



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2004/530

Herziene versie

Aanvulling Bouwwijzer koel- en vrieshuizen

Datum	November 2004
Auteurs	A.J. Mieog M. Verwoerd
Projectnummer	004.35352
Trefwoorden	koel- en vrieshuizen broeikasgasemissies kosten
Bestemd voor	Novem t.a.v. Drs.ing. A.D. Koppenol Postbus 8242 3503 RE UTRECHT

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2004 TNO

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
2.	Minimalisatie koudevraag.....	5
3.	Koudemiddelen en alternatieve technologieën	7
3.1	TEWI concept.....	7
3.2	Koudemiddelen en koudedragers	8
3.3	Alternatieve technologieën	10
3.4	Wet-, regelgeving e.d.....	11
4.	Systeemopties en energiebesparende maatregelen.....	12
4.1	Referentiegebruikers.....	12
4.2	Installatieconcepten en systeemopties	12
4.3	Alternatieve technologieën	19
4.4	Energiebesparende maatregelen	20
4.5	Uitgangspunten.....	23
5.	Resultaten.....	24
5.1	Koelen.....	24
5.1.1	Systeemopties.....	24
5.1.2	Energiebesparende maatregelen.....	26
5.2	Vriezen	27
5.2.1	Systeemopties.....	27
5.2.2	Energiebesparende maatregelen.....	29
5.3	Voorbeelden	30
6.	Referenties	33
7.	Verantwoording	35
Annex I	Posten koudevraag	
Annex II	Uitgangspunten systeemopties en energiebesparende maatregelen	

1. Inleiding

In de ontwerpfase van nieuwe koelinstallaties worden keuzen gemaakt die grotendeels bepalend zijn voor de kwaliteit van de installatie gedurende haar levensduur. Koelinstallaties dragen in negatieve zin bij aan het broeikaseffect. Deze bijdrage wordt zowel in directe als in indirecte zin geleverd. De directe bijdrage wordt gevormd door de emissies van de veelal gebruikte synthetische koudemiddelen gedurende de levensduur van de installatie. De huidig toegepaste synthetische koudemiddelen, behorend tot de groep van de HFK's, hebben een groot broeikaseffect. De indirecte bijdrage wordt gevormd door de CO₂-emissie als gevolg van de opwekking van de energie die door de installatie wordt gebruikt. In het kader van het Kyoto Protocol zijn reductiedoelstellingen geformuleerd voor o.a. de HFK broeikasgassen.

VROM/NOVEM heeft in overleg met de koudetechnische sector besloten om een zogenaamde Good Practice Guidance (GPG) voor de applicatiesector industriële koeling, met name voor koel- en vrieshuizen, op te stellen.

Voor nieuwe installaties kan men kiezen uit een aantal opties. Elke optie heeft zijn specifieke kenmerken. Om een verantwoorde keuze mogelijk te maken zijn broeikasgasemissies en kosten in dit document op een rij gezet.

De GPG is bedoeld om te voorzien in de behoefte van de eigenaar van de installatie om greep op het externe ontwerpproces te hebben.

Voor de applicatiesector industriële koeling zijn reeds de nodige hulpmiddelen beschikbaar voor het ontwerp van koel- en vriesinstallaties, zoals de Bouwwijzer [1] en het Handboek energie-efficiency [2].

Bovenstaande doelstelling wordt gerealiseerd door een Aanvulling te maken op de Bouwwijzer energie-efficiënte koel- en vrieshuizen [1]. De Aanvulling sluit aan bij de hoofdopzet van de Bouwwijzer en is primair bedoeld voor koel- en vrieshuizen.

De volgende stappen worden onderscheiden in deze Aanvulling op de Bouwwijzer: stap 1. Minimalisatie van de koudevraag.

stap 2. Onderlinge vergelijking van de diverse relevante systeemopties, op basis van de onderstaande aspecten:

- het jaarlijkse energiegebruik en de bijbehorende CO₂ emissie (indirecte bijdrage broeikaseffect);
- de potentiële koudemiddellekkage en de bijbehorende CO₂ emissie (directe bijdrage broeikaseffect), afhankelijk van het soort koudemiddel en de koudemiddelinhoud;
- de exploitatiekosten, gevormd door afschrijving van de investering en operationele kosten door energiegebruik en onderhoud.

De systeemopties dienen uiteraard te voldoen aan wettelijke bepalingen.

De in de Aanvulling Bouwwijzer beschreven twee stappen in het ontwerptraject zijn globaal en richting gevend van aard. Voor een specifieke situatie kan vervolgens op basis van de gekozen koudevraagreductiemaatregelen en de gekozen systeemoptie een offerte worden aangevraagd.

Voor het opstellen van de Aanvulling Bouwwijzer is een begeleidingscommissie samengesteld bestaande uit vertegenwoordigers van Novem, Nekovri (Nederlandse Vereniging van koel- en vrieshuizen), VAI (Nederlandse Voedingsmiddelen Industrie), drie installateurs en TNO-MEP.

2. Minimalisatie koudevraag

Het verminderen van de koudevraag leidt tot een koelinstallatie met een geringere capaciteit. Dit heeft een verlaging van de investeringskosten van de koelinstallatie en het energiegebruik tot gevolg. Bij gebruik van HFK's als koudemiddel zal dit eveneens leiden tot reductie van de broeikasgasemissies. De posten die bijdragen aan de koudevraag zijn in annex I vermeld.

De volgende reductiemaatregelen zorgen voor een vermindering van de koudevraag (zie ook [1] en [2]).

– *verkleining transmissieverliezen*

Transmissieverliezen worden verlaagd door het toepassen van betere isolatie. Een betere isolatie kan verkregen worden door beter en/of dikker isolatiemateriaal. Voor een vrieshuis dient een minimale dikte van 200 mm en voor een koelhuis een minimale dikte van 140 mm te worden aangehouden. Hierbij dient te worden uitgegaan van isolatiewaarden die overeenkomen met die van polyurethaan (PUR) of polyisocyanuraat (PIR) hardschuim.

De warmtebelasting door zoninstraling wordt verminderd door een niet-absorberende buitenlaag en door een goede positie van het dak (ligging en hoek ten opzichte van de zon).

Bij een complex met meerdere koel-/vriescellen kan de ligging van de cellen ten opzichte van elkaar zorgdragen voor een kleiner temperatuurverschil over elkaar aangrenzende wanden. Groepeer cellen met (ongeveer) gelijke temperatuur zo veel mogelijk bij elkaar.

– *verkleining deurverliezen*

Het warmte- en vochttransport dat plaatsvindt door een geopende deur vormt een niet onaanzienlijke bijdrage in aan de koudevraag. Bij vrieshuizen kan dat oplopen tot 30%. Deurverliezen zijn afhankelijk van de grootte van de deuropening, de temperatuur- en het vochtgehalte aan weerszijde van de deur, de tijd dat een deur openstaat en de eventueel aangebrachte voorzieningen ter beperking van warmte- en vochttransport.

Beperking van deurverliezen kan op diverse manieren gebeuren, door

- verkleining van het deuropervlak,
 - door een zo klein mogelijke deur,
 - door, indien mogelijk, een gedeelte van de deur af te sluiten of te blokkeren,
 - door het toepassen van een rollenbaan;
- een luchtsluis, met name bij een vrieshuis zodat er geen open verbinding tussen buitenlucht en het vrieshuis bestaat;
- beperking van warmte- en vochttransport bij openstaande deur
 - door een strokengordijn,
 - door toepassing van een gekoelde voorruimte bij vriescellen,
 - door het toepassen van een luchtgordijn;

- beperking van de tijdsduur van openstand van de deur
 - door automatisch openende en sluitende deuren,
 - door snelsluitdeuren;
- beperking verliezen door niet juiste afdichting van de deur door het aanbrengen van extra afdichtingen.

Deze maatregelen kunnen afzonderlijk of in combinatie worden toegepast.

Afhankelijk van de situatie en de specifieke eisen ten aanzien van de logistiek kunnen op de post deurverliezen besparingen tot 90% worden gerealiseerd.

– *vermindering interne warmteproductie*

Energiezuinige verlichting is een mogelijkheid om de warmtelast te verminderen, daar verlichting een belangrijke bijdrage levert aan deze koudevraagpost. Energiezuinige, HR (hoog rendement) verdamperventilatoren dragen eveneens bij aan het verminderen van de warmtelast. Door toepassing van deze ventilatoren zijn besparingen in de orde van 30 % mogelijk.

– *overige warmteposten*

Ontdooiverliezen, dat wil zeggen de ontdooiwarmte die ongewenst in de gekoelde ruimte terechtkomt, kunnen worden geminimaliseerd door het aanbrengen van voorzieningen op de luchtkoeler, zoals ontdooikleppen, ontdooisokken, ontdooikap e.d.

3. Koudemiddelen en alternatieve technologieën

In de industriële koeltechniek worden vrijwel alleen compressiekoelsystemen toegepast. De hoofdcomponenten in de gesloten koudemiddelkringloop van een dergelijk systeem zijn:

- een mechanische compressor,
- een condensor,
- een drukexpansie orgaan en
- een verdamper.

Onderscheid wordt gemaakt in directe en indirecte systemen. Bij indirecte systemen wordt gebruik gemaakt van een tussenmedium, een koudedragers, om de koude van de verdamper op de te koelen lucht of producten over te dragen.

Voor het leveren van koude zijn behalve compressiesystemen alternatieve technologieën mogelijk.

In de volgende paragrafen wordt kort ingegaan op de karakteristieken van de diverse koudemiddelen en koudedragers, op in aanmerking komende alternatieve technologieën en op milieu- en veiligheidsaspecten.

3.1 TEWI concept

De TEWI (total equivalent warming impact) is een manier om de totale broeikasgasemissies te bepalen door het combineren van de directe bijdrage van koudemiddeldemissies in de atmosfeer met de indirecte bijdrage van de kooldioxide emissies als een gevolg van het energiegebruik van het koelsysteem.

TEWI wordt uitgedrukt in CO₂-equivalenten.

De directe jaarlijkse bijdrage aan de TEWI factor wordt berekend op basis van:

- de GWP (global warming potential) van het koudemiddel, zijnde de verhouding van het broeikaseffect van 1 kg koudemiddel t.o.v. 1 kg CO₂ [kg CO₂-eq./kg],
- de koudemiddelinhoud [kg],
- het jaarlijkse lekpercentage [%].

Indien de afbraakfase wordt meegenomen, tevens:

- de levensduur van het systeem [jr],
- het percentage teruggewonnen koudemiddel bij afbraak [%].

De indirecte jaarlijkse bijdrage aan de TEWI factor wordt berekend op basis van:

- het jaarlijkse energiegebruik [kWh_e],
- de CO₂-emissie per eenheid energiegebruik [kg CO₂/kWh_e].

Bijna elk van bovengenoemde factoren is in meer of mindere mate in het ontwerp-proces beïnvloedbaar in de richting van minimalisatie van het broeikaseffect. De indirecte bijdrage aan de totale broeikasgasemissies is vele malen groter dan de directe bijdrage. Bij een gemiddeld lekpercentage van 5% [6] bedraagt de directe bijdrage aan TEWI circa 10% voor de applicatiesector industriële koeling [7].

In het kader van het Kyoto Protocol zijn reductiedoelstellingen geformuleerd voor het totaal van de zes broeikasgassen (o.a. CO₂ en de HFK koudemiddelen). In Nederland zijn door VROM afgeleide doelstellingen vastgesteld voor CO₂ emissies en voor emissies van de niet-CO₂ broeikasgassen. Het is dus van belang minimalisatie van broeikasgasemissies voor zowel de directe als de indirecte bijdrage na te streven.

Beïnvloeding directe bijdrage:

- keuze van een koudemiddel met een lage GWP;
- verlaging van het lekpercentage voornamelijk door de kwaliteit van de uitvoering zowel van materiaal als personeel en na oplevering van onderhoud en uiteindelijk afbraak;
- reductie van de koudemiddelinhoud, bijvoorbeeld door het toepassen van indirecte systemen waarbij de inhoud met 80 tot 90 % kan worden verlaagd, door het toepassen van componenten met een minimale inhoud, door het vervangen van badverdamperen door droge expansie verdamperen, door vermijding van onnodige koudemiddelbuffers en door te zorgen dat bij eventuele lekkage systeemdelen worden ingeblokt.

Beïnvloeding van de indirecte bijdrage:

- verlaging van het energiegebruik, bijvoorbeeld door het toepassen van energiezuinige componenten en regelingen en door het toepassen van een energetisch gunstig totaal ontwerp.

3.2 Koudemiddelen en koudedragers

Koudemiddelen kunnen worden verdeeld naar synthetische en natuurlijke koudemiddelen.

