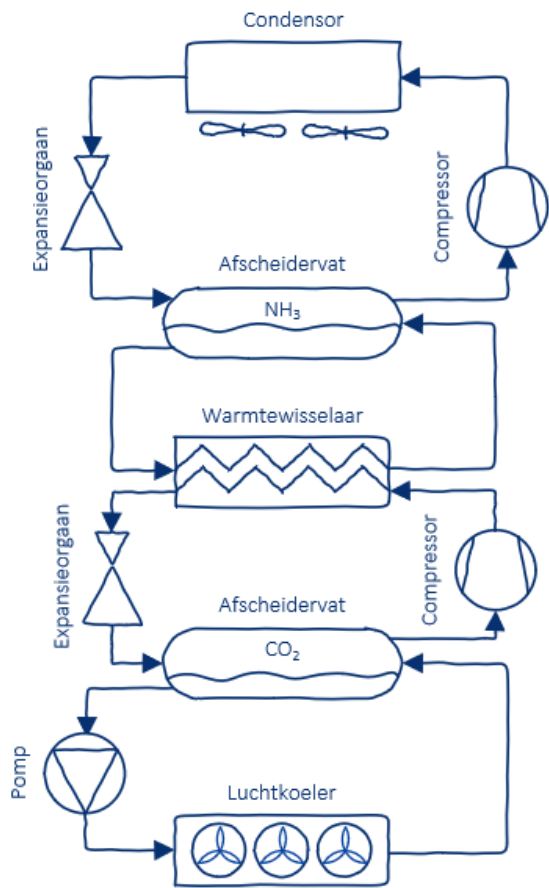
Specifieke energiebesparingsopties:

- *Toepassen intercooler (economizer)* om het vloeibare koudemiddel van het hogedruk vloeistof of condensor te onderkoelen, op weg naar het expansieventiel. Dit verhoogd de COP en capaciteit van de compressor.
- *Toepassen van economizer bij schroefcompressoren.* De drukverlaging van condensor- naar verdamperdruk vindt dan in twee trappen plaats, waarbij het flashgas na de eerste drukverlaging direct tussen de eerste en de tweede trap van de compressor wordt ingebracht via de economizer poort. Door de economizer neemt de koelcapaciteit bij vriescondities circa 5 tot 10% toe en energie-efficiëntie met eenzelfde percentage. De economizer bespaart vooral bij hoge persdrukken (zomer of warmtepomp bedrijf).

**Cascadesysteem**

In het cascadesysteem wordt gewerkt met verschillende koudemiddelen voor de lagedruk en hogedruk trap in gescheiden kringlopen. Het koudemiddel van de lagedruk condenseert tegen het koudemiddel in de hogedruk trap.

I.v.m. de unieke eigenschappen van de koudemiddelen zijn sommige koudemiddelen beter geschikt voor lage c.q. hogedruk trap. Dit kan zijn i.v.m. dichtheden, efficiëntie of veiligheid. Veelgebruikte cascadesystemen zijn NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> of propaan/CO<sub>2</sub>



Figuur 5 - Cascadesysteem

- ✓ Efficiënter bij grotere temperatuurstappen
- ✓ Efficiënter bij koelvraag op LT&MT niveau dan expanderen van LT voor MT-niveau.
- ✓ Risicovol koudemiddel blijft binnen machinekamer
- ✗ Kostbaarder

Specifieke energiebesparingsopties:

- Vergroten oppervlak cascadowisselaar
- Energiezuinige pompen

**Verdamping- en condensatietemperatuur**

**Verdampingstemperatuur**

De keuze van de proces-/ruimtetemperatuur en het systeemontwerp zijn bepalend voor de verdampingstemperatuur van de koelinstallatie en daardoor mede voor de energie-efficiëntie van de koudeopwekking. Elke graad hoger verdampen, levert een energiebesparing op van circa 2-3% door hogere efficiëntie bij de compressor.

- Door te kiezen voor direct systeem (dx of pomp), wanneer dit mogelijk is, wordt een extra wisselaar vermeden. Hiermee wordt ook een extra temperatuurstep vermeden en kan de verdampingstemperatuur bij de compressor (zuigdruk) dichterbij de proces-/ruimtetemperatuur liggen.
- Door te kiezen voor een groot warmtewisselend oppervlak (luchtkoeler of warmtewisselaar), waardoor ook hier de verdampingstemperatuur bij de compressor (zuigdruk)

dichterbij de proces-/ruimtetemperatuur liggen. De hogere verdampingstemperatuur zorgt voor een COP verbetering aan de kant van de compressor.

**Condensatietemperatuur**

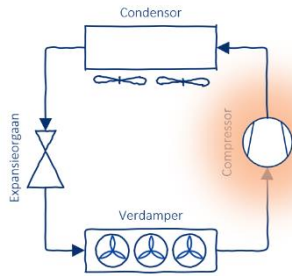
De condensatietemperatuur is afhankelijk van het medium, waarmee de vrijkomende warmte van de condensor kan worden afgevoerd, meestal is dat medium koelwater of omgevingslucht. Elke graad verlaging van de condensatietemperatuur komt overeen met een besparing van 2-3% op het energiegebruik van de compressor.

- Door te kiezen voor een condensor met een groot warmtewisselend oppervlak kan de condensatietemperatuur dichterbij het koelmedium komen te liggen. In het geval van een luchtgekoelde condensor betekent dit een klein verschil tussen de condensatietemperatuur en buiten temperatuur. Een temperatuurverschil van 10K wordt gezien als energiezuinig.
- Verder wordt de condensatietemperatuur teruggebracht door een koelmedium met lagere temperatuur te gebruiken; bijv. gebruik van (oppervlakte)water of een verdampingscondensor.
- Door eerst warmte uit de hete persgassen te halen, neemt belasting op de condensor af. De warmte uit de persgassen kan gebruikt worden voor verwarmingsdoeleinden, of in een dry cooler los worden afgevoerd tegen de buitenlucht.

