



ISSO-publicatie 47 Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen

ISBN: 978-90-5044-112-2

Uitgever: ISSO

Taal: nl

Herkomst print: 30/10/23

Bij het ontwerpen van een klimaatinstallatie zal eerst aan de hand van het programma van eisen een keuze gemaakt worden van het toe te passen concept (ISSO-publicatie 43). Als het concept van de klimaatinstallatie bekend is, is het dus ook bekend welke apparaten (koelmachine, koelbatterij, etc.) in het concept toegepast worden. De vraag is dan hoe deze apparaten in een hydraulische schakeling ingepast worden en hoe de hydraulische schakeling ontworpen wordt. Deze ISSO-publicatie heeft als doel deze vragen te beantwoorden. Uitgangspunt hierbij is dat de keuze van het concept van de klimaatinstallatie met bijbehorende temperatuurniveaus etc. gemaakt is.

ISSO-PUBLICATIE 47 ONTWERP VAN HYDRAULISCHE SCHAKELINGEN VOOR KOELEN

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	5
Summary	7
Symbolenlijst	9
Grafische symbolenlijst	13
Begrippenlijst	15
1 Inleiding	17
2 Modulen voor hydraulische schakelingen	19
2.1 Koudegebruikers	20
2.2 Koudedistributie	21
2.3 Omkeer- en koppelmodulen	21
2.4 Koude opwekking	23
3 Selecteren van modulen	29
3.1 Algemene aandachtspunten bij selectie van de modulen	29
3.2 Selectie van modulen voor gebruiker(s)	31
3.3 Selectie van modulen voor opwekkers	33
4 Samenstellen van modulen	37
4.1 Parallelschakeling van gebruiker-, distributie- en opwekkermodulen	37
4.2 Serieschakeling van gebruikermodulen	38
4.3 Parallelschakeling van opwekkers in een moduul	38
4.4 Serieschakeling van opwekkermodulen	39
4.5 Actief maken van passieve gebruikermodulen door toevoeging van een pomp	40
5 Voorbeelden	41
5.1 Koelmachine met één koudegebruikermoduul	41
5.2 Koelmachine met meerdere koudegebruikermodulen	42
5.3 Twee koelmachines met meerdere koudegebruikermodulen	44
5.4 Koudelevering met energieopslag en laden energieopslag met droge koeler	45
5.5 Koudegebruiker tevens als koudeopwekker toepassen	48
5.6 Koudelevering door middel van energieopslag en koelmachine	50
5.7 Koudelevering met energieopslag en laden energieopslag met omkeerbare warmtepomp voor verwarmen en koelen	53
5.8 Installatie met vrije koeling zonder opslag	55
5.9 Installatie met kortetermijnopslag in ijsbuffer	55
Bijlage A Omschrijving koudegebruikers en koudeopwekkers	57
A.1 Koudegebruikers	57
A.1.1 Warmtewisselaar in LBK t.b.v. koelen van lucht (zonder condensatie)	57
A.1.2 Warmtewisselaar in LBK t.b.v. koelen van lucht (met condensatie)	59
A.1.3 Vloer/wandkoeling (en betonkernactivering)	61
A.1.4 Stralingspaneel	62
A.1.5 Inductieapparaat	64
A.1.6 Ventilatorconvector	66
A.1.7 Koudeopslag laden	67
A.2 Koudeopwekkers	69
A.2.1 Compressiekoelmachine	69
A.2.2 Absorbtiekoelmachines	71
A.2.3 Korte-termijn koudeopslag	72
A.2.4 Langetermijnkoudeopslag in een aquifer	73
A.2.5 Bodemwarmtewisselaar	74
A.2.6 Warmtewisselaar in luchtbehandelingskast	77
A.2.7 Droge koeler	78

A.2.8 Koeltoren	79
A.2.9 Oppervlaktewater	81
Bijlage B Seriegeschakelde buffers in een hydraulische schakeling voor koelen	83
Bijlage C Ontwerpregels voor koudegebruikmodulen	85
C.1 Inleiding	85
C.2 Gewenst gedrag koudegebruikermoduul	85
C.3 Dimensioneren	85
Bijlage D Overzicht samenstellen modulen	99
Bijlage E Circulatiepompen cp	101
E.1 Testen van pompen	101
E.2 Pompkarakteristiek publicaties	101
E.3 Benodigde gegevens voor selectie en dimensionering.	105
E.3.1 Toepassing en systeem opbouw	105
E.3.2 Δp / Q_v gegevens	105
E.3.3 Maximale stroomsnelheid	106
E.3.4 Minimaal benodigde statische druk aan de zuigzijde van een pomp (NPSH)	106
E.3.5 Maximale werkdruk	106
E.3.6 Mediumtemperatuur	106
E.3.7 As-afdichtingen	106
E.3.8 Omgevingcondities	106
E.3.9 Minimale volumestroom	106
E.3.10 Geluid niveaus	107
E.3.11 Isolatie	107
E.3.12 Inbouw en inbedrijfstelling voorschriften	107
E.3.13 Motorgegevens	107
E.3.14 Motorbeveiliging	108
E.3.15 Toerental regelingen	108
3.16 Besturingen	110
E.4 Serie- en parallelschakelen van pompen	110
E.5 Energiebesparing	112
Literatuurlijst	113
Colofon	115

SAMENVATTING

Bij het ontwerpen van een klimaatinstallatie zal eerst aan de hand van het programma van eisen een keuze gemaakt worden van het toe te passen concept (ISSO-43). Als het concept van de klimaatinstallatie bekend is, is het dus ook bekend welke apparaten (koelmachine, koelbatterij, etc.) in het concept toegepast worden. De vraag is dan hoe deze apparaten in een hydraulische schakeling ingepast worden en hoe de hydraulische schakeling ontworpen wordt. De voorliggende ISSO-publicatie heeft als doel deze vragen te beantwoorden. Uitgangspunt hierbij is dat de keuze van het concept van de klimaatinstallatie met bijbehorende temperatuurniveaus etc. gemaakt is.

De vraag is dus hoe de apparaten die onderdeel uitmaken van het concept van de klimaatinstallatie in een hydraulische schakeling ingepast worden. Om deze vraag te kunnen beantwoorden worden eerst in hoofdstuk 2 de kenmerken van verschillende hydraulische (sub)schakelingen beschreven. In deze publicatie wordt een hydraulische schakeling onderverdeeld in subschakelingen voor opwekking, distributie en gebruikers. Deze subschakelingen worden modules genoemd. De modules worden onderverdeeld in passieve en actieve modules. Op basis van dit kenmerk kunnen modules samengesteld worden. Een actieve opwekkermodule en een passieve gebruikermodule worden bijvoorbeeld met elkaar verbonden door een passieve distributiemodule. Met deze methodiek is het mogelijk om op een juiste manier hydraulische subschakelingen (modules) samen te stellen tot één geheel.

Met de beschrijving van de modules in hoofdstuk 2 is nog niet de vraag beantwoord wanneer nu deze modules toegepast dienen te worden. Hoofdstuk 3 geeft daarom aanwijzingen hiervoor. In dit hoofdstuk wordt beschreven dat een module geselecteerd kan worden op basis van:

1. Eigenschappen van het apparaat dat toegepast wordt;
2. Noodzakelijke beveiligingen;
3. Afstemming tussen gebruiker en opwekker;
4. Praktische overwegingen.

Aan de hand van een aantal voorbeelden wordt in hoofdstuk 5 van deze publicatie toegelicht hoe een hydraulische schakeling samengesteld kan worden. Bij de voorbeelden wordt aandacht besteed aan geïntegreerde energiesystemen waarbij omschakeling van verwarmen naar koelen (dus eigenlijk gebruikers die ook toegepast worden als opwekkers) aan de orde komt.

In de bijlagen van deze publicatie wordt nader ingegaan op ontwerpaspecten die in deze publicatie worden toegepast. In bijlage A wordt ingegaan op de eigenschappen van apparaten met betrekking tot hun npassing in de hydraulische schakeling. In bijlage B wordt ingegaan op het dimensioneren van een buffer. Bijlage C gaat uitvoeriger in op de eigenschappen van hydraulische gebruikermodules en geeft hierbij richtwaarden voor ontwerpgegevens, zoals de Autoriteit van een regelafsluiter. In bijlage D wordt een overzicht gegeven voor het samenstellen van de modules tot een hydraulische schakeling en bijlage E geeft achtergrondinformatie over pompen.

SUMMARY

The first step in the design of a climate installation is to choose a draft (ISSO-43) as specified by the Terms of Reference. When it becomes clear what draft to use, it will also be clear what devices (refrigerating machine, cooling coil) will be applied in this draft. The question then remains how to fit these devices into a hydraulic circuit and how this hydraulic circuit should be designed. This ISSO-publication will answer these questions. Starting point is that the choice of the draft of a climate installation is made in accordance with the accompanying temperature levels etc.

Thus the question is how the various devices that are part of the draft of the climate installation can be fitted into a hydraulic circuit. To answer this question chapter 2 first describes the characteristics of the various hydraulic (sub)circuits. In this publication the hydraulic circuit is divided into subcircuits for generation, distribution and users. These subcircuits are called modules. The modules are subdivided into passive and active modules. On the basis of this characteristic the modules can be composed. An active generation module and a passive user module can for example be connected by a passive distribution module. This method makes it possible to build a hydraulic subcircuit (modules) into a whole. However the description of the modules in chapter 2 does not answer the question when to apply these modules. Chapter 3 provides the clues. This chapter describes that a module can be selected on the basis of:

1. Characteristics of the device;
2. Necessary safety precautions;
3. Co-ordination between user en generator;
4. Practical considerations.

Based on a number of examples chapter 5 of the publication explains how to compose a hydraulic circuit. Examples are included that pay attention to the integrated energy systems in which the switch from heating to cooling (in fact users that are also employed as generators) is explained.

In the annexes to this publication the design aspects used in this publication are discussed. Annex A describes the characteristics of devices in relation to their integration into the hydraulic circuit. Annex B describes how to dimension a buffer. Annex C explains in detail the characteristics of the hydraulic user modules and provides values for design data, such as the Authority of the regulating valve. Annex D provides an overview on how the modules are composed into a hydraulic circuit and annex E gives background information on pumps.







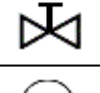



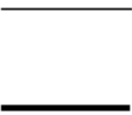
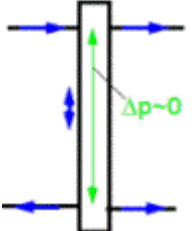
SYMBOLENLIJST

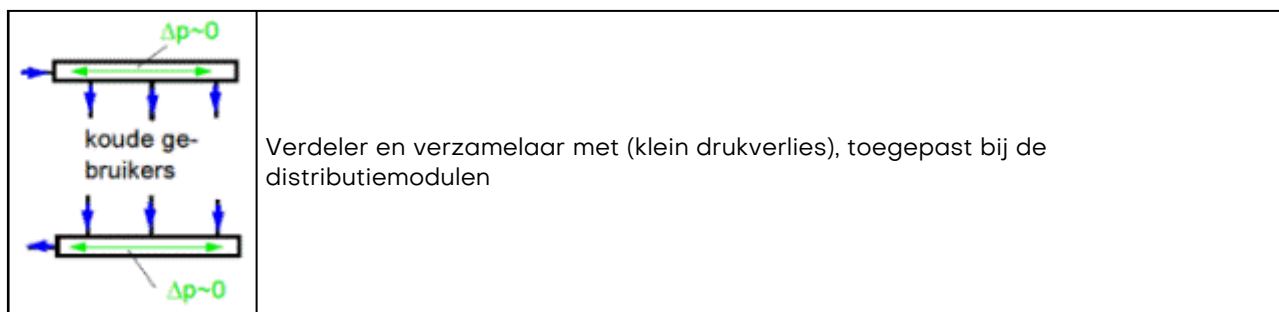
Symbol	Omschrijving	Eenheid
A	Autoriteit van een regelafsluiter	[-]
Phyd	Hydraulisch vermogen van een pomp ($=\Delta p_p \cdot q_v$)	[W]
Phyd,max	Maximaal hydraulisch vermogen van een pomp ($=\Delta p_{p,max} \cdot q_{v,max}$)	[W]
Qe	Elektrische energie	[[kW·h]]
R	Hydraulische weerstand $R = \Delta p / q_v^n$, waarbij n varieert tussen 1,7 en 2	[Pa/(m ³ /s) ⁿ]
Rp	Inwendige hydraulische weerstand van een pomp	[Pa/(m ³ /s) ⁿ]
SV	Regelverhouding van een regelafsluiter, gebaseerd op gemeten waarden $SV = k_{vs}/k_{vr}$	[-]
SVO	Theoretische regelverhouding van een regelafsluiter zijnde k_{vs}/k_{vo} , gebaseerd op de grondkarakteristiek	[-]
V	Volume	[m ³]
Vboil	Inwendig volume boiler	[m ³]
c	Soortelijke warmte	[kJ/(kg·K)]
d	Diameter	[m]
d _i	Inwendige buisdiameter	[m]
h;H	Hoogte	[m]
h	Aantal uren	[h]
h/h100	Relatieve stand van de spindel van een regelafsluiter	[m]
i	Teller 1, 2, 3 etc. toegepast op de verticale assen van de grafieken van de werkbladen in bijlage C, bijvoorbeeld als $i = 2$; dan is $\theta_i = \theta_2$ of $q_{vi} = q_{v2}$	[-]
k _v	Volumestroom door een regelafsluiter onder genormeerde condities	[m ³ /h]
k _{vr}	Minimale k _v -waarde voordat de gemeten hellingshoek ten opzichte van de grondkarakteristiek te groot wordt en buiten de toegelaten grens ligt	[m ³ /h]
k _{vo}	De door de fabrikant/leverancier opgegeven niet werkelijk optredende volumestroom door een gesloten regelafsluiter onder genormeerde condities, die volgt uit de benaderings formule (= grondkarakteristiek van regelafsluiter RA)	[m ³ /h]
k _{vs}	De door de fabrikant/leverancier opgegeven volumestroom door een regelafsluiter bij maximale lichthoogte van de spindel onder genormeerde condities, gebaseerd op de grondkarakteristiek	[m ³ /h]
k _{v,100}	De werkelijk optredende volumestroom door een regelafsluiter bij maximale lichthoogte van de spindel onder genormeerde condities	[m ³ /h]
n	Toerental pomp	[1/min]
p	Druk	[Pa]
p _s	Statische druk	[Pa]
q _v	Volumestroom	[m ³ /s]
q _{v1}	Volumestroom door een warmtewisselaar of naar een groep warmtewisselaar(s) of de volumestroom door een opwekker	[m ³ /s]
q _{v1,100}	Volumestroom bij vollast (ontwerpsituatie)	[m ³ /s]

qv_2 t/m 5	Volumestroom in de buizen van de modules	[m ³ /s]
q_{vi}	$i = 1, 2, 3, 4$ of 5 , dus andere aanduiding voor qv_1 ; qv_2 etc., toegepast in de grafieken van bijlage C, werkbladen modules	[m ³ /s]
$q_{v,max}$	Maximale volumestroom pomp als $\Delta p_p = 0$, zie bijlage E	[m ³ /s]
v	Snelheid	[m/s]
x	Absolute vochtigheid	[kgvocht/ kg lucht]
Δp	Algemeen; drukverlies (verschil in statische druk) over een apparaat, buis, component of groep warmtewisselaars ten gevolge van stroming, hoogteverschil en snelheidsverschil	[Pa]
Δp_{RA}	Drukverlies over een regelafsluiter	[Pa]
$\Delta p_{RA,0}$	Drukverlies over een regelafsluiter in volledig gesloten toestand	[Pa]
$\Delta p_{RA,100}$	Drukverlies over een regelafsluiter in volledig geopende toestand (maximale lichthoogte)	[Pa]
Δp_a	Aansluitdruk over een gebruiker- of opwekkermoduul, in algemene zin opgebouwd uit een pompdruk Δp_p en een drukverlies Δp_v ($\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$)	[Pa]
Δp_{max}	Maximaal toegelaten statisch drukverschil tussen het medium (water) in een hydraulische schakeling en de atmosferische druk	[Pa]
Δp_p	Opvoerhoogte of pompdruk van een circulatiepomp	[Pa]
$\Delta p_{p,max}$	Blinddruk van de pomp ($q_v = 0$)	[Pa]
Δp_v	Drukverlies in buizen, apparaten en componenten van een deel van de hydraulische schakeling	[Pa]
Δp_x	Drukverlies in buizen, apparaten en componenten waardoor de volumestroom q_{vx} ($x = 1, 2, 3$, etc.) stroomt, uitgezonderd het drukverlies over de inregelafsluiter Δp_{RA} als deze aanwezig is	[Pa]
ε	Temperatuurrendement warmtewisselaar	[-]
θ	Temperatuur	[°C]
θ_{100}	Temperatuur bij vollast (ontwerpsituatie)	[°C]
θ_a	Luchttemperatuur omgeving	[°C]
θ_{ref}	De temperatuur van het secundair te koelen medium, die door middel van regeling constant wordt gehouden nakoeler θ_{ref} = temperatuur ingaand medium voorkoeler θ_{ref} = temperatuur uitgaand medium	[°C]
θ_1	Temperatuur aan de ingaande kant van een gebruikermoduul of aan de uitgaande kant van een opwekkermoduul	[°C]
θ_2	Temperatuur aan de ingaande kant van een gebruiker of aan de uitgaande kant van een opwekker	[°C]
θ_3	Temperatuur aan de uitgaande kant van een gebruiker of aan de ingaande kant van een opwekker	[°C]
θ_4	Temperatuur aan de uitgaande kant van een gebruikermoduul of aan de ingaande kant van een opwekkermoduul	[°C]
θ_i	$i = 1, 2, 3, 4$ of 5 , dus andere aanduiding voor θ_1 ; θ_2 etc., toegepast in de grafieken van bijlage C, werkbladen	[]
ρ	Soortelijke massa	[kg/m ³]
φ	Vermogen	[W]
φ_b	Het aan een boiler toe te voeren vermogen	[W]
φ_g	Het door de gebruiker(s) gevraagde vermogen	[W]

φ_0	Het door de opwekker(s) gevraagde vermogen	[W]
-------------	--	-------

GRAFISCHE SYMBOLENLIJST

Symbool	Benaming
	Koudegebruiker (warmtewisselaar) of een groep koudegebruikers (meerdere warmtewisselaars), aangesloten op een distributiesysteem
	Koudeopwekker (KO)
	2-wegregelafsluiter (RA) of (MA) met servomotor, (modulerend RA of open/dicht MA)
	3-wegregelafsluiter (RA) of (MA) met servomotor, (modulerend RA of open/dicht MA)
	Circulatiepomp (CP)
 	Inregelafsluiter (IRA) met meetvoorziening voor het meten van het drukverschil. Inregelafsluiters (IRA) zonder meetvoorziening
	Meetpunt voor temperatuur of druk.
	Expansievat met membraan
	Buffer (BUF)
	Leiding Leiding met klein drukverlies (grote diameter)
	Kortgesloten verdeler/verzamelaar (klein drukverlies), toegepast bij koudeopwekkermodulen



Toelichting toepassen grafische symbolen voor gebruikers en opwekkers

In bijvoorbeeld installaties met energieopslag kunnen koudegebruikers ook koudeopwekkers zijn of koudeopwekkers koudegebruikers, afhankelijk van een winter- of zomersituatie. In principe moet voor zo'n hybride gebruiker of opwekker een apart grafisch symbool worden vastgesteld. In deze publicatie is hiervoor niet gekozen en is in de voorbeelden uitgegaan van de functie gebruiker of opwekker in de zomersituatie.

BEGRIPPENLIJST

Actieve moduul

Een moduul die door middel van zijn circulatiepomp(en) voldoende drukverschil genereert over zijn aansluitpunten, zodat transport van een medium in de op de moduul aangesloten schakeling mogelijk is.

Afgiftesysteem

De combinatie van koudegebruiker en eventueel bijbehorende naregeling.

Appendages

In deze publicatie wordt bij het bepalen van de opvoerhoogte van een pomp gesproken over drukverliezen van 'leidingen met appendages'. Het betreft dan de verzameling van de verschillende statische componenten in het leidingcircuit die drukverlies veroorzaakt.

Autoriteit

Verhouding van het drukverlies $\Delta p_{RA,100}/\Delta p_{RA,0}$ over een regelafsluiter in volledig geopende toestand (index 100) en gesloten toestand (index 0).

CP

Circulatiepomp met constant of variabel toerental.

DK

Droge koeler.

Distributie

Het transport van de vloeistof (water) van de koudeopwekker(s) naar de koudegebruiker(s).

Hydraulische schakeling

De opbouw van het deel van de klimaatinstallatie in het gebouw waarbij energie (warmte of koude) wordt getransporteerd door middel van een vloeistof (water). Het betreft een samenstelling van opwekkersmodulen en gebruikersmodulen die vervolgens gekoppeld worden door distributiemodulen. In de gebruikersmodulen kunnen meerder koudegebruikers worden opgenomen en met elkaar worden verbonden door een distributiesysteem.

IRA

Met de hand te bedienen inregelafsluiter voor de volumestromen met of zonder een voorziening voor het meten van het drukverlies Δp over de IRA.

KM

Koelmachine.

Koudegebruiker

Apparaat (warmtewisselaar) waarmee het gedistribueerde koelvermogen wordt afgestaan aan een vertrek of andere hydraulische schakeling.

KO (= koudeopwekker)

Apparaat waarmee koude wordt overgedragen aan het 'water' of medium in de hydraulische schakeling.

k v -waarde

De volumestroom in m^3/h van water met een temperatuur van 5 tot 20°C bij een drukverschil van 1 bar over de regelafsluiter.

I.b. installatie

Luchtbehandelingsinstallatie.

LBK

Luchtbehandelingskast.

Moduul

Deel van een hydraulische schakeling te onderscheiden naar een gebruikersmoduul, een distributiemoduul en een opwekkersmoduul.

Nullastsituatie

Situatie dat de regelafsluiter volledig dicht staat. Dit wordt aangegeven met de index 0.

Parallelschakeling modules

Schakeling waarbij de aansluitdruk over de modules gelijk is. Bij deze definitie wordt geen rekening gehouden met het drukverlies in de aansluitleidingen.

Passieve moduul

Een moduul die niet in staat is over zijn aansluitpunten voldoende drukverschil te genereren, zodat geen transport van een medium in de op de moduul aangesloten schakeling mogelijk is.

Pompregeling

Regeling van bijvoorbeeld een constant drukverschil in de hydraulische schakeling door middel van variatie van het toerental van de pomp.

RA (= regelafsluiter)

Corrigerend apparaat in een hydraulische schakeling waarmee de volumestroom wordt beïnvloed.

Regelbereik

Het onder gespecificeerde condities vastgestelde verschil tussen de maximale en minimale waarde van de geregelde grootte.

Serieschakeling modules

Schakeling van modules waarbij een gelijke volumestroom qv_5 door de modules stroomt.

Stooklijn

Een vastgesteld verband tussen bijvoorbeeld de buitenluchttemperatuur en de aanvoertemperatuur θ_1 of θ_2 .

Subschakeling

De hydraulische schakeling kan worden onderverdeeld in subschakelingen. In deze publicatie worden de subschakelingen ook wel modules genoemd.

Temperatuurtransformatie

Eigenschap van een gebruikersmoduul om bij vollast $RA=100\%$ de aanvoertemperatuur naar de gebruiker θ_2 te verhogen naar een hogere waarde dan de aanvoertemperatuur θ_1 m.b.v. inregelafsluiters.

TSA (= tegenstroomapparaat)

Warmtewisselaar die geschakeld is volgens het tegenstroomprincipe.

Warmtewisselaar

Apparaat waarmee energie overgedragen wordt van een medium naar een ander medium. De warmtewisselaar wordt in deze publicatie voor allerlei toepassingen genoemd (koelbatterij voor overdracht (koud) water naar (warme) lucht, tegenstroomapparaat voor overdracht (koud) grondwater naar (warm) gekoeld water, etc).

WP

Warmtepomp.

1 INLEIDING

Aanleiding

In 1998 is de ISSO-publicatie 44 tot stand gekomen. Deze publicatie is bedoeld om de ontwerper middelen aan te reiken om een hydraulische schakeling te ontwerpen voor verwarmingsinstallaties. In de ISSO-publicatie 44 zijn hydraulische modules geanalyseerd en beschreven voor verwarming.

In principe bestaat er weinig verschil tussen hydraulische schakelingen voor verwarmen en hydraulische schakelingen voor koelen. Het verschil zit met name in het feit dat bij koelen sprake kan zijn van natte warmteoverdracht en dat de temperatuurniveaus en de temperatuurverschillen bij koelen kleiner zijn dan bij verwarmen.

Om meer inzicht te krijgen in de hydraulische schakelingen voor koelen is als aanvulling op ISSO-publicatie 44 in 1999 een rapport opgesteld 'Hydraulische schakelingen voor koelen' (kontaktgroep 40). In deze rapportage is de warmteoverdracht in warmtewisselaars waarbij condensatie optreedt geanalyseerd.

Als vervolg op ISSO-publicatie 44 en de analyse van hydraulische schakelingen voor koeling door kontaktgroep 40, wordt in deze publicatie het ontwerp van hydraulische schakelingen voor koeling aan de orde gesteld.

Naast de analyses van hydraulische schakelingen wordt in deze publicatie ook aandacht geschonken aan hydraulische schakelingen voor nieuwe en gecombineerde opwekkingsinstallaties (absorptiekoeling, energieopslag, energieopslag en warmtepompen, etc.).

Gezien het voorgaande is het uitgangspunt voor de opzet van de ISSO-publicatie als volgt:

- De modules uit de ISSO-publicatie voor verwarming worden ook gebruikt voor koeling;
- Deze modules worden uitgebreid met een aantal specifieke modules voor koeling (koudeopslag, vrije koeling, etc.);
- Er wordt aandacht besteed aan hydraulische schakelingen voor nieuwe en gecombineerde installaties waarbij omgeschakeld moet kunnen worden van koelen naar verwarmen en andersom (energieopslag, warmtepompen, etc.).

Doel

Het doel van deze ISSO-publicatie is tweemaal:

- Aanreiken van een gefundeerde en gestructureerde methode voor het ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen;
- Bevordering acceptatie en toepassing nieuwe technieken.

Werkwijze en opzet van de publicatie

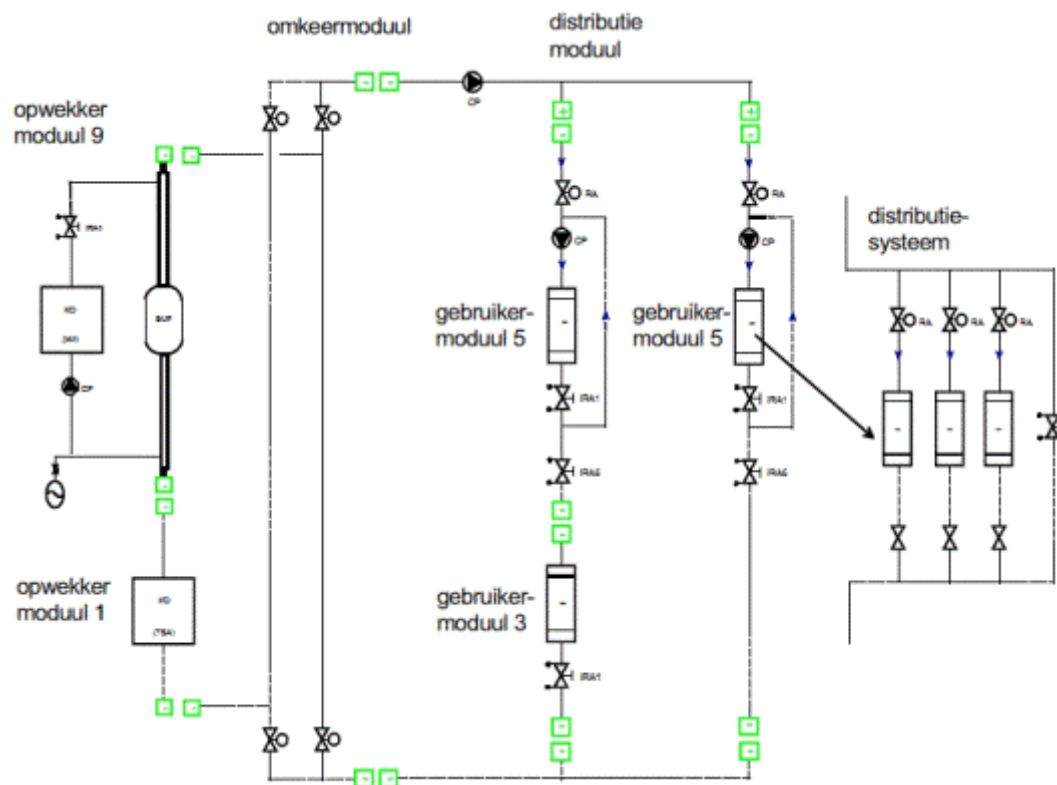
Bij het ontwerpen van een klimaatinstallatie zal eerst aan de hand van het programma van eisen een keuze gemaakt worden van het toe te passen concept (ISSO-43). Als het concept van de klimaatinstallatie bekend is, is het dus ook bekend welke apparaten in het concept toegepast worden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen gebruikers (koelbatterijen, vloerkoeling, etc.) en opwekkers (koelmachine, koudeopslag, etc.).

De vraag is hoe de apparaten in een hydraulische schakeling ingepast worden. Om deze vraag te kunnen beantwoorden worden eerst in hoofdstuk 2 de kenmerken van verschillende hydraulische (sub)schakelingen beschreven. In deze publicatie wordt een hydraulische schakeling onderverdeeld in subschakelingen voor opwekking, distributie en gebruikers. Deze subschakelingen worden modules genoemd. De modules worden onderverdeeld in passieve en actieve modules. Op basis van dit kenmerk kunnen modules samengesteld worden. Een actieve opwekkermodule en een passieve gebruikermodule worden bijvoorbeeld met elkaar verbonden door een passieve distributiemodule. Met deze methodiek is het mogelijk om op een juiste manier hydraulische subschakelingen (modules) samen te stellen tot één geheel.

In figuur 1.1 is een voorbeeld van een samenstelling van opwekkermodules, gebruikermodules en een distributiemodule weergegeven.

In de in deze publicatie gepresenteerde modules en hydraulische schakelingen worden alleen die apparaten opgenomen die direct te maken hebben met het hydraulisch en thermisch gedrag van een module of schakeling. Niet opgenomen zijn bijvoorbeeld:

- Handafsluiters, bijvoorbeeld voor reparatie;
- Meetpunten;
- Vulpunten;
- Filters;
- Luchtpotten etc.



Figuur 1.1 Voorbeeld hydraulische schakeling voor koelen opgebouwd uit modulen

Met de beschrijving van de modules in hoofdstuk 2 is nog niet de vraag beantwoord wanneer nu deze modules toegepast dienen te worden. Hoofdstuk 3 geeft daarom aanwijzingen hiervoor.

In hoofdstuk 4 is een overzicht gegeven van het samenstellen van gebruikermodulen met distributiemodulen en opwekkermodulen.

Voorbeelden van geïntegreerde energiesystemen waarbij gebruikers en opwekkers gecombineerd worden (met randvoorwaarden voor toepassen van gebruikermodulen bij bepaalde opwekkers) zijn in hoofdstuk 5 gegeven.

In de bijlagen zijn vervolgens nog een aantal specifieke onderwerpen uitgewerkt (uitgebreide beschrijving van apparaten, buffers, ontwerpregels, etc.).

2 MODULEN VOOR HYDRAULISCHE SCHAKELINGEN

Alvorens de overzichten met de verschillende modules te presenteren worden eerst een aantal algemene opmerkingen gemaakt.

Onderverdeling van modules

Hydraulische schakelingen zijn onder te verdelen in subschakelingen voor opwekking, distributie en gebruikers. Deze subschakelingen worden modules genoemd. De modules worden onderverdeeld in passieve en actieve modules. Een actieve module genereert een drukverschil over de aansluitpunten zodat er transport van een medium mogelijk is in de op de module aangesloten schakeling. Bij een passieve module is dit niet het geval (geen transport van een medium in de op de module aangesloten schakeling mogelijk).