De huidige toegestane synthetische koudemiddelen voor gebruik in nieuwe installaties behoren tot de HFK's. De HFK koudemiddelen tasten de ozonlaag niet aan maar zijn wel sterke broeikasgassen.

HFK 134a wordt voornamelijk gebruikt in koeltoepassingen en heeft een GWP waarde van 1300.

HFK 404A en HFK 507 zijn ook toepasbaar in vriesystemen. Dit zijn vrijwel identieke koudemiddelen, waarbij HFK 404A een klein temperatuurtraject bezit. De druk van HFK 507 ligt iets hoger dan die van HFK 404A. De GWP van beide koudemiddelen bedraagt 3800.

Voor HFK 410A met een GWP van 1900, is belangstelling voor o.a. lage temperatuur toepassingen vanwege z'n hoge specifieke koelcapaciteit. De systeemdrukken zijn echter hoger dan die van de gebruikelijke koudemiddelen. De beschikbaarheid van componenten is echter nog beperkt.

De belangrijkste natuurlijke koudemiddelen zijn ammoniak, kooldioxide en koolwaterstoffen. Verder behoren lucht en water tot de natuurlijke koudemiddelen.

Deze koudemiddelen tasten de ozonlaag niet aan en zijn (vrijwel) geen broeikasgassen.

Ammoniak is van oudsher een belangrijk koudemiddel in de industriële sector en is geen broeikasgas. Toepassing van ammoniak is vanwege z'n toxische, en in geringe mate brandbare, eigenschappen omgeven met veiligheidsmaatregelen. Moderne ammoniak installaties streven uit veiligheidsoogpunt naar een zo klein mogelijke koudemiddelinhoud. Indirecte systemen zijn in dit opzicht duidelijk in het voordeel, zowel door een veel kleinere koudemiddelinhoud als door een goede beheersing van de veiligheidsrisico's door concentratie van de ammoniakhoudende systemedelen. In plaats van traditionele pompsystemen worden ook wel directe expansie systemen toegepast.

Kooldioxide heeft een lange historie als een milieuvriendelijk koudemiddel. Recentelijk is kooldioxide herontdekt als mogelijke opvolger van de HFK's. Kooldioxide opereert bij veel hogere drukken dan de gebruikelijke koudemiddelen en wordt transkritisch bij temperatuur even boven de 30 °C. Dit laatste betekent dat niet met een condensor maar met een gaskoeler (met glijdende temperatuur) moet worden gewerkt. In nieuwe vriessystemen wordt kooldioxide meer en meer toegepast als koudemiddel in de lagedruk trap van een cascadesysteem. De hoge druk trap wordt bedreven met ammoniak.

Koolwaterstoffen (GWP van 3) worden vanwege hun brandbaarheid en de daarmee samenhangende veiligheidsmaatregelen in de industriële koeling tot nu toe alleen toegepast in de olie- en gas industrie, waar reeds een streng veiligheidsregiem heerst.

Koudedragers kunnen worden onderscheiden in één-fasige en twee-fasige koudedragers.

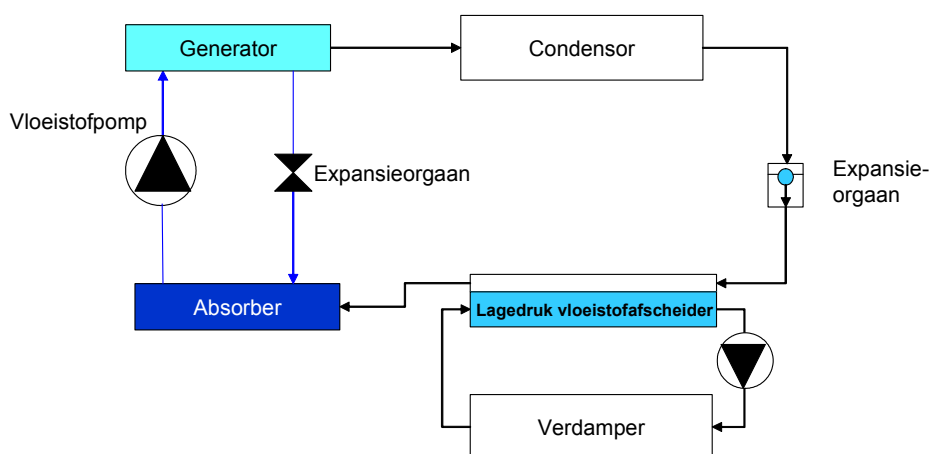
Bij één-fasige koudedragers vindt geen fase-overgang plaats. Door het afgeven van koude verandert de koudedrager in temperatuur. Koudedragers zijn glycol en alcohol oplossingen voor het hogere temperatuurgebied (koelsystemen). Naast calcium chloride pekels worden steeds meer oplossingen van kalium formiaat en kalium acetaat toegepast.

Bij twee-fasige koudedragers vindt fase-overgang plaats. Tijdens de koude afgifte houdt de koudedrager dezelfde temperatuur. Voor koeltoepassingen komt ijsslurrie in aanmerking. De fase overgang verloopt hierbij door het smelten van de miniem kleine ijsdeeltjes in het water-ijs mengsel.

Kooldioxide is een twee-fasige koudrager waarbij de fase-overgang wordt gevormd door het verdampen van het vloeibare CO₂. Kooldioxide wordt meer en meer gebruikt als koudedrager in vriestoepassingen en recentelijk ook voor koeltoepassingen.

3.3 Alternatieve technologieën

Een mogelijke alternatieve technologie is het absorptiesysteem. Bij een absorptie systeem is de mechanische compressor vervangen door een thermische compressor. De thermische compressor bestaat uit een absorber, een generator, een pomp om de rijke koudemiddeloplossing op een hoger drukniveau te brengen en een expansie orgaan om de arme oplossing te laten terugkeren naar de absorber (zie figuur 3.1). In figuur 3.1 is een systeem op basis van pompcirculatie van het koudemiddel weergegeven.



Figuur 3.1 Schema absorptiekoelinstallatie.

Het meest gebruikte stofpaar voor toepassingen beneden 0 °C is ammoniak als het koudemiddel en water als het oplosmiddel.

Absorptiekoeling is een alternatief voor compressiekoeling als er gratis restwarmte beschikbaar is, of voor vriestoepassingen. Voor koeltoepassingen is het rendement van absorptiekoelmachines onvoldoende om te kunnen concurreren met compressiekoelmachines, tenzij restwarmte beschikbaar is. Het rendement is redelijk onafhankelijk van het temperatuurniveau.

De air cycle behoort tot de lange termijn alternatieven. Een air cycle is gebaseerd op het expanderen van lucht, een zeer milieuvriendelijk, natuurlijke koudemiddel. Een air cycle bestaat altijd uit een combinatie van één of meer compressoren (ventilatoren), turbines (expanders) en warmtewisselaars, onderling verbonden met luchtkanalen. Met name voor invriezen (invriestunnels) waarbij hoge ventilatiecapaciteiten nodig zijn, kan een air cycle interessant zijn in vergelijking met compressiesystemen.

3.4 Wet-, regelgeving e.d.

Alle koelinstallaties dienen te voldoen aan het Warenwetbesluit Drukapparatuur [8]. Dit besluit heeft betrekking op de nieuwbouw (Europees geregeld in de PED, Pressure Equipment Directive) en op de ingebruikneming. Een aanvulling op dit besluit voor de gebruiksfase is in de maak.

De eenvoudigste manier om te voldoen aan de essentiële eisen van het Warenwetbesluit Drukapparatuur is het volgen van de geharmoniseerde norm EN 378. Naar verwachting zal in 2005 een herziene versie van deze norm verschijnen die volledig is aangepast aan de PED.

Het in werking treden van het Warenwetbesluit drukapparatuur heeft grote invloed op de bestaande regelgeving voor diverse soorten koudemiddelen.

Het gebruik van de synthetische koudemiddelen CFK, HCFK of HFK valt onder de (nationale) regelingen: RLK (Regeling Lekdichtheidsvoorschriften Koelinstallaties 1997) en onder een erkenningsregeling voor de vakbekwaamheid van personen en installatiebedrijven (STEK). Als gevolg van de EU Verordening ozonlaagafbrekende stoffen 2037/2000 moet de nationale regelgeving daarop aangepast worden. Inmiddels is een nieuwe ‘Regeling lekdichtheid koelinstallaties in de gebruiksfase’ in de maak.

Ammoniak als koudemiddel valt onder CPR 13-2 Ammoniak, toepassing als koudemiddel voor koelinstallaties en warmtepompen, 1999). Deze richtlijn wordt eveneens aangepast aan het Warenwetbesluit drukapparatuur.

Ten aanzien van externe veiligheid zijn voor ammoniakkoelinstallaties afstandstabellen opgesteld. De laatste versie wordt waarschijnlijk zomer 2004 gepubliceerd [10].

Voor brandbare koudemiddelen, zoals koolwaterstoffen, bestaat de NPR 7600 [11]. Deze praktijkrichtlijn zal eveneens moeten worden aangepast aan het Warenwetbesluit drukapparatuur of worden vervangen door de herziene EN 378.

Het moge duidelijk zijn dat de aanpassing van de nationale regelgeving aan de Europese regelgeving in het bijzonder als gevolg van de Pressure Equipment Directive omgezet in nationaal recht door middel van het Warenwetbesluit drukapparatuur, met de EN 378, maar ook als gevolg van de Verordening 2037/2000 en de (ontwerp) Verordening geïmplementeerde broeikasgassen, gevolgen heeft voor de afwegingen en investeringsbeslissingen met betrekking tot koelinstallaties en het te gebruiken koudemiddel. Aan de Verordening geïmplementeerde broeikasgassen wordt binnen de EU nog gewerkt. Deze gaat onder meer eisen bevatten ten aanzien van lekdichtheidscontroles.

4. Systeemopties en energiebesparende maatregelen

4.1 Referentiegebruikers

De grootte van de koudevraag en daarmee de capaciteit van de koelinstallatie, en het temperatuurniveau zijn in belangrijke mate bepalend voor de keuze van het koelsysteem. In de hoofdopzet van de Bouwwijzer [1] wordt, op basis van de koudevraag, voor de koudecapaciteit onderscheid gemaakt naar drie klassen:

- koudecapaciteit, $Q < 250 \text{ kW}$
- $250 \text{ kW} < \text{koudecapaciteit}$, $Q < 1000 \text{ kW}$
- koudecapaciteit, $Q > 1000 \text{ kW}$.

Voor het temperatuurniveau wordt een indeling gemaakt naar koelen en vriezen. Op deze manier ontstaan zes referentiegebruikers, drie voor koelen en drie voor vriezen.

4.2 Installatieconcepten en systeemopties

Voor elke referentiegebruiker zijn installatieconcepten opgesteld. Een installatieconcept omvat een bepaalde uitvoering van de koelinstallatie. Een installatieconcept gecombineerd met het toegepaste koudemiddel vormt een systeemoptie.

De uitvoering van de koelinstallatie wordt bepaald door de volgende kenmerken:

- a. ééntreps/tweetreps/cascade,
- b. DX / pompsysteem,
- c. direct of indirect systeem,
- d. wel/geen economiser.

ad a. en d. Dit kenmerk heeft betrekking op het aantal stappen waarmee de druk door compressie verhoogd wordt. Bij vriezen is in het algemeen ééntrepskoeling niet aan de orde vanwege het lage rendement en/of de eigenschappen van het koudemiddel. Een cascade systeem is een tweetrapssysteem waarbij voor de hoge en de lage druk trap gebruik wordt gemaakt van verschillende koudemiddelen. Een economiser kan gezien worden als een tussenvorm van een- en tweetrepskoeling. Bij een systeem met een schroefcompressor kan via een aftakking van de hoge druk vloeistofleiding en een ventiel koud gas op tussendruk in de compressor worden gebracht. Hierdoor benadert de schroefcompressor het rendement van een tweetrapssysteem.

ad. b. Bij een DX (direct expansie) systeem is elke verdamper voorzien van een expansieventiel en vindt de regeling dus per verdamper plaats. Bij een pompsysteem wordt gebruik gemaakt van een vloeistofvat met een vlotter als regeling. Vanuit het vloeistofvat wordt het koudemiddel rondgepompt naar meerdere verdampers. Het rondpompen kan geschieden via een pomp of via natuurlijke circulatie.

De wijze van drukregeling is afhankelijk van de specifieke situatie en het koude-middel.

ad. c.