### Componenten

#### Compressoren

De compressor vormt het hart van de koelinstallatie en verricht de arbeid. De compressor zuigt lagedruk gas de compressor binnen en wordt door de compressor naar hogedruk gebracht. Door de ontstane zuigdruk verdampt het koudemiddel in de verdamper/wisselaar.



Compressoren kunnen worden uitgevoerd als zuiger-, scroll-, schroef- of centrifugaal compressoren.

- Voor kleine tot middelgrote installaties (20-200 kW) worden nagenoeg altijd zuiger- of scrollcompressoren toegepast.
- Voor grote installaties (> 200 kW) komen ook schroefcompressoren voor; echter zelden bij gebruik van CO<sub>2</sub> als koudemiddel.
- Centrifugaal compressoren zitten bijvoorbeeld in industriële koudwaterinstallaties en kunnen oplopen tot vele MW koelvermogen..

#### Zuigercompressoren

- ✗ Bij open versie relatief grote onderhoudsfrequentie
- ✓ Hoog energetisch rendement
- ✓ Goedkoper bij klein/middelgrote slagvolumes
- ✓ Eenvoud van onderhoud
- ✓ Efficiënt in deellast
- ✓ Veel methoden om capaciteit te regelen

#### Schroefcompressoren

- ✗ Risico op over/onder compressie, heeft negatieve invloed op COP
- ✗ Oliecircuit benodigd
- ✗ Onderhoud vraagt totaalrevisie
- ✗ Duur voor kleine slagvolumes
- ✓ Traploze capaciteitsregeling
- ✓ Traploze continue compressie
- ✓ Hoge betrouwbaarheid en lange levensduur

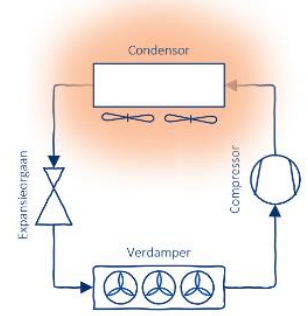
#### Energiebesparingsopties:

- Keuze voor hoog rendement elektromotoren op de compressoren
- Toepassen frequentieregeling\*
- Variabele volumeverhouding bij een schroefcompressor\*
- Bij overcapaciteit, terugtoeren van de zuigercompressor\*
- Economizer/tussenkoeler op de scroll of schroefcompressor

\*Zie ook hoofdstuk Regeling

#### Condensors & gaskoelers

In de condensor wordt het door de compressor in druk verhoogde (en hiermee ook in temperatuur gestegen) gasvormige koudemiddel afgekoeld tot dit condenseert tot een vloeistof. Afkoeling vindt hier doorgaans plaats tegen de lucht (luchtgekoelde condensor) of tegen water (watergekoelde condensor).



Hoe groter de condensor, hoe lager er kan worden gecondenseerd, hoe efficiënt er het totale koelsysteem kan functioneren,

De meest toegepaste typen condensor zijn:

- Watergekoelde condensor
- Luchtgekoelde condensor
- Verdampingscondensor/koeltoren.

#### Watergekoelde condensor

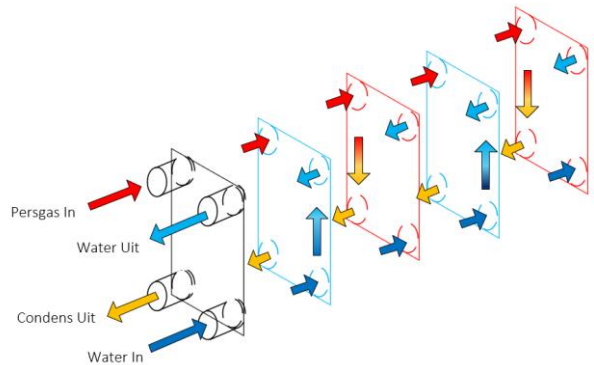
De watergekoelde condensor is doorgaans uitgevoerd als een pijpenbundelwarmtewisselaar of als een platenwisselaar. Het koudemiddel condenseert hierin tegen water; het kan gaan om bronwater, oppervlaktewater, water afgekoeld met een koeltoren of een circulerend systeem voor warmteterugwinning. Bij laatstgenoemde wordt de warmte uit de watergekoelde condensor nuttig aangewend, water circuleert dan over de watergekoelde condensor en geeft zijn warmte elders af en stroomt dan opnieuw door de watergekoelde condensor.

#### Energiebesparingsopties:

- Vergroten warmtewisselend oppervlak
- Lagere temperaturen van inkomend water

De condensatietemperatuur wordt in het algemeen geregeld door variatie van de hoeveelheid circulerend koelwater.

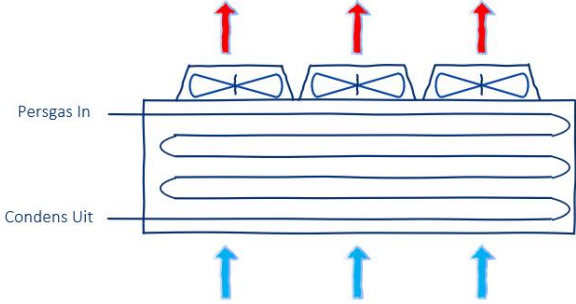
Een best practice ontwerpwaarde tussen condensatietemperatuur en watertemperatuur is 8K.