Op basis van het kenmerk 'passief' en 'actief' kunnen de modules samengesteld worden. In hoofdstuk 4 wordt dit verder toegelicht.

In dit hoofdstuk wordt onderscheid gemaakt tussen modules voor:

- Koudegebruikers;
- Koudedistributie;
- Omkeer- en koppelmodules;
- Koudeopwekkers.

Apparaten voor koudegebruikers en opwekkers

Bij de overzichten wordt aangegeven welke modules toegepast kunnen worden bij bepaalde apparaten voor gebruikers en voor opwekkers. Het betreft de volgende apparaten:

Koudegebruikers:

- a. Warmtewisselaar in LBK zonder condensatie;
- b. Warmtewisselaar in LBK met condensatie;
- c. Vloer / wandkoeling;
- d. Stralingspaneel;
- e. Inductieapparaat;
- f. Ventilatorconvector;
- g. Koudeopslag laden*).

*) Met 'koudeopslag laden' bij de koudegebruikers wordt bedoeld de warmtewisselaar (TSA) van de koudeopslag die gebruikt wordt voor het koudeladen. Deze warmtewisselaar vormt de scheiding tussen de de installaties boven en onder de grond. De bijbehorende koudeopwekker kan een warmtewisselaar in LBK, een droge koeler, een koeltoren en/of oppervlaktewater zijn.

Koudeopwekkers:

- a. Compressiekoelmachine;
- b. Absorptiekoelmachine;
- c. Korte termijn koudeopslag;
- d. Lange termijn koudeopslag**);
- e. Bodemwarmtewisselaar;
- f. Warmtewisselaar in LBK;
- g. Droge koeler;
- h. Koeltoren;
- i. Oppervlaktewater.

**) Met 'lange termijn koude opslag' wordt bedoeld de warmtewisselaar (TSA), die de scheiding vormt tussen de installatie boven de grond en de installatie onder de grond en nu als koude opwekker functioneert.

Ontwerpeisen en ontwerpregels voor modules

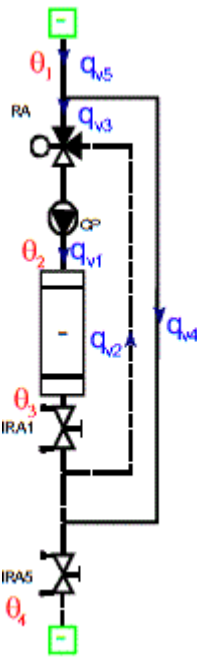
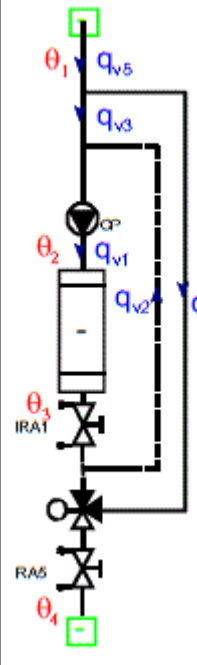
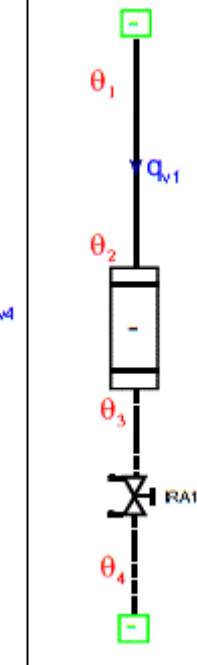
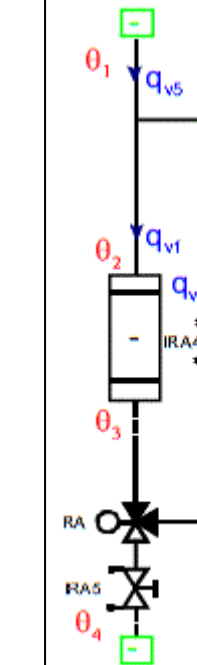
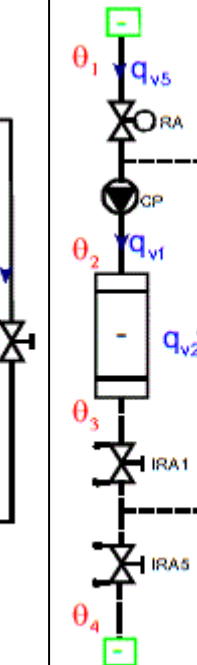
In de overzichten zijn de belangrijkste kenmerken van de modules weergegeven. De verdere uitwerking van de modules (ontwerpeisen en ontwerpregels) is in bijlage C weergegeven. De ontwerper dient de kenmerken van de modules alsmede de samenstellingsregels als parate kennis te gebruiken bij het ontwerpen van hydraulische schakelingen in projecten.

Inregelafsluiters

Bij de modules in de overzichten zijn de mogelijke benodigde inregelafsluiters weergegeven. Aan de hand van de ontwerpeisen en ontwerpregels in bijlage C en aan de hand van de uiteindelijke samenstelling tot een hydraulische schakeling, kan bepaald worden welke inregelafsluiters

eventueel kunnen vervallen. Het betreft met name de inregelafsluiters in de bypass/recirculatieleidingen.

2.1 KOUDEGEBRUIKERS

Koudegebruikermodulen		Moduul 1	Moduul 2	Moduul 3	Moduul 4	Moduul 5
a	=	warmtewisselaar in LBK zonder condensatie				
b	=	warmtewisselaar in LBK met condensatie				
c	=	vloer / wandkoeling				
d	=	stralingspanelen				
e	=	inductieapparaten				
f	=	ventilatorconvectoren				
g	=	koudeopslag laden (TSA)				
						
Kenmerken						
Aanwijzing voor toepassing		c,d,e,f	c,d,e,f	g	b	a, c, d, e, f
Passief of Actief		P	P	P	P	P
Serieschakeling met modules		1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	3
Type moduul (smoren, verdelen, mengen van de volumestromen)		verdeel en meng	verdeel en meng	n.v.t.	verdeel	smoor en meng
Kenmerken volumestromen						
Volumestroom van/naar opwekker bij deellast (q_v5)		constant	constant	afh. van opwekkermoduul	constant	variabel
Volumestroom door gebruiker bij deellast (q_v1)		constant 1)	constant 1)	afh. van opwekkermoduul	variabel	constant 1)
Kenmerken temperaturen						
Tretour (theta_4) naar opw. bij deellast		daalt	daalt	afh. van q_v1 en theta_2	daalt	stijgt
Tintrede (theta_2) gebruiker/ mogelijkh. ontvochtiging bij deellast		stijgt / minder	stijgt / minder	afh. van opwekkermoduul	constant / gelijk	stijgt / minder
Kenmerken regeling						
Regeling vermogen gebruiker		theta_2	theta_2	afh. van opwekkermoduul	q_v1	theta_2
Mogelijkheid naregeling		ja	ja	ja	nee	ja
Vaste voormenging (temperatuur transformatie theta_2,100>theta_1,100)		nee	ja	nee	nee	ja

1) qv1 is constant bij één gebruiker. Bij meerdere gebruikers (dus bij een distributiesysteem voor bijvoorbeeld koelplafonds) is qv1 variabel als 2-weg naregeling wordt toegepast.

2.2 KOUEDISTRIBUTIE

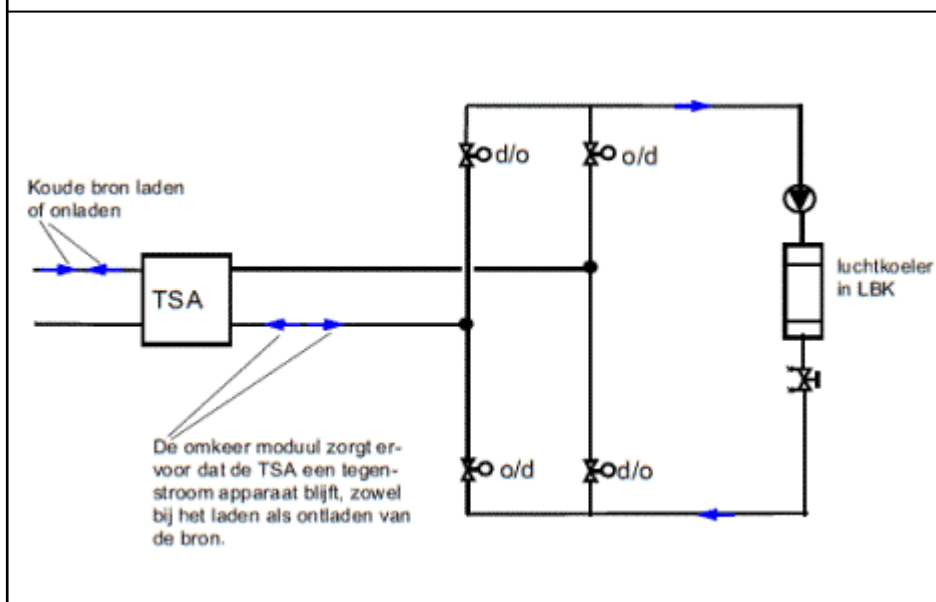
Kouededistributie modulen	Passief	Actief	Passief door reg	
Samenstellingsregels voor parallel geschakelde modules				
Bijpassend gebruikermodule	A	P	P	A
Bijpassend opwekkermodule	P	A	P	P
Combinatie opwekker + distributie +gebruiker(s)	P + P + A,A,A	A + P + P,P,P	P + A + P,P,P	P + P + A,A,A

1) Bij het plaatsen van de drukmeetpunten rekening houden dat bij deellastsituaties de gebruikermodule voldoende druk geleverd krijgen. Zie ook bijlage E over toerengeregelde circulatiepompen.

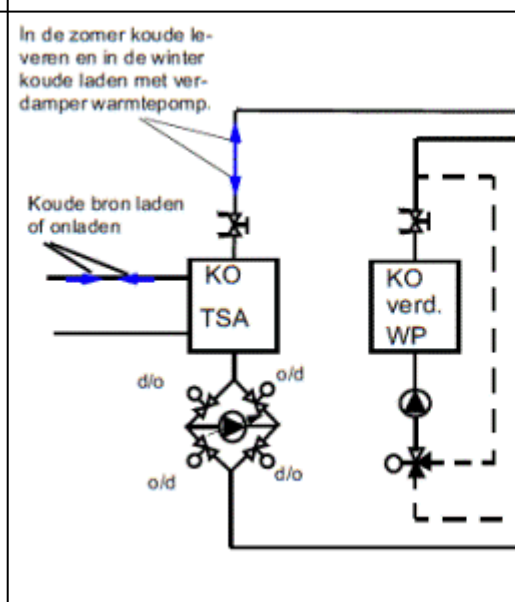
2.3 OMKEER- EN KOPPELMODULEN

Omkeer- en koppelmodulen	Passieve koppelmodule	Passieve koppelmodule	Passieve omkeermodule	Passieve koppelmodule	Actieve om

Voorbeeld toepassing Passieve omkeer moduul



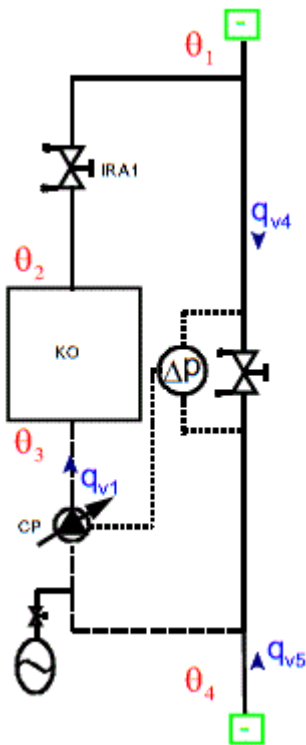
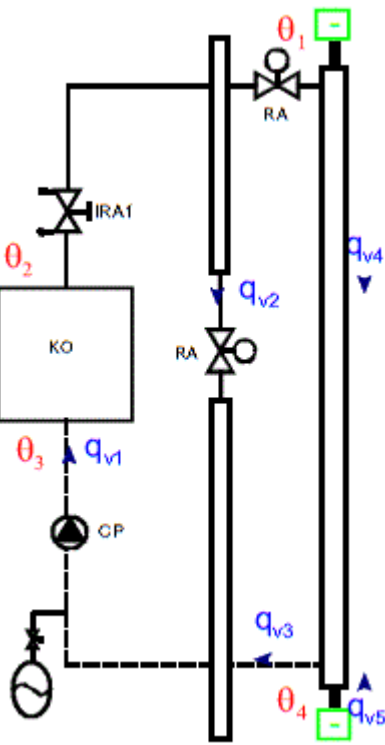
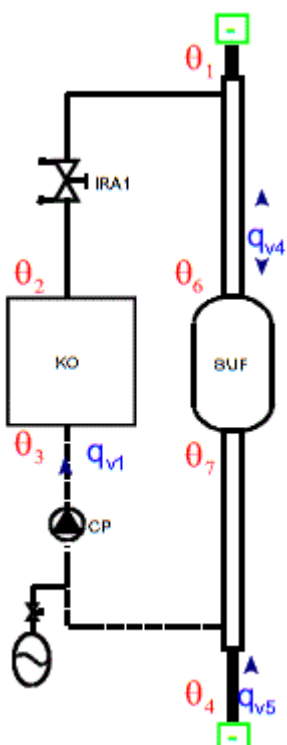

Voorbeeld toepassing Actieve omkeermodule



2.4 KOUDE OPWEKKING

Koudeopwekker modulen blad 1 van 3			Moduul 1	Moduul 2	Moduul 3	Moduul 4
a	=	compressiekoelmachine1)				
b	=	absorptiekoelmachine				
c	=	korte termijn koudeopslag				
d	=	lange termijn koudeopslag (TSA)				
e	=	bodemwarmtewisselaar				
f	=	warmtewisselaar in LBK				
g	=	droge koeler				
h	=	koeltoren				
i	=	oppervlaktewater				
Kenmerken						
Aanwijzing voor toepassing			c, d, e	evt. f	a, b,	c
Passief of Actief			P	(pomp aan=) A/P	P	P
Serieschakeling mogelijk met andere modulen			1,3, 4, 5, 6, 8, 9, 10,11,12, 15	geen	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9,10,11,12,15	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15
Parallel schakelen moduul			ja	ja	nee	nee
Parallel schakelen meer opwekkertakken met pomp in de moduul			n.v.t.	n.v.t.	ja	ja
Kenmerken volumestromen						
Volumestroom door opwekker (qv1)			afh. van qv5 gebruikermodulen	afh. van qv5 gebruikermodulen	constant	constant
Volumestroom distributie (qv5)			afh. van gebruikermod.	afh. van gebruikermod.	variabel	variabel
Kenmerken temperaturen						
Tintrede (theta3) opwekker bij deellast			afh. van gebruikermod.	afh. van gebruikermod.	daalt	daalt
Mogelijkheid om Taanvoer (theta1) naar gebruikers hydraulisch te regelen.			nee	nee	nee	nee

1) Bij modulen met koelmachines dient, om teveel schakelen van de compressoren te voorkomen, de systeeminhoud voldoende groot te zijn. Om dit te realiseren is het mogelijk dat een serie geschakeld buffervat toegepast dient te worden (veelal in aanvoer naar koelmachine qv1 of qv3). Deze serie geschakelde buffer is niet in de modulen weergegeven. In bijlage B is omschreven hoe de benodigde systeeminhoud bepaald kan worden. Voor temperatuurgelaagd buffers wordt verwezen naar bijlage J van ISSO-publicatie 44.

Koudeopwrekker modulen blad 2 van 3	Moduul 7	Moduul 8	Moduul 9	
a = compressiekoelmachine 1) b = absorptiekoelmachine c = korte termijn koudeopslag d = lange termijn koudeopslag (TSA e = bodemwarmtewisselaar f = warmtewisselaar in LBK g = droge koeler h = koeltoren i = oppervlaktewater				
Kenmerken				
Aanwijzing voor toepassing	c, d	a, b	a, b	
Passief of Actief	P	P	P	
Serieschakeling mogelijk met andere modulen	geen	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10,11,12, 15	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10,11,12, 15	1, 3,
Parallel schakelen moduul	nee	nee	nee	
Parallel schakelen meer opwekkertakken met pomp in de moduul	nee	ja	ja	
Kenmerken volumestromen				
Volumestroom door opwrekker (qv1)	variabel	constant	constant	
Volumestroom distributie (qv5)	afh. van gebruikermod.	variabel	variabel	vo
Kenmerken temperatuur				
Tintrede (θ3) opwrekker bij deellast	stijgt	daalt	stijgt als buffer ontleedt	stijgt
Mogelijkheid om Taanvoer (θ1) naar gebruikers hydraulisch te regelen.	nee	ja	nee	

1) Bij modulen met koelmachines dient, om teveel schakelen van de compressoren te voorkomen, de systeeminhoud voldoende groot te zijn. Om dit te realiseren is het mogelijk dat een serie geschakeld buffervat toegepast dient te worden (veelal in aanvoer naar koelmachine qv1 of qv3). Deze serie geschakelde buffer is niet in de modulen weergegeven. In bijlage B is omschreven hoe de benodigde systeeminhoud bepaald kan worden. Voor temperatuurgelaagd buffers wordt verwezen naar bijlage J van ISSO-publicatie 44.

Koudeopwrekker modulen blad 3 van 3	Moduul 13	Moduul 14	Moduul 15	Moduul 16	Moduul 17
a = compressiekoelmachine 1) b = absorptiekoelmachine c = korte termijn koudeopslag d = lange termijn koudeopslag (TSA) e = bodemwarmtewisselaar f = warmtewisselaar in LBK g = droge koeler h = koeltoren i = oppervlaktewater					
Kenmerken					
Aanwijzing voor toepassing	c, d, f, g	e, f, g, h, i	c, d, e	a, b, c, d, e, g	a, b, c,
Passief of Actief	P	P	P	A	A
Serieschakeling mogelijk met andere modulen	geen	geen	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15	ge
Parallel schakelen moduul	ja	ja	ja	ja	ne
Parallel schakelen meer opwekkertakken met pomp in de moduul	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	ja
Kenmerken volumestromen					
Volumestroom door opwrekker (qv1)	variabel	constant	variabel	afh. van gebruikermodule	afh. gebruiker
Volumestroom distributie (qv5)	variabel	variabel	afh. van gebruikermodule	afh. van gebruikermodule	afh. gebruiker
Kenmerken temperaturen					
Tintrede (theta_3) opwrekker bij deellast	afh. van gebruikermodule	daalt	afh. van gebruikermodule	afh. van gebruikermodule	afh. gebruiker
Mogelijkheid om Taanvoer (theta_1) naar gebruikers hydraulisch te regelen.	ja	ja	ja	nee	ne

1) Bij modulen met koelmachines dient, om teveel schakelen van de compressoren te voorkomen, de systeeminhoud voldoende groot te zijn. Om dit te realiseren is het mogelijk dat een serie geschakeld buffervat toegepast dient te worden (veelal in aanvoer naar koelmachine qv1 of qv3). Deze serie geschakelde buffer is niet in de modulen weergegeven. In bijlage B is omschreven hoe

de benodigde systeeminhoud bepaald kan worden. Voor temperatuurgelaagd buffers wordt verwezen naar bijlage J van ISSO-publicatie 44.

3 SELECTEREN VAN MODULEN

In hoofdstuk 2 is een aantal modules beschreven. De vraag is nu op basis waarvan een bepaalde module geselecteerd wordt voor een bepaald apparaat. Het selecteren kan op basis van een aantal aspecten:

1. Eigenschappen van het apparaat dat toegepast wordt. In bijlage A zijn de apparaten voor gebruikers en opwekkers omschreven. Een aantal van de in deze bijlage genoemde aspecten zoals:
 - Wel of geen condensatie;
 - Constante aanvoertemperatuur;
 - Groot of klein temperatuurverschil;
 - Constante of variabele volumestroom;
 leiden tot de keuze van een bepaald module bij een specifiek apparaat;
2. Noodzakelijk beveiligingen;
3. Afstemming tussen gebruiker en opwekker;
4. Praktische overwegingen.

In paragraaf 3.2 en 3.3 zijn de aspecten samengevat voor respectievelijk de gebruikers en de opwekkers. Eerst wordt in paragraaf 3.1 een aantal algemene aandachtspunten en aspecten genoemd die ook betrekking hebben op de keuze van de modules.

3.1 ALGEMENE AANDACHTSPUNTEN BIJ SELECTIE VAN DE MODULEN

Tabel 3.1.1. Koudegebruikers			
Koudegebruikers	Methode	Type gebruikersmodule	Opmerkingen betreffende het hydraulisch ontwerp
Regeling vermogen	Op basis van aanvoertemperatuur θ_2	Mengschakeling	Het is ook mogelijk om bij de koudeopwekker de aanvoertemperatuur centraal te regelen in combinatie met regelingen bij de gebruikersmodules.
	Op basis van volumestroom q_{v1}	Smoor- of verdeelschakeling.	
	Op basis van aanvoertemperatuur en volumestroom	Mengschakeling met naregeling bij de individuele gebruikers.	
Energiegebruik	Vermindering door toepassen toerengeregelde pompen.	Alleen mogelijk met modules met naregeling met tweeweg regelafsluiters (variabele volumestroom q_{v1} in het distributiesysteem).	Toerengeregelde pompen dienen vaak voor handhaving van een constant drukverschil over een groep warmtewisselaars.

Tabel 3.1.2 Distributie			
Distributie	Methode	Type distributiemoduul	Opmerkingen betreffende het hydraulische ontwerp
Regeling drukverschil	Smoren		<ul style="list-style-type: none"> • Toepassen afhankelijk van de eisen die worden gesteld aan het aansluitdrukverschil Δp_a over de gebruikermodulen, zie bijlage C; • Plaats drukopnemers afwegen t.o.v. gestelde eisen en functioneren van de installatie bij deellast; • Verdelen leidt tot verlaging van de retourtemperatuur.
	Verdelen		
	Toerengeregelde pomp		
Energiegebruik	Vermindering door toepassen toerengeregelde pompen.	<ul style="list-style-type: none"> • In de distributiemoduul alleen mogelijk met gebruikersmodulen waarvan de volumestroom q_{v5} variabel is; • In distributiesystemen alleen mogelijk met modulen waar naregeling met tweeweg regelafsluiters wordt toegepast (q_{v1} variabel). 	Let er hierbij op dat een minimale volumestroom t.b.v. apparaateisen en/of regelbaarheid gewaarborgd is.

Tabel 3.1.3 Koudeopwekkers			
Koudeopwekkers	Methode	Type opwekkermoduul	Opmerkingen betreffende het hydraulische ontwerp
Regeling vermogen	Aan/uit opwekker	Mogelijk (gelaagd) buffer toepassen om aantal schakelingen te beperken en/of om variatie in aanvoertemperatuur te beperken.	Let op de benodigde systeeminhoud van het gekoeld-water om aantal starts/stops te beperken en bedrijfstijd te verlengen, eventueel seriegeschakelde buffer toepassen; Let bij het aan- en uitschakelen op het gedrag (volumestromen, druk en temperatuur) van de schakeling.
	Meerdere vermogens trappen opwekker	Mogelijk (gelaagd) buffer toepassen om aantal schakelingen te beperken en/of om variatie in aanvoertemperatuur te beperken.	
	Modulerend	Meer vrijheden voor keuze hydraulisch moduul dan bij aan/uit of hoog/laag schakeling.	
	Aan/uit parallel geschakelde opwekkers in een opwekkermoduul (cascade schakeling)	Gebruik opwekkermodulen waarin meerdere opwekkers parallel kunnen worden geschakeld, zie hoofdstuk 2.4.	
	Aan/uit schakelen van seriegeschakelde koudeopwekkermodulen.	Gebruik modulen waarmee serieschakeling mogelijk is, zie hoofdstuk 2.4.	
Energiegebruik	Opwekkers met een hoog rendement lang in bedrijf houden.	Door middel van serieschakeling van opwekkermodulen, zie hoofdstuk 2.4.	

3.2 SELECTIE VAN MODULEN VOOR GEBRUIKER(S)

In tabel 3.2.1 t/m 3.2.4 is voor de apparaten aangegeven waarom voor een bepaalde gebruikersmoduul gekozen kan worden. Als de genoemde redenen voor het betreffende apparaat niet van toepassing zijn, kan in principe voor al de modulen gekozen worden. De gebruikersmodulen zijn onderverdeeld in modulen met een variabele volumestroom en constante volumestroom q_{v1} door de koude gebruiker. Zie voor verduidelijking ook grafieken in bijlage C.

Tabel 3.2.1 Selectie op basis van eigenschappen gebruikerapparaten			
Koudegebruiker	Kenmerk koudegebruiker	Gebruikermodule	
		Variabele volumestroom qv1	Constante volumestroom qv1
b. Warmtewisselaar in LBK met condensatie.	Indien ook onder deellast condensatie gewenst is dan een regeling waarbij aanvoertemperatuur naar gebruiker bij deellast niet stijgt maar laag blijft.	3, 4 en 6	3
c. Vloer / wandkoeling	Traag systeem voor basislast koeling, regeling door aanvoertemperatuur afhankelijk van buitentemperatuur te regelen.		1, 2, 5, 7 en 8
d. Stralingspanelen e. Inductieapparaten f. Ventilatorconvectoren	Gedimensioneerd op relatief kleine delta T daarom bij voorkeur (na)regelen door volumestroom door gebruiker te variëren en niet te regelen op temperatuur (afwijking van aanvoertemperatuur heeft relatief veel invloed op afgegeven vermogen onder deellast).	1, 2, 3, 5, 7 en 8	
g. Koudeopslag laden (warmtewisselaar TSA die de scheiding vormt tussen de installaties boven en onder de grond)	Constante aanvoertemperatuur naar gebruiker (geen menging van warm water uit de gebruiker met koud aanvoerwater van de opwekker naar de gebruiker) én; volledige volumestroom van koudeopwekker dient door gebruiker gevoerd te worden (zoveel mogelijk koude laden) dus geen bypass van gekoeld water om gebruiker (geen menging van koud aanvoerwater van de opwekker met wateruitrede van gebruiker).	3, 6	3

Tabel 3.2.2. Selectie op basis van noodzakelijke beveiligingen.			
Koudegebruiker	Kenmerk koudegebruiker	Gebruikermodule	
		Variabele volumestroom qv1	Constance volumestroom qv1
a,b. Warmtewisselaar in LBK	Constance volumestroom in verband met voorkomen van (plaatselijke) temperatuurverschillen in de warmtewisselaar met als gevolg vorstgevaar; dit geldt met name voor de warmtewisselaar die in direct contact komt met koude buitenlucht (koudeladen).		1, 2, 5, 7 en 8
a. Warmtewisselaar in LBK – zonder condensatie c. Vloer / wandkoeling d. Stralingspanelen e. Inductieapparaten f. Ventilatorconvectoren	Indien onafhankelijkheid van koudeopwekker gewenst is dan vaste voormenging toepassen om lage aanvoertemperatuur en hierdoor kans op condensatie te voorkomen.		2, 5 en 8

Tabel 3.2.3 Selectie op basis van afstemming tussen gebruiker en opwekker.			
Koudegebruiker	Kenmerk koudegebruiker	Gebruikermodule	
		Variabel volumestroom qv1	Constance volumestroom qv1
Algemeen (energieverbruik)	Grote delta T over moduul en kleine volumestroom bij deellast naar koudeopwekker. Deze keuze in verband met een bepaald type koudeopwekker bijvoorbeeld energieopslag.	6	5, 7 en 8
a. Warmtewisselaar in LBK – zonder condensatie c. Vloer / wandkoeling d. Stralingspanelen e. Inductieapparaten f. Ventilatorconvectoren	Indien onafhankelijkheid van koudeopwekker gewenst is dan vaste voormenging toepassen om een te lage aanvoertemperatuur naar de gebruiker tegen te gaan en hierdoor condensatie voorkomen.		2, 5 en 8

Tabel 3.2.4 Selectie op basis van locatie apparaten			
	Kenmerk hydraulische schakeling	Gebruikermodule	
		Variabele volumestroom qv1	Constance volumestroom qv1
Algemeen	Indien de afstand tussen gebruiker en opwekker groot is dan bij voorkeur een passieve moduul toepassen. Het drukverlies van de leidingen tussen gebruiker en opwekker is van invloed op de autoriteit van de regelaarsluis en dient niet groot te zijn.	4 en 6	1, 2 en 5

3.3 SELECTIE VAN MODULEN VOOR OPWEKKERS

In tabel 3.3.1 t/m 3.3.3 is voor de opwekkers aangegeven waarom voor een bepaalde opwekkermodule gekozen kan worden. Als de genoemde redenen voor het betreffende apparaat (opwekker) niet van toepassing zijn, kan in principe voor al de modulen gekozen worden.