Bij een indirect systeem wordt gebruik gemaakt van een tussenmedium, een koudedrager, om de koudegebruiker te bedienen. Een dergelijk systeem is voorzien van een extra warmtewisselaar tussen koudemiddel en koudedrager. Voordeel is de veel beperktere koudemiddelinhoud met een gunstig effect op broeikasgasemissies en op de toepassing van koudemiddelen met een veiligheidsaspect. Nadeel is het extra temperatuurverschil met als gevolg een iets verhoogd energiegebruik.

Voor elk van de zes referentiegebruikers is een referentie systeemoptie vastgesteld.

Om de resultaten zo breed mogelijk te kunnen toepassen is er bij deze berekeningen geen onderscheid gemaakt tussen schroef- en zuigercompressoren. In plaats daarvan wordt uitgegaan van een standaard isentropisch rendement. In de praktijk bepaalt het gebruik van de installatie welk type compressor het meest geschikt is.

In tabel 4.1 is voor het temperatuurniveau koelen een overzicht gegeven van de beschouwde installatieconcepten.

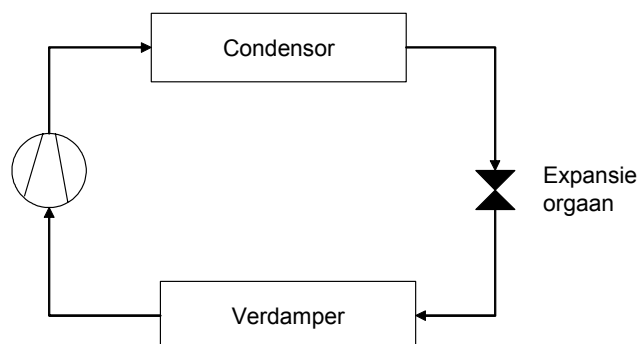
Tabel 4.1 Overzicht systeemopties koelen.

		koelen Q<250 kW					koelen 250<Q<1000 kW										koelen Q>1000 kW							
Concept	Installatienummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
A	DX systeem	x	x	x										x	x	x								
B	Pompsysteem						x	x	x												x	x		
C	Indirect pompsysteem									x	x						x	x	x					x
D	Indirect DX systeem					x	x					x	x							x	x			
	R134a	x				x				x		x			x				x		x			x
	R717			x				x			x		x			x		x		x			x	x
	R404A/R507					x				x							x							
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	
	Koudedrag					x	x																	

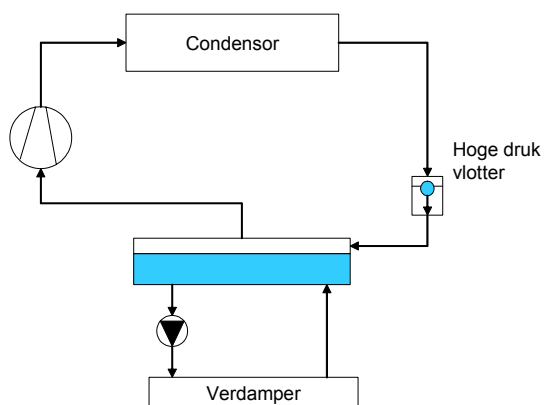
Referentie voor

- Q<250 kW
- 250 kW<Q<1000 kW
- Q>1000 kW

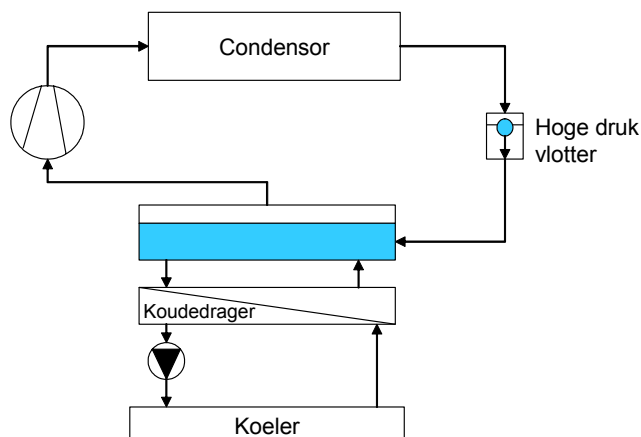
De figuren 4.1 t/m 4.4 geven schematisch elk der onderscheiden installatieconcepten weer.



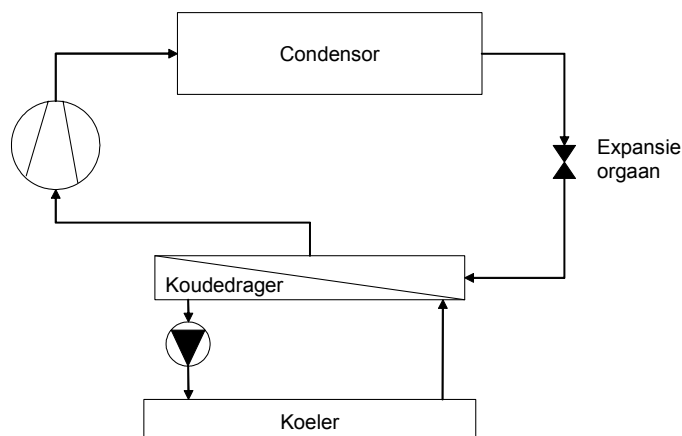
Figuur 4.1 Installatieconcept A, DX systeem, koelen.



Figuur 4.2 Installatieconcept B, Pompsysteem, koelen.



Figuur 4.3 Installatieconcept C, Indirect pompsysteem, koelen.



Figuur 4.4 Installatieconcept D, Indirect DX systeem, koelen.

Alle installatieconcepten zijn voorzien van een luchtgekoelde condensor. Voor ontdooien wordt de energiebesparende maatregel persgasontdooien toegepast. De installatieconcepten gebaseerd op een DX systeem zijn voorzien van de energiebesparende maatregel elektronische expansieventielen. Bij de installatieconcepten gebaseerd op een pompsysteem vindt de drukregeling via een HD (hoge druk) vlotter plaats. Indirecte systemen maken gebruik van een een- of tweefasige koudedrager.

De installatieconcepten leiden gecombineerd met een bepaald koudemiddel, en eventueel een koudedrager, tot een aantal systeemopties. De betrokken koudemiddelen zijn de HFK's: R134a, R404A en R707; en ammoniak, R717. In tabel 4.1

zijn met x'en de combinaties aangegeven. Deze systeemopties zijn aangeduid met een installatienummer.

Tabel 4.2 geeft op analoge wijze een overzicht van de systeemopties voor het temperatuurniveau vriezen. De beschouwde koudemiddelen zijn de HFK's, R404A en R507; en ammoniak, R717, en kooldioxide (CO₂), R744.

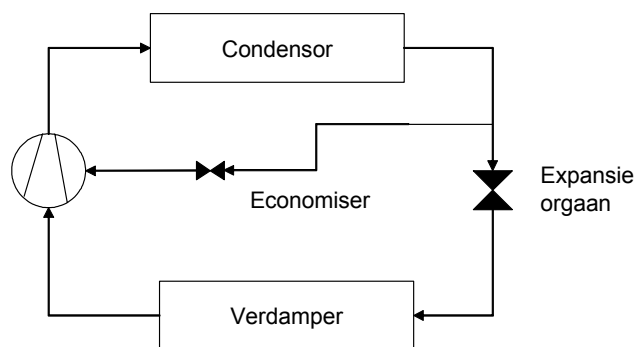
Tabel 4.2 Overzicht systeemopties vriezen.

		vriezen Q<250 kW					vriezen 250<Q<1000 kW										vriezen Q>1000 kW					
Con- cept	Installatienummer	1	2	3	4	AKI 1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	AKI 2	14	15	16	17	18	AKI 3
A	DX systeem met economiser	x	x																			
B	Pompsysteem met economiser			x	x				x	x												
C	Indirect pompsysteem met economiser												x	x								
D	Tweetraps pompsysteem									x	x							x	x			
E	Indirect tweetraps pompsysteem						x	x											x	x		
F	NH ₃ /CO ₂ cascade pompsysteem														x		x					
	R404A/R507	x		x					x	x								x				
	R717		x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	R744 (CO ₂)														x		x					
	Koudedragers, eenfasig						x					x							x			
	Koudedragers CO ₂ (tweefasig)							x						x							x	
	Absorptie koelsysteem					x										x						x

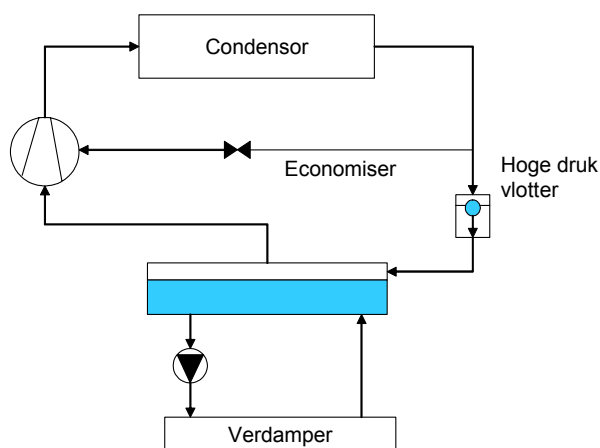
Referentie voor

	Q<250 kW
	250 kW<Q<1000 kW
	Q>1000 kW

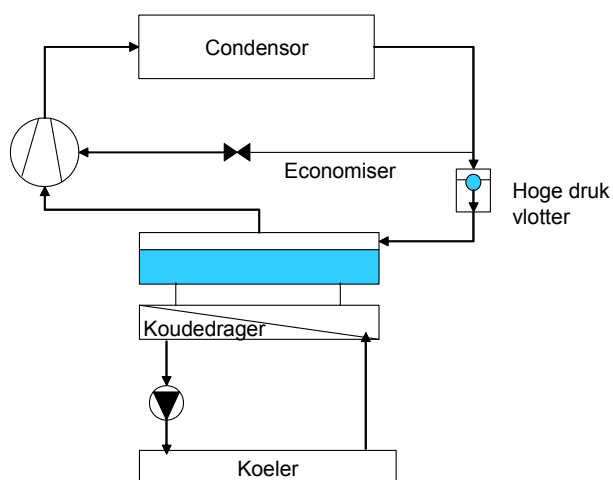
De figuren 4.5 t/m 4.10 laten schematisch de beschouwde installatieconcepten voor vriezen zien.



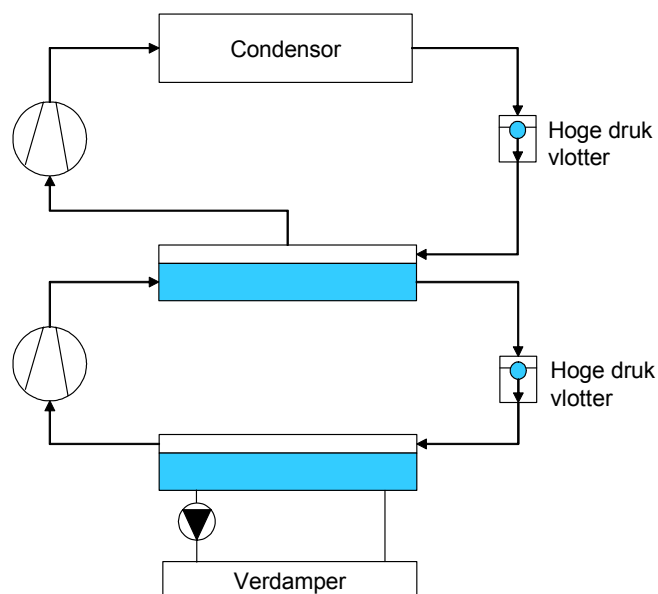
Figuur 4.5 Installatieconcept A, DX systeem met economiser, vriezen.



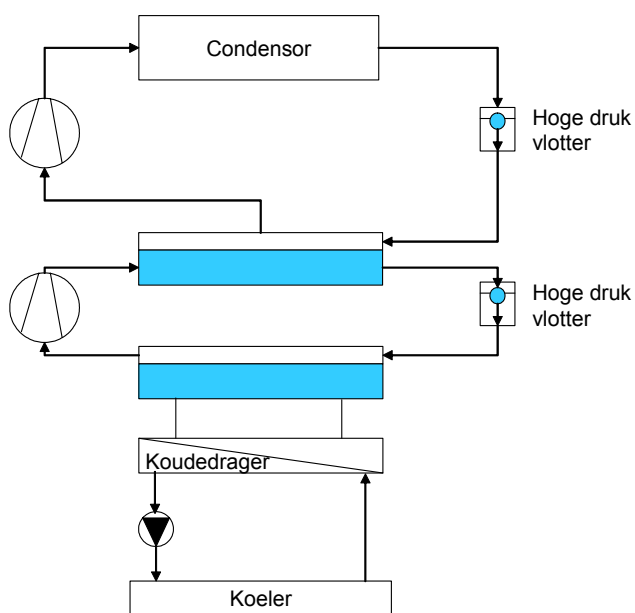
Figuur 4.6 Installatieconcept B, Pompsysteem met economiser, vriezen.