Figuur 6 - Watergekoelde condensor

**Luchtgekoelde condensor**

In een buiten opgestelde luchtgekoelde condensor condenseert het koudemiddel tegen de buitenlucht. Hier blazen een tal van ventilatoren de buitenlucht over een warmtewisselaar waar het koudemiddel doorheen stroomt.



*Figuur 7 - Luchtgekoelde condensor*

De condensatietemperatuur is afhankelijk van de temperatuur van de aangezogen buitenlucht. In de zomer kan de condensatietemperatuur daarbij oplopen tot 45 à 50°C. Hoe groter het warmtewisselend oppervlak, hoe lager er gecondenseerd kan worden tegen de buitentemperatuur aan. Hoe lager er gecondenseerd wordt, hoe hoger de COP. Condensordrukregeling maakt dit mogelijk.

Een goede ontwerpwaarde van het ventilatorvermogen is 14W/kW (ventilatorvermogen per kW afgevoerde warmte). Een best practice ontwerpwaarde tussen condensatietemperatuur en luchttemperatuur is 10K, waarbij de condensatiedruk de buitentemperatuur volgt tot 10°C.

*Verdere maatregelen om condensatiedruk te verlagen:  
(2,5% elektriciteitsbesparing compressor per graad reductie condensatietemperatuur of persdruk)*

- (lager instellen) condensatiedrukregeling;
- reinigen condensor;
- lucht uit de (vries)installatie (automatisch) verwijderen (ontluchter of air purger);
- controleer luchtdebiet over de condensor;
- aanpassen kleppen lagedrukexpansie;
- vergroten aantal condensors (nieuwe condensor of persgaswarmtewisselaar voor aanmaken van warm water);
- reduceer olietransport van compressor naar installatie (m.n. bij ammoniak)
- verbeter condensaatvoer uit condensor.

Verdere energiebesparingsopties:

- Toepassen spraysysteem (voorkoelen lucht met water)
- Energie-efficiënte ventilatoren (EC) of ventilatoren met frequentieregelaar.

CO<sub>2</sub> transkritisch

In een CO<sub>2</sub> transkritische installatie condenseert bij hogere

buitentemperaturen het koudemiddel niet, er is daarom hier geen sprake van een condensor, maar van een gaskoeler. Zowel watergekoelde gaskoelers als luchtgekoelde gaskoelers zijn mogelijk. Het principe van afkoelen tegen de buitenlucht, of water, is hier gelijk aan een condensor.

Een goede ontwerpwaarde van het ventilatorvermogen is 14W/kW (ventilatorvermogen per kW afgevoerde warmte). Een best practice ontwerpwaarde tussen gaskoelertreed en omgeving is 2K.

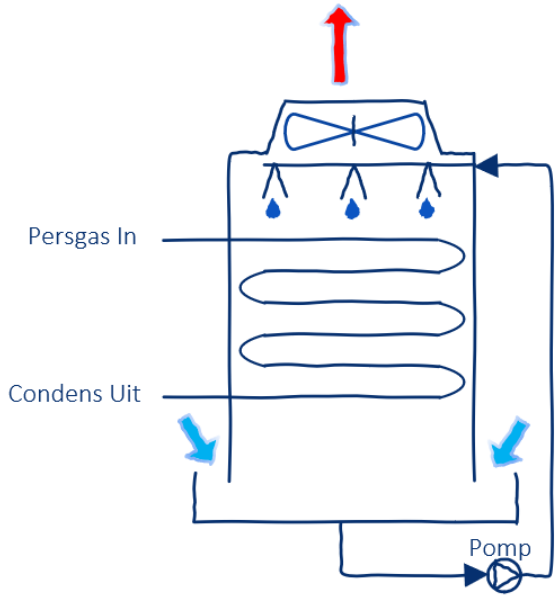
**Verdampingscondensor**

Dit is een bevoelde luchtgekoelde condensor. De buizen in de condensor worden bevoeid met water. Door die bevoeiing is de temperatuur van de buitenzijde van de condensorpijpen gelijk aan de heersende natte boltemperatuur van de omgevingslucht, welke op tijden aanzienlijk onder de droge buitenluchttemperatuur kan liggen. In Nederland is de maximale natte bol circa 22°C. Door deze lage natte bol temperatuur kan ook de condensatietemperatuur dalen, waardoor de compressoren werken met een hogere efficiëntie.

De consequenties van een verdampingscondensor zijn:

- een watercirculatiesysteem met verdamping en suppletie, dus bijkomend water- en energieverbruik;
- chemische waterbehandeling (hardheid, biocides, legionella);
- kans op uitwendige vervuiling van de condensorpijpen;
- kosten voor water en waterbehandeling zijn hoog;

Een verdampingscondensor is een variant op de klassieke koeltoren.



*Figuur 8 - Verdampingscondensor*

Energiebesparingsopties:

- Vergroten warmtewisselend oppervlak.



Intern gebruik

- Energie-efficiënte ventilatoren (EC) of ventilatoren met frequentieregelaar.
- Energiezuinige en toerengeregelde pompen.

Ook de maatregelen, als genoemd onder luchtgekoelde condensor om de condensatiedruk te verlagen, zijn hier van toepassing.

Een goede ontwerpwaarde van het ventilatorvermogen is 14W/kW (ventilatorvermogen per kW afgevoerde warmte). Een best practice ontwerpwaarde tussen condensatietemperatuur en natte bol luchttemperatuur is 10K.

**Drycooler**

Drycoolers worden doorgaans toegepast om dan wel via een indirect systeem, warmte uit de persgassen af te voeren of voor oliekoeling van de compressoren. Ook hier geldt dat bij voorkeur energiezuinige EC ventilatoren met debietregeling dienen te worden toegepast. Er zijn opties waar een dry cooler voor oliekoeling opgenomen wordt in de condensor. Dit kan goed functioneren, maar vraagt aandacht voor situaties, die sterk afwijken van de ontwerpomstandigheden.