Tabel 3.3.1 Selectie op basis van eigenschappen van opwekkers.		
Koudeopwekker	Kenmerken koudeopwekker	Opwekker modules
a. Compressiekoelmachine b. Absorptiekoelmachine	Eigen pomp CP over koelmachine met constant debiet of evt. terug te regelen tot ca. 60%.	3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16
	Indien onder extreme omstandigheden meer capaciteit geleverd dient te worden dan de maximale capaciteit van de koelmachine, dan gelaagd buffer toepassen om tijdelijk extra capaciteit te leveren.	9, 10, 11, 12
c,d. Korte/ langetermijn opslag in aquifers (TSA)	Bij deellast grote delta T om efficiënt gebruik te maken van inhoud opslag, dus variabele volumestroom bij deellast.	1, 7, 13, 15, 16
e. Bodemwarmtewisselaar	Geen eisen m.b.t. <ul style="list-style-type: none"> • Volumestroom; • Mogelijkheid om aanvoertemperatuur hydraulisch te beïnvloeden; • Toepassing buffer. In de bodemwarmtewisselaar zelf minimale volumestroom gewenst om turbulente stroming te houden.	1, 3, 15, 16
Tabel 3.3.2 Selectie op basis van beveiligingen.		
Koudeopwekker	Kenmerken koudeopwekker	Opwekker modules
a. Compressiekoelmachine b. Absorptiekoelmachine	Indien intredetemperatuur (bij het opstarten) beveiligd dient te worden dan regelklep toepassen waarmee intredetemperatuur verlaagd kan worden.	6, 8, 11, 12
f. Warmtewisselaar in LBK	Constance volumestroom i.v.m. verdeling gekoeld-water over de circuits van de koelbatterij om lokale bevriezing te voorkomen.	14, 19
h. Koeltoren i. Oppervlaktewater	Constance volumestroom i.v.m. verdeling gekoeld-water over het koelpakket koeltoren of i.v.m. voorkomen verontreiniging platenwarmtewisselaar oppervlaktewater.	6, 12, 14, 19
Tabel 3.3.3 Selectie op basis van afstemming tussen opwekker en gebruiker.		
Koudeopwekker	Kenmerken koudeopwekker en koudegebruikers	Opwekker modules
a. Compressiekoelmachine b. Absorptiekoelmachine	Indien variatie van de aanvoertemperatuur naar de gebruiker beperkt moet zijn bij toepassing van een koelmachine die aan/uit geschakeld wordt dan een gelaagd buffer toepassen.	9, 10, 11, 12
	Indien variatie van de aanvoertemperatuur naar de gebruiker beperkt moet zijn bij toepassing van een koelmachine die in een aantal trappen geregeld wordt dan gelaagd buffer toepassen en driewegklep bij intrede verdamper.	11, 12
	Indien onafhankelijk van de retourtemperatuur van de gebruikers, een vaste uittredetemperatuur gewenst is (of een bepaalde aanvoertemperatuur naar de gebruikers) dan regelklep toepassen waarmee intredetemperatuur verlaagd kan worden	6, 8, 11, 12

	Indien de aanvoertemperatuur naar de gebruikers verhoogd dient te worden (bijv. om condensatie te voorkomen) dan regelklep toepassen waarmee aanvoertemperatuur naar gebruikers verhoogd kan worden	10, 11
c,d. Korte/ lange termijn opslag in aquifers (TSA)	Mogelijkheid om aanvoertemperatuur naar gebruikers te verhogen.	15
f. Warmtewisselaar in LBK	Constance aanvoertemperatuur naar gebruikers; uittredetemperatuur uit koelbatterij dient hydraulische geregeld te kunnen worden.	13, 14, 19
g. Droge koeler h. Koeltoren i. Oppervlaktewater	Constance aanvoertemperatuur naar gebruikers; uittredetemperatuur uit droge koeler dient hydraulisch geregeld te kunnen worden; geen menging van koud aanvoerwater van de gebruiker met warm retourwater van de gebruiker.	6, 12, 13, 14, 16, 19

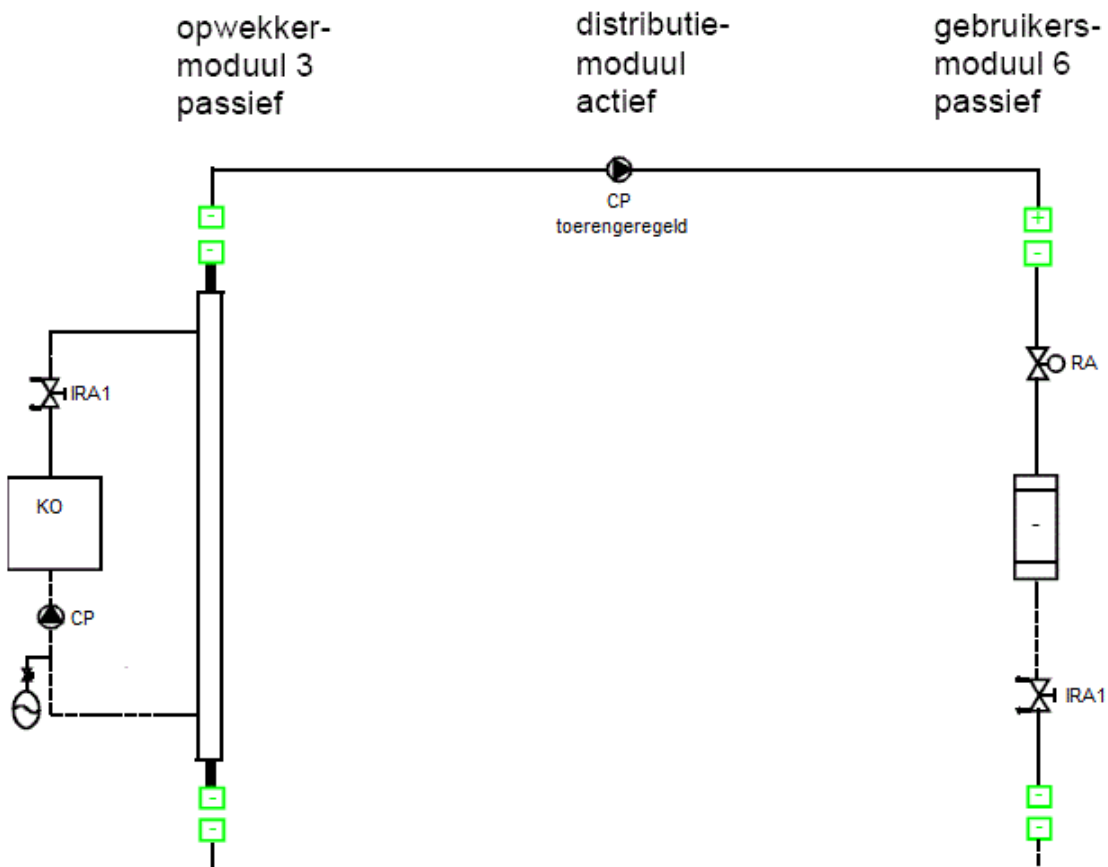
4 SAMENSTELLEN VAN MODULEN

In de voorgaande hoofdstukken zijn de verschillende modules beschreven en de toepassing ervan voor verschillende apparaten. In dit hoofdstuk is beschreven hoe de modules samengesteld kunnen worden tot een hydraulische schakeling. Hiervoor zijn een aantal samenstellingsregels gegeven.

4.1 PARALLELSCHAKELING VAN GEBRUIKER-, DISTRIBUTIE- EN OPWEKKERMODULEN

De gebruikers-, distributie- en opwekkersmodules dienen samengesteld te worden op basis van het kenmerk 'Passief' of 'Actief' van de betreffende modules. In het overzicht in de bijlage (D) is dit in een totaaloverzicht van al de modules weergegeven. In dit overzicht zijn tevens de combinaties van gebruiker- en opwekkermodules met apparaten voor respectievelijk gebruikers en opwekkers weergegeven.

In figuur 4.1.1 is een voorbeeld gegeven van parallel schakelen van gebruiker-, opwekker- en distributiemodules volgens de samenstellingsregels.



Figuur 4.1.1 Voorbeeld parallel schakelen opwekker-, distributie- en gebruikermodules volgens de samenstellingsregels

Onderstaand overzicht geeft de regels voor parallel schakelen van modules. Het kenmerk passief of actief is gegeven op de overzichtsbladen in hoofdstuk 2. De regels voor parallel combineren zijn ook gegeven in hoofdstuk 2.2.

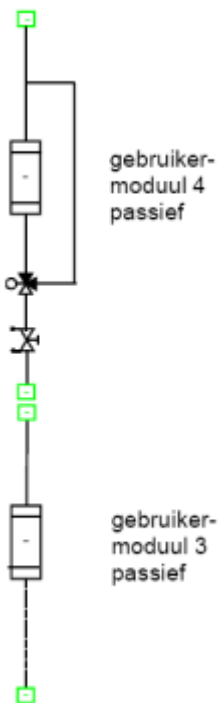
Tabel 4.1.1. Samenstellingsregels voor parallelschakelen van modules		
Opwekkermoduul	Distributiemoduul	Gebruikermodules
Passief	Passief	Actief
Passief	Actief	Passief
Actief	Passief	Passief
Actief	Neutraal	Actief

4.2 SERIESCHAKELING VAN GEBRUIKERMODULEN

Er zijn een aantal gebruikermodulen die in serie geschakeld kunnen worden.

1. Moduul 3 kan in serie geschakeld worden met (één van) al de andere modulen;
2. Modulen met de eigenschap dat de volumestroom $qv5$ van/naar de opwekkermoduul constant is (modulen 1, 2 en 4) kunnen in serie geschakeld worden, zie ook overzicht modulen hoofdstuk 2.1;
3. Voor de modulen waarvan $qv5$ niet constant is geldt, dat deze alleen in serie geschakeld kunnen worden met moduul 3.

In figuur 4.2.1 is een voorbeeld gegeven van twee serie geschakelde passieve gebruikermodulen.



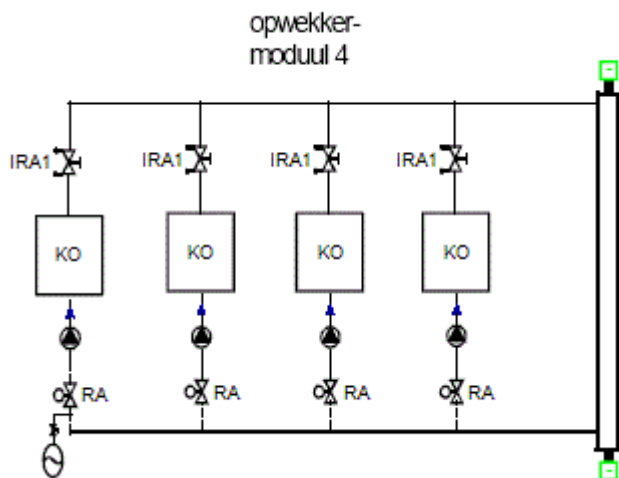
Figuur 4.2.1 Serieschakeling van gebruikermodulen

4.3 PARALLELSCHAKELING VAN OPWEKKERS IN EEN MODUUL

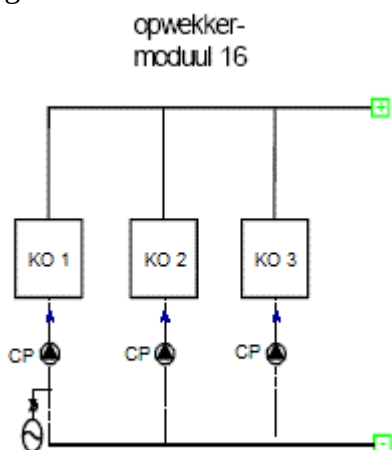
Voor het parallel schakelen van opwekkers wordt onderscheid gemaakt tussen het parallel schakelen van opwekkertakken binnen een moduul (punt 1) en het parallel schakelen van meerdere modulen (punt 2):

1. In het overzicht van de modulen voor opwekkers in paragraaf 2.4 zijn bij een aantal modulen twee opwekkers parallel geschakeld (modulen 4, 5, 17 en 18). Bij de overige modulen is steeds één opwekker weergegeven. Voor de opwekkermodulen 3 tot en met 6, 8 tot en met 12, 17 en 18 geldt dat het moduul kan worden uitgebreid met meer dan één of twee parallel geschakeld opwekkertakken met pomp. Bij bijvoorbeeld moduul 6 mogen de opwekkertakken met en zonder 3-wegregelafsluiter worden toegepast;
2. De modulen 1, 2, 13 tot en met 16 en 19 kunnen parallel geschakeld worden. Het betreft hier parallelschakeling van dezelfde modulen. Voor het parallel schakelen van verschillende opwekkermodulen geldt dat actieve modulen niet parallel geschakeld kunnen worden met passieve modulen. Modulen waarbij de volumestroom $qv5$ variabel is kunnen niet parallel geschakeld worden met modulen waarbij $qv5$ afhankelijk is van de aangesloten gebruikermodulen.

In onderstaande figuur zijn twee voorbeelden van parallelgeschakelde opwekkers in een moduul weergegeven.



Figuur 4.2.2a Parallelschakeling van meerdere opwekkers in opwekkermoduul 3 of 4 met kortgesloten verdeler/verzamelaar



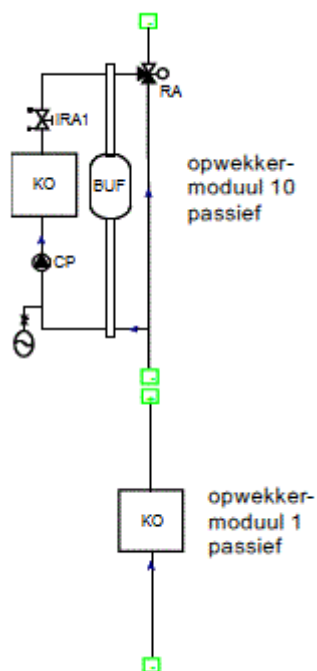
Figuur 4.2.2b Parallelschakeling van meerdere opwekkers in opwekkermoduul 16 of 17 met gescheiden verdeler/verzamelaar

4.4 SERIESCHAKELING VAN OPWEKKERMODULEN

Het in serie schakelen van modules voor opwekkers is mogelijk bij de modules 1, 3 tot en met 6, 8 tot en met 12, 15 en 16.

Tevens is het bij deze modules mogelijk om in het module zelf een tweede of derde opwekker zonder pomp in serie te schakelen met de betreffende opwekkertak.

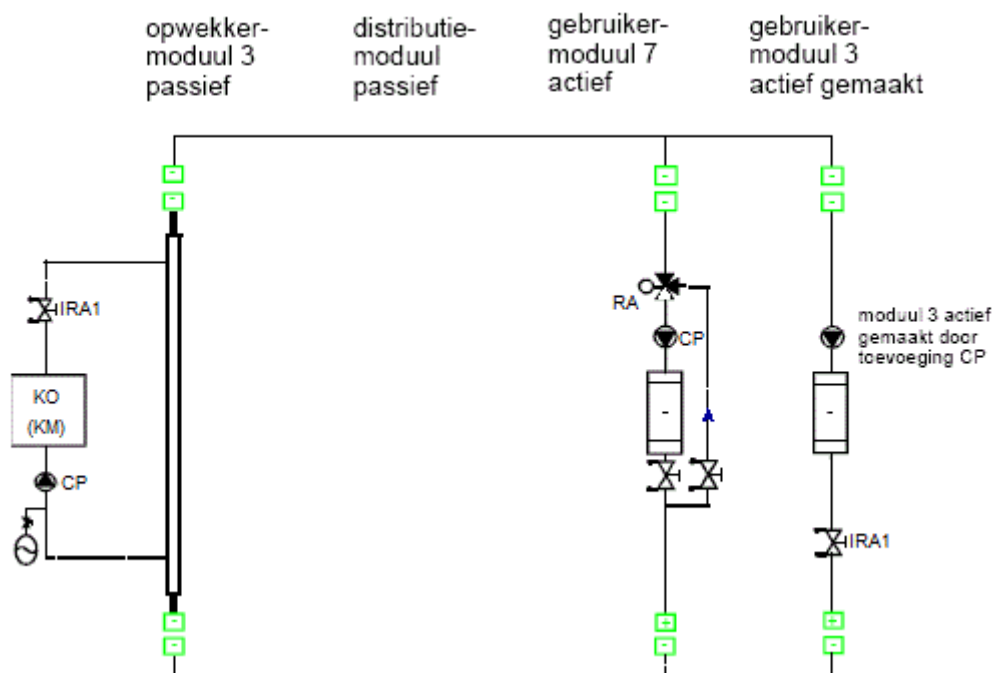
De in figuur 4.4.1 gegeven opwekkerinstallatie opgebouwd uit de twee serie geschakelde opwekkermodulen, is passief.



Figuur 4.4.1 Serieschakeling van opwekkermodulen

4.5 ACTIEF MAKEN VAN PASSIEVE GEBRUIKERMODULEN DOOR TOEVOEGING VAN EEN POMP

Het is mogelijk om passieve gebruikermodulen, in serie of parallel, actief te maken. In de gemeenschappelijke aanvoerleiding (of retourleiding) dient dan een circulatiepomp opgenomen te worden, zie figuur 4.4.2.



Figuur 4.4.2 Actief maken van een gebruikermoduul

5 VOORBEELDEN

In dit hoofdstuk zullen voorbeelden gegeven worden van het samenstellen van combinaties van met name koudeopwekkers waarbij ook de zogenaamde 'Passieve omkeer- en koppelmodulen' (zie 2.3) nodig zijn. Ook wordt de combinatie uitgewerkt waarbij een koudegebruiker tevens als koudeopwekker ingezet wordt (koelbatterij in luchtbehandelingskast die in de winter koude opwekt en in de zomer koude vraagt/gebruikt). Het gaat om de volgende voorbeelden:

5.1.	Koelmachine met één koude gebruikermoduul;
5.2.	Koelmachine met meerdere koudegebruikermodulen;
5.3.	Twee koelmachines met meerdere koudegebruikermodulen;
5.4.	Koudelevering met energieopslag en laden energieopslag met droge koeler;
5.5.	Koudegebruiker tevens als koudeopwekker toepassen;
5.6.	Koudelevering door middel van energieopslag en koelmachine;
5.7.	Koudelevering met energieopslag en laden energieopslag met omkeerbare warmtepomp voor verwarmen en koelen.

Daarnaast worden er in de laatste twee paragrafen twee voorbeelden gegeven:

5.8.	Installatie met vrije koeling zonder opslag;
5.9.	Installatie met korte termijnopslag in ijsbuffer.

Van deze laatste twee voorbeelden zijn alleen de hydraulische schema's weergegeven zonder een verdere toelichting en onderbouwing.

5.1 KOELMACHINE MET ÉÉN KOUDEGEBRUIKERMODUUL

Uitgangspunten:

- Koudelevering door middel van een koelmachine met constante volumestroom en $6/12^{\circ}\text{C}$;
- Geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast waarbij geen condensatie optreedt is gewenst;
- Korte afstanden tussen opwekker en gebruiker met bij voorkeur één circulatiepomp die zorgt voor zowel de waterstroom over de koelmachine als over de koelbatterij.

Keuze moduul voor opwekker en gebruiker

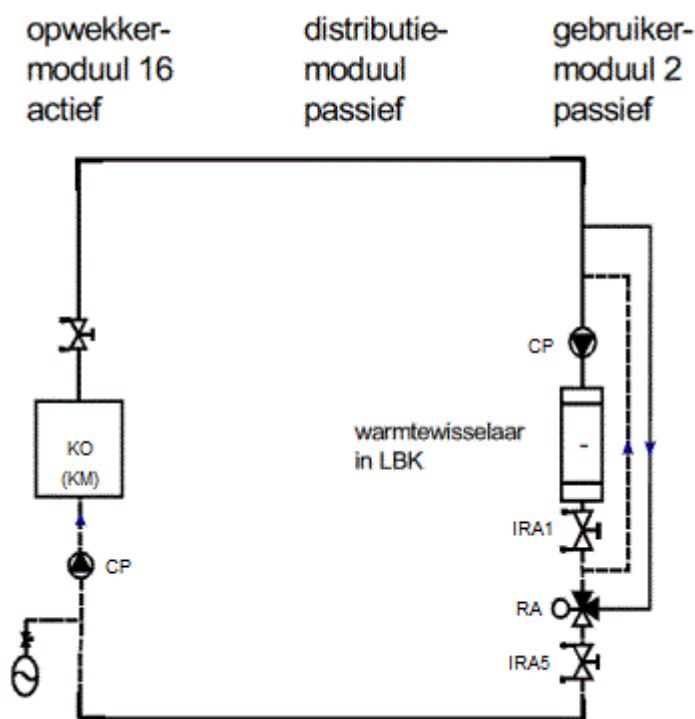
Koelmachine

Het uitgangspunt is om met één pomp het water zowel over de opwekker als over de gebruikermoduul te voeren. Voor de opwekker dient daarom een actieve moduul geselecteerd te worden (geen kortgesloten verdeler/verzamelaar). Uit het overzicht in hoofdstuk 2 blijkt dat opwekkermoduul 16 hieraan voldoet.

Warmtewisselaar in LBK – zonder condensatie

Voor de gebruiker geldt dat geen condensatie mag optreden. De aanvoertemperatuur van de koelmachine is echter 6°C . Om condensatie te voorkomen dient daarom een moduul toegepast te worden waarbij temperatuurtransformatie mogelijk is. Daarnaast geldt dat de moduul passief dient te zijn. De modulen 2 en 5 voldoen hieraan (zie tabel 3.2.2). Deze modulen hebben een eigen pomp voor het watertransport over de warmtewisselaar.

Bij moduul 5 wordt de volumestroom naar de opwekker gesmoord. Dit is niet wenselijk omdat een constante volumestroom over de verdampers van de koelmachine gewenst is. **Gebruikermoduul 2** blijft dan over als moduul die voldoet aan de genoemde eisen.



Figuur 5.1.1 Hydraulische schakeling voor een koelbatterij en een opwekker, gebaseerd op genoemde uitgangspunten

Opmerkingen bij dimensionering

1. De opvoerhoogte van de pomp van de opwekker dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Verdampers;
 - Distributieleidingen tussen opwekker en gebruiker met appendages;
 - Driewegregelklep RA bij gebruiker;
 - Inregelafsluiter IRA5 (minimaal 3 kPa).
 Zie voor de dimensionering van de driewegregelafsluiter (autoriteit) bijlage C.
2. De opvoerhoogte van de pomp van de gebruiker dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Warmtewisselaar in de LBK;
 - Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa);
 - Leidingnet met appendages.

Overige opmerkingen

Bij grotere installaties met grotere afstanden tussen opwekker en gebruiker is een variabele volumestroom van de opwekker naar de gebruiker een betere keuze. Door toepassen van frequentiegeregelde circulatiepompen is energiebesparing mogelijk (zie voorbeeld 5.3). Koelmachine hoeft geen 6°C te maken als geen condensatie gewenst is. Gebruikermodule 4 zou dan een passend alternatief zijn.

5.2 KOELMACHINE MET MEERDERE KOUDEGEBRUIKERMODULEN

Uitgangspunten:

- Koudelevering door middel van een koelmachine; met constante volumestroom en 6/12°C;
- Geen hydraulische scheiding opwekking en gebruikers d.m.v. een kortgesloten verdeler/verzamelaar. Eenvoudige (goedkope) opzet van hydraulische schakeling;
- Geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast waarbij condensatie mag optreden;
- Lokale koeling door middel van klimaatplafonds waarbij condensatie voorkomen moet worden.

Keuze moduul voor opwekker en gebruiker

Koelmachine

Het uitgangspunt is om met één pomp het water zowel over de opwekker als over de gebruikermodulen te voeren. Voor de opwekker dient daarom een actieve moduul geselecteerd te worden (geen kortgesloten verdeler/verzamelaar). Uit het overzicht in hoofdstuk 2 blijkt dat **opwekkermoduul 16** hieraan voldoet.

Warmtewisselaar in LBK

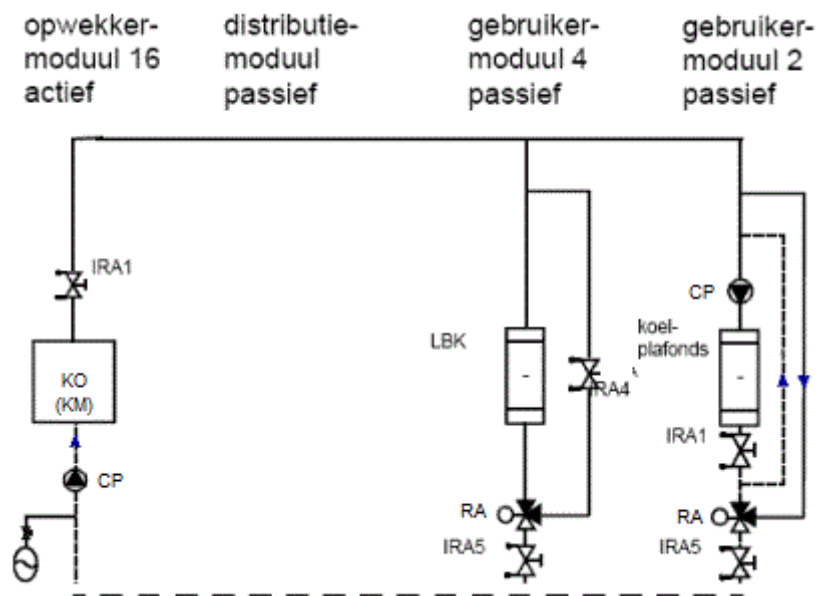
Omdat voor de opwekker een actieve moduul is geselecteerd, dient voor de gebruiker een passieve moduul gekozen te worden.

Bij de warmtewisselaar mag condensatie optreden, er zijn dus geen eisen met betrekking tot beveiliging van de intredetemperatuur. De modulen 2, 5 en 8 met temperatuurtransformatie zijn dus niet noodzakelijk. Om condensatie te realiseren moet de aanvoertemperatuur θ_2 laag blijven. De modulen 1, 5 en 7 vallen dus af. Moduul 3 is ongeregeld en dus niet gewenst. De modulen 4 en 6 blijven over. De volumestroom door de opwekker moet constant blijven, dus moet **gebruikermoduul 4** worden geselecteerd, omdat daarvan de volumestroom qv_5 constant is.

Koelplafonds

Voor de koelplafonds is een moduul gewenst met vast voormenging (temperatuurtransformatie). De modulen 2, 5 en 8 zijn hiervoor geschikt (zie tabel 3.2.2). Omdat voor de opwekker een actieve moduul is geselecteerd, dient voor de gebruiker een passieve moduul gekozen te worden. Moduul 8 is daarom niet geschikt.

Bij moduul 5 is er bij deellast sprake van een variabele volumestroom van/naar de opwekker. Dit is niet te combineren met een koelmachine waarvoor opwekkermoduul 16 toegepast wordt. **Gebruikermoduul 2** blijft dan over als meest geschikte moduul.



Figuur 5.2.1 Hydraulische schakeling voor een koelbatterij en koelplafonds en een opwekker op basis van de genoemde uitgangspunten

Opmerkingen bij dimensionering

1. De opvoerhoogte van de pomp van de opwekker dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Verdampers koelmachine;
 - Distributieleidingen tussen opwekker en gebruiker met appendages;
 - Warmtewisselaar LBK (zwaarste tak);
 - Inregelafsluiters IRA5 (minimaal 3 kPa);
 - Driewegregelklep RA bij gebruikermoduul 4.Zie voor de dimensionering van de driewegregelafsluiter (autoriteit) bijlage C.
2. De opvoerhoogte van de pomp van de gebruikermoduul dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Distributiesysteem met koelplafonds en appendages;
 - Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).

Overige opmerkingen

Bij grotere installaties met grotere afstanden tussen opwekker en gebruiker is een variabele volumestroom van de opwekker naar de gebruiker een betere keuze. Door toepassen van frequentiegeregelde circulatiepompen is energiebesparing mogelijk (zie voorbeeld 5.3).

5.3 TWEE KOELMACHINES MET MEERDERE KOUDEGEBRUIKERMODULEN

Uitgangspunten

- Koudelevering door middel van twee koelmachines met constante volumestroom en 6/12°C;
- Centraal geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast, waarbij condensatie mag optreden;
- Lokaal geregelde koeling door middel van klimaatplafonds waarbij condensatie voorkomen moet worden;
- Distributie door middel van een toerengeregelde circulatiepomp.

Keuze moduul voor opwekker en gebruiker

Koelmachine

Voor de koelmachine is een constante volumestroom over de verdamper gewenst. De distributie naar de gebruikers vindt plaats door middel van een toerengeregelde circulatiepomp. Dit betekent dat voor de opwekker een passieve moduul geselecteerd dient te worden, waarbij het circuit over de verdamper gescheiden dient te worden van het distributiecircuit. Uit het overzicht in hoofdstuk 2 blijkt dat de modulen 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12 en 14 hieraan voldoen. Aangezien er geen aanvullende eisen gesteld worden met betrekking tot (de regeling/beveiliging van) de intredetemperatuur, de uittredetemperatuur of de aanvoertemperatuur naar de gebruikers, is het toepassen van een temperatuur gelaagd buffer of een drieweg regelklep niet noodzakelijk (zie tabel 3.3.3).

De modulen 6, 8, 9, 10, 11, 12 en 14 zijn daarom niet noodzakelijk. Voor twee koelmachines blijft **opwekkermoduul 4 over als meest geschikte moduul.**

Warmtewisselaar in LBK

Aangezien bij deze warmtewisselaar condensatie mag optreden zijn er geen eisen met betrekking tot beveiliging van de intredetemperatuur (zie tabel 3.2.2). De modulen 2, 5 en 8 zijn dus niet noodzakelijk. Omdat een actieve distributiemoduul wordt toegepast (toerengeregelde circulatiepomp, dient de voor de gebruiker een passieve moduul gekozen te worden. De modulen 1, 4 en 6 zijn dus mogelijk (moduul 3 is ongeregeld en dus niet gewenst). Om de schakeling zo eenvoudig mogelijk te houden zijn de modulen 4 en 6 het meest geschikt.

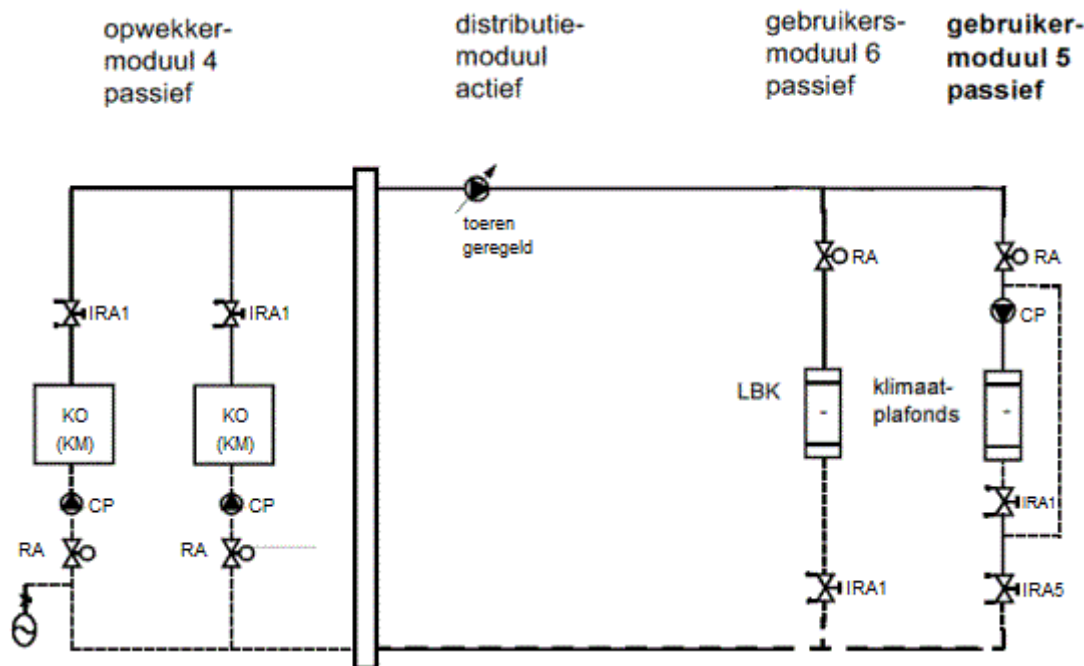
In combinatie met een toerengeregelde circulatiepomp is alleen moduul 6 geschikt en valt moduul 4 af. **Gebruikermoduul 6** blijft dan over als meest geschikte moduul.

Koelplafonds

Voor de koelplafonds is een moduul gewenst met vast voormenging. De modulen 2, 5 en 8 zijn hiervoor geschikt, zie tabel 3.2.2.

Omdat een actieve distributiemoduul wordt toegepast, dient voor de gebruiker een passieve moduul gekozen te worden. Moduul 8 is daarom niet geschikt.

Alleen moduul 5 is geschikt in verband met de variabele volumestroom bij deellast. **Gebruikermoduul 5** blijft over als meest geschikte moduul.



Figuur 5.3 Hydraulische schakeling met meerdere opwekkers en gebruikermodulen

Opmerkingen bij dimensionering

1. De opvoerhoogte van de pompen van de opwekkers dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Verdampers koelmachine;
 - Distributieleidingen tussen opwekker en verdeler met appendages;
 - Inregelafsluiters IRA1 (minimaal 3 kPa).
2. De opvoerhoogte van de distributiepomp dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Warmtewisselaar in LBK;
 - Tweewegregelafsluiter RA gebruikermoduul 6;
 - Distributieleidingen tussen verdeler en de gebruiker LBK met appendages;
 - Inregelafsluiters IRA1 (minimaal 3 kPa).

Zie voor de dimensionering van de tweewegregelkleppen (autoriteit) bijlage C.
3. De opvoerhoogte van de pomp van gebruikermoduul 5 dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de lus van pers- naar zuigzijde met daarin de volgende componenten:
 - Distributiesysteem met koelplafonds en appendages;
 - Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).

Overige opmerkingen

Als alternatief voor de motorbediende afsluiters bij de koelmachines kan ook gekozen worden voor terugslagkleppen (bij kleinere systemen waarbij motorbediende kleppen mogelijk te hoge kosten opleveren).