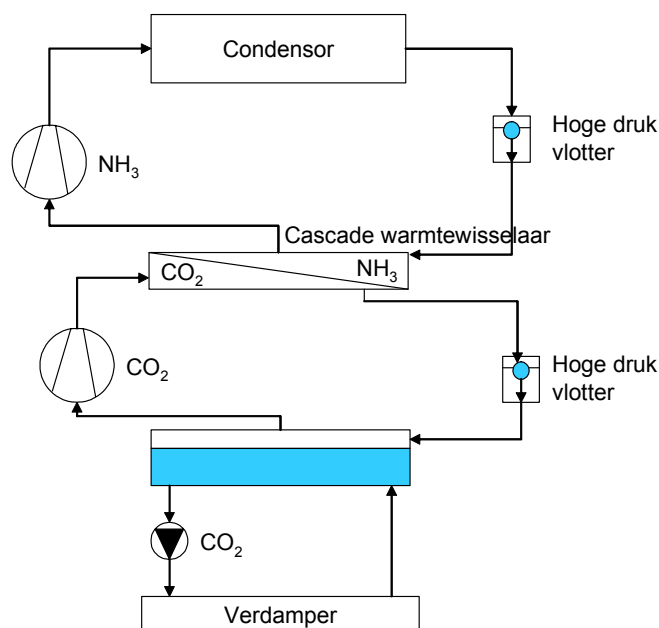
Figuur 4.7 Installatieconcept C, Indirect pompsysteem met economiser, vriezen.



Figuur 4.8 Installatieconcept D, Tweetraps pompsysteem, vriezen.



Figuur 4.9 Installatieconcept E, Indirect tweetraps pompsysteem, vriezen.

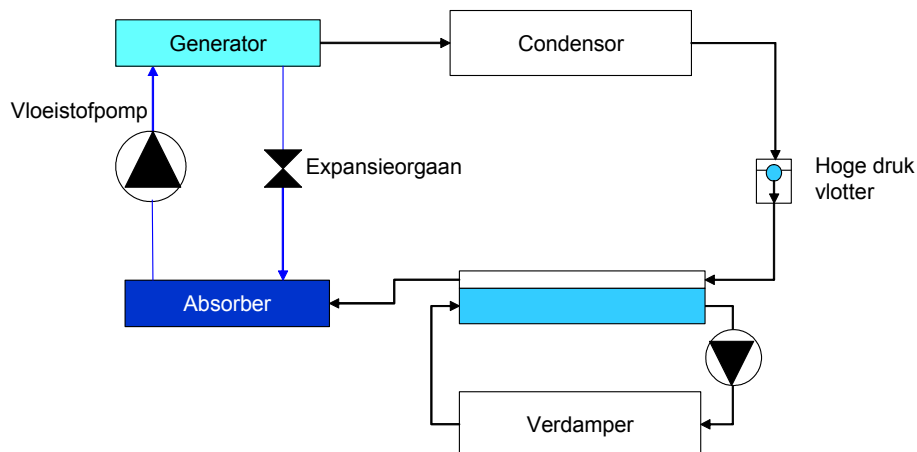


Figuur 4.10 Installatieconcept F, Ammoniak/ CO_2 cascade systeem, vriezen.

Alle installatieconcepten zijn voorzien van een luchtgekoelde condensor. Voor het ontdooien wordt de energiebesparende maatregel persgasontdooien toegepast. De installatieconcepten gebaseerd op een DX systeem zijn voorzien van de energiebesparende maatregel elektronische expansieventielen. Bij de installatieconcepten gebaseerd op een pompsysteem vindt de drukregeling via een HD (hoge druk) vlotter plaats. Bij de installatieconcepten waar sprake is van een eentraps systeem is uitgegaan van de toepassing van een economiser, in de vorm van een ecoport op een schroefcompressor. Voor de overige systemen wordt geen onderscheid gemaakt tussen schroef- of zuigercompressor. Er wordt een standaard isentropisch rendement aangehouden. Indirecte systemen maken gebruik van een eenfasige of van een tweefasige (verdampend CO_2) koudedragers.

4.3 Alternatieve technologieën

Als alternatieve technologie is absorptiekoeling als systeemoptie meegenomen. Deze technologie is alleen een reële optie voor het temperatuurniveau vriezen. Het installatieconcept bestaat uit een pompsysteem. Het koudemiddel is ammoniak en de absorbent is water. Deze systeemoptie is eveneens in tabel 4.2 opgenomen. Figuur 4.11 toont dit installatieconcept.



Figuur 4.11 Installatieconcept G, Absorptie koelsysteem, vriezen.

4.4 Energiebesparende maatregelen

Energiebesparende maatregelen zijn mogelijk voor meerdere systeemopties. Deze maatregelen worden daarom apart opgenomen.

Tabel 4.3 geeft een opsomming van de energiebesparende maatregelen voor het temperatuurniveau koelen. Tevens is aangegeven wat globaal de energiebesparing van de koelinstallatie is bij het toepassen van een maatregel.

Tabel 4.3 Energiebesparende maatregelen, koelen.

Maatregel	Energiebesparing
Vergroot condensoroppervlak	10 %
Verdampingscondensor	10 %
Watergekoelde condensor met koeltoren ¹⁾	10 %
Vergroot verdamperoppervlak	5 %
Energiezuinige ventilatoren condensor + verdamper	10 %
Energiezuinige compressor, HFK en ammoniak	15 %
Frequentieregeling compressor	10 %
Extra onderkoeling (alleen voor DX systeem met een HFK koudemiddel)	11 %
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel	22 %
Persgasontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien	10 %

¹⁾ onder de aanname dat het energiegebruik ongeveer overeenkomt met dat van een luchtgekoelde condensor.

Op analoge wijze is voor het temperatuurniveau vriezen tabel 4.4 opgesteld.

Tabel 4.4 *Energiebesparende maatregelen vriezen.*

Maatregel	Energiebesparing
Vergroot condensoroppervlak	5 %
Verdampingscondensor	5 %
Watergekoelde condensor met koeltoren ¹⁾	5 %
Vergroot verdamperoppervlak	2 %
Energiezuinige ventilatoren condensor + verdamper	7 %
Energiezuinige compressor, HFK	16 %
Energiezuinige compressor, ammoniak	12 %
Frequentieregeling compressor	10 %
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel	20 %
Persgasontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien	10 %
Warmteterugwinning t.b.v. vloerverwarming	25 tot 50 % van de compressor-energie is hiervoor beschikbaar

¹⁾ onder de aanname dat het energiegebruik ongeveer overeenkomt met dat van een luchtgekoelde condensor

Vergroot condensoroppervlak

Bij vergroting van het condensoroppervlak, waardoor het warmteoverdragend oppervlak toeneemt, kan voor een zelfde capaciteit volstaan worden met een kleiner temperatuurverschil. De condensatietemperatuur kan dan omlaag. Hierdoor wordt de compressorarbeid minder, wat resulteert in een lager energiegebruik.

Verdampingscondensor met $DT = 10K$

Hiervoor geldt hetzelfde als voor een vergroot condensoroppervlak, echter nu wordt de toename van de warmteoverdracht gerealiseerd door water over de verdamper te sproeien. De investeringskosten hiervan zijn lager dan voor een vergroot condensoroppervlak echter de operationele kosten zijn hoger (watergebruik, chemicaliën).

Watergekoelde condensor met koeltoren met $DT=10K$

Hiervoor geldt hetzelfde als voor de bovenstaande energiebesparende maatregelen, echter nu wordt de warmte afgestaan aan water in een watergekoelde condensor. Het water wordt vervolgens in een koeltoren teruggekoeld. Het water wordt gerecirculeerd. Deze maatregel wordt voornamelijk toegepast bij grote systemen. Bij systemen een koelvermogen kleiner dan 150 kW worden watergekoelde condensoren in het algemeen weinig gebruikt.

Vergroot verdamperoppervlak

Door de vergroting van het verdamperoppervlak is het mogelijk om dezelfde capaciteit te halen bij een kleiner temperatuurverschil. Dit leidt tot een hogere verdampingstemperatuur, resulterend in een lager energiegebruik van de compressor.

Energiezuinige ventilatoren verdamper en condensor

Bij toepassing van energiezuinige ventilatoren neemt het energiegebruik af. Dit leidt bij de verdampers tevens tot een vermindering van de interne warmtebelasting. In Annex II is in de tabellen aangegeven hoeveel een energiezuinige ventilator bespaart ten opzichte van een standaard ventilator voor de diverse situaties.

Energiezuinige compressor

Een energiezuinige compressor heeft betrekking op zowel een hoger rendement van de compressor zelf en op een hoger motorrendement.

Frequentieregeling compressor

De frequentieregelaar past het toerental van de compressor aan op de koudevraag, waardoor de efficiëntie van het systeem in deellastbedrijf toeneemt ten opzichte van de gebruikelijke regelingen (bijvoorbeeld kleplichting bij zuigercompressoren of regelschuiven bij schroefcompressoren).

Onderkoeling bij DX koelsystemen

Bij DX systemen met een HFK kan het energetisch gunstig zijn onderkoeling toe te passen. Voor onderkoeling worden diverse configuraties toegepast, bijvoorbeeld een externe of interne warmtewisselaar. Hierbij speelt het toegepaste koudemiddel een rol.

Elektronisch expansieventiel

Bij de installatieconcepten is steeds uitgegaan van een elektronisch expansieventiel. Echter, er worden nog vaak thermostatische ventielen toegepast. Thermostatische expansieventielen vereisen, in tegenstelling tot elektronische expansieventielen, een voldoende hoge condensatiedruk. Dit betekent voor luchtgekoelde condensor dat ook bij lage buitenluchttemperaturen op een relatief hoge temperatuur wordt gecondenseerd. Elektronische expansieventielen bieden de mogelijkheid om de condensatiedruk te verlagen bij lagere buitenluchttemperaturen, wat resulteert in een lager energiegebruik van de compressor.

Persgasontdooien in plaats van elektrisch ontdooien

Bij elektrisch ontdooien wordt door een heater extern warmte in de koelers gebracht om de rijp te smelten. Bij persgasontdooien wordt heet persgas van de hoge druk zijde van de installatie in de koelers geperst en is geen extra externe energie benodigd. Het ontdooiproces verloopt bij deze wijze van ontdooien efficiënter en sneller, wat tevens leidt tot een kleinere interne warmtebelasting van het systeem.

Warmteterugwinning t.b.v. vloerverwarming bij vriessystemen

Bij vrieshuizen is vloerverwarming van de gekoelde ruimten noodzakelijk om opvriezen van de vloer te voorkomen. De vloerverwarming kan worden gerealiseerd door de persgaswarmte van de koelinstallatie te benutten. Hierdoor hoeft er geen aparte gasgestookte verwarminginstallatie te worden aangeschaft en wordt er bespaard op gasverbruik.

4.5 Uitgangspunten

Teneinde de systeemopties goed met elkaar te kunnen vergelijken zijn eenduidige uitgangspunten vastgesteld. Deze uitgangspunten zijn voor koelen en vriezen verschillend. Alle uitgangspunten zijn opgesteld in nauwe samenwerking met de begeleidingscommissie. Indien van toepassing zijn de waarden opgegeven per kW koelcapaciteit.

Annex II.1 geeft de algemene uitgangspunten voor de systeemopties koelen en annex II.2 die voor de systeemopties vriezen.

De uitgangspunten voor de energiebesparingsmaatregelen zijn voor koelen in annex II.3 en voor vriezen in annex II.4 opgenomen.

De investeringskosten voor de verschillende installatieconcepten zijn voor koelen in annex II.5 en voor vriezen in annex II.6 opgenomen. Basisgegevens voor de berekening van de operationele kosten en de gemiddelde koudemiddelinhoud zijn eveneens in annex II.5 en II.6 vermeld.

Elke koelinstallatie wordt custom made gebouwd. Dat betekent dat het niet eenvoudig is om aan de hand van vrij globale omschrijvingen een nauwkeurige kostenindicatie te verkrijgen. De investeringskosten zijn immers vaak afhankelijk van allerlei andere factoren zoals:

- Overige voorzieningen (warmteterugwinning, vloerverwarming, geïntegreerde warmtepompfunctie etc)
- Afstand van de verdampers ten opzichte van de machinekamer
- Afbraak van oude installatie
- Hergebruik oude componenten
- Etc.

De hier gebruikte investeringskosten moeten dus worden gezien als **indicatie**, en zijn voornamelijk bedoeld om verschillende concepten ten opzichte van elkaar te kunnen vergelijken. In de investeringskosten is geen rekening gehouden met eventuele subsidies.