**Verdampers & Wisselaars**

De uitvoering van de verdampers wordt veelal bepaald door het doel, waarvoor de verdampingsenergie gebruikt wordt:

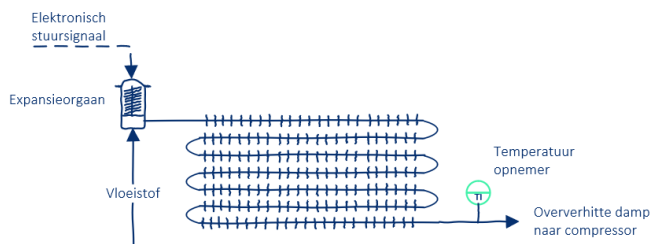
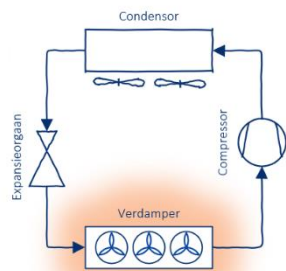
- het koelen van lucht (of het direct koelen van een koel- of vriesruimte);
- het koelen van een vloeistof (water, pekkel of een andere koudedragers);
- het koelen van een emulsie;
- het koelen van een vaste stof;
- het koelen van een procesreactor.

De eerste twee van de genoemde komen het meest voor en wordt verder uitgewerkt.

**Luchtkoelers**

Bij het koelen van lucht in koel- en vriescellen wordt bij kleine systemen meestal directe expansie in lamellenblokken of spiralen toegepast, waarbij ventilatoren lucht erlangs leiden. Bij uitrede uit de verdamper dient alle vloeistof verdampt te zijn om te voorkomen dat de compressor vloeistof kan aanzuigen.

Bij toepassingen waarbij de temperatuur van het koeloppervlak lager is dan 0°C, vriezen de lamellen aan ten gevolge van vocht in de lucht, zodat er regelmatig ontdooid moet worden.



**Figuur 9 – Luchtkoelercircuit met expansieorgaan**  
 Bij grotere systemen wordt ook pomp- of zwaartekrachtcirculatie toegepast. Daarbij wordt vanuit een vloeistofvat met afscheider, vloeibaar koudemiddel door de luchtkoelers gepompt.

*Verdere maatregelen om zuigdruk (verdampingstemperatuur ter hoogte van de compressor) te verhogen zijn:  
 (2,5% elektriciteitsbesparing compressor per graad toename van de verdampingstemperatuur of zuigdruk)*

- stel het setpoint van de verdamperregeling in op een hogere waarde (al naar behoefte);
- correct en regelmatig ontdooien, dunne en gelijkmatige rijlaag;
- voldoende luchtcirculatie;
- goede luchtverdeling en productstapelning in de gekoelde opslag;
- correcte fan selectie (fan efficiëntie);
- goede olie afscheiding (olie in een warmtewisselaar zorgt voor slechte warmte overdracht);
- plaats meer verdampers (meer warmte overdragend oppervlak);
- bij DX-installatie van elektronische expansie ventielen i.p.v. thermostatische ventielen (levert meer warmte overdragend oppervlak).

Energiebesparingsopties:

- Vergroten oppervlak en daarmee verhogen verdampingstemperatuur. Setpoint wordt vaak onnodig laag afgesteld. Elke graad hoger afgestelde verdampingstemperatuur geeft een besparing van 1 tot 3% energie.
- Energie-efficiënte ventilatoren (EC) of ventilatoren met frequentieregelaar. Alleen installeren is niet genoeg, ook de besturing moet gebruik maken van de technische mogelijkheden.
- Tijdig en doeltreffend ontdooien (meting, e.d.).
- Natuurlijke ontdooiing gebruiken wanneer mogelijk.
- Persgasontdooiing is aanmerkelijk zuiniger en effectiever, dan elektrische ontdooiing.
- Door koelers te voorzien van ontdooivoorzieningen (kappen, shut up etc) kan energie bespaard worden. Deze voorzieningen kunnen leiden tot een extra weerstand, wat resulteert tot meer energiegebruik voor ventilatoren.
- Verkorten na-draaitijd ventilatoren.
- Toepassen van elektronische regelaars met setpointverschuiving.

Ventilatoren in luchtkoelers doen meer dan alleen lucht door de koeler verplaatsen. Ze zorgen ook voor circulatie door de cel of door het product. Kentallen, zoals W-ventilatorvermogen/kW-koelvermogen, zijn daarom niet goed toepasbaar. Belangrijk is te kiezen voor een ventilator met een prestatie, welke hoger ligt dan de wettelijke ErP.

**Vloeistofkoelers**

Grofweg zijn vloeistofkoelers onder te verdelen in wisselaars met droge verdamping en systemen met natte verdamping. De energie-efficiëntie van de natte verdamping is hoger dan die van de droge met directe expansie, door betere

Intern gebruik



## Intern gebruik

warmteoverdracht en hogere verdampingstemperaturen mogelijk (geen noodzaak tot oververhitting).

Meest voorkomende warmtewisselaars zijn de 'shell and tube' (pijpenwisselaar) en platenwarmtewisselaar.

Beide hebben unieke eigenschappen.

Energiebesparingsopties:

- Vergroten wisselaaroppervlak
- Bij cascade wisselaars (bij  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$ ) een temperatuurverschil van max. 3K
- Beperken drukval over de wisselaar (pompvermogen)

## Regeling

### Regeling compressoren

#### Zuigercompressoren

Bij zuigercompressoren wordt de capaciteit gewijzigd door kleplichtheid of toerenregeling. Bij halvering van het compressordebiet zal bij de kleplichtheid het opgenomen vermogen met 40 tot 45% dalen. Bij toerenregeling neemt het opgenomen vermogen zelfs meer dan evenredig af.