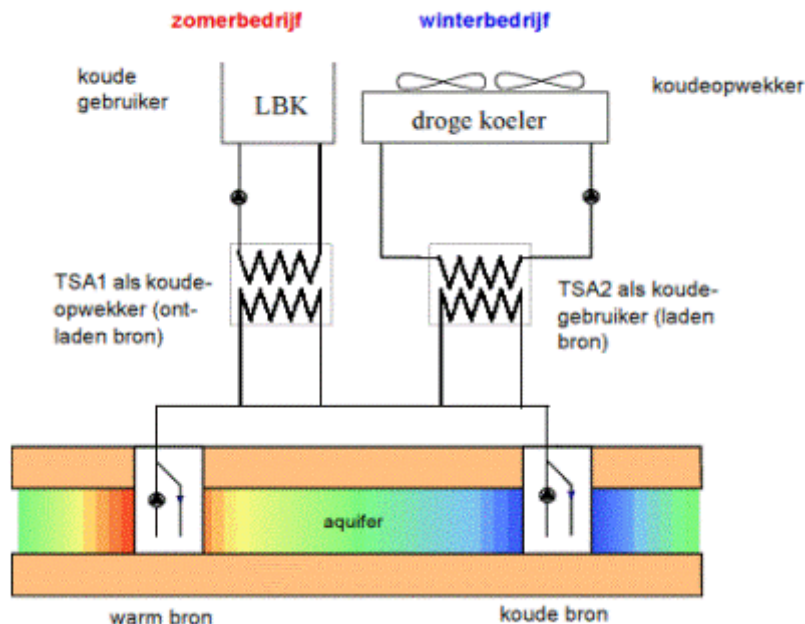
Voor de goede werking van de koelmachines is een minimaal benodigde systeeminhoud vereist aan de opwekkingszijde (opwekkingmoduul 4), zie bijlage B voor een seriegeschakelde buffer in de retour van de opwekkers.

5.4 KOUDELEVERING MET ENERGIEOPSLAG EN LADEN ENERGIEOPSLAG MET DROGE KOELER

Uitgangspunten

- Koudelevering door middel van energieopslag;
- Geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast, waarbij het mogelijk is dat de ventilatielucht condenseert. Uitgangspunt is dat er 100% buitenlucht in de LBK gekoeld moet worden tot ca. 16°C;
- Koude laden met een droge koeler bij lage buitentemperatuur (< ca. 5°C);

- Er is **geen** sprake van gelijktijdig koude leveren aan het gebouw en koude laden door middel van de droge koeler;
- Variant 1B in ISSO-publicatie 39. In de figuur is deze variant weergegeven.



Figuur 5.4.1 Principe tekening koudeopslag met LBK als gebruiker en droge koeler voor laden koude bron

Keuze moduul voor opwekker en gebruiker

Warmtewisselaar in LBK

Bij het toepassen van energieopslag is het gewenst dat de volumestroom van/naar de opwekker bij deellast lager worden en de delta T zo hoog mogelijk is. Om dit te bewerkstelligen worden in tabel 3.2.3 voor de warmtewisselaar (koelbatterij) in de LBK de gebruikersmodulen 5,6,7 en 8 voorgesteld. Bij de modulen 5 en 8 is er de mogelijkheid om een vaste voormenging te realiseren om zodoende condensatie te voorkomen. In deze situatie is dit niet nodig; condensatie mag optreden. Het nadeel van gebruikermoduul 7 is dat er een circulatiepomp toegepast wordt bij de koelbatterij met een constant debiet. Daarom heeft voor de gebruikers **gebruikermoduul 6** de voorkeur (passief).

Langetermijnopslag in aquifer

Uit het overzicht in tabel 3.3.1 blijkt dat voor energieopslag de opwekkersmodulen 1,7,13,15 en 16 toegepast kunnen worden. Het is niet noodzakelijk om de aanvoertemperatuur naar de gebruikers te regelen door middel van de hydraulische schakeling. De modulen 13 en 15 hebben daarom niet de voorkeur. Daarnaast is het ook niet noodzakelijk dat de opwekker een eigen circulatiepomp heeft. De modulen 7 en 16 vallen daarom ook af. **Opwekkersmoduul 1** blijft over. Dit is een passieve moduul.

Distributiemoduul

Zowel gebruikersmoduul 6 als moduul 1 voor de opwekker is een passieve moduul. Deze passieve modulen moeten gekoppeld worden door een actieve distributiemoduul.

Keuze moduul voor koude laden

Droge koeler

Bij het koude laden met de droge koeler, is de droge koeler de koudeopwekker. De energieopslag 'vraagt' de koude en is daarmee gedefinieerd als koudegebruiker (TSA2).

Voor de droge koeler kunnen de modulen 6,12,13,14,16 en 19 toegepast worden om zodanig een constante aanvoertemperatuur naar de gebruiker (de koudeopslag) te verzorgen, zie tabel 3.3.3. Een passieve moduul (circuit met eigen circulatiepomp losgekoppeld van de gebruiker) is niet noodzakelijk. De modulen 6, 12, 13 en 14 hebben daarom niet de voorkeur.

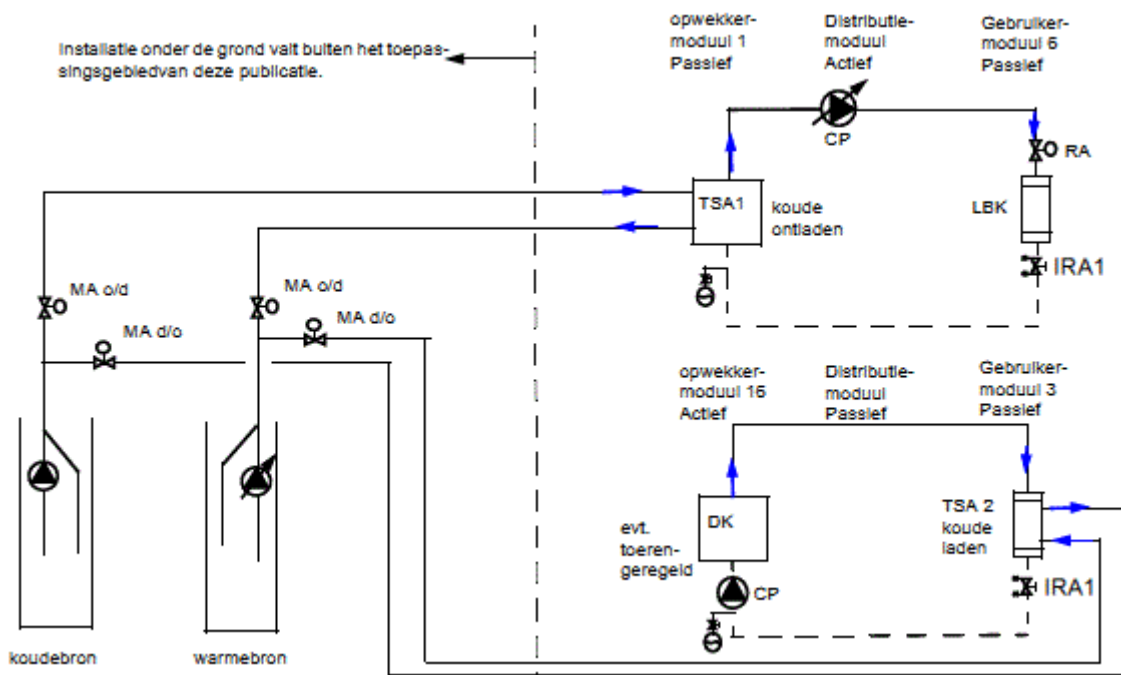
Moduul 13 zal gecombineerd moeten worden met een distributie- of gebruikermoduul met een toerengeregelde circulatiepomp. Ook dit heeft niet de voorkeur (is niet noodzakelijk). De eenvoudigste moduul die overblijft is **opwekkersmoduul 16**.

Koude laden in langetermijnopslag in aquifer

De koude die door de droge koeler wordt geleverd heeft een bepaalde aanvoertemperatuur die niet gemengd mag worden (dit geldt voor zowel de intrede als voor de uitrede). Voor de gebruiker (warmtewisselaar voor de energieopslag TSA2) zijn zodoende alleen de modulen 3 en 6 geschikt (zie tabel 3.2.1). Bij moduul 6 wordt de hoeveelheid door de warmtewisselaar van de energieopslag verlaagd. Dit is niet nodig omdat de volumestroom van de droge koeler (met een bepaalde gewenste temperatuur) geheel door de warmtewisselaar dient te stromen om zodoende al de koude van de droge koeler in de energieopslag te laden. **Gebruikermoduul 3 is dus de meest geschikte moduul voor het koude laden.**

Distributiemoduul

Het opwekkermoduul 16 is actief en het gebruikermoduul 3 is passief. Het bijbehorende distributiemoduul dient dus passief te zijn.



Figuur 5.4.2 Hydraulische schakeling met LBK en koudeopslag met droge koeling

Opmerkingen bij dimensionering

1. De opvoerhoogte van de toerengeregelde distributiepomp dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten in de lus van pers naar zuigzijde:
 - TSA1 energieopslag ontladen;
 - Distributieleidingen van opwekker naar gebruiker, inclusief appendages;
 - Tweewegregelafsluiter RA moduul 6;
 - Warmtewisselaar in LBK;
 - Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).Het totale drukverlies van het circuit dat door de RA van gebruikermoduul 6 wordt beïnvloed, kan relatief groot zijn. Om de RA voldoende autoriteit te geven zal een afsluiter geselecteerd dienen te worden met een grote weerstand en dus een lage kvs-waarde (zie ook bijlage C voor dimensionering componenten).
2. De opvoerhoogte van de pomp van de opwekkermoduul 16 dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten in de lus van pers naar zuigzijde:
 - Droge koeler;
 - Distributieleidingen van opwekker naar gebruiker, inclusief appendages;
 - TSA energieopslag laden;
 - Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).

Overige opmerkingen

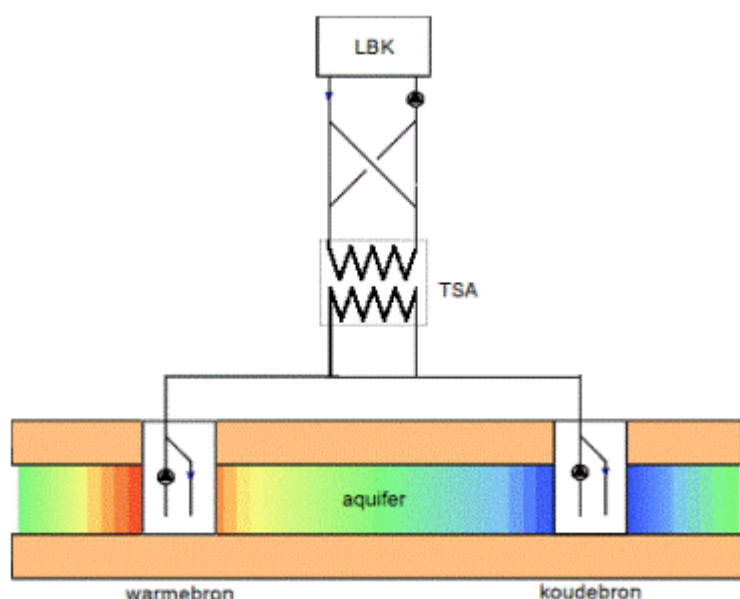
- Bij het koude laden wordt door middel van een toerengeregelde bronpomp gezorgd dat er grondwater met de gewenste temperatuur in de koude bron geladen wordt;
- Het is mogelijk om de circulatiepomp in opwekkermoduul 16 frequentiegeregeld te maken. Er kan dan bij een hogere buitentemperatuur gestart worden met koude laden. Door de volumestroom

door de droge koeler te verlagen (tot ca. 25%) zal bij een bepaalde buitentemperatuur de gewenste uittredetemperatuur bereikt worden. Bij een constante volumestroom zal de gewenste uittredetemperatuur pas bij een lagere buitentemperatuur gerealiseerd kunnen worden.

5.5 KOUDEGEBRUIKER TEVENS ALS KOUDEOPWEKKER TOEPASSEN

Uitgangspunten

- Koudelevering door middel van energieopslag;
- Geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast waarbij het mogelijk is dat de ventilatielucht condenseert. Uitgangspunt is dat er 100% buitenlucht in de LBK gekoeld moet worden tot ca. 16°C;
- Koude laden met een koelbatterij die in de zomer voor koeling van de ventilatielucht wordt gebruikt bij lage buitentemperatuur (< ca. 5°C);
- Er is geen sprake van gelijktijdig koude leveren aan het gebouw en koude laden door middel van de warmtewisselaar in de LBK;
- Variant 1A in ISSO-publicatie 39. In de figuur is deze variant weergegeven.



Figuur 5.5.1 Principe tekening waarbij de warmtewisselaar in de LBK koudegebruiker en tevens koude opwekker is

Keuze moduul voor opwekker en gebruiker

Warmtewisselaar in LBK (koude gebruiker voor koude ontladen en koudeopwekker)

Bij het toepassen van energieopslag is het gewenst dat de volumestroom van/naar de opwekker (TSA) bij deellast lager wordt en de delta T zo hoog mogelijk is. Om dit te bewerkstelligen worden in tabel 3.2.3 voor de warmtewisselaar (koelbatterij) in de LBK de gebruikersmodulen 5,6,7 en 8 voorgesteld. In de winter wordt de koelbatterij ingezet als koudeopwekker. De opwekkersmodulen die hiervoor in tabel 3.3.3 voorgesteld worden dienen daarom overeen te komen met de gebruikersmodulen die in tabel 3.2.3 voorgesteld worden. In onderstaand overzicht is dit weergegeven.

Gebruikersmodulen voor warmtewisselaar in LBK bij toepassing van energieopslag (zie tabel 3.2.3)	5	6	7	8
Komt overeen met opwekkersmodulen	14	13	19	-
Ook voorgeschreven als opwekkersmoduul voor koude laden (zie tabel 3.3.3)	ja	ja	ja	nee

Uit het overzicht blijkt dus dat als de warmtewisselaar in de LBK gebruikt wordt voor zowel koelen van ventilatielucht als voor koude laden, de gebruikersmodulen 5, 6 en 7 geschikt zijn. Het nadeel van gebruikersmoduul 7 is dat er een circulatiepomp toegepast wordt bij de koelbatterij met een constant debiet en een relatief grote weerstand (gehele circuit van opwekker en gebruiker). Energetisch is dit niet optimaal. Moduul 6 levert een variabele volumestroom door de

warmtewisselaar met gevaar voor bevriezing. Daarom heeft voor de gebruiker **gebruikermoduul 5** de voorkeur.

Lange termijn opslag in aquifers (TSA) (koudeopwekker en koudegebruiker voor het koude laden)

Uit het overzicht in tabel 3.3.1 blijkt dat voor energieopslag de opwekkersmodulen 1,7,13,15 en 16 toegepast kunnen worden.

Opwekkersmodulen voor (zie tabel 3.3.1)	1	7	13	15	16
Komt overeen met gebruikersmodulen	3	-	6	4	-
Ook voorgeschreven als gebruikersmoduul voor koude laden (zie tabel 3.2.1)	ja	nee	ja	nee	nee

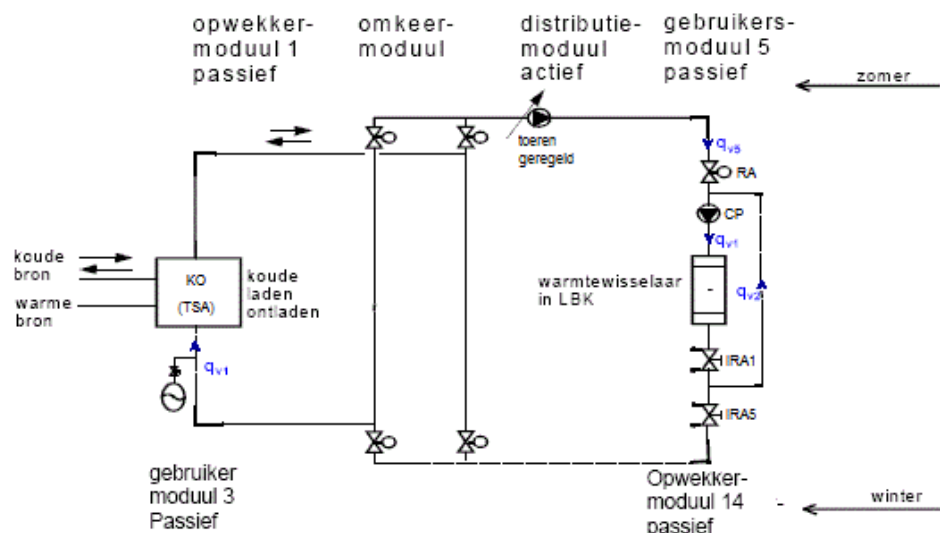
Uit het overzicht blijkt dus dat als de energieopslag gebruikt wordt als koudeopwekker en als koudegebruiker, de opwekkersmodulen 1 en 13 geschikt zijn. Aangezien het niet noodzakelijk is om de aanvoertemperatuur naar de gebruikers te regelen door middel van de hydraulische schakeling heeft moduul 13 niet de voorkeur en blijft **opwekkersmoduul 1** over.

Distributiemoduul

Zowel gebruikersmoduul 5 als moduul 1 voor de opwekker is een passieve moduul. Deze passieve modulen moeten gekoppeld worden door een actieve distributiemoduul.

Omkeermoduul

Bij de hydraulische schakeling zoals deze nu is opgebouwd (zonder omkeermoduul), is de stromingsrichting van het gekoeldwater in de warmtewisselaar (TSA) in de winter en de zomer altijd hetzelfde. De stromingsrichting van het grondwater is echter in de zomer de andere kant op dan in de winter. Het is echter gewenst dat te allen tijde er tegenstroom gecreëerd wordt in de warmtewisselaar. Dit betekent dat de stromingsrichting van het gekoeld water omgekeerd dient te kunnen worden. Hiervoor wordt een passieve omkeermoduul toegepast. In de figuur is de omkeermoduul in de installatie tussengevoegd.



Figuur 5.5.2 Hydraulische schakeling waarbij koude gebruikermoduul 5 tevens koude opwekkersmoduul 14 is. De passieve omkeermoduul zorgt voor tegenstroom in de TSA in zomer- en wintersituatie

Opmerkingen bij dimensionering

1. De opvoerhoogte van de toerengeregelde distributiepomp dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten in de lus van pers naar zuigzijde:
 - TSA (situatie energieopslag ontladen);
 - Omkeermoduul (2x motorafsluiter);
 - Distributieleidingen van opwekker naar gebruikermoduul, inclusief appendages;
 - Tweewegregelafsluiter RA moduul 5;
 - Inregelafsluiter IRA5 (minimaal 3 kPa).

Totale weerstand van het circuit dat door RA (bij gebruikermoduul 5) wordt beïnvloed, kan relatief groot zijn. Om RA voldoende autoriteit te geven zal een klep geselecteerd dienen te worden met een grote weerstand en dus een lage k-vs waarde (zie ook bijlage C voor dimensionering componenten);

2. De opvoerhoogte van de pomp van de gebruiker dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten in de lus van pers- naar zuigzijde:
 - Warmtewisselaar in de LBK;
 - Leidingwerk met appendages;
 - Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).

Als uit de selectie van de pomp van de gebruiker blijkt dat de opvoerhoogte te groot is dient dit teveel gesmoord te worden door middel van IRA1.

Overige opmerkingen

Voor de warmtewisselaar in de LBK die voor koude laden wordt gebruikt heeft het moduul met een circulatiepomp met een constante volumestroom over de warmtewisselaar de voorkeur. Met deze moduul is de kans op bevriezing van de circuits in de warmtewisselaar kleiner. De hoeveelheid koude die uit de ventilatielucht onttrokken kan worden is echter minder dan bij een moduul zonder circulatiepomp. Dit komt doordat de aanvoertemperatuur naar de batterij bij deellast lager wordt (door menging). De ventilatielucht kan hierdoor minder ver voorverwarmd worden en er wordt dus minder koude uit de ventilatielucht onttrokken.

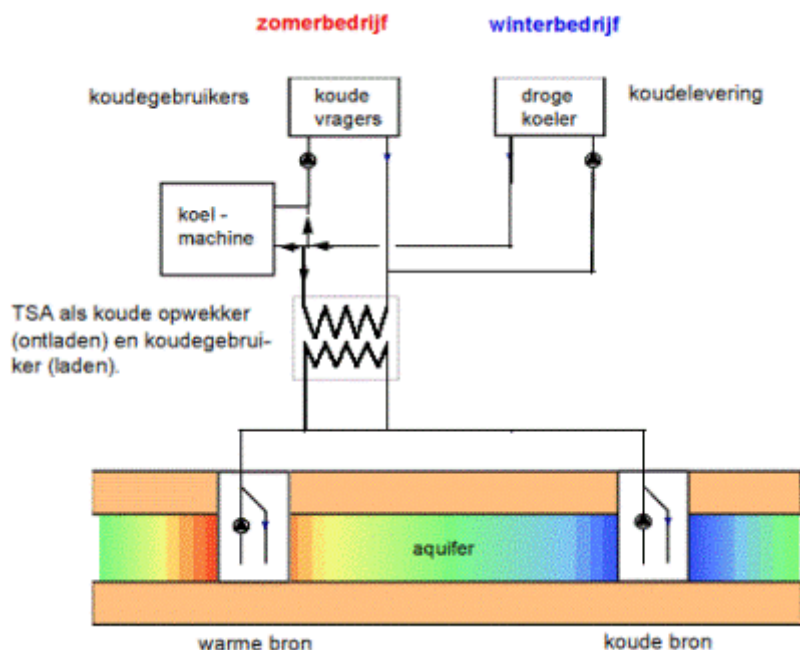
Ook de volgende beveiligingen tegen bevriezing zijn mogelijk:

1. Bij een variabele volumestroom is het mogelijk dat de verdeling van het water over de circuits in de warmtewisselaar niet gelijkmatig is. Hierdoor kan plaatselijk bevriezing optreden. Het ontwerp van de warmtewisselaar is daarom een aandachtspunt. De verschillende circuits in de warmtewisselaar dienen bijvoorbeeld zoveel mogelijk identiek te zijn om een gelijkmatige temperatuurverdeling te krijgen.
2. Bevriezing is te voorkomen door de aanvoertemperatuur van het gekoeld-water naar de warmtewisselaar te verhogen. Dit kan door middel van warmte uit de CV-installatie of doormiddel van warmte uit de retourlucht van de luchtbehandelingsinstallatie.
3. Een andere manier om bevriezing te voorkomen is het verhogen van de temperatuur van de ingaande ventilatielucht. Dit is mogelijk door recirculatie van retourlucht of door de ventilatielucht eerst voor te verwarmen tot ca. 0°C door warmteterugwinning of door CV-warmte (middels een verwarmingsbatterij). Nadeel van deze beveiliging is dat de hoeveelheid koude die geladen kan worden, minder is.
4. Er zijn warmtewisselaars die een extra beveiliging hebben tegen bevriezing (Thermoguard). Als er, om welke reden dan ook, toch bevriezing optreedt in een warmtewisselaar, zorgt deze beveiliging ervoor dat de warmtewisselaar niet kapot gaat. Als deze situatie optreedt zal de warmtewisselaar eerst ontdooid dienen te worden alvorens het koude laden weer op te starten.

5.6 KOUDELEVERING DOOR MIDDEL VAN ENERGIEOPSLAG EN KOELMACHINE

Uitgangspunten

- Koudelevering door middel van energieopslag en een koelmachine;
- Centraal geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast waarbij het mogelijk is dat de ventilatielucht condenseert. Uitgangspunt is dat er 100% buitenlucht in de LBK gekoeld moet worden tot ca. 16°C;
- Lokaal geregelde koeling door middel van inductie- apparaten waarbij geen condensatie mag optreden;
- Koude laden met een droge koeler bij lage buitentemperatuur (< ca. 5°C) en eventueel gelijktijdig koudelevering aan de koudegebruikers in het gebouw. Dit als alternatief voor het koude laden met de warmtewisselaar voor koelen van ventilatielucht in de LBK. Bijvoorbeeld omdat deze warmtewisselaar niet op de gewenste plaats staat in de LBK (na warmtewisselaar voor verwarmen);
- Er is sprake van **gelijktijdig** koude leveren aan het gebouw en koude laden.



Figuur 5.6.1 Principetekening voor meerdere koude opwekkers in de vorm van een koelmachine en een TSA voor koudeopslag laden en onladen, dus als gebruiker en opwekker voor de installatie boven de grond

Keuze moduul voor opwekker en gebruiker

Warmtewisselaar in LBK (gebruiker)

Bij het toepassen van energieopslag is het gewenst dat de volumestroom van/naar de opwekker bij deellast lager worden en de ΔT ($\theta_1 - \theta_4$) zo groot mogelijk is. Om dit te bewerkstelligen worden in tabel 3.2.3 voor de warmtewisselaar (koelbatterij) in de LBK de gebruikermodulen 5,6,7 en 8 voorgesteld. Bij de modulen 5 en 8 is er de mogelijkheid om een vaste voormenging te realiseren om zodoende condensatie te voorkomen. In deze situatie is dit niet nodig; condensatie mag optreden. Het nadeel van gebruikermoduul 7 is dat er een circulatiepomp toegepast wordt bij de koelbatterij met een constant debiet en een relatief groot drukverlies (gehele circuit van opwekker en gebruiker). Dit geeft een relatief hoog verbruik van pompenergie. Energetisch is dit dus niet optimaal. Daarom heeft **gebruikermoduul 6** de voorkeur (Passief).

Inductie-apparaten (gebruiker)

Ook bij de inductie-apparaten geldt de algemene opmerking uit tabel 3.2.3 met betrekking tot het toepassen van energieopslag (bij deellast volumestroom lager en ΔT ($\theta_1 - \theta_4$) zo groot mogelijk). De gebruikermodulen 5,6,7 en 8 zijn hiervoor geschikt. Daarnaast is in tabel 3.2.1 aangegeven dat gezien de kleine ΔT in relatie met de (na)regeling, de modulen 1,2,3,5,7 en 8 geschikt zijn. Ook geldt bij de inductie-apparaten de voorwaarde dat er geen condensatie mag optreden. Er is dus onafhankelijkheid gewenst van de aangeboden temperatuur van het gekoeldwater vanuit de koudeopwekker. Hiervoor zijn de modulen 2, 5 en 8 geschikt, zie tabel 3.2.2. Door de genoemde voorwaarden blijven de gebruikermodulen 5 en 8 over. Moduul 8 is een actieve moduul. Drukvariatie in het transportnet is bij deze moduul van invloed op het regelgedrag van het moduul. Daarnaast mag het drukverlies in het variabele deel (qv_5) maar ca. 10% van de opvoerhoogte van de pomp in het moduul zijn. In dit voorbeeld zou dit betekenen dat het drukverlies van de gebruiker zeer groot moet zijn. Om deze redenen wordt gekozen voor **gebruikermoduul 5** (Passief).

Lange termijn opslag in aquifer TSA (opwekker)

Uit het overzicht in tabel 3.3.1 blijkt dat voor energieopslag de opwekkersmodulen 1,7,13,15 en 16 toegepast kunnen worden. De energieopslag dient in serie toegepast te worden met een moduul voor de koelmachine. De modulen 7 en 13 zijn niet geschikt voor serieschakeling met de andere modulen. Moduul 16 is niet geschikt omdat zal blijken dat de gebruikermodulen actief gemaakt worden (zie figuur 5.6.2). Moduul 15 is niet geschikt omdat regeling van een hogere uitgaande temperatuur van de opwekker niet nodig is. **Opwekkersmoduul 1** blijft zodoende over.

Koelmachine (opwekker)

Door middel van de opslag wordt het gekoeldwater gekoeld tot een temperatuur die afhankelijk is van de temperatuur van het grondwater in de koude bron. De temperatuur naar de koelmachine is dus niet constant. Onafhankelijk daarvan is een bepaalde aanvoertemperatuur nodig naar de gebruikers. Volgens tabel 3.3.3 zijn de modulen 6, 8,11 en 12 hiervoor geschikt. Twee van deze modulen zijn uitgevoerd met een gelaagde buffer (11 en 12). Een gelaagde buffer zou gewenst zijn bij een situatie waarbij er een koelmachine toegepast wordt met een regeling in stappen en de variatie van de aanvoertemperatuur beperkt mag zijn (zie tabel 3.3.3). In dit voorbeeld is dit niet

het geval zodat alleen de modulen 6 en 8 overblijven. Opwekkermodule 6 is de eenvoudigste uitvoering en heeft daarom de voorkeur.

Distributiemodule

De opwekkersmodules zijn passief. De gebruikersmodules worden actief gemaakt door een circulatiepomp in de module toe te passen. Tussen de passieve opwekkermodule en de actief gemaakte gebruikersmodules dient een passieve distributiemodule toegepast te worden.

Keuze module voor koude laden

Het uitgangspunt voor het koude laden is dat het mogelijk moet zijn om tijdens het koude laden ook koude te leveren aan bijvoorbeeld de inductie-apparaten die toegepast worden in ruimten met een hoge interne warmtelast. Aangezien de koude bron van de opslag geladen wordt, kan hieruit niet gelijktijdig koude onttrokken worden voor levering aan de inductie-apparaten. De koude dient daarom geleverd te worden door de koelmachine of door de droge koeler. De droge koeler levert koude ten behoeve van het koude laden. Het heeft de voorkeur dat de droge koeler daarnaast ook de koude voor de andere gebruikers levert (vrije koeling).

Droge koeler

Bij het koude laden met de droge koeler, is de droge koeler de koudeopwekker. De energieopslag TSA 'vraagt' de koude en is daarmee gedefinieerd als koude gebruiker.

Voor de droge koeler kunnen de modules 6,12,13,14,16 en 19 toegepast worden, zie tabel 3.3.3. Omdat de droge koeler ook koude levert aan de andere gebruikers (vrije koeling) wordt deze parallel aan de koelmachines geschakeld (opwekker module 6). Uit paragraaf 4.3 blijkt dat parallelschakeling van module 6 met andere modules niet mogelijk is. Wel is het mogelijk om twee opwekkertakken binnen een module parallel te schakelen. Dit heeft als gevolg dat voor de droge koeler **opwekkermodule 6** toegepast wordt met twee parallel geschakelde opwekkertakken een voor de koelmachine en een voor de droge koeler.

Koude laden in langetermijnopslag in aquifer

Bij het koude laden mag de aanvoertemperatuur naar de warmtewisselaar TSA (scheiding tussen grondwater- en gebouw-circuit) niet gemengd worden met warm water dat retour gaat naar de droge koelers. Daarnaast is het ook niet de bedoeling dat er koud water van de aanvoer om de warmtewisselaar heen gevoerd wordt. Er dient zoveel mogelijk koude door de warmtewisselaar gevoerd te worden ten behoeve van het koude laden. De gebruikersmodules 3 en 6 voldoen hieraan. De hoeveelheid koude die vanaf de verdeler/verzamelaar van de droge koeler naar de warmtewisselaar TSA van de opslag gevoerd dient te worden, dient geregeld te kunnen worden. Dit is mogelijk door **gebruikermodule 3** actief te maken met een toerengeregeld circulatiepomp. Gebruikermodule 3 is hetzelfde als opwekkermodule 1.

Distributiemodule

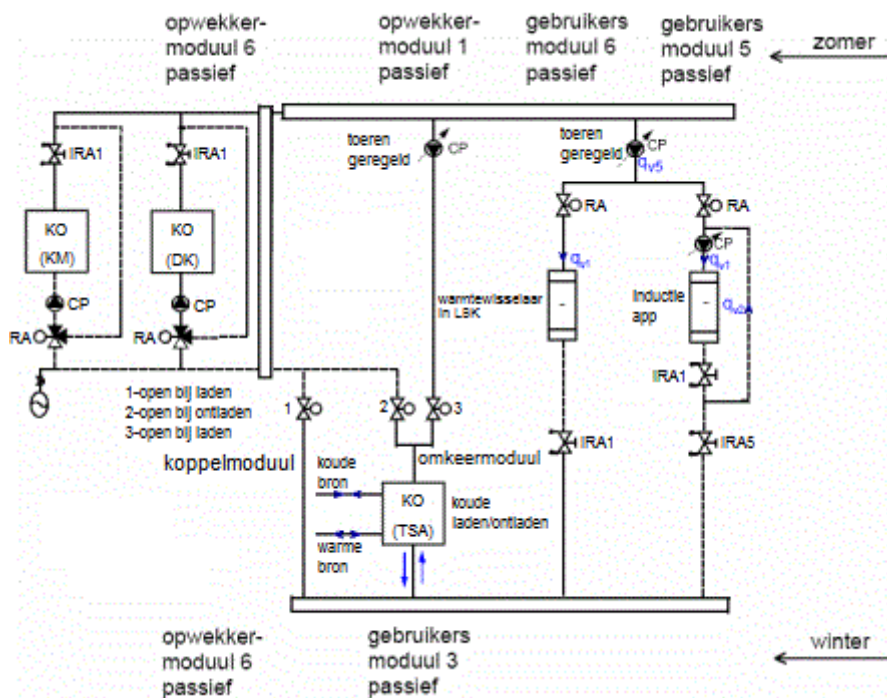
Gebruikermodule 3 is passief en opwekkermodule 6 is passief. De gebruikermodule 3 wordt actief gemaakt door een (toerengeregelde) circulatiepomp toe te passen. Doordat de gebruikersmodules actief zijn gemaakt, is een passieve distributiemodule als koppeling tussen opwekkersmodules en gebruikersmodules.