Om een goede kostenopgave van een specifieke installatie te krijgen, dient men offertes van enkele installateurs aan te vragen. Alleen dan kan er een weloverwogen keuze worden gemaakt.

De uitgangspunten voor de meerkosten van energiebesparende maatregelen zijn in annex II.7 voor koelen en in annex II.8 voor vriezen vermeld. Deze opgaven zijn eveneens indicatief van aard.

5. Resultaten

In deze Aanvulling zijn voor elke referentiegebruiker de aangegeven systeemopties doorgerekend op energiegebruik, kosten en broeikasgasemissies. Alle waarden zijn hierbij berekend per kW koelvermogen, zodat een onderling vergelijk wordt vergemakkelijkt. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het STIMEK-Industrie rekenprogramma [4] dat voor dit doel is aangepast.

De uitkomsten zijn gebaseerd op algemene uitgangspunten en zijn daarmee globaal en richtinggevend van aard.

5.1 Koelen

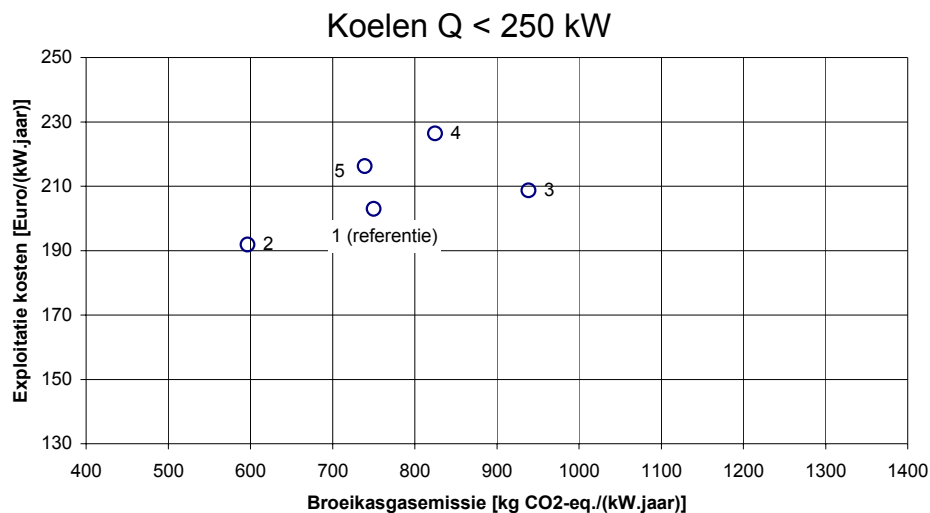
5.1.1 Systeemopties

Per referentiegebruiker zijn voor het temperatuurniveau koelen voor elke systeemoptie het energiegebruik, de diverse kosten en de broeikasgasemissies, zowel direct als indirect, in tabel 5.1 weergegeven. Bij de kosten zijn eventuele subsidies niet meegenomen.

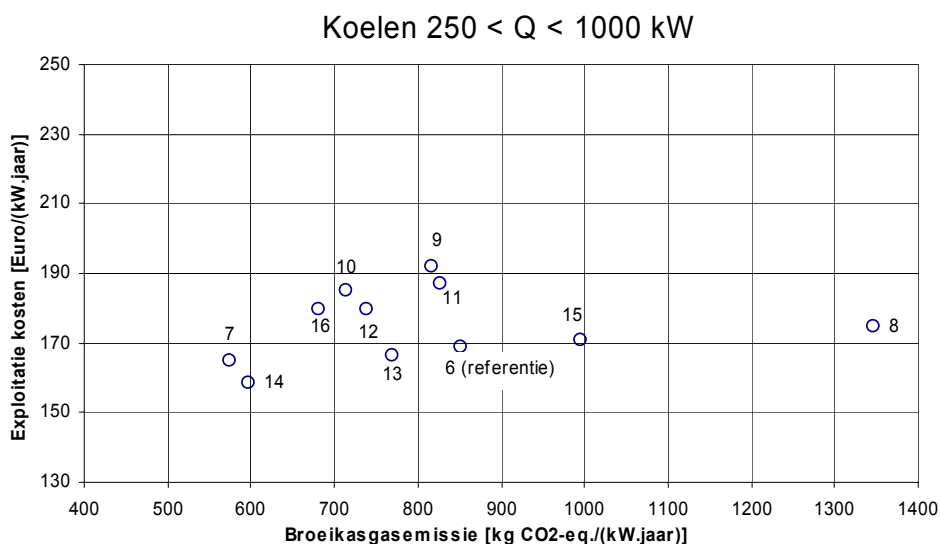
Tabel 5.1 Energiegebruik, kosten en broeikasgasemissies, systeemopties koelen.

Installatie	Type	Energiegebruik [kWh/(kW jaar)]	KOSTEN				BROEIKASGASEMISSIES		
			Energie [Euro/(kW jaar)]	Onderhoud en keuringen [Euro/(kW jaar)]	Afschrijving [Euro/(kW jaar)]	Exploitatie [Euro/(kW jaar)]	Indirect kg CO2-eq/(kW jaar)	Direct kg CO2-eq/(kW jaar)	Totaal [(kg CO2-eq)/(kW jaar)]
Q < 250 kW									
1 (referentie)	DX R134a	1102	99	42	62	203	672	78	750
2	DX R717	978	88	42	62	192	597	0	597
3	DX R404A/R507	1165	105	42	62	209	711	228	939
4	Indirect DX R134a	1326	119	42	65	226	809	16	825
5	Indirect DX R717	1212	109	42	65	216	739	0	739
250 < Q < 1000 kW									
6 (referentie)	Pompsysteem R134a	1022	66	39	63	169	623	228	851
7	Pompsysteem R717	941	61	39	65	165	574	0	574
8	Pompsysteem R404A/R507	1116	73	39	63	175	681	665	1346
9	Indirect pompsys. R134a	1276	83	39	70	192	778	39	817
10	Indirect pompsys. R717	1169	76	39	70	185	713	0	713
11	Indirect DX R134a	1326	86	39	62	187	809	20	828
12	Indirect DX R717	1212	79	39	62	180	739	0	739
13	Dx R134a	1102	72	39	56	167	672	98	770
14	Dx R717	978	64	39	56	159	597	0	597
15	DX R404A/R507	1165	76	39	56	171	711	285	996
16	Indirect pompsys. R717 + CO2 koudedr.	1116	73	39	68	180	681	0	681
Q > 1000 kW									
17 (referentie)	Indirect pompsys. R717	1169	76	34	55	165	713	0	713
18	Indirect pompsys. R134a	1276	83	34	55	172	778	26	804
19	Indirect DX R717	1212	79	34	48	161	739	0	739
20	Indirect DX R134a	1326	86	34	48	168	809	20	828
21	Pompsysteem R717	941	61	34	52	147	574	0	574
22	Pompsysteem R134a	1022	66	34	51	151	623	195	818
23	Indirect pompsys. R717 + CO2 koudedr.	1116	73	34	52	159	681	0	681

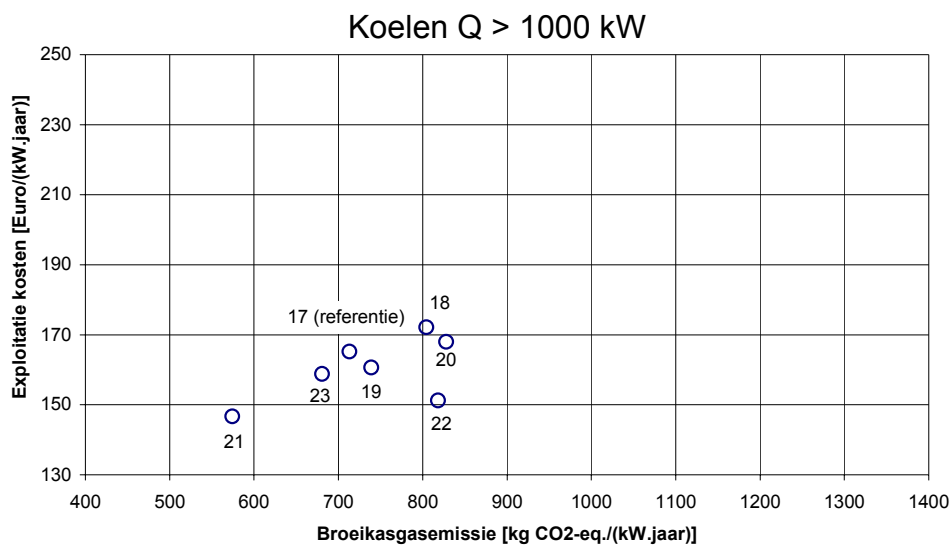
De figuren 5.1 t/m 5.3 laten voor de drie referentiegebruikers grafisch de relatieve plaats van een systeemoptie zien. In de figuren is elke systeemoptie geplaatst op basis van zijn exploitatiekosten en totale broeikasgasemissies. De figuren laten dat deel van het plaatje zien waar de systeemopties zich bevinden. Het nulpunt valt dus buiten het kader van de figuren.



Figuur 5.1 Kosten en broeikasgasemissies, $Q < 250$ kW, koelen.



Figuur 5.2 Kosten en broeikasgasemissies, $250 \text{ kW} < Q < 1000 \text{ kW}$, koelen.



Figuur 5.3 Kosten en broeikasgasemissies, $Q > 1000$ kW, koelen.

5.1.2 Energiebesparende maatregelen

In tabel 5.2 is voor elke energiebesparende maatregel naast de percentuele besparing tevens voor elk van de drie referentiegebruikers aangegeven in welke orde-grootte de terugverdientijd ligt. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele subsidies.

Tabel 5.2 *Energiebesparing en terugverdientijd maatregelen, koelen.*

Energiebesparende maatregelen	Energiebesparing [%]	Terugverdientijd [jaar]		
		Q<250 kW	250<Q<1000 kW	Q>1000 kW
Vergroot condensoroppervlak	10	3 - 4	4 - 6	3 - 4
Verdampingscondensor	10	0,5 - 1	1 - 1,5	0
Watergekoelde condensor + koeltoren	10	4,5 - 5,5	6 - 8,5	4 - 5,5
Vergroot verdamperoppervlak	5	6 - 7	8 - 11	6 - 9
Energiezuinige ventilatoren condensor + verdamper	10	3 - 4	4 - 5,5	3 - 4,5
Energiezuinige compressor	15	1,5 - 2	2 - 3	1,5 - 2
Frequentieregeling compressor	10	3 - 4	4 - 5,5	3 - 4,5
Extra onderkoeling (DX systeem met een HFK)	11	geen kostengeg.	geen kostengeg.	geen kostengeg.
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel ¹⁾	22	1 - 2	2 - 3	2 - 3
Persgas ontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien ²⁾	10	4,5 - 5,5	6 - 8	4,5 - 6,5

¹⁾ Deze energiebesparende maatregel is al in de berekeningen voor de systeemopties met een DX systeem meegenomen

²⁾ Deze energiebesparende maatregel is al in de berekeningen voor de systeemopties meegenomen

5.2 Vriezen

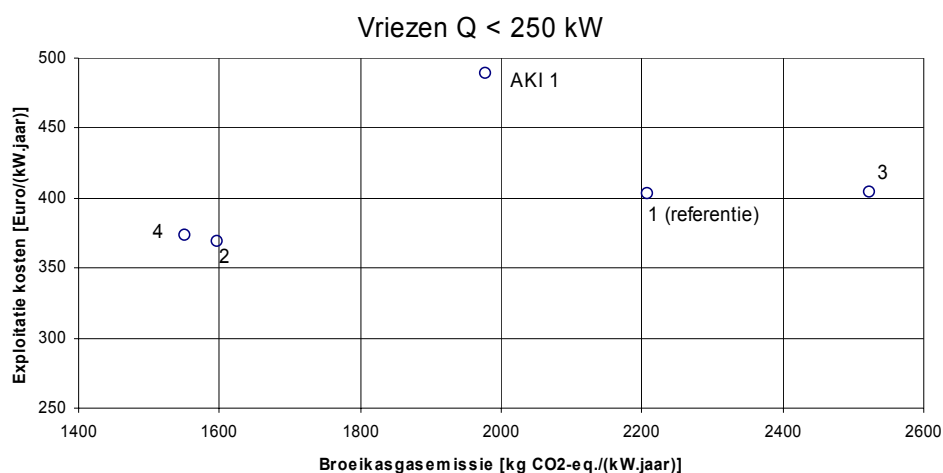
5.2.1 Systeemopties

Per referentiegebruiker zijn voor het temperatuurniveau vriezen voor elke systeemoptie het energiegebruik, de diverse kosten en de broeikasgasemissies, zowel direct als indirect, in tabel 5.3 weergegeven. De alternatieve technologie absorptiekoeling is eveneens in dit overzicht opgenomen. Bij de kosten zijn eventuele subsidies niet meegenomen.