Bij grote variaties van de capaciteit is het schakelen van meerdere, parallel draaiende, compressoren een energie-efficiënte methode. Een toerengeregelde zuigercompressor is de meest efficiënte regeling in deellast.

Er dient wel aandacht besteed te worden aan afnemend rendement van de elektromotor. De terugloop van rendement van de motor kan hoger zijn dan de efficiency verbetering van de compressor.

#### Schroefcompressoren

Capaciteit van schroefcompressoren wordt aangepast door de effectieve schroeflengte te wijzigen of door toerenregeling.

Er kunnen grote verschillen zitten in compressoren, o.a. op basis van de schroeflengte en de regeling van de volumeverhouding in de schroef.

Bij toerenregeling van de schroefcompressor is het opgenomen vermogen recht evenredig met het toerental. De verliezen in de schroef nemen wel toe, omdat de afdichtende olielaag bij lager toerental minder goed functioneert. Een externe oliepomp kan dit probleem ondervangen.

### Regeling condensordruk

De condensordruk wordt geregeld met de ventilatoren van de condensors (zowel luchtgekoelde of verdampingscondensors of koeltoren). Regeling van ventilatoren kan zijn: aan/uit; in stappen of geheel variabel in toeren.

Door meer condenserend oppervlak te activeren (ventilator in bedrijf) daalt de condensatiedruk en stijgt de efficiëntie van de koelinstallatie op de compressoren. Hier staat tegenover een energiegebruik voor de ventilatoren. Voor elke installatie wordt een minimum condensatiedruk ingesteld. Deze is er ter beveiliging van de compressor. Een best practice is een weersafhankelijke regeling van de condensatiedruk tot 15°C condensereren.

### Regeling verdampers

Bij directe expansiesysteem is het expansieorgaan geplaatst in de vloeistofleiding vóór de intrede van de verdamper. Het hoofddoel van het expansieventiel is het regelen van de koudemiddelstroom naar de verdamper en deze zo goed mogelijk gevuld houden. De regeling van die stroom is zodanig afgesteld dat geen vloeistof door de compressor kan worden aangezogen.

#### Thermostatisch expansieventiel

Het thermostatische expansieventiel werd tot 20 jaar geleden algemeen toegepast voor directe expansiesystemen. Voor grote installaties is dat nu in strijd met de Erkende Maatregelenlijst.

Sommige kleine koeling hebben deze techniek wel. Er staan nog duizenden installaties met deze regeling bij bedrijven.

Een temperatuuropmeter op de verdamperuittrede regelt door middel van een mechanische verbinding de doorlaat van het ventiel dat vóór de verdamper is geplaatst. De opmeter bepaalt de oververhitting van het uittredende gas. Bij teveel oververhitting

opent het ventiel. Een niet goed ingesteld expansieventiel kan leiden tot ernstige compressorschade. Zo kan een te veel aan ingespoten koudemiddel (te kleine oververhitting), vloeistofslag ten gevolge hebben en kan een te grote oververhitting soms tot oververhitting van de compressor leiden. In het algemeen dient een grotere veiligheidsmarge aangehouden te worden dan bij een elektronisch expansieventiel, gevolg is een lagere verdamping en hiermee hoger energiegebruik. Voor de goede werking heeft zo'n ventiel een minimale voordruk nodig. Dit zorgt ervoor dat de compressor niet goed weerafhankelijk kan werken en bij lage buitentemperaturen onnodig veel energie gebruikt.

#### Elektronisch expansieventiel

Bij een elektronisch expansieventiel stuurt een regelaar een klepmotor aan, die de doorlaatopening van het expansieventiel instelt.

Elektronische expansieventielen kunnen een gunstige kleine oververhitting van 4 tot 5K realiseren. Deze koeler wordt daardoor zo veel mogelijk gevuld en heeft daardoor maximaal warmte-overdragend oppervlak actief. Deze expansieventielen hebben een groter regelbereik dan de mechanische thermostatische expansieventielen: van 10 tot 100%. Dit houdt in dat de condensatietemperatuur tot +15°C in de koudere jaargetijden terug geregeld kan worden, waardoor de energiebesparing kan oplopen tot 15 à 20%.

#### Natte verdamping

Bij natte (flooded) verdamping door pompcirculatie of zwaartekrachtcirculatie, circuleert het koudemiddel in een overmaat, met behulp van een pomp (of door hoogteverschil) vanuit een lagedruk vloeistofvat naar één of meerdere verdampers. Nadat het koudemiddel gedeeltelijk verdampt is, stroomt het vloeistof-/dampmengsel terug naar de vloeistofafscheider. Het opvallende verschil met de droge expansie is, dat bij het natte systeem, het debiet van het koudemiddel door het expansieorgaan niet afhankelijk is van de koudemiddelstroom door de verdampers. Er hoeft hierdoor geen oververhitting te worden aangehouden, waardoor de verdampingstemperatuur hoog kan komen te liggen hetgeen een gunstiger energiegebruik ter hoogte van de compressoren oplevert. Ook zijn er geen beperkingen aan de condensatiedruk bij de vlotter of het elektronisch expansieorgaan.

### Regeling ventilatoren

Ventilatoren zijn aanwezig op verdampers en condensors/gaskoelers.