Omkeermodule

Om de juiste stromingsrichting in de warmtewisselaar van de opslag te creëren en om geen vermenging van koude en warme stromingen te krijgen, wordt een koppelmodule toegepast. In het schema is dit weergegeven.

Koppelmodule

Het koppelmodule is nodig als retour naar de koude opwekkers als de TSA wordt geladen door de droge koeler.



Figuur 5.6.2 Hydraulische schakeling waarbij de gebruikermodulen van koude worden voorzien d.m.v. langetermijn koudeopslag, aangevuld met een koelmachine. De warmtewisselaar TSA heeft een hybride karakter gebruiker en opwekker voor het laden en ontladen van de koude bron. De droge koeler kan zowel koude laden alsmede de inductieapparaten en warmtewisselaar in de LBK van koude voorzien

Opmerkingen bij dimensionering

1. De opvoerhoogte van de toerengeregelde distributiepomp CP van de gebruikermodulen 5 en 6 dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten (er vanuit gaand dat het circuit van de warmtewisselaar in de LBK (moduul 6) het grootste drukverlies heeft):

- TSA energieopslag ontladen;
- Distributieleidingen van opwekker naar gebruiker, inclusief appendages;
- Tweewegregelafsluiter RA;
- Warmtewisselaar in LBK;
- Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).

Het drukverlies van het circuit dat door RA (bij gebruikermoduul 6) wordt beïnvloed, kan relatief groot zijn. Om RA voldoende autoriteit te geven zal een afsluiter geselecteerd dienen te worden met een grote weerstand en dus een lage kvs-waarde, zie bijlage C;

2. De opvoerhoogte van de pomp CP van de gebruiker (moduul 5) dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten in de lus van pers- naar zuigzijde:

- Distributiesysteem met de inductie apparaten, inclusief appendages;
- Inregelafsluiter IRA1 (minimaal 3 kPa).

Het realiseren van de ontwerpaanvoertemperatuur θ_2 naar de inductie-unitis d.m.v. temperatuurtransformatie geschiedt met de inregelafsluiters IRA1 en IRA5 van gebruikermoduul 5;

3. De opvoerhoogte van de toerengeregelde pomp CP voor het koude laden dient gelijk te zijn aan het drukverlies van de volgende componenten in de lus van pers- naar zuigzijde

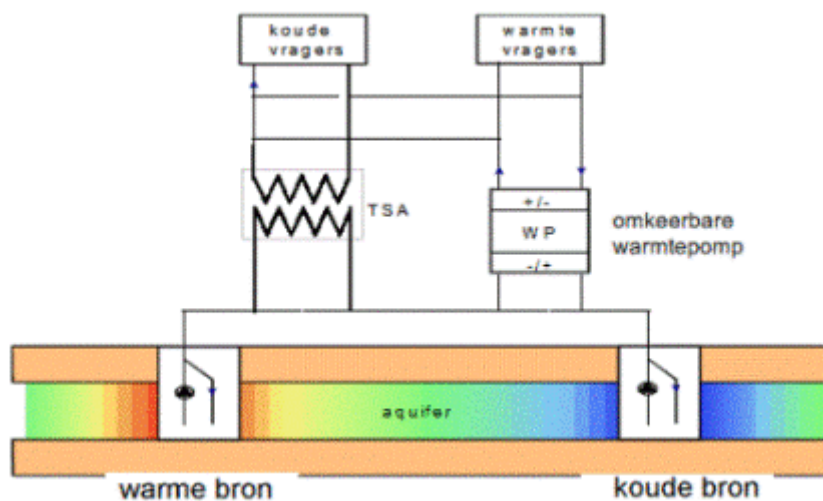
- TSA (situatie energieopslag laden);
- Distributieleidingen van opwekker naar gebruiker (TSA), inclusief appendages;
- Tweewegregelafsluiter RA van omkeermodule.

5.7 KOUDELEVERING MET ENERGIEOPSLAG EN LADEN ENERGIEOPSLAG MET OMKEERBARE WARMTEPOMP VOOR VERWARMEN EN KOELEN

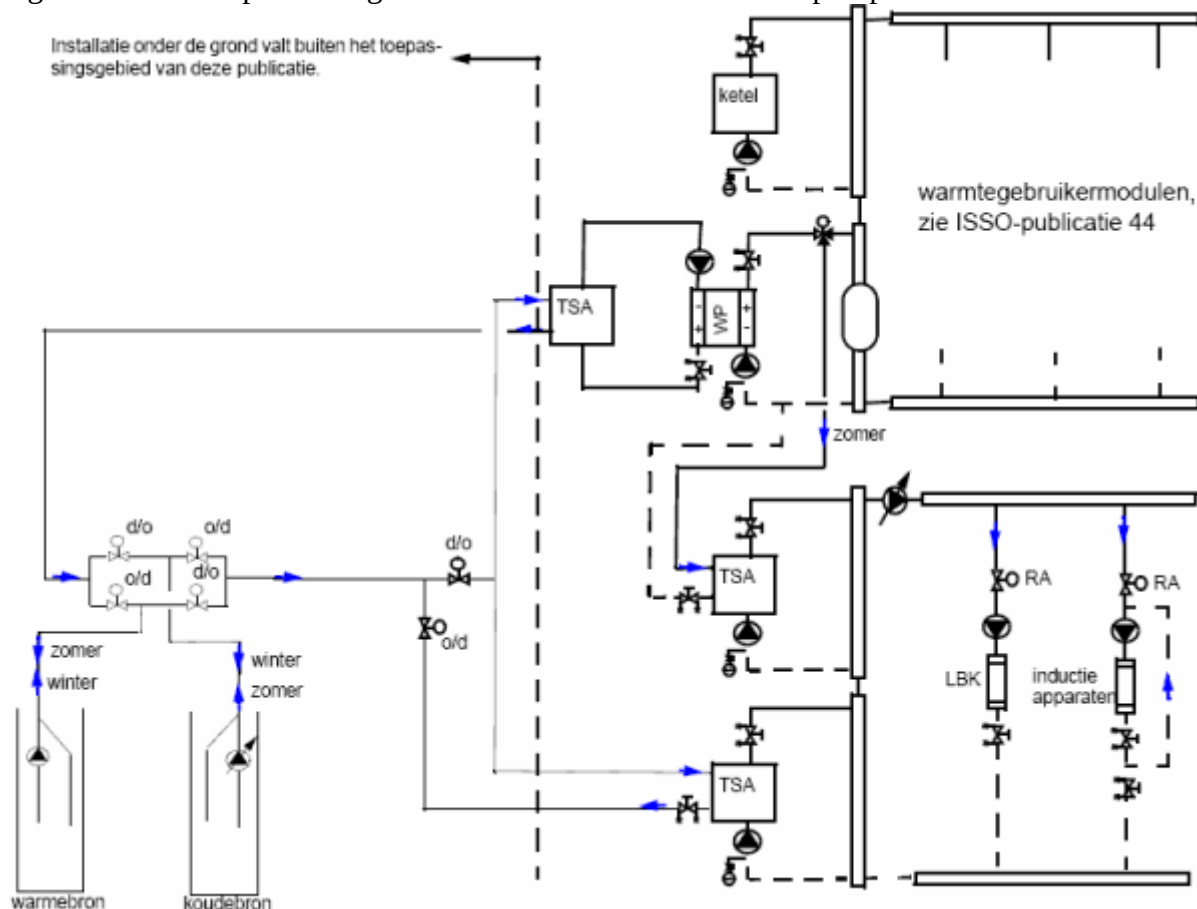
Uitgangspunten

- Koudelevering door middel van energieopslag en omkeerbare warmtepomp;
- Warmtelevering met warmtepomp en eventueel aanvullende opwekker;

- Laden en ontladen van de bron met omkeerbare warmtepomp;
- Geregelde koeling van ventilatielucht door middel van een warmtewisselaar (koelbatterij) in een luchtbehandelingskast, waarbij het mogelijk is dat de ventilatielucht condenseert. Uitgangspunt is dat er 100% buitenlucht in de LBK gekoeld moet worden tot ca. 16°C;
- Lokaal geregelde koeling door middel van inductie- apparaten waarbij geen condensatie mag optreden;
- Er is **geen** sprake van gelijktijdig koude leveren aan het gebouw en koude laden;
- Variant 1B in ISSO-publicatie 39. In figuur 5.7.1 is deze variant weergegeven;
- Zonder verder toelichting is een hydraulische oplossing gegeven in figuur 5.7.2.



Figuur 5.7.1 Principetekening laden van koude met een warmtepomp

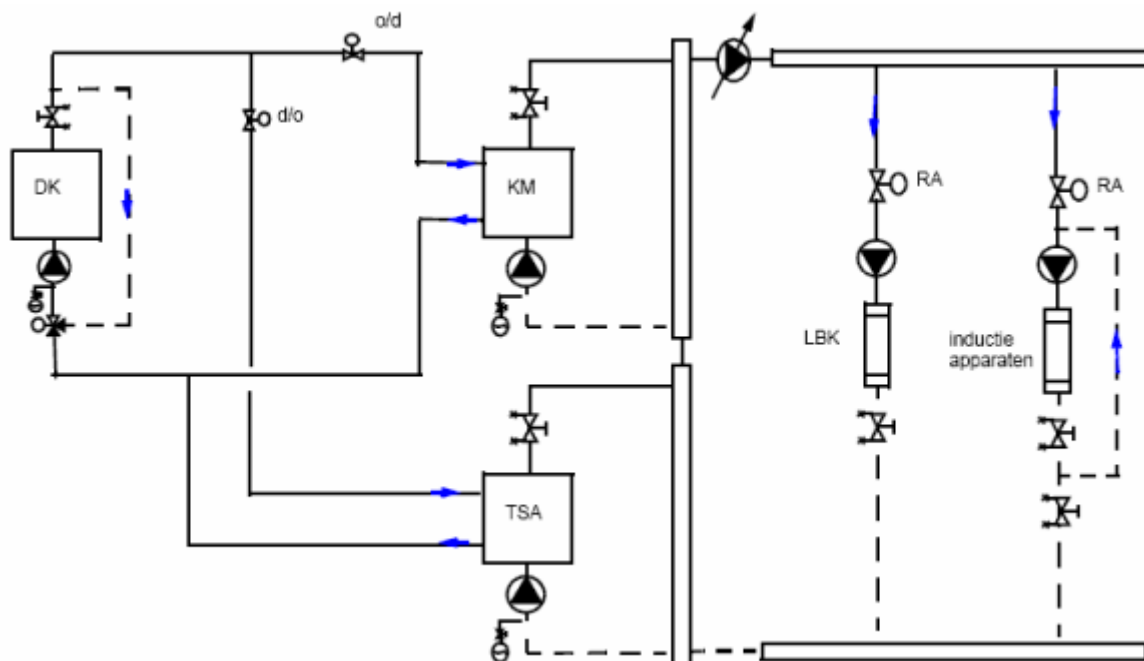


Figuur 5.7.2 Mogelijke hydraulische schakeling voor principetekening in figuur 5.7.1

5.8 INSTALLATIE MET VRIJE KOELING ZONDER OPSLAG

In de figuren 5.8.1. is een voorbeeld gegeven van een hydraulische schakeling waarbij vrije koeling wordt toegepast met een droge koeler (DK). In dit voorbeeld wordt alleen vrije koeling toegepast als de volledige koudevraag geleverd kan worden met de droge koeler. Het circuit van de droge koeler wordt door middel van een warmtewisselaar gescheiden van het gebouwcircuït.

Als de buitentemperatuur te hoog is om de volledige koudevraag te leveren, wordt de koelmachine ingezet. De condensorwarmte van de koelmachine wordt dan afgevoerd met de droge koeler (dezelfde als voor vrije koeling).



Figuur 5.8.1 Koude levering door droge koeler aan koudegebruikers. Als de koude wordt geleverd door de koelmachine functioneert de droge koeler als condensor

5.9 INSTALLATIE MET KORTETERMIJNOPSLAG IN IJSBUFFER

In onderstaand figuur is een voorbeeld gegeven van een hydraulisch schema waarbij kortetermijnopslag in ijsbuffers toegepast wordt.

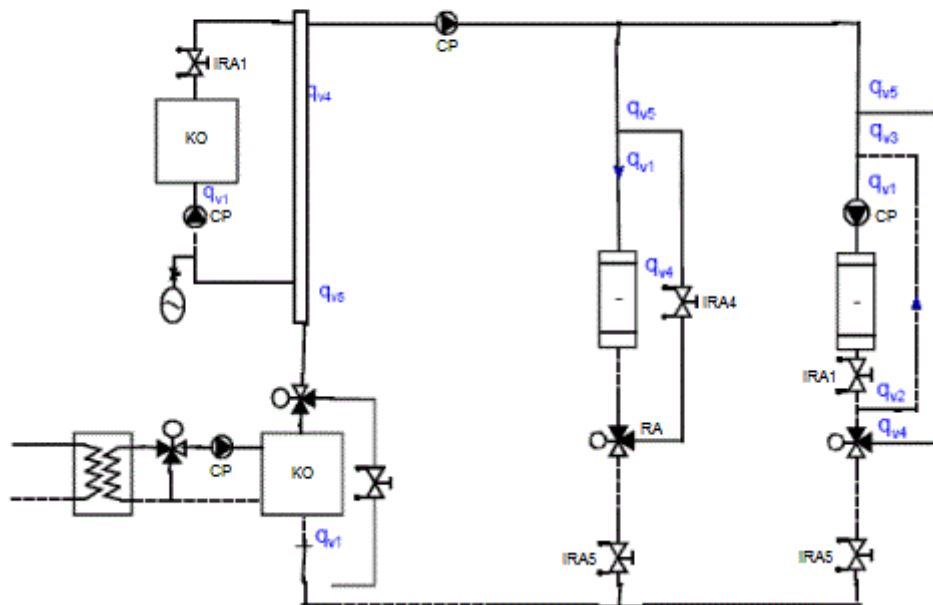
De ijsbuffer is door middel van een warmtewisselaar gescheiden van het gebouwcircuït.

opwekker-
moduul 3 en 15
passief

distributie-
moduul
actief

gebruikers-
moduul 4
passief

gebruikers-
moduul 2
passief



Figuur 5.9 Hydraulische schakeling met ijsbuffering als basis koude leverancier

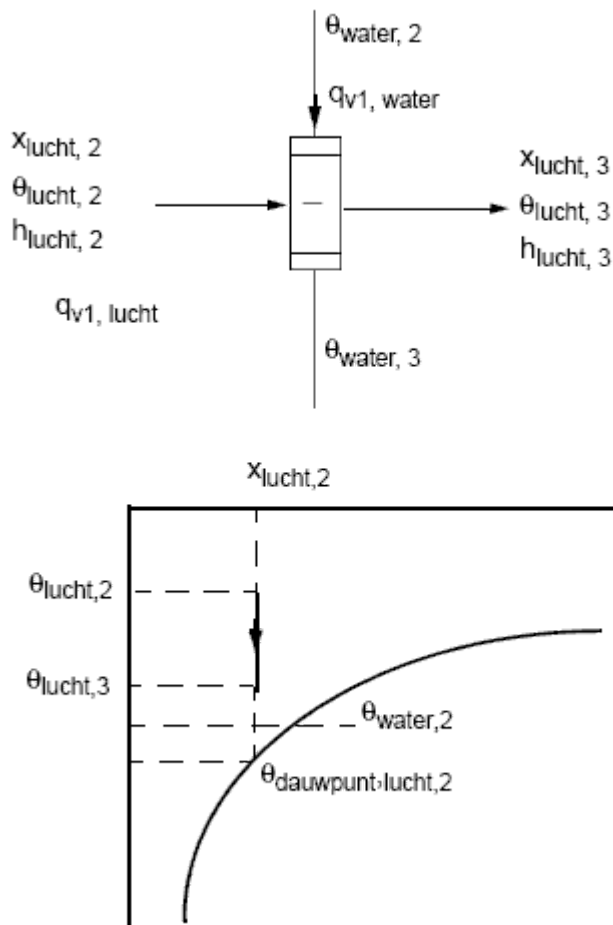
BIJLAGE A OMSCHRIJVING KOUDEGEBRUIKERS EN KOUDEOPWEKKERS

A.1 KOUDEGEBRUIKERS

A.1.1 Warmtewisselaar in LBK t.b.v. koelen van lucht (zonder condensatie)

Algemeen

Lucht wordt gekoeld met een warmtewisselaar waarvan de oppervlaktetemperatuur hoger is dan de dauwpunttemperatuur van de te koelen lucht. Hierdoor zal geen condensatie optreden.



Figuur 1.1.1 Afkoelen van lucht zonder condensatie, weergegeven in het Mollier diagram voor vochtige lucht

Benodigd vermogen

Om het benodigde vermogen te berekenen zijn de volgende gegevens nodig:

- Temperatuur van de luchtintrede $\theta_{lucht, 2}$;
- Temperatuur luchtuitrede $\theta_{lucht, 3}$;
- Te koelen hoeveelheid lucht, q_{v1} (m^3/s);
- Dichtheid van de lucht, ρ (kg/m^3).

$$\text{Vermogen (kW)} = q_{v1} \times \rho \times (h_{lucht, 2} - h_{lucht, 3})$$

Temperatuurniveaus luchtzijdig

- Geen condensatie als de oppervlaktetemperatuur hoger is dan de dauwpunttemperatuur van de te koelen luchtintrede $\theta_{lucht, 2}$;
- De dauwpunttemperatuur van de luchtintrede $\theta_{dauwpunt, lucht, 2}$ is afhankelijk van de absolute vochtigheid van de te koelen lucht $x_{lucht, 2}$;

- Ontwerper dient de hoogste absolute luchtvochtigheid die kan optreden te bepalen; dit is het uitgangspunt voor het ontwerp van de warmtewisselaar waarbij ook de juiste watertemperaturen bepaald dienen te worden.

Temperatuurniveaus waterzijdig

- $\theta_{\text{water}, 2} > \theta_{\text{dauwpunt, lucht}, 2}$;
- Bij de hoogste absolute luchtvochtigheid die kan optreden dient de ontwerper de dauwpunttemperatuur te bepalen en vervolgens een oppervlaktetemperatuur vast te stellen die hoger is dan de dauwpunttemperatuur (waterintredetemperatuur mag iets lager zijn);
- Gemiddelde watertemperatuur < gewenste temperatuur van de lucht na de warmtewisselaar, i.m.v. grootte warmtewisselaar.

Drukverlies luchtzijdig

- Drukverlies als functie van q_{v1} , lucht opgave fabrikant;
- Drukverlies is afhankelijk van de grootte van de warmtewisselaars;
- Grootte wordt bepaald door het verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur (secundaire medium) en de gewenste uittredetemperatuur van de te koelen lucht; hoe kleiner dit verschil is, hoe groter de warmtewisselaar en hoe groter het drukverlies;
- Richtwaarde voor het drukverschil is tussen de 75 en de 250 Pa.

Drukverlies waterzijdig

- Drukverlies als functie van q_{v1} , water opgave fabrikant;
- Drukverlies laag in verband met beperking opvoerhoogte van de pomp (verlaging pompenergie);
- Afhankelijk van het gebruikermoduul heeft het drukverlies invloed op hydraulische regeling (Autoriteit regelafsluiter, ziebijlage C);
- Drukverlies < 60 kPa.

Statische druk

- Maximale toegestane druk is een gegeven dat door de fabrikant/ontwerper opgegeven dient te worden;
- Benodigde drukklasse van de warmtewisselaar wordt bepaald door:
 1. • Plaats van warmtewisselaar (boven in een dakopbouw of beneden in de kelder);
 2. • Maximaal optredende pompdruk in het systeem.
- Afhankelijk van de uitgangspunten geldt een drukklasse van 6, 10 of 16 bar.

Overdimensioneren

- Bij de selectie van de warmtewisselaar een vervuilingfactor in rekening brengen.

Transportmedium koude

Voor het koelen van de lucht kan gebruik gemaakt worden van de volgende media:

- Koudemiddel (direct expansiebatteij);
- Water;
- Water met antivries (mono-ethyleen, propyleen).

In deze publicatie gaat het met name om de tweede toepassing (water). In specifieke situaties wordt gekozen voor de derde toepassing (vorstbeveiliging). Bij gebruik van antivries dient gelet te worden op de stoffeigenschappen van het antivries (viscositeit, c , p). Deze zijn anders dan bij water en beïnvloeden warmte-inhoud en drukverlies.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Om er voor te zorgen dat de ingaande watertemperatuur, onafhankelijk van de aangeboden temperatuur van de koudeopwekker, niet te laag wordt dient een vaste voormenging toegepast te worden. Met de gebruikermodulen 2, 5 en 8 is dit mogelijk.

Vermogensregeling

Luchtzijdig:

- Volumestroom lucht variëren (VAV-systeem);

- Luchttemperatuur variëren door waterzijdige regeling.

Waterzijdige regeling:

1. Volumestroom water door de warmtewisselaar variëren:
 - Mogelijk met gebruiksmodule 4 en 6 als de aangeboden temperatuur van het gekoeldwater hoog genoeg is;
 - Gevaar van grote temperatuurgradiënt van de luchtintrede;
 - Bij gebruikersmodule 6 is het voordeel dat een hoge wateruittredetemperatuur gerealiseerd wordt.
2. aanvoertemperatuur variëren:
 - Mogelijk met gebruikersmodulen 1, 2, 5, 7 en 8. Bij module 1 en 7 geldt dat de aangeboden temperatuur van het gekoeldwater hoog genoeg dient te zijn;
 - Voordeel:
 - Klein temperatuurverschil over de warmtewisselaar;
 - Nadeel:
 - Relatief lage retourtemperatuur met name bij module 1 en

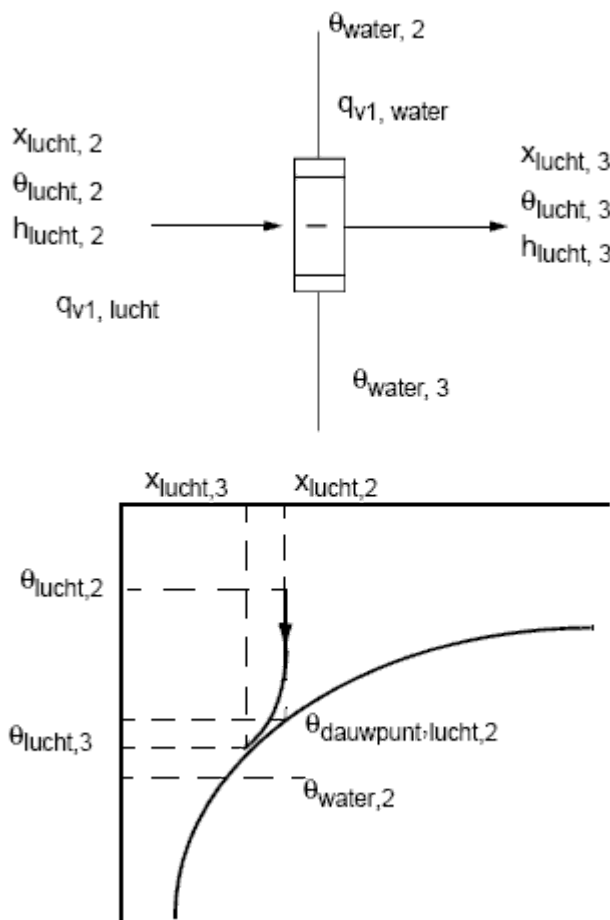
Beveiliging

Beveiliging tegen bevriezen door verhoging van de aanvoertemperatuur door een mengregeling per warmtewisselaar of een centrale aanvoertemperatuurbedeiliging (bij de opwekker).

A.1.2 Warmtewisselaar in LBK t.b.v. koelen van lucht (met condensatie)

Algemeen

Lucht wordt gekoeld met een warmtewisselaar waarvan de oppervlaktetemperatuur lager is dan de dauwpunttemperatuur van de te koelen lucht. Hierdoor zal condensatie optreden.



Figuur 1.1.2 Afkoelen van lucht met condensatie, waargegeven in het Mollier diagram voor vochtige lucht

Benodigd vermogen

Om het benodigd vermogen te berekenen zijn de volgende gegevens nodig:

- Enthalpie van de luchtintrede $h_{lucht,2}$;
- Enthalpie luchtuitrede $h_{lucht,3}$;
- Te koelen hoeveelheid lucht, q_{v1} (m^3/s);
- Dichtheid van de lucht, ρ (kg/m^3).

$$\text{Vermogen (kW)} = q_{v1} \times \rho \times (h_{lucht,2} - h_{lucht,3})$$

Temperatuurniveaus luchtzijdig

- Condensatie als de oppervlaktetemperatuur lager is dan de dauwpunttemperatuur van de te koelen luchtintrede $\theta_{dauwpunt,lucht,2}$;
- De dauwpunttemperatuur van de luchtintrede is afhankelijk van de absolute vochtigheid van de te koelen luchtintrede $x_{lucht,2}$;
- De ontwerper dient de hoogste absolute luchtvochtigheid te bepalen $x_{lucht,2}$. Dit is het uitgangspunt voor het ontwerp van de warmtewisselaar waarbij ook de juiste watertemperaturen bepaald dienen te worden.

Temperatuurniveaus waterzijdig

- $\theta_{water,2} < \theta_{dauwpunt,lucht,2}$;
- Bij de hoogste absolute luchtvochtigheid die kan optreden dient de ontwerper de dauwpunttemperatuur te bepalen en vervolgens een waterintredetemperatuur vast te stellen die lager is dan de dauwpunttemperatuur (bijv. gewenste absolute vochtigheid is 8 gr/kg; dauwpunttemperatuur is hierbij 10,5 à 11°C; waterintredetemperatuur maximaal 10°C);
- Gemiddelde watertemperatuur < gewenste temperatuur van de lucht na de warmtewisselaar i.m.v. grootte warmtewisselaar.

Drukverlies luchtzijdig

- Drukverlies (bij nat oppervlak van warmtewisselaar) als functie van q_{v1} , lucht opgave fabrikant;
- Drukverlies is afhankelijk van de grootte van de warmtewisselaars;
- Grootte wordt bepaald door het verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur (secundaire medium) en de gewenste uittredetemperatuur van de te koelen lucht; hoe kleiner dit verschil is, hoe groter de warmtewisselaar en hoe groter het drukverlies;
- Richtwaarde voor het drukverschil is tussen de 75 en de 250 Pa.

Drukverlies waterzijdig

- Drukverlies als functie van q_{v1} , water opgave fabrikant;
- Drukverlies laag in verband met beperking opvoerhoogte van de pomp (verlaging pompenergie);
- Afhankelijk van de koude gebruikermoduul heeft het drukverlies invloed op hydraulische regeling, zie Autoriteit regelafsluiter, ziebijlage C;
- Drukverlies < 60 kPa.

Statisch druk

- Maximale toegestane druk is een gegeven dat door de fabrikant/ontwerper opgegeven dient te worden;
- Benodigde drukklasse van de warmtewisselaar wordt bepaald door:
 1. • Plaats van warmtewisselaar (boven in een dakopbouw of beneden in de kelder);
 2. • Maximaal optredende pompdruk in het systeem.
- Afhankelijk van het uitgangspunt geldt een drukklasse van 6, 10 of 16 bar.

Overdimensioneren

- Bij de selectie van de warmtewisselaar een vervuilingsfactor in rekening brengen.

Transportmedium koude

Voor het koelen van de lucht kan gebruik gemaakt worden van de volgende media:

- Koudemiddel (direct expansiebatteij);

- Water;
- Water met antivries (mono-ethyleen, propyleen).

In deze publicatie gaat het met name om de tweede toepassing (water). In specifieke situaties wordt gekozen voor de derde toepassing (vorstbeveiliging). Bij gebruik van antivries dient gelet te worden op de stoffeigenschappen van het antivries (viscositeit, c , p). Deze zijn anders dan bij water en beïnvloeden warmte-inhoud en drukverlies.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Bij warmtewisselaar waar te allen tijde ontvochtiging gewenst is, zal een koudeopwekker toegepast dienen te worden die onder alle omstandigheden de gewenste watertemperatuur kan aanbieden.

Vermogensregeling

Luchtzijdig:

- Volumestroom lucht variëren (VAV-systeem);
- Luchttemperatuur variëren door waterzijdige regeling.

Waterzijdige regeling:

1. Volumestroom water door de warmtewisselaar variëren:
 - Mogelijk met gebruikermodulen 4 en 6;
 - Gevaar van grote temperatuurgradiënt van de luchtuittrede;
 - Bij gebruikermoduul 6 is het voordeel dat er een relatief hoge wateruittredetemperatuur gerealiseerd wordt.
2. aanvoertemperatuur variëren:
 - Mogelijk met gebruikermodulen 1, 2, 5 en 7;
 - Voordeel:
 - Klein temperatuurverschil over de warmtewisselaar, zie bijlage C;
 - Nadeel:
 - Relatief lage retourtemperatuur bij de modulen 1 en 2. Bij deellast zal bij de modulen 1,2,5 en 7 de wateraanvoertemperatuur stijgen door menging van gekoeldwater (retour) met de aanvoer. Hierdoor is het mogelijk dat minder ontvochtigd wordt dan gewenst, zie bijlage C

A.1.3 Vloer/wandkoeling (en betonkernactivering)

Algemeen

Koeling en verwarming van de vertrekken vindt bij deze variant plaats door het thermisch activeren van de bovenste laag in de vloeren/plafonds. Het thermisch activeren vindt plaats door watervoerende buizen (distributiesysteem) die zijn opgenomen in de vloeren/plafonds. In de zomersituatie vindt koeling plaats door gekoeld water door de buizen te voeren. Bij betonkernactivering zijn de buizen opgenomen in de betonnenconstructie. Door het thermisch activeren van de hele constructie hoeft door buffering minder vermogen te worden opgesteld. Dit zijn zeer trage afgiftesystemen. Bij koeling door middel van vloeren en wanden zijn de koelvermogens in de zomersituatie beperkt. In de zomer dient de oppervlaktetemperatuur van de vloer voldoende hoog gekozen te worden om geen comfortklachten ten gevolge van een koude vloer te krijgen.

Koelvermogen

Het gevraagde koelvermogen in de ruimte wordt bepaald met een koellastberekening. Het koelvermogen is een optelsom van interne belasting door onder andere apparatuur, mensen en verlichting en externe belasting door zoninstraling en transmissie door de wanden. Het door de vloer/wand te leveren koelvermogen is gelijk aan het gevraagde koelvermogen verminderd met de door de ventilatielucht geleverde koeling en is afhankelijk van:

- Ruimteluchttemperatuur;
- Aanvoerwatertemperatuur;
- Waterhoeveelheid;
- Afstand tussen de buizen.

Als maximale afgiftecapaciteit kan worden aangehouden 30-35 W/m² bij een stenen vloerafwerking. Bij toepassing van vloerbedekking daalt de afgifte tot circa 25 W/m².

Temperatuurniveau luchtzijdig

De luchtinblaasttemperatuur bepaalt het door de vloer/wand te leveren vermogen.