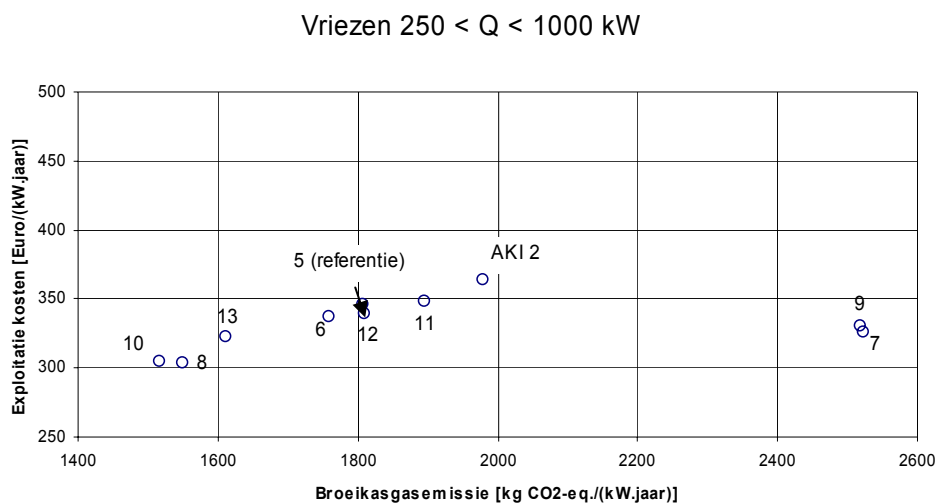
Tabel 5.3 Energiegebruik, kosten en broeikasgasemissies, systeemopties vriezen.

Installatie	Type	Energiegebruik [kWh/kWjaar]	KOSTEN				BROEIKASGASEMISSIES		
			Energiekosten [Euro/(kW.jaar)]	Onderhoud en keuringen [Euro/(kW.jaar)]	Afschrijving [Euro/(kW.jaar)]	Exploitatie [Euro/kWjaar]	Indirect [(kg CO2 -eq)/(kW.jaar)]	Direct [(kg CO2 -eq)/(kW.jaar)]	Totaal [(kg CO2 -eq)/(kW.jaar)]
Q < 250 kW									
1	DX met economiser R404A/R507	2995	270	50	83,17	403	1827	380	2207
2	DX met economiser R717	2618	236	50	83,17	369	1597	0	1597
3	Pompsys. met economiser R404A/R507	2890	260	50	94,21	404	1763	760	2523
4	Pompsys. met economiser R717	2542	229	50	94,21	373	1551	0	1551
AKI 1	Absorptie koelinstallatie		357	50	80,96	488	1979	0	1979
250 < Q < 1000 kW									
5	indirect 2-traps pompsys. R717 + 1-fasige koudedr.	2963	193	45	108,19	346	1807	0	1807
6	indirect 2-traps pompsys. R717+ CO2 koudedr.	2882	187	45	105,25	338	1758	0	1758
7	Pompsys. met economiser R404A/R507	2890	188	45	93,47	326	1763	760	2523
8	Pompsys. met economiser R717	2542	165	45	93,47	304	1551	0	1551
9	2-traps pompsys. R404A/R507	2884	187	45	97,89	330	1759	760	2519
10	2-traps pompsys. R717	2488	162	45	97,89	305	1518	0	1518
11	indirect pompsys. met economiser R717 + 1-fasige koude	3106	202	45	101,57	348	1895	0	1895
12	indirect pompsys. met economiser R717 + CO2 koudedr.	2965	193	45	101,57	339	1809	0	1809
13	NH3 /CO2 cascade pompsys. (R717/R744)	2643	172	45	105,25	322	1612	0	1612
AKI2	Absorptiesys., pompsys. R717		346	45	73,60	364	1979	0	1979
Q > 1000 kW									
14	NH3 /CO2 cascade pompsys. (R717/R744)	2643	172	36	96,42	304	1612	0	1612
15	2-traps pompsys. R404A/R507	2884	187	36	95,68	319	1759	475	2234
16	2-traps pompsys. R717	2488	162	36	95,68	293	1518	0	1518
17	indirect 2-traps pompsys. R717 + 1-fasige koudedr.	2963	193	36	101,57	330	1807	0	1807
18	indirect 2-traps pompsys. R717+ CO2 koudedr.	2882	187	36	96,42	320	1758	0	1758
AKI 3	Absorptiesys., pompsys. R717		223,1	36	73,6	333	1979	0	1979

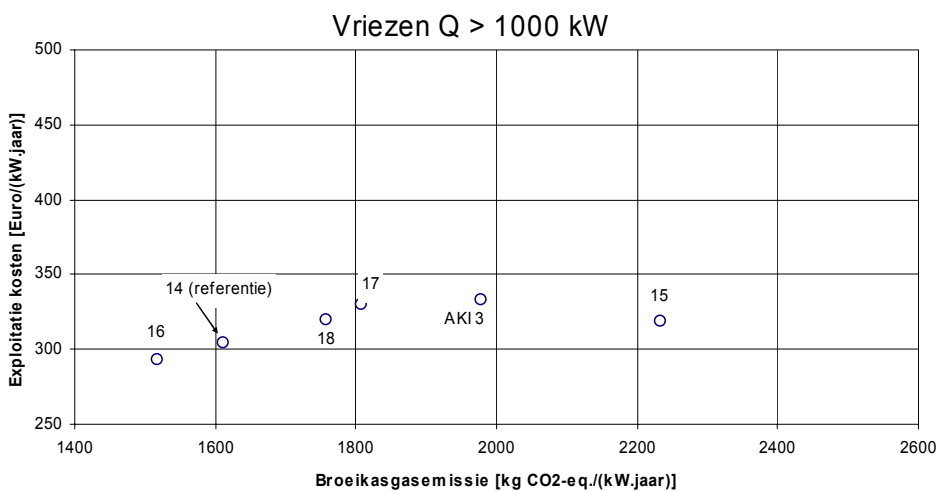
De figuren 5.4 t/m 5.6 laten voor de drie referentiegebruikers grafisch de relatieve plaats van een systeemoptie zien. In de figuren is elke systeemoptie geplaatst op basis van zijn exploitatiekosten en totale broeikasgasemissies. De figuren laten dat deel van het plaatje zien waar de systeemopties zich bevinden. Het nulpunt valt dus buiten het kader van de figuren.



Figuur 5.4 Kosten en broeikasgasemissies, Q < 250 kW, vriezen.



Figuur 5.5 Kosten en broeikasgasemissies, $250 \text{ kW} < Q < 1000 \text{ kW}$, vriezen.



Figuur 5.6 Kosten en broeikasgasemissies, $Q > 1000 \text{ kW}$, vriezen.

5.2.2 Energiebesparende maatregelen

In tabel 5.4 is voor elke energiebesparende maatregel naast de percentuele besparing tevens voor elk van de drie referentiegebruikers aangegeven in welke orde-grootte de terugverdientijd ligt. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele subsidies.

Tabel 5.4 Energiebesparing en terugverdientijd maatregelen, vriezen.

Energiebesparende maatregelen	Energiebesparing [%]	Terugverdientijd [jaar]		
		Q<250 kW	250<Q<1000 kW	Q>1000 kW
Vergroot condensoroppervlak	5	3 - 4	5 - 6	5 - 6
Verdampingscondensor	5	1	1,5	0
Watergekoelde condensor + koeltoren	5	5 - 6,5	8 - 9,5	5,5 - 6
Vergroot verdamperoppervlak	2	8 - 11	13 - 15	13 - 15
Energiezuinige ventilatoren condensor + verdamper	7	2 - 3	4 - 5	3,8 - 4,4
Energiezuinige compressor, HFK	16	1	1,5	1,5
Energiezuinige compressor, ammoniak	12	1 - 1,5	2	2
Frequentieregeling compressor	10	1 - 2	2	2
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel ¹⁾	20	1	-	-
Persgas ontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien ²⁾	10	2,5 - 3	4 - 5	4 - 5
Warmteterugwinning t.b.v. vloerverwarming	25 - 50 % compressorenergie	0,5 - 1,5	0,5 - 1	0,5 - 1

¹⁾ Deze energiebesparende maatregel is al in de berekeningen voor de systeemopties met een DX systeem meegenomen.

²⁾ Deze energiebesparende maatregel is al in de berekeningen voor de systeemopties meegenomen.

5.3 Voorbeelden

Als eerste voorbeeld gaan we uit van een koelhuis met een benodigde koelcapaciteit van 550 kW. Uit figuur 5.2 blijkt dat een pompsysteem met R717 (systeemoptie 7) of een indirect pompsysteem met R717 en R744 als 2-fasige koudedragers (systeemoptie 16) een goede keuze kan zijn ten opzichte van het referentiesysteem (systeemoptie 6). Uiteraard moet voor de definitieve keuze aan meer factoren aandacht worden geschonken, bijvoorbeeld de benodigde vergunningen. Zeker bij grote hoeveelheden ammoniak moet hier rekening mee worden gehouden.

In tabel 5.5 zijn een aantal kenmerken van deze systeemopties weergegeven.

Tabel 5.5 Voorbeeld van een koelinstallatie van 550 kW.

	R717 pompsysteem	R717 indirect pompsysteem CO₂ koudedrgr	R134a pompsysteem
Koudemiddelinhoud [kg]	1.650	330	1.925
Investering [€]	484.000	508.750	473.000
Exploitatiekosten [€/j]	90.750	99.550	92.950
Energieverbruik [kWh/j]	517.550	613.800	562.100
Totale CO ₂ -eq emissie [ton/j]	316	375	468

Het R717 pompsysteem heeft ten opzichte van de andere systeemopties de volgende voordelen:

- de laagste broeikasgasemissie, ruim 30% lager dan het R134a referentiesysteem,
- de exploitatiekosten en de investering zijn ongeveer gelijk aan die voor het R134a systeem,
- het laagste energiegebruik.

Het R717 indirect pompsysteem met CO₂ als koudedragers heeft ten opzichte van de andere systeemopties de volgende voordelen:

- een relatief kleine ammoniakinhoud, waarbij de ammoniak alleen in de machinerkamer of in de open lucht wordt toegepast,
- een circa 20% lagere CO₂-eq. emissie dan het R134a referentiesysteem.

Wordt er bovendien geïnvesteerd in een vergrote luchtgekoelde condensor dan wordt het energiegebruik gereduceerd met 10% en daarmee ook de indirecte emissies. De meerkosten bedragen circa 4%. Voor het R717 pompsysteem betekent dat een meerinvestering van circa € 19.000,-. De terugverdientijd van deze investering bedraagt circa 4 tot 6 jaar.

Het tweede voorbeeld heeft betrekking op een vrieshuis met een benodigde koelcapaciteit van 550 kW. Een gebruikelijke vriesinstallatie bestaande uit een pompsysteem met economiser en R507 als koudemiddel (systeemoptie 7) wordt vergeleken met een sinds een paar jaar toegepast type vriesinstallatie bestaande uit een ammonia/kooldiode cascadesysteem met pompcirculatie (systeemoptie 13).

Tabel 5.6 geeft een aantal kenmerken van beide systeemopties weer.

Tabel 5.6 Voorbeeld van een vriesinstallatie van 550 kW.

	R717/R744 cascadesysteem pompsysteem	R507 pompsys- teem met economi- ser
Koudemiddelinhoud [kg]	330 (R717)	2.200
Investering [€]	786.500	698.500
Exploitatiekosten [€/j]	177.100	179.300
Energieverbruik [kWh/j]	1.453.650	1.589.500
Totale CO ₂ -eq emissie [ton/j]	887	1.388

Het grootste voordeel bij de toepassing van het ammoniak/kooldioxide cascadesysteem is de aanzienlijke lagere broeikasgasemissie, meer dan 35 % lager dan die van het R507 pompsysteem. De lagere emissie wordt niet alleen veroorzaakt door het vrijwel ontbreken van directe emissies maar ook door een lagere indirecte broeikasgasemissie. Het energiegebruik is namelijk een kleine 10% lager voor het ammoniak/kooldioxide cascadesysteem dan voor het R507 systeem.

Hoewel de investeringskosten ruim 10 % hoger zijn voor het ammoniak/kooldioxide systeem, vallen, door het lagere energiegebruik, de exploitatiekosten lager uit.