Ventilatorvermogen stijgt met de derde macht met het toerental, afvoeren van de ventilatoren, wanneer dit mogelijk is, geeft hierom een aanzienlijke energiebesparing. Om afvoeren mogelijk te maken, dienen ventilatoren geschikt te zijn voor toerenregeling en hiervoor een regeling te zijn aangebracht en zijn ingeregeld. Ook de gebruikte ventilatormotor technologie is van belang: EC- en gelijkstroomventilatoren zijn doorgaans zuiniger dan AC-ventilatoren. Bijkomend voordeel dat EC-ventilatoren eenvoudig in toeren te regelen zijn, waar bij

## Intern gebruik

AC-ventilatoren een frequentieregelaar nodig is.

De energiebesparing bij luchtkoelers telt twee keer mee. Enerzijds direct minder verbruik van de ventilator, anderzijds is ventilatorenergie weer warmte welke vrij komt en afgevoerd moet worden.

De ErP 2015 beschrijft de minimale energie-efficiëntie, waaraan ventilatoren dienen te voldoen.

Best practice ten aanzien van ventilatoren is om te kiezen voor EC-ventilatoren, voorzien van toerenregeling, >5% energiezuiniger ontwerpen dan de ErP 2015.

### Regeling pompen

Pompen zijn aanwezig in een pompsysteem (koudemiddelpomp) en een indirect systeem (vloeistofpomp). Best practice is hier om te kiezen voor frequentiegeregelde pompen met IE4 motoren. Ook regeling van de pompen, aftoeren en aan/uit wanneer mogelijk, zijn wijzen om energie te besparen.

### SCADA systeem / Monitoring

Een SCADA (Supervisory control and data acquisition) waarin data over het gehele koel-/system wordt verzameld en beheerd, geeft inzicht in de prestaties en mogelijkheid voor de gebruiker, hierop te reageren en bij te sturen. Dit voorkomt bijvoorbeeld dat een teruggang in de efficiëntie van de koelinstallatie (bijv. door vervuiling) niet wordt opgemerkt. Waar mogelijk is dit systeem aan te vullen met automatische alarmeringen en vergelijk van de prestaties t.o.v. een benchmark.

## Koudemiddelen

Keuze van een koudemiddel voor een koelinstallatie vraagt om te kijken naar alle eigenschappen van het koudemiddel:

- Thermodynamische eigenschappen / energieprestatie
- Veiligheid (brandbaarheid, giftigheid)
- Geschiktheid (druk, dichtheid)
- Milieu impact.

### Thermodynamische eigenschappen/energieprestatie

Thermodynamische eigenschappen van een koudemiddel vertalen zich naar de prestaties van de koelinstallatie. Hier is het werkgebied van de koelinstallatie van belang en de heersende omgevingscondities tijdens bedrijf.

Wanneer een koelinstallatie bijvoorbeeld uitsluitend een ruimte hoeft te koelen zal dit voor optimale energieprestatie betekenen, dat dit tot een andere selectie van een koudemiddel leidt, dan wanneer er in dezelfde cel ook vriesopslag mogelijk moet zijn.

De thermodynamische eigenschappen verschillen sterk en dit kan leiden tot verschillen in energiegebruik van meer dan 10%. Er is niet eenvoudig een "beste" koudemiddel aan te wijzen. Het systeem moet zo ontworpen zijn dat het optimaal gebruik maakt van de eigenschappen van het koudemiddel.

### Veiligheid (brandbaarheid, giftigheid)

Koelinstallaties zijn gesloten systemen. Toch kan het voorkomen dat er een lekkage ontstaat. Nederland heeft actuele wet- en regelgeving om risico's te beperken. Zolang er volgens de regels gebouwd worden vinden we elk koudemiddel veilig.

Veiligheid van koudemiddelen is in categorieën ingedeeld A, B, 1, 2L, 2 en 3. De letters A en B geven de mate van toxiciteit aan. De cijfers geven de mate van brandbaarheid aan. Deze classificatie is geregeld in de normen: ASHRAE 34 en ISO 817.

Categorieën:

A: koudemiddelen met een lage toxiciteit

B: koudemiddelen met een hoge toxiciteit

1: niet brandbaar

2L: lage brandbaarheid (mild brandbaar)

2: brandbaar

3: hoge brandbaarheid

Voorbeelden zijn:

R32 (HFK) A2L

R448A (HFO) A1

R718 Water A1

R290 Propaan A3

R717 Ammoniak B2L

R744 CO<sub>2</sub> A1

De erkende koelinstallateur weet hoe veilig met deze middelen gewerkt moet worden.

### Geschiktheid (druk, dichtheid)

Niet elk koudemiddel is geschikt voor elke toepassing; soms lopen de drukken/temperaturen te hoog op of zijn deze juist te laag. Bij bijvoorbeeld ammoniak in zeer lage temperatuur vriestoepassingen (onder -40°C) wordt de druk zo laag dat de slagvolumes (afmetingen compressoren) erg groot moeten worden, efficiëntie dalen en het risico ontstaat dat door onderdruk er lucht in het koelsysteem wordt gezogen.

### Milieu

Het aspect milieu is door de jaren heen steeds een belangrijker item geworden met meer wet- en regelgeving. De discussie gaat daarbij veelal om synthetische koudemiddelen ten opzichte van meer natuurlijke koudemiddelen.

### Synthetische koudemiddelen

Synthetische koudemiddelen zijn stoffen, die van nature niet voorkomen, maar door de mens zijn ontwikkeld voor industriële doeleinden. Synthetische koudemiddelen zijn (H)CFK's en HFK's. Hiervoor gelden direct werkende Europese verordeningen met voorschriften, die gericht zijn op het beschermen van het milieu.