Temperatuurniveau waterzijdig

- Van belang is de wateraanvoertemperatuur welke in verband met condensatiegevaar op de vloer/ plafond normaliter gesteld wordt op 18°C;
- De wateropwarming ligt in de orde van grootte van 0,5K tot 4K maar is afhankelijk van de waterhoeveelheid en het gevraagde koelvermogen. Er wordt gedimensioneerd op een temperatuurverschil tussen wateraanvoer- en retourtemperatuur van 3K;
- In verband met het dauwpunt is van belang het temperatuurverschil tussen ruimtelucht en waterintredetemperatuur. Afhankelijk van de primaire luchthoeveelheid en het gevraagde koelvermogen is dit temperatuurverschil tussen de 5K en 8K.

Drukverlies luchtzijdig

Niet van toepassing.

Drukverlies waterzijdig

De buizen, inclusief regeling, vormen een distributiesysteem. Het drukverlies wordt bepaald met een drukverliesberekening volgens ISSO-publicatie 18.

Statische druk

- Maximale toegestane druk is een gegeven dat door de fabrikant van de buizen opgegeven dient te worden;
- Benodigde drukklasse van de buizen wordt bepaald door:
 1. • Plaats van vloer- wandkoeling ten opzichte van de koudeopwekker (boven in een dakopbouw of beneden in de kelder);
 2. • Al dan niet toepassen van scheidingswarmtewisselaar tussen vloerkoeling en koudedistributienet;
 3. • Maximaal optredende pompdruk in het distributiesysteem.
- Afhankelijk van de maximale druk die kan optreden zal de drukklasse van het materiaal bepaald moeten worden.

Transportmedium

Voor het koelen wordt gebruik gemaakt van water als transportmedium.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Omdat er geen condensatie mag optreden dient er te allen tijde voor gezorgd te worden dat de ingaande watertemperatuur niet te laag wordt. Om dit onafhankelijk van de aangeboden temperatuur van de koudeopwekker te realiseren, dient een vaste voormenging toegepast te worden. Met de gebruikermodulen 2, 5 en 8 is dit mogelijk.

Vermogensregeling/tijdconstante

Vanwege de massa is het niet mogelijk om met het plafond/de vloer snel te reageren op wisselende in- of externe omstandigheden. Het plafond/de vloer wordt daarom vaak geregeld op een aanvoertemperatuur die afhankelijk is van de heersende buitenconditie. De naregeling van de ruimtetemperatuur kan bijvoorbeeld plaatsvinden met de ventilatielucht uitgevoerd als variabel volumesysteem. De ventilatieluchttemperatuur wordt in de zomer geregeld op een constante waarde van bijvoorbeeld 17°C. Door het laten variëren van de ventilatieluchthoeveelheid kan er meer of minder in het vertrek gekoeld worden.

Beveiliging

Ter beveiliging tegen condensatie wordt een dauwpuntsbewaking aanbevolen op de wateraanvoertemperatuur.

Er dient gelet te worden op diffusiedichte materialen voor de buizen.

A.1.4 Stralingspaneel

Algemeen

Een stralingspaneel is een metalen geperforeerd plafond met aan de bovenzijde watervoerende leidingen die verbonden zijn met het metalen plafond. Het systeem is gebaseerd op het principe van een gesloten watercircuit. In de zomersituatie wordt het metalen plafond geactiveerd door gekoeldwater door de watervoerende leidingen te voeren. In de wintersituatie wordt er door de watervoerende leidingen verwarmd water gevoerd en vindt er verwarming plaats. Overdracht van warmte/koude vindt hoofdzakelijk plaats door straling. De ventilatielucht in het vertrek wordt toegevoerd door middel van plafondroosters (lijnroosters of wervelroosters) die, evenals de verlichtingsarmaturen, geïntegreerd zijn in het klimaatplafond, zie bijvoorbeeld installatieconcept A8.5 van ISSO-publicatie 43.

Een aandachtspunt is geluidsabsorptie. Dit wordt mede beïnvloed door de fysische eigenschappen van het plafond:

- Het materiaal;
- De perforatiekeuze;
- De eigenschappen van het isolatiemateriaal;
- De vormgeving.

Koelvermogen

Het gevraagde koelvermogen in de ruimte wordt bepaald met een koellastberekening. Het koelvermogen is een optelsom van interne belasting door onder andere apparatuur, mensen en verlichting en externe belasting door zoninstraling en transmissie door de wanden.

Het door het stralingspaneel te leveren koelvermogen is gelijk aan het gevraagde koelvermogen verminderd met de door de ventilatielucht geleverde koeling en is afhankelijk van:

- Ruimteluchttemperatuur;
- Aanvoerwatertemperatuur;
- Waterhoeveelheid;
- Actief plafondoppervlak.

Als maximale koelcapaciteit kan worden aangehouden 55 W/m² actief plafond.

Temperatuurniveau luchtzijdig

De luchtinblaas temperatuur bepaalt het door het stralingspaneel te leveren vermogen.

Temperatuurniveau waterzijdig

- Van belang is de wateraanvoertemperatuur welke in verband met condensatiegevaar op de plafondpanelen normaliter gesteld wordt op 15°C;
- De wateropwarming ligt in de orde van grootte van 0,5K tot 3K maar is afhankelijk van de waterhoeveelheid en het gevraagde koelvermogen. Er wordt gedimensioneerd op een temperatuurverschil tussen wateraanvoer- en retourtemperatuur van 3K;
- In verband met het dauwpunt is van belang het temperatuurverschil tussen ruimtelucht en waterintredetemperatuur. Afhankelijk van de primaire luchthoeveelheid en het gevraagde koelvermogen is dit temperatuurverschil tussen de 5K en 10K.

Drukverlies luchtzijdig

Niet van toepassing.

Drukverlies waterzijdig

De buizen, stralingspanelen en regeling, vormen een distributiesysteem. Het drukverlies wordt bepaald met een drukverliesberekening volgens ISSO-publicatie 18.

Statische druk

De maximale bedrijfsdruk is sterk afhankelijk van het type klimaatplafond. Bij plafonds waarbij koperen precisiebuis wordt omklemd door aluminium profielen is de bedrijfsdruk 6 bar. Bij plafonds met kunststof buisregisters is de bedrijfsdruk lager.

Transportmedium

Voor het koelen van de actieve plafondpanelen wordt gebruik gemaakt van water als transportmedium.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Omdat er geen condensatie mag optreden dient er te allen tijde voor gezorgd te worden dat de ingaande watertemperatuur niet te laag wordt. Om dit onafhankelijk van de aangeboden temperatuur van de koudeopwekker te realiseren, dient een vaste voormenging toegepast te worden. Met de gebruikermodulen 2, 5 en 8 is dit mogelijk.

Vermogensregeling

De vertrekluichttemperatuur wordt (na)geregeld door middel van een waterzijdige massastroomregeling toe te passen op de actieve plafondpanelen. De panelen kunnen waterzijdig worden doorgekoppeld tot vrij samen te stellen groepen.

Door het waterdebiet door de panelen te variëren, zal het afgegeven vermogen toe- c.q. afnemen.

Tijdconstante

Wisselende belastingen in de ruimte worden door het stralingspaneel snel gevolgd. De waterinhoud van de actieve plafondpanelen in de unit is gering waardoor de massa traagheid gering is.

Beveiliging

Ter beveiliging tegen condensatie wordt een dauwpuntbewaking aanbevolen op de wateraanvoertemperatuur.

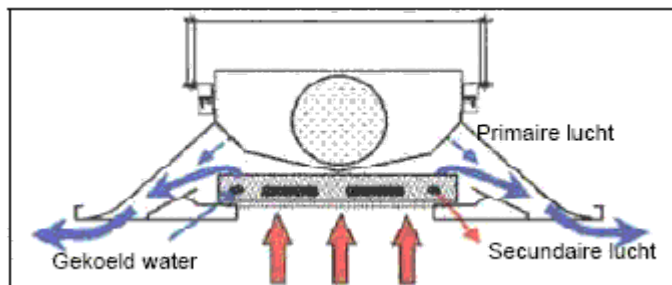
Afhankelijk van plafondkeuze (koper of kunststof watervoerende buizen) dient gelet te worden op diffusiedichte materialen. Dit geldt ook in belangrijke mate voor de verbindingsbuizen tussen de actieve plafondpanelen en de wateraanvoerleidingen.

A.1.5 Inductieapparaat

Algemeen

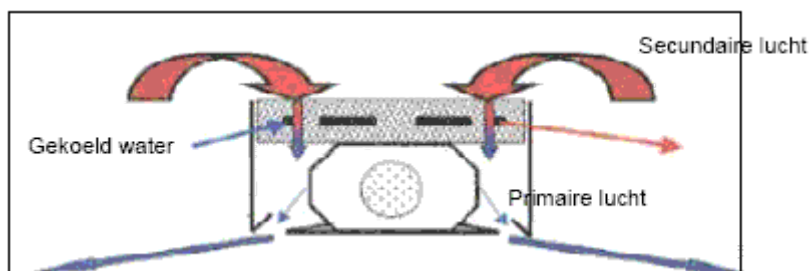
Inductie-units zijn convectieve units die gebruikt worden voor koelen, ventileren en eventueel verwarmen van vertrekken. Het meest gangbaar is momenteel het zogenaamde plafondinductie-ornament. Het plafondinductie-ornament wordt toegepast als plafondinbouw-unit. Het plafondinductie-ornament dient voor het afvoeren van de warmtelast in de zomer, het verwarmen van het vertrek in de winter en het ventileren (verversen) van de vertrekken in zowel de zomer- als de wintersituatie. De unit wordt aangesloten op het primaire ventilatieluchtsysteem. Het gekoeldwater- en verwarmingswatersysteem worden aangesloten op een distributiesysteem. De werking is gebaseerd op een door de primaire lucht geïnduceerde stroming van ruimtelucht over een geïntegreerde warmtewisselaar. De geïnduceerde lucht uit de ruimte wordt verwarmd/gekoeld door de warmtewisselaar, waarover de lucht wordt aangezogen, zie bijvoorbeeld installatieconcept A8.8 van ISSO-publicatie 44.

De inductie-unit kan uitgevoerd worden als gesloten of open unit



Figuur 1.1.3 Gesloten inductieapparaat

Bij de gesloten unit wordt rechtstreeks lucht uit de ruimte aangezogen, wordt verwarmd/gekoeld, wordt gemengd met de primaire lucht en wordt weer ingeblazen in de ruimte, zie figuur A.1.3.



Figuur 1.1.4 Open Inductieapparaat

Bij de open units wordt de inductielucht aangezogen via het verlaagde plafond. Deze units zijn vooral geschikt in projecten met verlaagde plafonds of bij toepassing van plafondeilanden, zie figuur 1.1.4.

Koelvermogen

Het gevraagde koelvermogen in de ruimte wordt bepaald met een koellastberekening. Het koelvermogen is een optelsom van interne belasting door onder andere apparatuur, mensen en verlichting en externe belasting door zoninstraling en transmissie door de wanden.

Het door de plafondinductieunit te leveren vermogen wordt bepaald door:

- Primaire luchttemperatuur;
- Primaire luchthoeveelheid;
- Ruimteluchttemperatuur;
- Aanvoerwatertemperatuur;
- Waterhoeveelheid.

Als maximale koelcapaciteit kan worden aangehouden 70-80 W/m² bij 2,5-voudige ventilatie.

Temperatuurniveau luchtzijdig

- Er wordt uitgegaan van droge koeling, waardoor condensleidingen achterwege kunnen blijven en er geen extra vervuiling van de batterij optreedt;
- Als primaire luchttemperatuur wordt aangehouden minimaal 17°C;
- Het temperatuurverschil tussen ruimtelucht en primaire lucht kan variëren tussen de 4K en 10K;
- Van belang is het quotiënt van het temperatuurverschil tussen ruimtelucht en straaltemperatuur en het temperatuurverschil tussen ruimtelucht en primaire lucht. In de grafieken van diverse fabrikanten worden hier waarden voor aangegeven welke in relatie staan tot de bekende behaaglijkheidstheorie.

Temperatuurniveau waterzijdig

- Van belang is de wateraanvoertemperatuur welke in verband met bovenstaande opmerking met betrekking tot condensatie normaliter gesteld wordt op 15°C;
- De wateropwarming ligt in de orde van grootte van 0,5K tot 4K, maar is afhankelijk van de waterhoeveelheid en het gevraagde koelvermogen. Er wordt gedimensioneerd op een temperatuurverschil tussen wateraanvoer- en retourtemperatuur van 3K;
- In verband met het dauwpunt is van belang het temperatuurverschil tussen ruimtelucht en waterintredetemperatuur. Afhankelijk van de primaire luchthoeveelheid en het gevraagde koelvermogen is dit temperatuurverschil tussen de 5K en 10K.

Drukverlies luchtzijdig

Het luchtzijdig drukverlies wordt bepaald door de primaire luchthoeveelheid in relatie tot het toelaatbare geluiddrukkniveau. Bij een geluidvermoggenniveau van 38 dB(A) zal het drukverschil afhankelijk van het type tussen de 60 en 80 Pa liggen.

Drukverlies waterzijdig

De buizen, inductieapparaten en regeling, vormen een distributiesysteem. Het drukverlies wordt bepaald met een drukverliesberekening volgens ISSO-publicatie 18.

Statische druk

De maximale bedrijfsdruk voor zowel 4-pijps als 2- pijpssystemen is in normale gevallen 6 bar bij 20°C.

Transportmedium

Voor het koelen van de lucht wordt gebruik gemaakt van water als transportmedium.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Omdat er geen condensatie mag optreden dient er te allen tijde voor gezorgd te worden dat de ingaande watertemperatuur niet te laag wordt. Om dit onafhankelijk van de aangeboden temperatuur van de koudeopwekker te realiseren, dient een vaste voormenging toegepast te worden. Met de gebruikersmodulen 2, 5 en 8 is dit mogelijk.

Vermogensregeling

De vertrekkluchttemperatuur wordt (na)geregeld door middel van een waterzijdige massastroomregeling toe te passen op de plafondinductie-ornamenten. Door de volumestroom door de plafondinductie-units te variëren, zal het afgegeven vermogen toe- c.q. afnemen.

Tijdconstante

Wisselende belastingen in de ruimte worden door de inductieunits snel gevolgd. De waterinhoud van de koelbatterij in de unit is gering waardoor de massa traagheid nauwelijks waarneembaar is.

Beveiliging

Ter beveiliging tegen condensatie wordt een dauwpuntsbewaking aanbevolen op de wateraanvoertemperatuur.

De gekoeld-wateraanvoertemperatuur naar de plafond- inductie-ornamenten dient zodanig gekozen te worden dat er geen condens kan optreden. Hiervoor is dauwpuntscontrole in een aantal vertrekken noodzakelijk. De inductie-unit dient daarom 'droog' uitgevoerd te worden. Hierdoor is er geen condensleiding boven de plafonds van de kantoren benodigd.

A.1.6 Ventilatorconvector

Algemeen

Lucht wordt gekoeld met een warmtewisselaar waarvan de oppervlaktetemperatuur lager is dan de dauwpunttemperatuur van de te koelen lucht. Hierdoor zal condensatie optreden. Hoe meer lucht er intensief in contact komt met de koelribben van de warmtewisselaar (bypass-effect), hoe meer condensatie er zal optreden. Uiteraard is het ook mogelijk om ventilatorconvectoren zodanig toe te passen dat geen condensatie optreedt.

Benodigde vermogen

Om het benodigde vermogen te berekenen zijn de volgende gegevens nodig:
enthalpie van de luchtintrede hlucht, 2 [kJ/kg]

- Enthalpie luchtuitrede hlucht, 3 [kJ/kg];
- Te koelen hoeveelheid lucht, $qv1$ (m³/s);
- Dichtheid van de lucht, ρ (kg/m³).

$$\text{Vermogen (kW)} = qv1 \times \rho \times (hlucht,2 - hlucht,3)$$

Temperatuurniveaus luchtzijdig

- Condensatie als de oppervlaktetemperatuur lager is dan de dauwpunttemperatuur van de te koelen lucht (luchtintrede);
- De dauwpunttemperatuur van de luchtintrede is afhankelijk van de absolute vochtigheid van de te koelen lucht (luchtintrede);
- Ontwerper dient een absolute luchtvochtigheid te bepalen; dit is het uitgangspunt voor het ontwerp van de warmtewisselaar waarbij ook de juiste watertemperaturen bepaald dienen te worden.

Temperatuurniveaus waterzijdig

- $\theta_{\text{water}}, 2 < \theta_{\text{dauwpunt}}, \text{lucht}, 2$;
- Bij de gekozen absolute luchtvochtigheid die kan optreden dient de ontwerper de dauwpunttemperatuur te bepalen en vervolgens een water intredetemperatuur vast te stellen die lager is dan de dauwpunttemperatuur (bijv. gewenste absolute vochtigheid is 8 gr/kg; dauwpunttemperatuur is hierbij 10,5 à 11°C; water intredetemperatuur maximaal 10°C);
- Gemiddelde watertemperatuur < gewenste temperatuur van de lucht na de warmtewisselaar, i.v.m. grootte warmtewisselaar.

Drukverlies luchtzijdig

- Drukverlies (bij nat oppervlak van warmtewisselaar) als functie van $qv1$, lucht opgave fabrikant;
- Beperkende factor voor het drukverlies is het toelaatbare geluidsdrukniveau in de ruimte; bij toename drukverlies zal het geluidsvermogeniveau (van de ventilatorconvector) toenemen; richtwaarde voor het geluidsvermogeniveau 30-60 dB(A);
- Drukverlies is afhankelijk van de grootte van de warmtewisselaars;
- Grootte wordt bepaald door het verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur (secundaire medium) en de gewenste uittredetemperatuur van de te koelen lucht; hoe kleiner dit verschil is, hoe groter de warmtewisselaar en hoe groter het drukverlies.

Drukverlies waterzijdig (distributiesysteem)

- Drukverlies ventilatorconvector als functie van $qv1$, water opgave fabrikant;
- Drukverlies laag in verband met beperking opvoerhoogte van de pomp (verlaging pompenergie);
- Drukverlies heeft invloed op hydraulische regeling;
- Drukverlies distributiesysteem < 60 kPa.

Statisch druk

- Maximale toegestane druk is een gegeven dat door de fabrikant opgegeven dient te worden;
- Benodigde drukklasse van de warmtewisselaar wordt bepaald door:
 1. • Plaats van warmtewisselaar (boven in een dakopbouw of beneden in de kelder);
 2. • Maximaal optredende pompdruk in het systeem;
- Afhankelijk van de uitgangspunt geldt een drukklasse van 6, 10 of 16 bar.

Transportmedium koude

Voor het koelen van de lucht kan gebruik gemaakt worden van water als transportmedia.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Bij warmtewisselaar waar te allen tijde ontvochtiging gewenst is, zal een koudeopwekker toegepast dienen te worden die onder alle omstandigheden de gewenste watertemperatuur kan aanbieden. Als een ventilatorconvector is geselecteerd waarbij geen ontvochtiging mag plaatsvinden, dient er te allen tijde voor gezorgd te worden dat de ingaande watertemperatuur niet te laag wordt. Om dit onafhankelijk van de aangeboden temperatuur van de koudeopwekker te realiseren, dient een vaste voormenging toegepast te worden. Met de gebruikermodulen 2, 5 en 8 is dit mogelijk.

Vermogensregeling

Luchtzijdig:

- Volumestroom lucht variëren (hoog/midden/laag of variabel);
- Luchttemperatuur variëren door waterzijdige regeling (zie volgende alinea).

Waterzijdige regeling:

1. Volumestroom water door de warmtewisselaar variëren:
 - Mogelijk met gebruikermodulen 4 en 6;
 - Grote temperatuurgradiënt van de luchtuitrede;
 - Bij gebruikermodul 6 is het voordeel dat er een relatief hoge wateruitredetemperatuur gerealiseerd wordt.
2. Aanvoertemperatuur variëren:
 - Mogelijk met gebruikermodulen 1, 2, 5, 7 en 8;
 - Voordeel:
 - Klein temperatuurverschil over de warmtewisselaar.
 - Nadelen:
 - Relatief lage retourtemperatuur;
 - Bij deellast zal bij deze modulen de wateraanvoertemperatuur stijgen door menging van gekoeldwater (retour) met de aanvoer. Hierdoor is het mogelijk dat minder ontvochtigd wordt dan gewenst.

A.1.7 Koudeopslag laden

Bij langetermijnkoudeopslag in aquifers dient er in de winter koude geladen te worden in de koude bron van de opslag. De hiervoor benodigde koude kan opgewekt worden door bijvoorbeeld een droge koeler, een warmtepomp (koelmachine), warmtewisselaar in LBK, etc. De warmtewisselaar TSA waarmee de koude van de opwekker overgedragen wordt aan het grondwater, kan beschouwd worden als een koudegebruiker. Bij het ontladen van de koudebron is deze TSA koude opwekker voor de installatie boven de grond.

Benodigd vermogen

Het vermogen dat in de opslag geladen wordt, is afhankelijk van:

- Hoeveelheid koude die op jaarbasis in de opslag geladen dient te worden; deze is afhankelijk van de hoeveelheid koude die vanuit de opslag aan het gebouw wordt geleverd;
- Aantal uren dat de opwekker een bepaalde hoeveelheid koude levert t.b.v. het laden;
- Temperatuurniveau van de koude die door de opwekker aan de opslag aangeboden wordt t.b.v. het laden;
- Gewenste temperatuurniveau van het grondwater dat in de koude bron van de opslag geladen dient te worden.

Temperatuurniveaus TSA grondwaterzijdig

- Ingaande temperatuur (water uit warme bron) wordt bepaald door de historie; als er in de voorgaande zomers weinig warmte in de warme bron is geladen zal deze temperatuur relatief laag zijn; bij voorgaande zomers die relatief warm waren, zal deze temperatuur hoger zijn;
- Ingaande temperatuur grondwater: 12 tot 20°C;
- De uittredetemperatuur (water naar koude bron) wordt bepaald door wat benodigd is in de zomer voor koeling van het gebouw; dit is niet onbeperkt; om een temperatuur van 6°C of lager in de koude bron te laden is een koudeopwekker nodig die gekoeld-water levert van 4 à 5°C; bevroeringsgevaar en aantal beschikbare uren dat deze temperatuur geladen kan worden, zijn hierbij aandachtspunten;

- Uittredetemperatuur grondwater: 6 tot 12°C.

Temperatuurniveaus TSA waterzijdig (gekoeld-water)

- Ingaande temperatuur wordt bepaald door gewenste temperatuur van het grondwater dat geladen dient te worden en wat nodig is in de zomer voor koeling; deze temperatuur varieert van 4 tot 11°C; bij de ondergrens van deze range zijn bevroeringsgevaar en aantal beschikbare uren dat deze temperatuur geladen kan worden, aandachtspunten voor de koudeopwekker die deze temperatuur dient aan te leveren.
- Uittredetemperatuur gekoeld-water is afhankelijk van ingaande temperatuur van het grondwater en varieert van 11 tot 21°C.

Drukverlies grondwater

- Drukverlies als functie van qv_1 , lucht opgave fabrikant;
- Drukverlies laag in verband met beperking opvoerhoogte van de pomp (verlaging pompenergie);
- Drukverlies niet te laag om voldoende snelheid van het grondwater te handhaven en zodoende een goede doorstroming;
- Drukverlies: 25 tot 60 kPa.

Drukverlies waterzijdig

- Drukverlies als functie van qv_1 , water opgave fabrikant;
- Drukverlies laag in verband met beperking opvoerhoogte van de pomp (verlaging pompenergie);
- Drukverlies heeft invloed op hydraulische regeling (autoriteit);
- Drukverlies 25 tot 60 kPa.

Statische druk

- Maximale toegestane druk is een gegeven dat door de fabrikant opgegeven dient te worden;
- Benodigde drukklasse van de warmtewisselaar wordt bepaald door:
 1. • Plaats van warmtewisselaar (boven in een dakopbouw of beneden in de kelder);
 2. • Maximaal optredende pompdruk in het systeem.
- Afhankelijk van de uitgangspunt geldt een drukklasse van 6, 10 of 16 bar.

Overdimensioneren

- Bij de selectie van de warmtewisselaar een vervuilingsfactor in rekening brengen;
- Als er een vervuilingsfactor in rekening gebracht wordt bij de koudegebruiker dient er ook een vervuilingsfactor in rekening gebracht te worden bij de koudeopwekker;
- Vervuilingsfactor ca. 0,02 m²K/kW.

Transportmedium koude

- Voor het koelen van het grondwater kan gebruik gemaakt worden van de volgende media:
- In deze publicatie gaat het met name om de tweede toepassing (water);
 1. • Koudemiddel (direct expansiebatterij);
 2. • Water;
 3. • Water met antivries (mono-ethyleen, propyleen).
- In specifieke situaties wordt gekozen voor de derde toepassing (vorstbeveiliging); bij gebruik van antivries dient gelet te worden op de stoffeigenschappen van het antivries (c, p). Deze zijn anders dan bij die van water;
- Gebruik van grondwater voor energieopslag is vergunningplichtig (Grondwaterwet); een aantal provincies eist bij gebruik van antivries in het gekoeld-watercircuit dat het grondwatercircuit op overdruk wordt gehouden moet worden ten opzichte van het gekoeld-watercircuit.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Om de gewenste temperatuur in de opslag te laden, dient te allen tijden (ongeacht welke temperatuur naar de opwekker gevoerd wordt) deze temperatuur door de koudeopwekker geleverd te worden.

Vermogensregeling

Grondwaterzijdig: volumestroom variëren;

Waterzijdig:

- Volumestroom water door de warmtewisselaar variëren:
 - Mogelijk met gebruikermodulen 4 en 6;
 - Bij moduul 4 wel variatie bij de gebruiker maar constant debiet naar opwekker; een deel van het gekoeld-water vanuit de opwekker wordt zonder het te gebruiken voor laden 'teruggestort' in de retour; dit is inefficiënt;
 - Bij gebruikermoduul 6 is het voordeel dat er een relatief hoge wateruittredetemperatuur gerealiseerd wordt.
- Aanvoertemperatuur variëren (gebruikersmodulen 1, 2, 5, 7 en 8):
 - Niet gewenst in verband met gewenste temperatuur die in de koude bron geladen moeten worden.

A.2 KOUDEOPWEKKERS

A.2.1 Compressiekoelmachine

Algemeen

De compressiekoelmachine is opgebouwd uit een compressor, expansieventiel, verdamper en condensor. Het koelen van het water vindt plaats in de verdamper. De warmte wordt afgevoerd via een condensor.

Benodigde vermogen

- Het benodigde koelvermogen van de koelmachine wordt bepaald door de koudegebruikers (t.b.v. klimatiseren van vertrekken) waarmee een berekende hoeveelheid warmte uit het gebouw dient te worden afgevoerd (koellastberekening volgens NEN5067/ISSO-publicatie 8);
- Bij het vertalen van het benodigde koelvermogen van een vertrek naar het totaal benodigde koelvermogen van de koelmachine dient een gelijktijdigheidsfactor gehanteerd te worden;
- Belangrijk is bij welke temperatuurniveaus het benodigde vermogen geleverd wordt (temperatuurtraject verdamper en temperatuurtraject condensor bij een bepaalde buitentemperatuur). Dit dient door de fabrikant duidelijk opgegeven te worden;
- Bij buitenluchtgekoelde condensoren dient rekening te worden gehouden met een dalend koelvermogen bij een stijgende buitentemperatuur;
- Aan de door de leveranciers opgegeven thermische vermogens voor vollast (en deellast) dienen richtlijnen en standaards ten grondslag te liggen (Eurovent).

Temperatuurniveaus gekoeld water

- Om bevriezing van het gekoeld water in de verdamper te voorkomen is de uittredetemperatuur van het gekoeld water begrensd. Afhankelijk van koudemiddel en type warmtewisselaar bedraagt de minimale uittredetemperatuur 3 tot 5°C. Bij toepassing van een antivries zijn lagere uittredetemperaturen mogelijk;
- Door de leverancier dient bij het type koelmachine opgegeven te worden wat de minimale uittredetemperatuur is. Tevens dient de maximale intredetemperatuur opgegeven te worden. Deze mag in verband met compressormotorkoeling en capaciteitstoename niet langdurig boven het ontwerpuitgangspunt zijn in verband met overbelasting van de compressor;
- Bij verhoging van de wateruittredetemperaturen zal de efficiency van de koelmachines toenemen met circa 2 à 3% per K verhoging van de verdampingstemperatuur. Daarnaast zal de capaciteit behoorlijk toenemen.

Drukverlies gekoeld water

Het drukverlies is afhankelijk van het type warmtewisselaar (platenwarmtewisselaar, direct expansie, badverdamp(er), filmverdamp(er)) en het temperatuurniveau van het gekoeld water. Daarnaast is ook het ontwerp van de verdamper van invloed (aantal passeringen). Vaak wordt door de fabrikant toegewerkt naar een bepaalde watersnelheid door de pijpen in verband met de warmteoverdracht en in verband met het voorkomen van vervuiling. Door de leverancier zal het drukverlies opgegeven worden.

Statische druk

De benodigde drukklasse van de warmtewisselaar wordt bepaald door:

- Plaats van warmtewisselaar (boven in een dakopbouw of beneden in de kelder);

- Maximaal optredende pompdruk in het systeem.

Door de fabrikant van de koelmachine dient opgegeven te worden hoe hoog de maximale toegestane druk is.

Tijdconstante

De traagheid van de koelmachine is afhankelijk van het proces, het type koelmachine en de wijze van (interne) regeling. De instellingen van setpoints van de regeling spelen hierin een rol (bijvoorbeeld bij welke afwijking van temperaturen compressoren worden bij- of afgeschakeld).

Overdimensioneren

Bij de selectie van de warmtewisselaar (verdampers) dient een vervuilingfactor in rekening gebracht te worden door uit te gaan van ongeveer 5% extra warmtewisselend oppervlak. De vervuilingfactor geldt ook voor de buitenopstelling van de condensor van de koelmachine.

Transportmedium koude

Voor het leveren van koude kan gebruik gemaakt worden van de volgende media:

- Koudemiddel (directe expansiebatterij);
- Water;
- Water met antivries (mono-ethyleen, propyleen).

In deze publicatie gaat het met name om de tweede toepassing (water). In specifieke situaties wordt gekozen voor de derde toepassing (vorstbeveiliging). Bij gebruik van antivries dient gelet te worden op de stoffeigenschappen van het antivries (viscositeit, c , p). Deze zijn anders dan bij water en hebben invloed op de selectie van de warmtewisselaars (drukverlies, warmteoverdracht).

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Temperatuurniveau van het gekoeldwater van de koelmachine wordt bepaald door de gekozen temperatuurniveaus van de koudegebruikers.

Vermogensregeling

- Een kenmerk van koelinstallaties in de utiliteitsbouw is dat deze maar een beperkt aantal uren op vollast draaien. Een groot aantal uren van het jaar zal een lagere capaciteit nodig zijn. Een adequate vermogensregeling is daarom noodzakelijk. Hiervoor zijn er verschillende mogelijkheden die afhankelijk zijn van de uitvoering van de koelmachine (type compressor, aantal compressoren, meerdere koelmachines (opwekkermodulen 4, 5, 13 en 14);
- Afhankelijk van de basislast en van de systeeminhoud (buffer) dient bepaald te worden tot hoever het koelvermogen teruggeregeld moet kunnen worden;
- Een mogelijkheid om vermogen te regelen is een stappenregeling (meerdere compressoren). Nadeel hiervan is een fluctuerende gekoeldwatertemperatuur. Bij continue regeling (bijvoorbeeld bij een schroefcompressor) kan de gekoeldwatertemperatuur nauwkeuriger geregeld worden;
- Deellastbedrijf heeft invloed op het energiegebruik (een schroefcompressor in deellast heeft een lagere COP dan bij vollast; bij zuigercompressoren is dit effect minder);
- De manier waarop de capaciteit van de koelmachine geregeld wordt, kan van invloed zijn op de hydraulische inpassing. Een stappenregeling kan een niet continue uittredetemperatuur uit de verdampers tot gevolg hebben. Als dit wel gewenst is, kan dit opgelost worden door het toepassen van een (gelaagde) buffer (moduul 8, 9, 10, 11 en 12);
- Een parallelgeschakelde gelaagde buffer kan als kortetermijnopslag van koude functioneren. Het verschil tussen het geleverd vermogen van de koelmachine en het gevraagd vermogen wordt opgeslagen in de buffer of geleverd vanuit de buffer;
- Een seriegeschakelde buffer voorkomt dat de compressoren te veel in- of uitgeschakeld worden. Hierbij zal de gekoeldwatertemperatuur naar de gebruikers fluctueren. De ontwerper dient eisen te stellen aan de schakeldifferentie van de uitgaande watertemperatuur. Aan de hand hiervan en van de toegestane schakelfrequentie kan de inhoud van buffer bepaald worden. Zie bijlage B voor de bepaling van de inhoud van een buffer;
- Ook onder deellastomstandigheden is een goede doorstroming van de warmtewisselaar gewenst om een gelijkmatige verdamping van het koelmiddel te verkrijgen. Het debiet mag daarom niet te laag worden. Bij grotere koelmachines is in overleg met de fabrikant een variatie

van de volumestroom van 10% per minuut mogelijk met een minimum van 60% ten opzichte van de ontwerp volumestroom.