6. Referenties

- [1] Bouwwijzer energie efficiënte koel- en vrieshuizen
Nekovri
Juni 2000
- [2] Handboek energie-efficiency voor koel- en vrieshuizen
Nekovri en Novem
- [3] Energiewijzer koel- en vriesopslag
R.J.F. Vermeeren, M. Verwoerd, S. Lobregt
TNO-MEP – R 2000/472
- [4] Rekenprogramma t.b.v. STIMEK industrie
TNO-MEP
- [5] Koudemiddelen voor industriële koeling
VNCI
- [6] Koudemiddelverbruik in Nederland
Rapportage op basis van het Nationaal Onderzoek Koudemiddelstromen (NOKS)
STEK, E.A.A. de Baedts e.a.
Utrecht, 16 juli 2001
- [7] Toetsingsinstrument met betrekking tot maatregelen om het broeikaseffect te reduceren van koudemiddelen in koelinstallaties en warmtepompen
Fase 3: Praktische invulling raamwerk
M. Verwoerd, H. Oonk
TNO-MEP R 2002/243, mei 2002
- [8] Besluit van 5 juli 1999 tot vaststelling van een algemene maatregel van bestuur ter uitvoering van de Wet op de gevaarlijke werktuigen, de Brandweerwet 1985, de Mijnwet 1903, de Mijnwet continentaal plat, de Wet Milieubeheer en de Stoomwet met betrekking tot drukapparatuur (Besluit drukapparatuur)
Warenwetbesluit Drukapparatuur
- [9] EN 378
Koelsystemen en warmtepompen – Veiligheids- en milieu-eisen
Juli 2000

- [10] Concept
Regeling externe veiligheid inrichtingen
(uitvoering van Besluit externe veiligheid inrichtingen)
VROM, 2004
- [11] NPR 7600
Nederlandse praktijkrichtlijn,
Toepassing van natuurlijke koudemiddelen in koelinstallaties en
warmtepompen
Safety aspects of flammable refrigerants
NEN
- [12] Subsidieregeling milieugerichte technologie (2004)
BM/SMT/ROB 2004-H6-v01
hfst. 6.4 Kosteneffectiviteit van de maatregel

7. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Novem
T.a.v. Drs.Ing. A.D. Koppenol
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de projectmedewerkers:

A.J. Mieog
M. Verwoerd
J.G.B. Fransen
L.J.A.M. Hendriks

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

november 2003 tot november 2004

Ondertekening:



M. Verwoerd
Projectleider

Goedgekeurd door:



Ing. A.A.L. Traversari MBA
Hoofd Expertiseteam

Annex I Posten koudevraag

De koudevraag van koel- en vrieshuizen wordt bepaald door de volgende posten:

- *transmissieverliezen:*
Dit is het warmtetransport door de wanden, plafond en vloer en wordt bepaald door het temperatuurverschil over de wand, de isolatiewaarde en het oppervlak.
- *ventilatieverliezen:*
Ventilatieverliezen bestaan uit verversing en deurverliezen. Bepalend hiervoor is de warmte-inhoud (temperatuur, vochtgehalte) van de lucht binnen en buiten de gekoelde ruimte en de hoeveelheid uitgewisselde lucht.
- *interne warmteproductie:*
Onder interne warmteproductie wordt verstaan de warmte van personen en apparaten (verlichting, transport, ventilatoren, machines, vloerverwarming bij vrieshuizen).
- *ketenwarmte:*
In principe worden gekoelde en ingevroren producten op de juiste bewaartemperatuur aangevoerd en/of afgevoerd. In de praktijk blijkt dat niet altijd het geval. Hiervoor is bijkoeling nodig. De benodigde bijkoeling is afhankelijk van de soortelijke warmte van het product, de ingebrachte hoeveelheid en het temperatuurverschil.
- *metabolisme:*
Levende producten (zoals groente, fruit, aardappelen, kaas) produceren warmte en geven vocht af. De grootte van deze warmtestroom is afhankelijk van het soort product en de hoeveelheid.
- *overige warmteposten:*
Diverse kleine of incidentele warmteposten, zoals ontdooiverliezen, behoren tot deze post.
- *inkoelen/invriezen:*
Het op de gewenste bewaartemperatuur brengen (inkoelen/invriezen) van producten vertegenwoordigt een grote koudevraag. De grootte van deze koudevraag is afhankelijk van de soortelijke warmte van het product, de ingebrachte hoeveelheid en van het verschil tussen de inbreng- en de gewenste eindtemperatuur.

Bij de diverse posten dient tevens de bijbehorende tijdsduur in ogenschouw te worden genomen.

De energie die nodig is voor het vervullen van de koudevraag wordt mede, in positieve of negatieve zin, bepaald door de volgende posten.

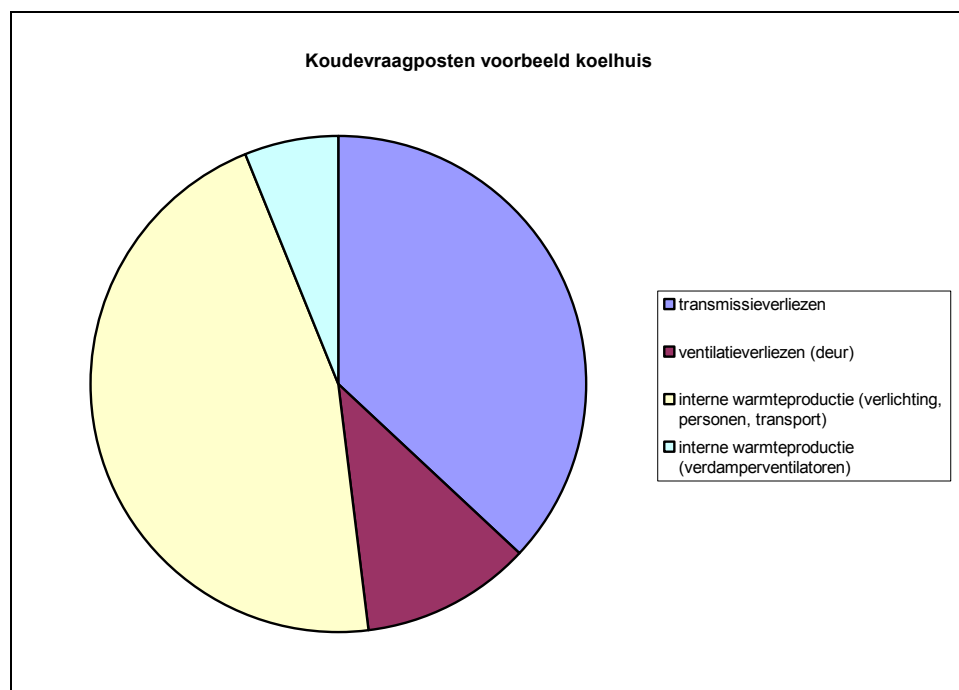
- *warmtevraag:*
Bedrijven hebben voor diverse processen (reinigen, ruimteverwarming, vloerverwarming) warmte nodig. Bij elk van de processen dient afzonderlijk vastgesteld te worden hoe groot de warmtevraag is en, of deze warmtevraag door warmteterugwinning van de koelinstallatie kan worden ingevuld. Indien warmteterugwinning van toepassing is, neemt de totale energievraag voor koelen en verwarmen af.
- *ventilator (pomp)vermogen:*
Behalve een bijdrage aan de warmte-inbreng leveren verdamper- evenals condensorventilatoren ook een bijdrage aan het energiegebruik. De grootte hiervan is afhankelijk van de koudevraag waarvoor de ventilatoren worden ingezet. Bij toepassing van indirecte systemen of bij pompsystemen maakt het energiegebruik van de pomp eveneens onderdeel uit van het energiegebruik ten behoeve van de koeling.

Een globale indruk van de aandelen van de diverse posten aan de koudevraag en aan het energiegebruik is in de onderstaande figuren gegeven. Als voorbeeld is voor de opslag van producten zowel een groot koelhuis als een groot vrieshuis genomen. Uitgegaan is van standaardwaarden zoals die gedefinieerd zijn in de Energiewijzer [3].

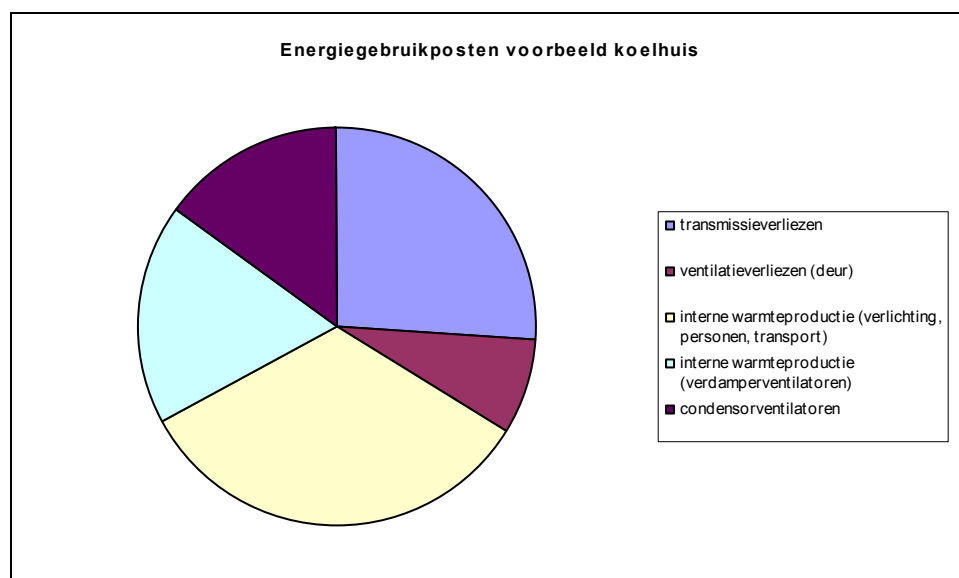
Bij het voorbeeld koelhuis zijn de volgende posten beschouwd:

- transmissieverliezen;
- ventilatieverliezen, in de vorm van deurverliezen;
- interne warmteproductie, veroorzaakt door verlichting, personen, transportmiddelen en verdamperventilatoren;

Aangenomen is dat de producten op de juiste temperatuur worden aangeleverd en er dus geen ketenwarmte hoeft te worden weggekoeld. Verder is er van uit gegaan dat er geen metabolisme optreedt.



Figuur I.1 Koudevraag, voorbeeld koelhuis



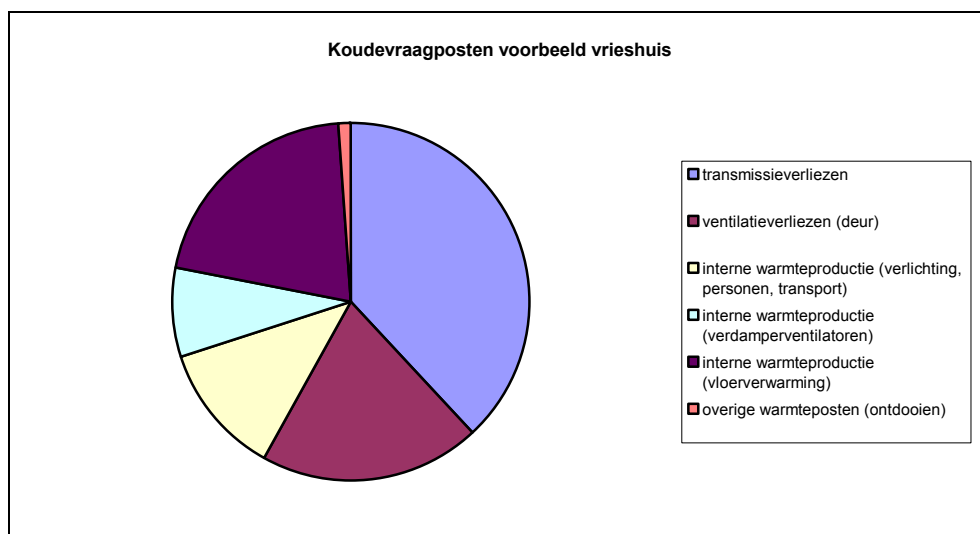
Figuur I.2 Energiegebruik, voorbeeld koelhuis

Bij het voorbeeld vrieshuis zijn onderstaande posten meegenomen:

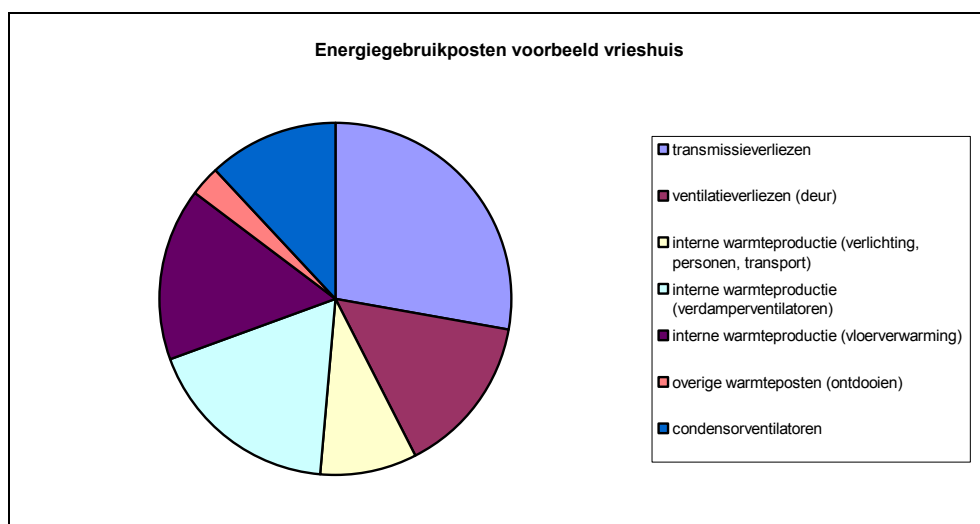
- transmissieverliezen;
- ventilatieverliezen in de vorm van deurverliezen. Ter beperking van de deurverliezen is een rekening met de toepassing van strokengordijn;

- interne warmteproductie, veroorzaakt door verlichting, personen, transportmiddelen, verdamperventilatoren en vloerverwarming van het vrieshuis;
- overige warmteposten, in de vorm van ontdooien;
- warmteterugwinning ten behoeve van vloerverwarming van het vrieshuis.