De chloorhoudende koudemiddelen HCFK's zoals R22 zijn allen verboden (aantasting ozonlaag). Er draaien in de praktijk nog wel installaties op deze middelen. Deze mogen bij lekkage niet meer gevuld worden met koudemiddelen. Met het Montrealprotocol wordt ook het gebruik van HFK's met een hoge bijdrage aan het broeikaseffect (GWP) uitgefaseerd. Europa heeft hier het F-gassenbesluit voor. De laatste versie uit 2014 wordt

## Intern gebruik

## Intern gebruik

binnenkort aangescherpt. Momenteel zijn er verbodsbepalingen van HFK's voor verschillende toepassingen en wordt het middel op basis van een quotumsysteem steeds duurder gemaakt. Het beschikbare quotum neemt in 15 jaar af met 85%. De kosten voor deze middelen zijn zeer sterk gestegen en leveringszekerheid kan niet altijd gegarandeerd worden.

### Natuurlijke koudemiddelen

Natuurlijke koudemiddelen komen ook van nature voor in het milieu, zoals:

- Water
- CO<sub>2</sub> (R744)
- NH<sub>3</sub> (R717)
- Koolwaterstoffen, zoals ethaan (R170), propaan (R290), propeen (R1270), butaan (R600), ISO butaan (R600a)

Regelgeving over natuurlijke koudemiddelen in koelinstallaties staat in het Activiteitenbesluit. Dit zijn voorschriften gericht op veiligheid. Vanaf 1500 kg ammoniak en 100 kg propaan en/of butaan wordt een koelinstallatie vergunningplichtig; de voorschriften staan dan in de vergunning. Voor koelinstallaties met koolstofdioxide als koudemiddel geldt nooit een vergunningsplicht. Wel zijn in het Activiteitenbesluit bepalingen opgenomen over de kwaliteit waaronder een installatie gebouwd moet worden.

HFK's hebben een groot broeikas-effect. Dit wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalent en in de vaktaal GWP. Een in Nederland veel gebruikt koudemiddel R410A heeft een GWP van 2.088. Dit betekent dat 1 kg lekkage gelijk is aan 2.088 kg CO<sub>2</sub> uitstoot. Een a-label personenauto heeft een uitstoot van ca. 100 gr/km. 1 kg 410A is gelijk aan 21.000 km autorijden.

Vanuit milieuoogpunt zijn de natuurlijke koudemiddelen daarom een beter alternatief. Bij gebruik van natuurlijke koudemiddelen is veiligheid wel een aandachtspunt.

HFO's zijn de nieuwe generatie synthetische koudemiddelen. Ze kenmerken zich door een laag GWP getal. Deze koudemiddelen zitten vooral in voorgevulde installaties. De diversiteit is zeer groot. Het is van belang een specifieke keuze te beoordelen op energie-efficiëntie, milieu-impact, bedrijfszekerheid, brandbaarheid en risico op gezondheid personeel.

soort koudemiddel	veel gebruikt koudemiddel
synthetische koudemiddelen die vallen onder de F-gassenregelgeving	
HFK's	R134a, R32
HFK's bevattende mengsels	R404a, R407c, R410a, R507a, R449

HFO	R1234 met daarachter een specifieke lettercode
natuurlijke koudemiddelen: Activiteitenbesluit H3 of vergunning	
natuurlijke koudemiddelen	R744 (CO <sub>2</sub> ) R717 (ammoniak) R290 (propaan) R170 (ethaan) R600a (isobutaan) R1270 (propeen) R718 (water)

## Restwarmtegebruik

Een koelinstallatie is in wezen een warmtepomp; bij het draaien komt een hoeveelheid warmte vrij, via de persgassen en/of oliekoeling.

De hoeveelheid warmte is gelijk aan het energiegebruik van de compressoren x (COP op koelen + 1).

Hoeveel warmte er op welke temperatuur en op welke wijze vrijkomt is afhankelijk van het systeem (koudemiddel, type compressor, condensordruk). De restwarmte kan direct of indirect nuttig worden aangewend.

### Oliekoeling

In het bijzonder bij het gebruik van schroefcompressoren dient de olie van de compressoren te worden gekoeld, hierin komt circa 15% van de warmte terecht. De warmte kan, in plaats van aan de buitenlucht te worden afgegeven, worden teruggewonnen met een wisselaar. Het betreft hier warmte op een temperatuur oplopend tot 60°C.

### Persgaswisselaar / Watergekoelde condensor

De warmte in de persgassen bij een condenserend koudemiddel als ammoniak bestaat uit twee componenten: het hete persgas op hoge temperatuur (circa 10%) en condensatiewarmte (medium temperatuur, circa 90%).

In een persgaswisselaar wordt het deel op hoge temperatuur teruggewonnen. Het temperatuurniveau is geschikt voor het verwarmen van tapwater, ontdooiing & ruimteverwarming.

In een watergekoelde condensor wordt condensatiewarmte teruggewonnen, vaak wordt hiermee water of glycol verwarmd.

Om in de winter voldoende temperatuurniveau te hebben van de restwarmte kan de persdruk worden verhoogd, dit kost echter wel energie (COP van de koelinstallatie daalt). Temperatuurniveau van de teruggewonnen condensatiewarmte is doorgaans (evt. na persdrukkerhoging) geschikt voor ruimteverwarming,

## Intern gebruik

### CO<sub>2</sub> transkritisch

In het geval van een transkritische CO<sub>2</sub> geldt hetzelfde als bovenstaand beschreven, echter is een groter deel van de warmte beschikbaar op hogere temperatuur. Een CO<sub>2</sub> installatie kan hierom de voorkeur hebben als er naast een koelvraag ook een vraag is naar warmte, op hoge temperatuur. Ook wanneer er vriesverdamper ontdooit dienen te worden is een CO<sub>2</sub> installatie erg geschikt. Warmte wordt dan niet via een wisselaar teruggewonnen, maar de warme persgassen worden direct gebruikt.