Beveiliging

Een aantal parameters worden intern in de koelmachine beveiligd:

- Minimale en maximale verdampingstemperatuur/druk;
- Minimale en maximale condensatietemperatuur/druk;
- Stroming over de verdamper/condensor;
- Vorstbeveiliging bij buitenopstelling koeler van de condensor door toepassing antivries of door heaterlint.

Afvoer condensorwarmte

De warmte die aan de condensorzijde van de koelmachine vrijkomt, dient afgevoerd of gebruikt (warmtepomp) te worden. Voor de situatie dat de warmte gebruikt wordt (warmtepomp) kan met betrekking tot de hydraulische inpassing ISSO-publicatie 44 gebruikt worden.

Voor de afvoer van de condensorwarmte kan gebruik gemaakt worden van:

- Oppervlaktewater;
- Energieopslag;
- Droge koeler;
- Koeltoren;
- Luchtgekoelde condensor;
- Afvoerlucht luchtbehandelingskast.

Bij toepassing van de watergekoelde condensoren gelden de volgende randvoorwaarden:

- Waterzijdige beveiliging van de condensorintredetemperatuur;
- Constante volumestroom over de warmtewisselaar; in overleg met leverancier variatie van volumestroom.

A.2.2 Absorptiekoelmachines

Algemeen

In een absorptiekoelmachine vindt de aandrijving plaats met warmte; meestal lage-druk stoom of heet water. In de gebouwde omgeving wordt een absorptiekoelmachine meestal gecombineerd met een warmtekrachttunit (of stadsverwarming).

Benodigd vermogen

Het beschikbare aandrijfvermogen (bijvoorbeeld het thermisch vermogen van de WK-unit) en het temperatuurniveau bepalen het koelvermogen dat met absorptiekoeling haalbaar is.

Uit rentabiliteitsoverwegingen (veel draaiuren of gratis warmte) wordt een absorptiekoelmachine vaak zodanig gedimensioneerd dat de machine het basiskoelvermogen levert en dus veel vollasturen maakt. Het resterende koelvermogen wordt dan geleverd door compressie koelmachines.

Temperatuurniveau gekoeld water

Om bevriezing van het gekoeld water in de verdamper te voorkomen is de uittredetemperatuur van het gekoelde water naar beneden toe begrensd tot 3 à 5 °C. De leverancier van de koelmachine dient de minimale temperatuur op te geven.

Het temperatuurtraject van het gekoelde water ligt meestal tussen 4 en 8 K.

Drukverlies gekoeld water

Het drukverlies in de verdamper is afhankelijk van het type warmtewisselaar. Dit dient door de leverancier van de koelmachine te worden gespecificeerd.

Statische druk

Zie compressiekoelmachine.

Overdimensioneren

Zie compressiekoelmachine.

Transportmedium koude

Voor het leveren van koude wordt gebruik gemaakt van water. Water met antivries heeft geen nut omdat de gangbare absorptiekoelmachines niet geschikt zijn om water te koelen tot een temperatuur die lager is dan 3 à 5°C. Het koudemiddel dat bij deze absorptiekoelmachines wordt toegepast is hiervoor niet geschikt.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Het temperatuurniveau van het gekoeldwater dat de koelmachine moet maken, wordt bepaald door het vereiste temperatuurniveau voor het afgiftesysteem. Vooral voor deellastomstandigheden dient goed vastgelegd te worden welke eisen eventueel aan de gekoeldwateraanvoertemperatuur worden gesteld. Wanneer bijvoorbeeld altijd een vaste aanvoertemperatuur binnen een smalle bandbreedte vereist is, stelt dit stringente voorwaarden aan de hydraulische schakeling en de regelbaarheid van het opgewekte koelvermogen.

Vermogensregeling

- In veel gevallen levert een absorptiekoelmachine het basis-koelvermogen en draait derhalve altijd op vollast;
- Het proces in de absorptiekoelmachine is een traag proces. Absorptiekoelmachines zijn daarom niet geschikt om snel wisselende belastingen bij te houden. Als er eisen zijn om toch snel te reageren op wisselende belastingen dient er parallel aan de absorptiekoelmachine een buffer toegepast te worden waarmee op korte termijn de wisseling van belasting opvangen kan worden;
- Het koelvermogen van een absorptiekoelmachine is traploos regelbaar tot een minimum van circa 10% van het ontwerpkoelvermogen. Theoretisch kan het nog lager dan 10%. Economisch gezien is dit echter niet gunstig. Indien de absorptiekoelmachine naar deellast teruggeregeld moet kunnen worden, dan geldt dit ook voor de warmtebron (wk-unit), tenzij de overtollige aandrijfwarmte elders wordt gebruikt of wordt afgevoerd naar de omgeving. In het laatste geval dienen de energetische aspecten van het totale systeem kritisch te worden beschouwd;
- Doorstroming van de verdamper kan tot circa 60% teruggeregeld worden mits dit langzaam gebeurt;
- Rendement onder deellast is ongeveer gelijk aan het rendement bij vollast. Bij dalende koelwatertemperatuur wordt het rendement iets beter.

Afvoer condensorwarmte

Bij absorptiekoelmachines komt relatief veel condensorwarmte vrij, die moet worden afgevoerd naar de omgeving.

Ten opzichte van een compressiekoelmachine moet ongeveer tweemaal zoveel condensorwarmte worden afgevoerd. In de wat grotere absorptiekoelmachines wordt de condensorwarmte met een natte koeltoren afgevoerd naar de omgeving. Het hiermee gemoeide elektriciteits- en waterverbruik is niet te verwaarlozen.

A.2.3 Korte-termijn koudeopslag

Algemeen

Kortetermijnkoudeopslag wordt in de utiliteitsbouw toegepast in de vorm van ijsbuffers of opslag van eutectische materialen in bollen van circa 10 cm. In beide gevallen wordt gebruik gemaakt van de faseovergang vast/vloeibaar, om zoveel mogelijk thermische energie per kubieke meter volume op te slaan. Een kortetermijnkoudeopslag wordt door een koelmachine geladen tijdens perioden dat er geen of weinig koudevraag is, bij voorkeur tijdens uren met een laag elektriciteitsstarief. Bij piekvraag wordt de opslag ingezet om koude te leveren. Een kortetermijnkoudeopslag is bij uitstek geschikt om gedurende een beperkte periode een groot koelvermogen te leveren.

Benodigd vermogen

Het maximale vermogen dat de kortetermijnkoudeopslag moet kunnen leveren wordt bepaald door het maximaal gevraagde koelvermogen door de afnemers verminderd met het koelvermogen dat de opgestelde koelmachines kunnen leveren.

Temperatuurniveau gekoeld water

Voor het temperatuurniveau van het gekoeldwater in het afgiftecircuit gelden geen beperkingen, omdat aan de opwekkingszijde een temperatuur beneden het vriespunt beschikbaar is. Het circuit door de kortetermijnkoudeopslag kan antivries bevatten. Dit circuit is in het algemeen met een platenwarmtewisselaar gescheiden van het koudedistributiecircuit. De aanvoertemperatuur in het afgiftecircuit moet met een mengregeling op de gewenste waarde worden gebracht.

Drukverlies gekoeld water

Het drukverlies in de kortetermijnopslag moet door de leverancier worden opgegeven. Rekening moet worden gehouden met extra weerstand als gevolg van anti-vries.

Statische druk

De scheidingswarmtewisselaar moet bestand zijn tegen de statische druk in het afgiftecircuit.

Overdimensioneren

Het belangrijkste criterium voor dimensionering van een kortetermijnkoudeopslag is de koelenergie, die kan worden opgeslagen. Overdimensioneren van de momentaan te leveren koelcapaciteit is niet aan de orde. In de warmtewisselaar in de korte-termijn koudeopslag en de scheidingswarmtewisselaar zal enige vervuiling optreden, waar in de specificering rekening mee moet worden gehouden.

Transportmedium koude

In het koudeopwekkingscircuit wordt gebruik gemaakt van water met antivries, omdat de opslag bij temperaturen onder 0 °C wordt bedreven. In het distributie- en afgiftecircuit kan water worden toegepast. Een scheidingswarmtewisselaar is dan nodig en een beveiliging tegen bevriezing in de warmtewisselaar.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Het temperatuurniveau van de kortetermijnkoudeopslag zal vrijwel altijd lager zijn dan de gewenste aanvoertemperatuur in het afgiftecircuit. Met een mengregeling aan de afnemerszijde of een hoeveelheidsregeling aan de opwekkerszijde kan de gewenste gekoeld-water aanvoertemperatuur worden verkregen.

Vermogensregeling

Kortetermijnkoudeopslag dient vooral om pieken in het koelvermogen op te vangen en kan derhalve als een vorm van vermogensregeling worden beschouwd.

Beveiliging

Daar waar de koude uit het circuit van de kortetermijn opslag wordt overgedragen aan een gekoeld-water circuit zonder antivries, dient tegen bevriezing te worden beveiligd.

Afvoer condensorwarmte

Niet van toepassing bij korte-termijn koudeopslag.

A.2.4 Langetermijnkoudeopslag in een aquifer

Algemeen

Seizoensmatige opslag van koude in een watervoerende zandlaag in de bodem (aquifer) is mogelijk door grondwater als medium te gebruiken. Met bron wordt grondwater opgepompt en weer geïnfilterd. 's Winters vindt opslag plaats van 'gratis' koude uit koude buitenlucht of een warmtepomp; 's zomers wordt deze koude gebruikt voor koeling. De koude uit het grondwater wordt overgedragen aan het gekoeld-watercircuit via een platenwarmtewisselaar.

Benodigd vermogen

Het vereiste koelvermogen wordt door de koudegebruikers bepaald. Belangrijk voor langetermijnkoudeopslag is het temperatuurniveau waarop het koelvermogen moet worden geleverd. Als de gekoeld-watertemperatuur lager dan 10 °C is en er stringente eisen aan worden gesteld, is een koelmachine voor aanvullende koeling wenselijk. De investeringskosten voor langetermijnkoudeopslag hangen nauw samen met het vereiste maximale brondebiet. Om zoveel mogelijk koelvermogen uit het grondwater te halen is een groot temperatuurtraject gewenst. Meestal wordt een dT van 8 à 10 K toegepast.

Temperatuurniveau gekoeld water

Langetermijnkoudeopslag functioneert goed bij een temperatuur van 9 °C en hoger. Indien langetermijn koudeopslag niet het volledige koelvermogen levert, dient deze bij voorkeur als voorcoeler te worden geschakeld. Voor een doelmatige inzet dient langetermijnkoudeopslag tenminste een temperatuurverlaging van 5 K te realiseren.

Drukverlies gekoeld water

De scheidingswarmtewisselaar vormt de enige stromingsweerstand voor gekoeld-water

Statische druk

De scheidingswarmtewisselaar moet bestand zijn tegen de statische druk in het afgiftecircuit.

Overdimensioneren

In de specificatie van de scheidingswarmtewisselaar dient rekening gehouden te worden met extra warmteweerstand door vervuiling. Aan de grondwaterzijde treedt overigens minder vervuiling op dan aan de gebouwzijde.

Transportmedium koude

Voor koudelevering met langetermijnkoudeopslag volstaat water zonder antivries.

Bevriezingsgevaar kan alleen optreden tijdens het laden van koude in de winter met droge koelers of luchtbehandelingskasten. Het gekoeldwatercircuit wordt echter om die reden niet van antivries voorzien, omdat andere maatregelen tegen bevriezing de voorkeur hebben.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

De behoefte aan een groot temperatuurtraject leidt tot de keuze van hoeveelheidsregeling bij de gebruikers en het voorkomen van thermische menging, in welke vorm dan ook. Naarmate de retourtemperatuur van het gekoeldwater juist voor de warmtewisselaar van de koudeopslag, hoger is, kan de koudeopslag meer koelvermogen leveren. Dit is vooral onder deellast van belang.

Vermogensregeling

Evenals koelmachines wordt langetermijnkoudeopslag meestal stapsgewijs en soms traploos in vermogen geregeld door het grondwaterdebiet aan te passen.

Beveiliging

In het grondwatercircuit gelden een aantal beveiligingen ten behoeve van de bronnen. Aan de gebouwszijde is vorstbeveiliging een aandachtspunt indien men met luchtbehandelingsbatterijen koude gaat laden.

Afvoer condensorwarmte

Niet van toepassing bij langetermijnkoudeopslag.

A.2.5 Bodemwarmtewisselaar

Algemeen

Een bodemwarmtewisselaar als bron voor koude maakt vaak onderdeel uit van een totaal energieconcept voor warmte en koude. Met behulp van een warmtepomp kan in de winter warmte onttrokken worden aan de bodem. Hierdoor koelt de bodem sterk af en ontstaat een koudebron in de zomer. Als de bodemwarmtewisselaar enkel voor koeling in de zomer toegepast wordt, dan is de beschikbare temperatuur voor koeling veel hoger en is het beschikbare vermogen beperkt.

Voor de toepassing als koudebron is het dus van groot belang te weten hoe de bodemwarmtewisselaar voor verwarming wordt ingezet.

Globaal zijn er voor toepassing van koeling **drie varianten** te onderscheiden:

1. Gebruik van passieve koeling met een bodemwarmtewisselaar, zonder gebruik van een warmtepomp;
2. Gebruik van actieve koeling met een omkeerbare warmtepomp;
3. Combinatie van 1 en 2.

Voor bodemwarmtewisselaars kan gebruik gemaakt worden van

- Horizontale bodemwarmtewisselaars;
- Verticale bodemwarmtewisselaars.

Horizontale bodemwarmtewisselaars liggen 1 à 2 meter onder het maaiveld. Door de grote lengte van de bodemwarmtewisselaar is hiervoor een groot maaiveldoppervlak benodigd. Verticale bodemwarmtewisselaars worden de bodem ingetrild of in boorgaten geplaatst. Verticale bodemwarmtewisselaars kunnen ook uitgevoerd worden in de vorm van energieheipalen.

In het geheel van het ontwerp van een systeem met bodemwarmtewisselaars zijn moeilijk eenduidige, algemeen geldige kengetallen te geven voor wat betreft beschikbare vermogens en temperatuurniveaus.

Voor een ontwerp zijn de volgende gegevens benodigd:

- Verdeling en omvang van de warmtevraag over het jaar;
- Verdeling en omvang van de koudevraag over het jaar;
- Piekvermogens en duur piekvermogens voor koeling en verwarming;
- Thermische eigenschappen van de bodem;
- Grondwaterstroming;
- Configuratie van de bodemwarmtewisselaarsystemen;
- Minimum temperatuurniveau dat bereikt mag worden.

De lengte van de bodemwarmtewisselaar wordt bepaald door bovenstaande parameters. Hiervoor zijn geen eenvoudige vuistregels te geven. Er zijn softwarepakketten op de markt waarmee berekeningen uitgevoerd kunnen worden. Een eerste indruk van de geschiktheid van de bodem kan verkregen worden middels de bodemgeschiktheidskaart. Deze is toegespitst op de woningbouw. In ISSO-publicatie 73 is een methode gegeven voor het ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars.

De lengte van de bodemwarmtewisselaar wordt meestal gedimensioneerd op de warmtevraag. De bepalende factor is daarbij het minimum temperatuurniveau die op mag treden. De eisen die gesteld worden aan het minimum temperatuurniveau worden bepaald door:

- Transportmedium;
- Wenselijkheid om bevrozing rond de bodemwarmtewisselaar te vermijden;
- Energetische prestaties van de warmtepomp; een lage bodemtemperatuur is ongunstig voor verwarming in verband met de lage COP van de warmtepomp;
- Een lage bodemtemperatuur is gunstig voor het toepassen van koeling.

Voor een goede warmteoverdracht in de bodemwarmtewisselaar is een turbulente stroming in de bodemwarmtewisselaar wenselijk. Hiervoor is een minimumdebiet noodzakelijk dat bepaald wordt door de dimensionering van de slangen.

In verband met technische aspecten van het inbrengen van de bodemwarmtewisselaar is de diepte per bodemwarmtewisselaar beperkt. Er worden meerdere bodemwarmtewisselaars toegepast. Het is mogelijk om ze in serie of parallel te schakelen. In onderstaande overzicht staan kort de voor- en nadelen van in serie of parallel aansluiten.

PARALLEL Voordelen:

- Onttrokken vermogen per bodemwarmtewisselaar gelijk;
- Kleine diameter lus;
- Relatief geringe opvoerhoogte circulatiepomp.

Nadelen:

- Gelijke leidinglengte per bodemwarmtewisselaar nodig;
- Hoog debiet over warmtepomp en kleine temperatuursprong verdamper;
- Grotere horizontale leidinglengte;
- Verdeler en verzamelaar of gemeenschappelijke aanvoer- en retourleiding nodig.

SERIE Voordelen

- Relatief laag debiet om turbulente stroming te krijgen;
- Onttrokken vermogen aan eerste bodemwarmtewisselaar groter dan bij laatste;
- Bodemtemperatuur verschillend bij bodemwarmtewisselaars;
- Grote lusdiameter om opvoerhoogte circulatiepomp te beperken;
- Afkoppelen lus moeilijk.

De afstand tussen de verschillende bodemwarmtewisselaars is ook van belang. Een groot aantal bodemwarmtewisselaars bij elkaar zorgt voor negatieve wederzijdse beïnvloeding. De optimale afstand is situatie-afhankelijk.

Beschikbaar/benodigd vermogen

Belangrijk is het onderscheid tussen piekbelasting en basisbelasting. Naast de hoogte van de piekbelasting is de duur van de piekbelasting belangrijk voor de optredende temperaturen en COP's.

Tijdens piekbelasting voor het koeling kan de temperatuur snel oplopen en zal en beschikbare vermogen afnemen. De bodem is niet in staat de warmte snel af te voeren.

Temperatuurniveau luchtzijdig Niet van toepassing.

Temperatuurniveau waterzijdig

Het temperatuurniveau tijdens koeling is niet constant en hangt sterk af van de ontwerpparameters zoals eerder gegeven. Belangrijke variabelen die door gebruik en gedrag beïnvloed worden zijn:

- Duur en hoogte piekbelasting koeling;
- Basis- en piekvraag warmte in de variant 2 en 3;
- Serieschakeling: grote delta T en kleine volumestroom;
- Parallelschakeling: kleine delta T en grote volumestroom.

Variant 1

Bij variant 1 met passieve koeling start men in het gunstigste geval met de bodemtemperatuur (11 à 12 °C). Tijdens langdurige piekbelasting kan de temperatuur in het ongunstigste geval oplopen tot de retourtemperatuur van het gkw-circuit.

Variant 2

Bij variant 2 wordt de temperatuur bepaald door de omkeerbare warmtepomp.

Variant 3

Bij variant 3 hangen de temperaturen sterk af van de bedrijfsvoering en de genoemde ontwerpparameters. In noodgevallen heeft men de warmtepomp ter beschikking. Bij passieve koeling kan een lage bodemtemperatuur die gedurende de warmtevraag tijdens het stookseizoen ontstaan is, benut worden. Gedurende de zomer zal de temperatuur van de bodem oplopen.

Drukverlies

Het drukverlies hangt af van:

- Schakeling bodemwarmtewisselaars: serieschakeling heeft een hoger drukverlies dan parallelschakeling;
- Debiet over de bodemwarmtewisselaar; hierbij is het voor de warmteoverdracht wenselijk dat de stroming in de warmtewisselaar turbulent is; voor het drukverlies is een zo laag mogelijk debiet gewenst;
- Transportmedium: bij gebruik van antivriesmengsels zal er een hoger drukverlies optreden.

Het optimale debiet en de daarbij behorende temperatuursprong hangt ook samen met de serie- of parallelschakeling. Bij parallelschakeling wordt vaak gebruik gemaakt van het Tichelmannprincipe.

Statische druk

Aan de hand van de maximale druk die in het systeem kan optreden dient de drukklasse van het materiaal van de bodemwarmtewisselaar bepaald te worden. De leverancier van materiaal dient de drukklasse van het materiaal op te geven.

Overdimensioneren

De bodemwarmtewisselaar wordt gedimensioneerd op basis van het langetermijngedrag van de bodem bij een te verwachte belasting bij een gemiddeld klimaatjaar. Overdimensioneren is mogelijk door in plaats van een gemiddeld klimaatjaar een extreem warm klimaatjaar als uitgangspunt te hanteren.

Transportmedium

In variant 1 is het mogelijk om water te gebruiken. Bij variant 2 en 3 wordt gebruik gemaakt van water-glycolmengsels om bevriezing te voorkomen.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

De temperatuur van het gekoeldwater dat vanuit de bodemwarmtewisselaar aan de koudegebruiker aangeboden wordt is afhankelijk van de bedrijfsvoering van het systeem. Bij gebruik van een bodemwarmtewisselaar voor alleen koeling zal de temperatuur van het gekoeldwater niet lager zijn dan ca. 14°C. Koudegebruikers waarbij ontvochtiging gewenst is, zijn daarom niet te combineren met bodemwarmtewisselaars.

Variant 1

Vermogensregeling

Het beschikbare vermogen is niet constant en wordt bepaald door het gedrag van de bodem en de geschiedenis van de warmte- en koudevraag. Regeling van het vermogen is mogelijk door een mengregeling toe te passen waarbij het gekoelde water gemengd wordt met het retourwater van de gebruikers. Hierdoor zal de ingaande temperatuur hoger worden en zal het vermogen van de bodemwarmtewisselaar afnemen.

Tijdconstante, traagheid

Het vermogen en de temperaturen hangen sterk samen met het gedrag van de bodem. Kenmerk van de bodem is een zeer trage reactie. Er ontstaat evenwicht na enkele jaren. Piekbelasting geeft een reactie op een tijdschaal van enkele uren.

Beveiliging

Door middel van kwaliteitscontrole van de afdichting van verbindingstukken moet gecontroleerd

worden of er geen lekkage optreedt. Activaties mag onder geen beding naar de omgeving lekken. Met een drukmeting is lekkage te detecteren.

A.2.6 Warmtewisselaar in luchtbehandelingskast

Algemeen

De aangezogen buitenlucht in een luchtbehandelingskast kan bij lage buitentemperaturen koelvermogen leveren. Een lucht-waterwarmtewisselaar in de luchtbehandelingskast (hierna: batterij) dient in dat geval de koude over te dragen aan een watercircuit. De koude kan nodig zijn voor ruimtekoeling in vertrekken met hoge interne warmtelast, computerruimtes, of het laden van langetermijncoudeopslag.

Benodigd vermogen

In het geval van koudevraag in het gebouw is het koelvermogen dat een batterij moet kunnen leveren afhankelijk van:

- Het gevraagde koelvermogen bij lage buitentemperaturen; dit kan als functie van de buitentemperatuur worden uitgezet;
- Het al dan niet bijschakelen van een koelmachine voor aanvullende koeling; als dit niet plaatsvindt dient de batterij volledig aan de koelvraag te kunnen voldoen.

In geval van koude laden wordt de koelbatterij in de luchtbehandelingskast gebruikt en is de zomersituatie (koeling) mede bepalend voor de dimensionering van de batterij. Maatgevend voor de dimensionering, en dus het over te dragen vermogen, zijn:

- De totale hoeveelheid koude die in een gemiddeld klimaatjaar geladen moet worden, inclusief eventuele toeslagen voor een zachte winter en/of een warme zomer;
- Het temperatuurniveau voor koeling in de zomer en bijgevolg voor opslag van koude in de winter;
- De aanwezigheid van eventueel andere voorzieningen om koude te laden (warmtepomp, koeltoren, droge koeler);
- De wijze van vorstbeveiliging van de batterij.

Temperatuurniveau gekoeld water

Indien een batterij in een luchtbehandelingskast als koudeopwekker fungeert is het vereiste temperatuurniveau van het gekoeld-waterafhankelijk van:

- De koudevragers in het gebouw. Vaak kan het temperatuurniveau hoger zijn dan in de zomer omdat minder koelvermogen en geen ontvochtiging nodig is;
- In het geval van koude laden: de vereiste opslagtemperatuur in de bodem, de leidingverliezen en het temperatuurverschil over de scheidingswarmtewisselaar.

Drukverlies gekoeld water

Zie paragraaf 1.1.2.

Statische druk

Zie paragraaf 1.1.2.

Overdimensioneren

Zie paragraaf 1.1.2.

Transportmedium koude

Zie paragraaf 1.1.2.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Twee vragen zijn van belang voor een goede afstemming tussen koudeopwekking en koudegebruikers:

- Welke aanvoertemperatuur moet het gekoeldwater hebben?;
- Wat is het gevraagde koelvermogen?

Het koelvermogen van de batterij is afhankelijk van de buitentemperatuur en de hoeveelheid lucht die verplaatst wordt. De ontwerper moet bepalen vanaf welke buitentemperatuur de batterij het gevraagde koelvermogen kan leveren bij het gewenste temperatuurniveau. Eventueel kan een koelmachine voor nakoeling worden ingezet, maar dit maakt de hydraulische schakeling en de regeling complexer.

Vermogensregeling

Luchtzijdig is vermogensregeling van de batterij niet aan de orde, behalve eventueel als vorstbeveiliging tijdens koude laden.

Waterzijdig kan het afgegeven vermogen van de batterij desgewenst worden geregeld met een hoeveelheidsregeling of mengregeling. Met een hoeveelheidsregeling kan de circulatiepompenergie worden beperkt, wat de energie-efficiency van het koelproces ten goede komt. Voor de beveiliging van de warmtewisselaar is echter bij lage buitentemperaturen een constante volumestroom gewenst om bevriezing te voorkomen.

Beveiliging

Beveiliging tegen bevriezing is een belangrijk aspect als geen antivries wordt toegepast in het circuit door de batterij. Beveiliging kan luchtzijdig of waterzijdig plaatsvinden. Bij luchttemperaturen onder het vriespunt dient een goede doorstroming van de batterij te worden gewaarborgd.

Er zijn batterijen (Thermoguard) die bij bevriezing niet beschadigd raken. Het koelproces wordt echter wel onderbroken.

Afvoer condensorwarmte

De batterij produceert zelf geen warmte die moet worden afgevoerd.

A.2.7 Droge koeler

Algemeen

Bij lage buitentemperaturen kan de buitenlucht koelvermogen leveren. Een droge koeler is een luchtwaterwarmtewisselaar waarmee koude uit buitenlucht kan worden onttrokken en overgedragen aan een vloeistofcircuit. Het circuit van een droge koeler moet van antivries worden voorzien. Voor scheiding van het gekoeldwatercircuit wordt meestal een platenwarmtewisselaar toegepast. In dit geval kan het samenstel van droge koeler, scheidingswarmtewisselaar en tussencircuit met circulatiepomp als koudeopwekeenheden worden beschouwd.

Een droge koeler kan tevens dienen om condensorwarmte van koelmachines af te voeren.

Benodigd vermogen

In het geval van koudevraag in het gebouw is het koelvermogen dat een droge koeler moet kunnen leveren afhankelijk van:

- Het gevraagde koelvermogen bij lage buitentemperaturen; dit kan als functie van de buitentemperatuur worden uitgezet;
- Het al dan niet bijschakelen van een koelmachine voor aanvullende koeling; als dit niet plaatsvindt dient de droge koeler volledig aan de koelvraag te kunnen voldoen.

In het geval van koude laden met een droge koeler is maatgevend voor de dimensionering:

- De totale hoeveelheid koude die in een gemiddeld klimaatjaar geladen moet worden, inclusief eventuele toeslagen voor een zachte winter en/of een warme zomer;
- Het temperatuurniveau voor koeling in de zomer en bijgevolg voor opslag van koude in de winter;
- De aanwezigheid van eventueel andere voorzieningen om koude te laden (warmtepomp, koeltoren, warmtewisselaars in luchtbehandelingskasten).

Het koelvermogen van de droge koeler moet worden gespecificeerd met de volgende gegevens:

- Intredetemperatuur, debiet en gewenste uittredetemperatuur van de te koelen vloeistof;
- De buitentemperatuur;
- Specificatie van de te koelen vloeistof.

Temperatuurniveau gekoeld water

Het vereiste temperatuurniveau van het gekoeldwater is afhankelijk van:

- De koudevragers in het gebouw. Vaak kan het temperatuurniveau hoger zijn dan in de zomer omdat minder koelvermogen en geen ontvochtiging nodig is;
- In het geval van koude laden: de vereiste opslagtemperatuur in de bodem, de leidingverliezen en het temperatuurverschil over de scheidingswarmtewisselaar.

Drukverlies gekoeld water

Bij toepassing van een platenwarmtewisselaar als scheiding, is deze maatgevend voor het drukverlies. Op te geven door de leverancier. In het algemeen liggen de waarden bij het ontwerpdebiet tussen 20 en 60 kPa.

Statische druk

De maximale toegestane druk in de droge koeler dient door de fabrikant te worden opgegeven.

Meestal ligt dit niet zo kritisch omdat de droge koeler op het dak wordt geplaatst.

De statische druk in de scheidingswarmtewisselaar is afhankelijk van de plaatsing (in dakopbouw, of in kelder) en de optredende pompdruk.

Overdimensioneren

Zowel voor de droge koeler als de scheidingswarmtewisselaar geldt dat vervuiling het vermogen zal reduceren. Voor de droge koeler geldt dit zowel lucht- als waterzijdig. De leverancier dient vervuilingfactoren te verdisconteren in de specificaties.

Transportmedium koude

In het tussencircuit tussen droge koeler en scheidingswarmtewisselaar wordt in het algemeen water met 30% glycol toegepast.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Twee vragen zijn van belang voor een goede afstemming tussen koudeopwekking en koudegebruikers:

- Welke aanvoertemperatuur moet het gekoeldwater hebben?;
- Wat is het gevraagde koelvermogen?

De ontwerper moet bepalen vanaf welke buitentemperatuur de combinatie droge koeler en scheidingswarmtewisselaar het gevraagde koelvermogen kan leveren bij het gewenste temperatuurniveau. Eventueel kan een koelmachine voor nakoeling worden ingezet, maar dit maakt de hydraulische schakeling en de regeling complexer.

Vermogensregeling

Luchtzijdig is vermogensregeling van de droge koeler mogelijk door bij- en afschakelen van ventilatoren en/ of van een hoog/laag-toeren schakeling. Waterzijdig kan het afgegeven vermogen van de droge koeler worden geregeld met een hoeveelheidsregeling of mengregeling. Met een hoeveelheidsregeling kan de circulatiepompenergie worden beperkt, wat de energie-efficiency van het koelproces ten goede komt. Dit geldt met name ook in het circuit tussen droge koeler en scheidingswarmtewisselaar.

Beveiliging

Beveiliging tegen bevriezing vindt plaats door antivries. Aan de gekoeldwater zijde dient ook tegen bevriezing te worden beveiligd.

Afvoer condensorwarmte

De droge koeler produceert zelf geen warmte die moet worden afgevoerd.