Aangenomen is dat de producten op de juiste temperatuur worden aangevoerd, zodat er geen ketenwarmte hoeft te worden afgevoerd.



Figuur I.3 Koudevraag, voorbeeld vrieshuis



Figuur I.4 Energiegebruik, voorbeeld vrieshuis

Door warmteterugwinning toe te passen wordt circa 1/5 van het primaire energiegebruik van de koelinstallatie bespaard op het totale energiegebruik.

Annex II Uitgangspunten systeemopties en energiebesparende maatregelen

II.1 Algemene uitgangspunten systeemopties koelen

Tabel II.1 Algemene uitgangspunten systeemopties, koelen

Onderdeel	Waarde
Celtemperatuur	2 °C
Verdampingstemperatuur	-6 °C
DT (temperatuurverschil) verdamper	8 K
Ontwerp omgevingstemperatuur	25 °C
Thermostatisch expansieventiel	40 °C (minimale condensatietemperatuur)
Elektronisch expansieventiel	25 °C (minimale condensatietemperatuur)
HD (hoge druk) vlotter (pompsysteem)	20 °C (minimale condensatietemperatuur)
DT (temperatuurverschil) condensor	15 K
Isentropisch rendement compressor	
HFK	0,61
R717	0,65
Rendement elektromotor	0,9
Ventilatorvermogen condensor per kW koelcapaciteit	50 W/kW
Ventilatorvermogen verdamper per kW koelcapaciteit	60 W/kW
DT (temperatuurverschil) warmtewisselaar koudemiddel/kouedragers (indirect systeem)	5 K
Pompefficiëntie indirecte systemen	
koudedragers	10 %
CO ₂	5 %
Ontdooien	persgasontdooien
Vollast draaiuren	2500 uur/jaar
Koudemiddelen	GWP (global warming potential)
R134a	1300 kg CO ₂ -eq./kg
R404A/R507	3800 kg CO ₂ -eq./kg
R717	0 kg CO ₂ -eq./kg
Emissiefactor energiegebruik	0,61 kg CO ₂ -eq./kWh _e
Gemiddeld lekkage installaties	5 % inhoud/jaar [6]
Investeringsrente	annuïteit methodiek vlg [12]
Levensduur installatie	20 jaar
Rente	4%
Annuïteit	0,0736 -/jaar

II.2 Algemene uitgangspunten systeemopties vriezen

Tabel II.2 Algemene uitgangspunten systeemopties, vriezen

Onderdeel	Waarde
Celtemperatuur	-20 °C
Verdampingstemperatuur	-27 °C
DT (temperatuurverschil) verdamper	7 K
Ontwerp omgevingstemperatuur	25 °C
Thermostatisch expansieventiel	40 °C (minimale condensatietemperatuur)
Elektronisch expansieventiel	25 °C (minimale condensatietemperatuur)
HD (hoge druk) vlotter (pompsysteem)	20 °C (minimale condensatietemperatuur)
DT (temperatuurverschil) condensor	15 K
DT (temperatuurverschil) warmtewisselaar koudemiddel/kouedragers (indirect systeem)	5 K
Isentropisch rendement compressor	
HFK	0,57
R717	0,60
R717/R744 (CO ₂)	0,68
Rendement elektromotor	0,9
Pompenergie indirect systeem, eenfasige kouedragers	10 %
Pompenergie indirect systeem, tweefasige kouedragers (CO ₂)	5 %
Ventilatorvermogen condensor per kW koelcapaciteit	50 W/kW
Ventilatorvermogen verdamper per kW koelcapaciteit	75 W/kW
Ontdooien	persgasontdooien
Vollast draaiuren	4000 uur/jaar
Koudemiddelen	GWP (global warming potential)
R404A/R507	3800 kg CO ₂ -eq./kg
R717	0 kg CO ₂ -eq./kg
R744 (CO ₂)	1 kg CO ₂ -eq./kg
Emissiefactor energiegebruik	0,61 kg CO ₂ -eq./kWh _e
Gemiddeld lekkage installaties	5 % inhoud/jaar [6]
Investerings	annuïteit methodiek vlg [12]
Levensduur installatie	20 jaar
Rente	4%
Annuïteit	0,0736 -/jaar

II.3 Algemene uitgangspunten energiebesparingsmaatregelen koelen

Tabel II.3 Algemene uitgangspunten energiebesparingsmaatregelen, koelen

Maatregel	Waarde
Vergroot condensoroppervlak, DT	10 K
Verdampingscondensor, DT	10 K
Watergekoelde condensor met koeltoren, DT	10 K
Vergroot verdamperoppervlak	6 K
Energiezuinige condensorventilator	20 W/kW
Energiezuinige verdamperventilator	30 W/kW
Energiezuinige compressor, isentropisch rendement	
HFK	0,75
R717	0,80
rendement elektromotor	0,94 bij een koelcapaciteit ≤ 250 kW 0,96 bij een koelcapaciteit > 250 kW
Frequentieregeling compressor	frequentieregeling op één compressor
Extra onderkoeling d.m.v. tussenwarmtewisselaar	alleen relevant bij DX systemen met een HFK koudemiddel
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel	
Persgasontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien	

II.4 Algemene uitgangspunten energiebesparingsmaatregelen vriezen

Tabel II.4 Algemene uitgangspunten energiebesparingsmaatregelen, vriezen

Maatregel	Waarde
Vergroot condensoroppervlak, DT	10 K
Verdampingscondensor, DT	10 K
Watergekoelde condensor met koeltoren, DT	10 K
Vergroot verdamperoppervlak	6 K
Energiezuinige condensorventilator	20 W/kW
Energiezuinige verdamperventilator	40 W/kW
Energiezuinige compressor, isentropisch rendement	
HFK	0,65
R717	0,69
rendement elektromotor	0,94 bij een koelcapaciteit ≤ 250 kW 0,96 bij een koelcapaciteit > 250 kW
Frequentieregeling compressor	frequentieregeling op één compressor
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel	
Persgasontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien	
Warmteterugwinning voor vloerverwarming	i.p.v. ketel met 90% opwekrendement

II.5 Uitgangspunten kosten en koudemiddelinhoud koelen

Tabel II.5 Uitgangspunten kosten en koudemiddelinhoud, koelen

Installatieconcepten	Q < 250 kW		250 < Q < 1000 kW		Q > 1000 kW	
	Inves- tering [€/kW]	Inhoud [kg/kW]	Inves- tering [€/kW]	Inhoud [kg/kW]	Inves- tering [€/kW]	Inhoud [kg/kW]
DX systeem	840	1,2	760	1,5	-	
Pompsysteem R717	-		880	3,0	700	2,1
Pompsysteem HFK	-		860	3,5	690	3
Indirect pompsysteem, 1-fasige koudedragers	-		950	0,6	750	0,4
Indirect pompsysteem, CO ₂ koudedragers	-		925	0,6	710	0,4
Indirect DX systeem	885	0,25	840	0,3	650	0,3
Diverse posten	Kosten		Kosten		Kosten	
Electriciteit	0,09 [€/kWh]		0,065 [€/kWh]		0,065 [€/kWh]	
Water/chemicaliën (verdampingscond.)	10 [€/kW.jaar]		10 [€/kW.jaar]		10 [€/kW.jaar]	
Gas	0,333 [€/m ³]		0,333 [€/m ³]		0,333 [€/m ³]	
Onderhoud	34 [€/jaar]		32 [€/jaar]		28 [€/jaar]	
Keuring/ inspectie	8 [€/jaar]		7 [€/jaar]		6 [€/jaar]	

II.6 Uitgangspunten kosten en koudemiddelinhoud vriezen

Tabel II.6 *Uitgangspunten kosten en koudemiddelinhoud, vriezen*

Installatieconcepten	Q < 250 kW		250 < Q < 1000 kW		Q > 1000 kW	
	Invester- [€/kW]	Inhoud [kg/kW]	Invester- [€/kW]	Inhoud [kg/kW]	Invester- [€/kW]	Inhoud [kg/kW]
DX systeem met economiser	1130	2	-	-	-	-
Pompsysteem met economiser	1280	4	1270	4	-	-
Indirect pompsysteem met economiser	-	-	1380	1	-	-
Tweetraps pomp-systeem	-	-	1330	4	1300	2,5
Indirect 2-traps pomp-sys. 1-fasige koudedr.	-	-	1470	1	1380	0,7
Indirect 2-traps pompsys. CO ₂ koudedr.	-	-	1430	1	1310	0,7
NH ₃ /CO ₂ cascade pompsysteem	-	-	1430	0,6	1310	0,5
Absorptie koelsysteem	1100	6	1000	6,0	1000	6
Diverse posten	Kosten		Kosten		Kosten	
Electriciteit	0,09	€/kWh]	0,065	€/kWh]	0,065	€/kWh]
Water/chemicaliën (verdampingscond.)	14	€/(kW.jaar)]	14	€/(kW.jaar)]	14	€/(kW.jaar)]
Gas	0,333	€/(m ³)	0,227	€/(m ³)	0,202	€/(m ³)
Onderhoud	42	€/jaar]	38	€/jaar]	30	€/jaar]
Keuring/ inspectie	8	€/jaar]	7	€/jaar]	6	€/jaar]

II.7 Uitgangspunten meerkosten energiebesparende maatregelen koelen

Tabel II.7 *Uitgangspunten meerkosten energiebesparende maatregelen, koelen*

	Q < 250 kW	250 < Q < 1000 kW	Q > 1000 kW
Energiebesparende maatregelen	Meerinvestering	Meerinvestering	Meerinvestering
Vergroot condensoroppervlak	4%	4%	4%
Verdampingscondensor	1%	1%	0%
Watergekoelde condensor + koeltoren	6%	6%	5%
Vergroot verdamperoppervlak	4%	4%	4%
Energiezuinige ventilatoren condensor + verdamper	4%	4%	4%
Energiezuinige compressor	3%	3%	3%
Frequentieregeling compressor	4%	4%	4%
Extra onderkoeling (DX systeem met een HFK)			
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel	5%	5%	5%
Persgas ontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien	6%	6%	6%

II.8 Uitgangspunten meerkosten energiebesparende maatregelen vriezen

Tabel II.8 *Uitgangspunten meerkosten energiebesparende maatregelen, vriezen*

	Q < 250 kW	250 < Q < 1000 kW	Q > 1000 kW
Energiebesparende maatregelen	Meerinvestering	Meerinvestering	Meerinvestering
Vergroot condensoroppervlak	4%	4%	4%
Verdampingscondensor	1%	1%	0%
Watergekoelde condensor + koeltoren	6%	6%	4%
Vergroot verdamperoppervlak	4%	4%	4%
Energiezuinige ventilatoren condensor + verdamper	4%	4%	4%
Energiezuinige compressor	3%	3%	3%
Frequentieregeling compressor	3%	3%	3%
Elektronisch expansieventiel i.p.v. thermostatisch expansieventiel	3%	-	-
Persgas ontdooien i.p.v. elektrisch ontdooien	6%	6%	6%
Warmteterugwinning	3%	3%	3%