### **Bijzondere koelinstallaties**

Bovenstaande tekst betreft de reguliere koelinstallatie. Er zijn ook andere concepten om te koelen. Kort een toelichting:

- Absorptiekoeling. In plaats van mechanische compressor wordt (rest)warmte gebruikt om de koeling aan te drijven. Dit is een thermochemisch proces en alleen interessant als er veel restwarmte op een temperatuur > 70°C beschikbaar is.
- Adsorptiekoeling, idem aan absorptie maar dan met een vaste stof i.p.v. vloeistof.
- Peltierkoeling. Dit is thermo-elektrische koeling en wordt o.a. gebruikt in de koelbox. Er zijn nauwelijks industriële toepassingen.
- Drukgolven. Koelen bestaat bij de gratie van drukverschil. Drukverschil is o.a. te creëren met (geluid) golven. Er zijn nauwelijks praktische toepassingen in de industrie
- Air-cycle. Expanderen van lucht. O.a. toepassingen in vliegtuigindustrie.
- Benutten restkoude uit industriële processen zoals verdampen LNG en expansiestations aardgas. Alleen voor bijzondere situaties toepasbaar.
- WKO (Warmte Koude Opslag). Opslag van koude in de bodem met een warmtepomp tijdens warmtevraag in de winter en vervolgens gebruik van de koude in de zomerperiode. De temperatuur van de koude is nagenoeg nooit van voldoende laag niveau en kan hierdoor niet direct worden aangewend voor industriële koeling. Om deze reden wordt dit niet vaak gezien voor industriële koeling.

### **Warmtepomp**

Wanneer de restwarmte uit de koelinstallatie op onvoldoende temperatuurniveau beschikbaar is (denk aan bijv. condensorwarmte op 30°C, waar een temperatuurniveau van 65°C vereist is voor opwarming van tapwater), kan de restwarmte worden opgewaardeerd door middel van een warmtepomp. De te bereiken efficiëntie voor opwaarden van de warmte is hierbij doorgaans hoog.

De warmtepomp kan worden geconstrueerd door dan wel direct een extra compressor met hogere persdruk op te nemen in het koudemiddelcircuit, dan wel door een losstaande warmtepomp te plaatsen op reeds uit gekoppelde warmte (water/waterwarmtepomp).

Warmtepompen worden nader beschreven in de 'Best Practice Industriële

### **Onderhoud van een koelinstallatie**

#### **Ontluchten**

Bij ontluchten van een koelinstallatie worden eventueel aanwezige niet-condenseerbare gassen afgevoerd. De niet-condenseerbare gassen bestaan over het algemeen uit lucht. Deze niet-condenseerbare gassen verhogen de condensatiedruk en beïnvloeden, daarmee het energiegebruik nadelig. Ontluchten gaat met een automatische ontluchter (of purger) Het restgehalte niet-condenseerbare gassen wordt hiermee onder de 2% gehouden.

#### **Schoonmaken verdamper/ventilatoren**

Door vervuiling van de verdamper stijgt het energiegebruik, dit heeft twee primaire redenen:

- De warmteoverdracht neemt af en hiermee de capaciteit van de verdamper.
- Het warmtewisselend oppervlak wordt minder efficiënt gebruikt.
- Luchtweerstand wordt hoger, hierdoor moeten de ventilatoren harder werken.

Regelmatig reinigen van de verdamper gaat dit tegen en zorgt voor optimale werking van de verdamper.

### **Inpassing in de omgeving**

#### **Koudebuffers / Smart Grid / Congestie**

Een koudebuffer is een voorziening om koude voor een bepaalde tijd op te slaan. Koudebuffers kunnen vele vormen aannemen: waterbuffers, phase-change materialen, maar ook een ruimte met product, als bijvoorbeeld een vrieshuis.

- Een koudebuffer kan een energiebesparing geven door onder gunstige condities (bijv. lagere buitentemperaturen 's nachts) koude te laden bij een hogere COP en hierdoor de koelinstallatie stil te zetten bij ongunstige buitencondities. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een vrieshuis met max. temperatuur -30°C. 's nachts wordt deze tot -40°C gedraaid bij lagere buitentemperaturen en overdag mag de temperatuur weer oplopen tot -30°C.
- De koudebuffer kan ook als onderdeel van een Smart Grid netwerk inspelen op hoge energieprijzen/congestie. Dit door de koelinstallatie slim (extra) in te schakelen, wanneer elektriciteit goedkoop is (overschot op het net) of wanneer door congestie het ongewenst is dat eigen zonne-energie wordt geëxporteerd. Wanneer elektriciteit schaars is, de prijzen hoog of er ruimte is om zonne-energie te exporteren kan de koelinstallatie door de gebufferde koude uit blijven staan. Hierin zijn ook verdienmodellen mogelijk; de elektriciteitsmarkt is bereid te betalen voor het

Intern gebruik

afnemen van energie, wanneer er sprake is van onbalans/overproductie.

- Een derde reden om een koudebuffer te gebruiken, is om de benodigde piekcapaciteit van een installatie te beperken. Wanneer een proces niet continu om koude vraagt, kan met een buffer de koudevraag worden uitgesmeerd over een langere periode.

In de praktijk is het een balans tussen de drie voorgenoemde items.

***Subsidies & Fiscale regelingen***

De overheid stimuleert de keuze voor energiezuinige koelinstallaties met natuurlijke koudemiddelen, middels de EIA (Energie InvesteringsAftrek). De stimulering bestaat voor Transkritische CO<sub>2</sub> koelinstallaties, als overige Energiezuinige koelinstallaties met andere natuurlijke koudemiddelen.

Zie Energielijst van RVO voor exacte vereisten.