A.2.8 Koeltoren

Algemeen

Bij lage buitentemperaturen kan de buitenlucht koelvermogen leveren. Een koeltoren is een lucht-waterwarmtewisselaar waarmee koude uit buitenlucht kan worden onttrokken en overgedragen aan een watercircuit. Kenmerkend voor een koeltoren is het versproeien van het water over een lamellenpakket, waarlangs de buitenlucht wordt geleid. Hierdoor ontstaat verdamping dat een extra afkoelend effect oplevert. Voor de mate van koeling met een koeltoren wordt gerekend met de natte-bol temperatuur van de buitenlucht.

Een koeltoren heeft een open circuit en moet derhalve worden voorzien van een warmtewisselaar voor scheiding met het gekoeld-watercircuit. Het samenstel van koeltoren, scheidingswarmtewisselaar en tussencircuit met circulatiepomp kan als koudeopwekeenheid worden beschouwd.

Een koeltoren dient meestal om condensorwarmte van koelmachines af te voeren.

Benodigd vermogen

In het geval van koudevraag in het gebouw is het koelvermogen dat een koeltoren moet kunnen leveren afhankelijk van:

- Het gevraagde koelvermogen bij lage buitentemperaturen; dit kan als functie van de buitentemperatuur worden uitgezet;
- Het al dan niet bijschakelen van een koelmachine voor aanvullende koeling; als dit niet plaatsvindt dient de koeltoren volledig aan de koelvraag te kunnen voldoen.

In het geval van koude laden met een koeltoren is maatgevend voor de dimensionering:

- De totale hoeveelheid koude die in een gemiddeld klimaatjaar geladen moet worden, inclusief eventuele toeslagen voor een zachte winter en/of een warme zomer;

- Het temperatuurniveau voor koeling in de zomer en bijgevolg voor opslag van koude in de winter;
- De aanwezigheid van eventueel andere voorzieningen om koude te laden (warmtepomp, droge koeler, warmtewisselaars in luchtbehandelingskasten).

Het koelvermogen van de koeltoren moet worden gespecificeerd met de volgende gegevens:

- Intredetemperatuur, debiet en gewenste uittredetemperatuur van de te koelen vloeistof;
- De natte-bol buitentemperatuur.

Temperatuurniveau gekoeld water

Het vereiste temperatuurniveau van het gekoeldwater is afhankelijk van:

- De koudevragers in het gebouw. Vaak kan het temperatuurniveau hoger zijn dan in de zomer omdat minder koelvermogen en geen ontvochtiging nodig is;
- In het geval van koude laden: de vereiste opslagtemperatuur in de bodem, de leidingverliezen en het temperatuurverschil over de scheidingswarmtewisselaar.

Drukverlies gekoeld water

Bij toepassing van een platenwarmtewisselaar als scheiding, is deze maatgevend voor het drukverlies. Op te geven door de leverancier. In het algemeen liggen de waarden bij het ontwerpdebiet tussen 20 en 60 kPa.

Statische druk

Het koeltorencircuit is een open circuit. De statische druk in de scheidingswarmtewisselaar is afhankelijk van de plaatsing (in dakopbouw, of in kelder) en de optredende pompdruk.

Overdimensioneren

Voor een koeltoren speelt het verdampingseffect een belangrijke rol. In het geval een koeltoren zowel voor condensorkoeling als voor koudeopwekking in het koude seizoen wordt ingezet, dient voor beide situaties de dimensionering te worden bepaald. In het koude seizoen is het verdampingseffect aanzienlijk minder dan in de zomer en treedt een optimale werking op wanneer er minder water per oppervlak koeltorenpakket wordt versproeid.

Voor de scheidingswarmtewisselaar dient rekening met vervuilingfactoren te worden gehouden. De leverancier dient vervuilingfactoren te verdisconteren in de specificaties.

Transportmedium koude

In het tussencircuit tussen koeltoren en scheidingswarmtewisselaar wordt in het algemeen water toegepast met eventueel waterbehandeling tegen hardheid en spuivoorzieningen.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Twee vragen zijn van belang voor een goede afstemming tussen koudeopwekking en koudegebruikers:

- Welke aanvoertemperatuur moet het gekoeldwater hebben?;
- Wat is het gevraagde koelvermogen?

De ontwerper moet bepalen vanaf welke buitentemperatuur de combinatie koeltoren en scheidingswarmtewisselaar het gevraagde koelvermogen kan leveren bij het gewenste temperatuurniveau. Eventueel kan een koelmachine voor nakoeling worden ingezet, maar dit maakt de hydraulische schakeling en de regeling complexer.

Vermogensregeling

Luchtzijdig is vermogensregeling van de koeltoren mogelijk door bij- en afschakelen van ventilatoren en/ of van een hoog-laagtoeren schakeling. Waterzijdig is vermogensregeling van de koeltoren niet mogelijk in verband met de vereiste voordruk van de sproeiers en een goede waterverdeling over het pakket.

Beveiliging

Beveiliging tegen bevrozing vindt plaats door regeling van de ventilatoren en door een verwarmingselement in de wateropvangbak van de koeltoren. Als de koeltoren niet in gebruik is, wordt deze in het algemeen afgetapt.

Afvoer condensorwarmte

De koeltoren produceert zelf geen warmte die moet worden afgevoerd.

A.2.9 Oppervlaktewater

Algemeen

Oppervlaktewater kan koelvermogen leveren mits er voldoende temperatuurverschil is tussen het oppervlaktewater en te koelen medium (>5 K). Het oppervlaktewater wordt door een warmtewisselaar gepompt om de koude over te dragen aan het gekoeldwatercircuit.

Benodigd vermogen

In het geval van koudevraag in het gebouw is het koelvermogen dat oppervlaktewater moet kunnen leveren afhankelijk van:

- Het gevraagde koelvermogen;
- Het al dan niet bijschakelen van een koelmachine voor aanvullende koeling; als dit niet plaatsvindt dient het oppervlaktewater volledig aan de koelvraag te kunnen voldoen.

In het geval van koude laden met oppervlaktewater is het temperatuurniveau van de koudeopslag maatgevend. Het oppervlaktewater dient een temperatuur van 2 à 3K onder de opslagtemperatuur te hebben. Gegeven het gewenste temperatuurniveau van oppervlaktewater, is het vermogen eenvoudig in te stellen met het debiet van het oppervlaktewater.

Temperatuurniveau gekoeld water

Het vereiste temperatuurniveau van het gekoeldwater is alleen in het koude seizoen met oppervlaktewater haalbaar omdat:

- Het temperatuurniveau in het gekoeldwatercircuit wat hoger kan zijn dan in de zomer omdat minder koelvermogen en geen ontvochtiging nodig is;
- De temperatuur van het oppervlaktewater in het koude seizoen lager is dan in de zomer en daarmee op een bruikbaar niveau kan komen.

Drukverlies gekoeld water

Bij toepassing van een warmtewisselaar als scheiding, is deze maatgevend voor het drukverlies. Op te geven door de leverancier. In het algemeen liggen de waarden bij het ontwerpdebiet tussen 20 en 60 kPa.

Statische druk

Het oppervlaktewatercircuit is een open circuit. De statische druk in de scheidingswarmtewisselaar is afhankelijk van de plaatsing (in dakopbouw, of in kelder) en de optredende pompdruk.

Overdimensioneren

Vervuiling in de scheidingswarmtewisselaar aan de zijde van het oppervlaktewater is een heel belangrijk aandachtspunt, dat goed met de leverancier moet worden doorgesproken. Er zijn specifieke oplossingen hiervoor ontworpen. De leverancier dient hier heldere specificaties en garanties op te geven.

Transportmedium koude

Geen bijzonderheden.

Relatie koudeopwekker en koudegebruiker

Belangrijk is om het (gemiddelde) temperatuurverloop van het oppervlaktewater te kennen. Dit bepaalt welke bijdrage oppervlaktewater aan de koudelevering kan leveren. In het geval van koudeopslag volgt uit het temperatuurprofiel van oppervlaktewater over het jaar en de vereiste hoeveelheid te laden koude, hoe groot de installatie moet worden gedimensioneerd.

Vermogensregeling

Is zeer beperkt mogelijk, behalve aan de gekoeldwaterzijde. Het debiet oppervlaktewater door de warmtewisselaar moet in het algemeen op ontwerpniveau worden gehouden om vervuiling tegen te gaan.

Beveiliging

Geen bijzonderheden.

Afvoer condensorwarmte

Niet van toepassing, behalve in de zin dat oppervlaktewater kan worden ingezet om condensorwarmte van koelmachines af te voeren.

BIJLAGE B SERIEGESCHAKELDE BUFFERS IN EEN HYDRAULISCHE SCHAKELING VOOR KOELEN

Waarom een buffer toepassen?

Bij het toepassen van compressiekoelmachines wordt veelal een buffer toegepast. Dit is nodig om de volgende redenen:

1. De levensduur van een compressor in een koelmachine wordt in hoge mate bepaald door het aantal starts dat wordt gemaakt. De motor wordt in relatief korte tijd van stilstand op het minimale toerental gebracht. Hierbij komen grote krachten vrij op de lagers en de motorwikkelingen terwijl de smeerolie de lagers nog niet heeft bereikt. Het starten van de compressoren is daarom niet zo gunstig;
2. Bij iedere start van de compressor verdwijnt er een hoeveelheid olie in het koelmiddelsysteem. Dit kan niet worden voorkomen maar wel worden verminderd door het aantal starts te verminderen;
3. Bij een goed koeltechnisch ontwerp van leidingen, condensor en koeler, zal de olie weer terugkomen in de compressor. Om de olie terug te voeren naar de compressor, dient een gestarte compressor echter wel voldoende draaitijd te hebben.

Plaats van de buffer

De buffer kan zowel aan de intredezijde van de koelmachine als aan de uittredezijde geplaatst worden. Het voordeel van een buffer aan de uittredezijde is een kleinere temperatuurf fluctuatie naar de gebruiker.

Inhoud van het buffer

De formule voor het bepalen van de benodigde systeeminhoud is:

$$V [m^3] = (0,5 \times \varphi \times t) / (c \times \rho \times \Delta T)$$

In deze formule zijn de volgende parameters gebruikt:

- De capaciteit van de grootst schakelende trap van de koelmachine (φ , kW). Bij een koelmachine met een capaciteit van 100 kW en met capaciteitstrappen van 50% en 100% is dus de capaciteit van de grootst schakelende trap 50 kW;
- De factor 0,5 is gebruikt omdat de meeste schakelingen optreden als de gevraagde/benodigde koelcapaciteit de helft bedraagt van de capaciteit van de grootst schakelende trap. In het genoemde voorbeeld dus 25 kW. Bij geen vraag zal de compressor niet starten en bij 50 kW vraag zal de compressor niet uitschakelen. Daar tussenin (bij 25 kW dus) zal de compressor het meest schakelen;
- De gewenste minimale tijd tussen start en stop (t , seconden). Als de leverancier bijvoorbeeld voorschrijft dat 12 starts per uur toegestaan is, mag de compressor elke 300 seconden één keer starten. Rekening houdend met een stop tussen het starten door, bedraagt dan de tijd tussen starten en stop 150 seconden;
- De schakeldifferentie van de regeling (ΔT , K). Op basis van een bepaalde afwijking van een bepaalde temperatuur wordt de compressor aan- en uitgeschakeld. Het verschil tussen de afwijking bij aan- en uitschakelen is de schakeldifferentie. Als uitgeschakeld wordt bij een temperatuur van $12^\circ\text{C} - 0,5^\circ\text{C}$ en aangeschakeld wordt bij een temperatuur van $12^\circ\text{C} + 0,5^\circ\text{C}$, bedraagt het verschil 1 K. Dit is dan de schakeldifferentie. De schakeldifferentie dient door de ontwerper bepaald te worden. Hoe groter de schakeldifferentie, hoe kleiner de benodigde systeeminhoud maar hoe groter de temperatuurvariatie van de aanvoertemperatuur naar de gebruikers. Deze variatie is gelijk aan het temperatuurverschil van de schakelende trap (bijvoorbeeld $12^\circ\text{C} - 9^\circ\text{C} = 3 \text{ K}$) plus de schakeldifferentie (in het voorbeeld dus in totaal een variatie van 4 K);
- De soortelijke warmte van het medium (c , kJ/ kg.K). Voor water is dit ongeveer 4,2 kJ/(kg.K);
- De soortelijke massa van het medium (ρ , kg/m³). Voor water is dit ongeveer 1000 kg per m³.

Als de gegevens van het genoemde voorbeeld ingevuld worden, bedraagt de benodigde inhoud 0,9 m³.

De benodigde systeeminhoud is in voorgaande berekend met behulp van een maximaal aantal starts per uur. Een ander criterium is de gewenste minimale tijd dat de compressor moet draaien. De systeeminhoud die hiervoor nodig is kan met vrijwel dezelfde formule berekend worden:

$$V [m^3] = (\varphi \times t) / (c \times \rho \times \Delta T)$$

In deze formule zijn de volgende parameters gebruikt:

- De capaciteit van de grootst schakelende trap van de koelmachine (φ , kW). Bij een koelmachine met een capaciteit van 100 kW en met capaciteitstrappen van 50% en 100% is dus de capaciteit van de grootst schakelende trap 50 kW. De factor 0,5 wordt nu niet gebruikt omdat de kortste draaitijd ontstaat bij een gevraagde koelcapaciteit van bijna 0 kW. Het vermogen waar bij deze formule mee gerekend moet worden bedraagt dus in dit voorbeeld 50 kW;
- De benodigde draaitijd in verband met het terugvoeren van de olie (t, seconden). Afhankelijk van het koeltechnisch ontwerp bedraagt deze tijd 1 tot 5 minuten (60 tot 300 seconden). De leverancier zal dit voor moeten schrijven;
- De schakeldifferentie van de regeling (ΔT). Deze is gelijk aan de voorgaande berekening;
- De soortelijke warmte van het medium (c, kJ/ kg.K). Voor water is dit ongeveer 4,2 kJ/(kg.K);
- De soortelijke massa van het medium (ρ , kg/m³). Voor water is dit ongeveer 1000 kg per m³;
- Als voor de minimale draaitijd twee minuten (120 seconden) aangehouden wordt, bedraagt de benodigde inhoud in het voorbeeld 1,4 m³;
- Voor het beperken van het aantal start/stops bleek 0,9 m³ voldoende te zijn. In verband met de draaitijd blijkt echter meer volume nodig te zijn. Deze is dus bepalend.

BIJLAGE C ONTWERPREGELS VOOR KOUDEGEBRUIKMODULEN

C.1 INLEIDING

Met de inregelafsluiters en de hydraulische ontwerpeisen voor de koudegebruikermodule op de volgende werkbladen wordt het **gewenste gedrag** gerealiseerd voor vollast en deellastsituaties. De ontwerpeisen concentreren zich op de aansluitdruk over de gebruikermoduul, het type regelafsluiter en de benodigde Autoriteit voor de regelafsluiter. Het dimensioneren van de pomp(en) is niet op de werkbladen vermeld. De grafieken op de werkbladen geven een indruk van de werking van de moduul bij vollast en deellastsituaties.

De werkbladen zijn alleen gegeven voor de koudegebruikermodule 1, 2, 4, 5, 6 en 7. Een leidraad bij het bestuderen van de grafieken is te letten op het verschil in voelbare warmteoverdracht φ_v bij de module met vermogensregeling d.m.v. mengen (1,2,5 en 7) en smoren (4 en 6). Bij de module 4 en 6 is meer condensatie mogelijk omdat de aanvoertemperatuur θ_2 laag blijft.

C.2 GEWENST GEDRAG KOUDEGEBRUIKERMODUUL

Het gewenste gedrag van een koudegebruikermoduul is als volgt gespecificeerd:

- Instellen van de vollastvolumestroom met de in de moduul opgenomen inregelafsluiters;
- Een zo lineair mogelijk verband tussen het geregelde vermogen en de stand van de regelafsluiter. Het geregelde vermogen is meestal het voelbare vermogen φ_v ;
- Voldoende ver terug te regelen vermogen. Op basis van de grondkarakteristiek van een regelafsluiter geldt hiervoor $\varphi/\varphi_{100} < 0,1$;
- Constante volumestroom $\pm 10\%$ variatie t.o.v. vollastvolumestroom;
- Geen omkeren van volumestromen tijdens deellastsituaties waar dit door de ontwerper niet bedoeld is. Dit treedt bijvoorbeeld op in de recirculatieleiding van gebruikermoduul 5 als 2-weg naregeling wordt toegepast.

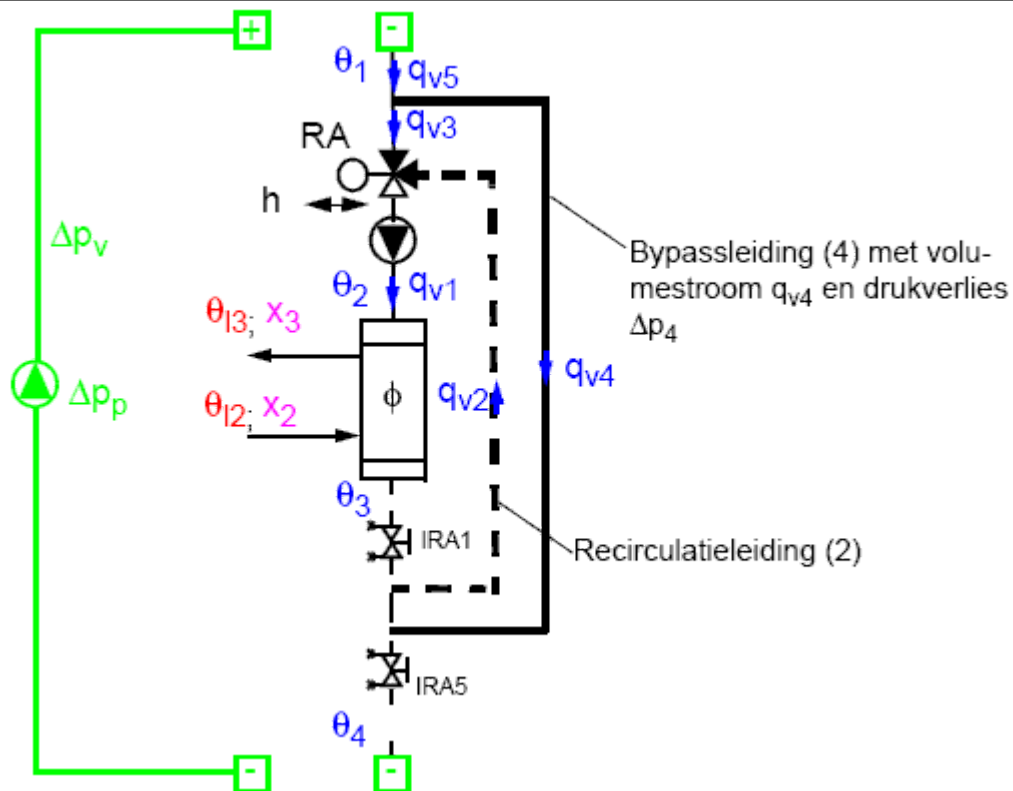
In de grafieken is op de horizontale as de stand van de regelafsluiter uitgezet. Op de verticale as zijn uitgezet de temperaturen van water en lucht, volumestromen water, absolute vochtigheid van de lucht, het totale en voelbare vermogen. Deze waarden zijn relatief gegeven t.o.v. een gegeven vollastsituatie (index 100).

C.3 DIMENSIONEREN

Onder de kop "hydraulische ontwerpeisen" is aangegeven welke waarden voor druk, drukverlies en autoriteit moeten worden aangehouden.

Passieve moduul

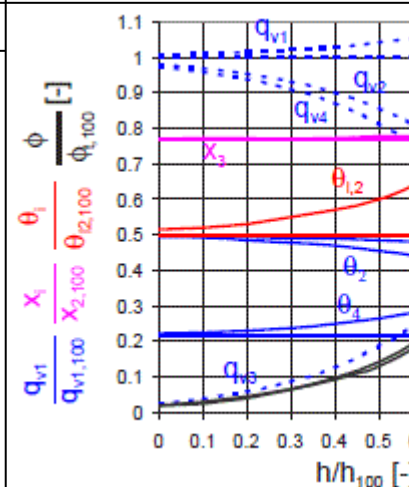
Gewenst gedrag moduul als ontv



Grafiek 1 (θ_{l3} en x_3 constant)

Functie inregelafsluiters (vollast= index 100)

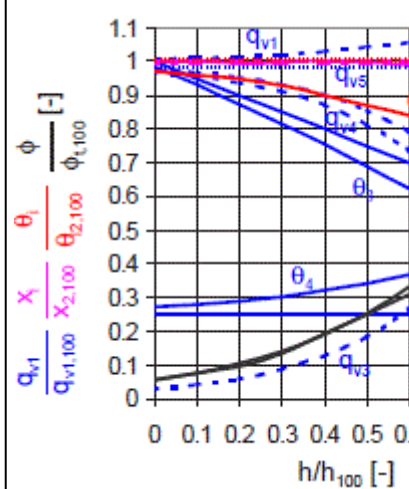
- Instellen vollastvolumestroom $q_{v1,100}$ met IRA1;
- Instellen vollastvolumestroom $q_{v5,100}=q_{v1,100}$ met IRA5.



Hydraulische ontwerpeisen (vollast=index 100 en nullast=index 0)

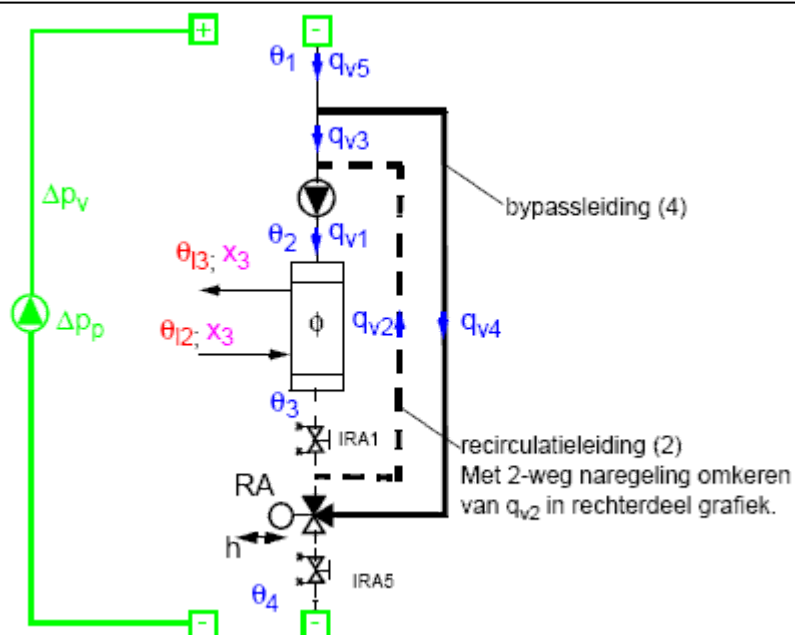
Grafiek 2 (θ_{l2} en x_2 constant)

- Aansluitdruk moduul $\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$ constant houden;
- Recirculatieleiding 2 drukverlies, < 1kPa, dus korte en/of grote diameter;
- Bypassleiding 4 drukverlies, < 1kPa, dus korte en/of grote diameter;
- $\Delta p_{3,100}$ ongeveer $4 \cdot \Delta p_{4,0}$ i.v.m. voldoende drukverlies over RA, zie def. Autoriteit;
- Regelaarsluis RA equiprocentueel en complementair met $25 < SVO < 50$;
- Autoriteit $A > 0,5$ met $A = \Delta p_{RA,100} / (\Delta p_{RA,100} + \Delta p_{3,100})$.



Passieve moduul

Gewenst gedrag moduul als ontwerpeisen worden

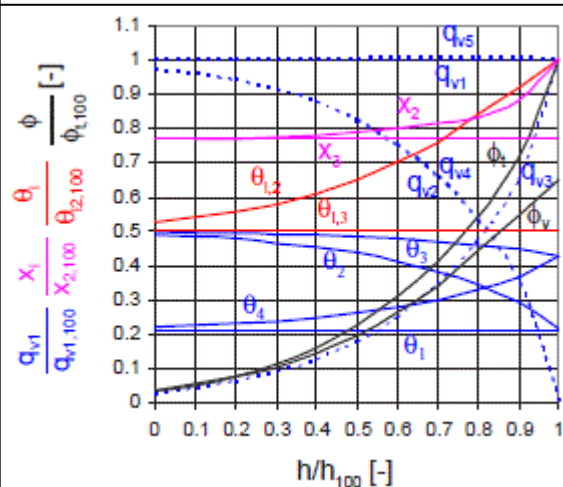


Grafiek 1 (θ_{l3} en x_3 constant)

Functie inregelafsluiters (vollast= index 100)

Zonder vaste voormenging $q_{v2,100}=0$, dus $\theta_{1,100}=\theta_{2,100}$

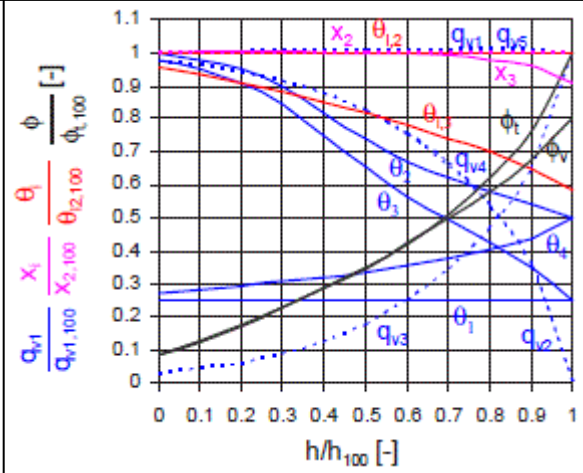
- Instellen vollastvolumestroom $q_{v1,100}$ met IRA1;
- Instellen vollastvolumestroom $q_{v5,100}=q_{v1,100}$ met IRA5.

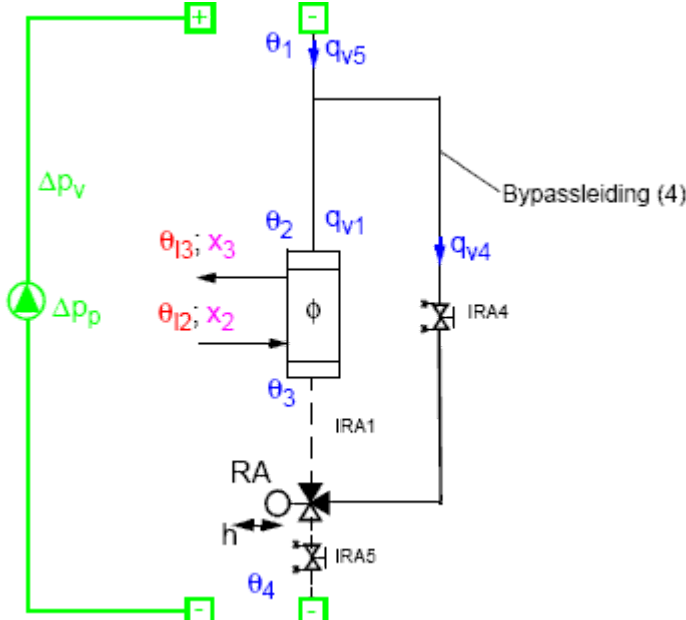
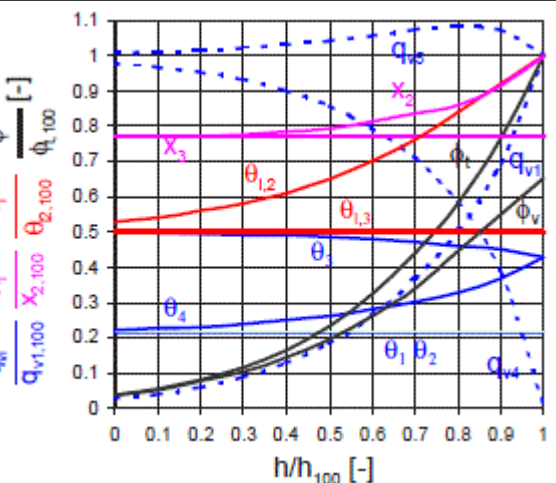


Hydraulische ontwerpeisen (vollast=index 100 en nullast=index 0)

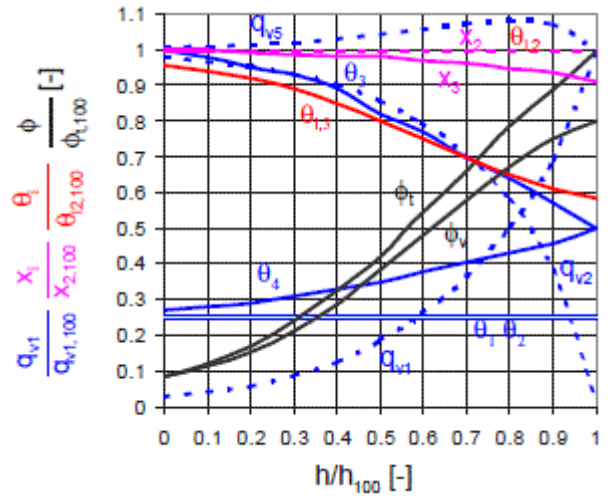
Grafiek 2 (θ_{l2} en x_2 constant)

- Aansluitdruk moduul $\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$ constant houden;
- Recirculatieleiding 2 drukverlies, < 1kPa, dus korte en/of grote diameter;
- Bypassleiding 4 drukverlies, < 1kPa, dus korte en/of grote diameter;
- $\Delta p_{3,100}$ ongeveer $4 \cdot \Delta p_{4,0}$ i.v.m. voldoende drukverlies over RA;
- Regelaarsluiser RA equiprocentueel en complementair met 25 <SVO<50;
- Autoriteit $A > 0,5$ met $A = \Delta p_{RA,100} / (\Delta p_{RA,100} + \Delta p_{3,100})$.



KOUDEGEBRUIKERMODUUL 4		ISSO-p
Passieve moduul	Gewenst gedrag moduul als ontwerpeisen worden gevolgd	
	<p>Grafiek 1 (θ_{l3} en x_3 constant)</p>	Uitgang
<p>Functie inregelafsluiters (vollast= index 100 en nullast=index 0)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instellen vollastvolumestroom $q_{v5,100} = q_{v1,100}$ met IRA5; • Instellen nullastvolumestroom $q_{v4,0} = q_{v1,100}$ met IRA4. 	 <ul style="list-style-type: none"> • $\theta_{l2,100} = 28^\circ\text{C}$ • $x_{2,100} = 0,013$ • $\gamma_{2,100} = 54,7\%$ • $\theta_{l3,100} = 14^\circ\text{C}$ constant • $x_{3,100}$ constant • $\gamma_{l3,0} = 100\%$ • $\theta_{l1,100} = 2,10^\circ\text{C}$ constant • $\theta_{l3,100}$ constant • Geen naregeling 	
Hydraulische ontwerpeise (vollast=index 100 en nullast=index 0)	Grafiek 2 (θ_{l2} en x_2 constant)	Uitgang

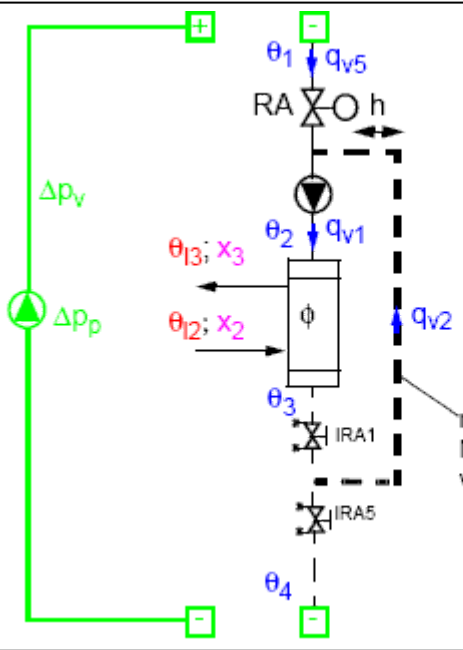
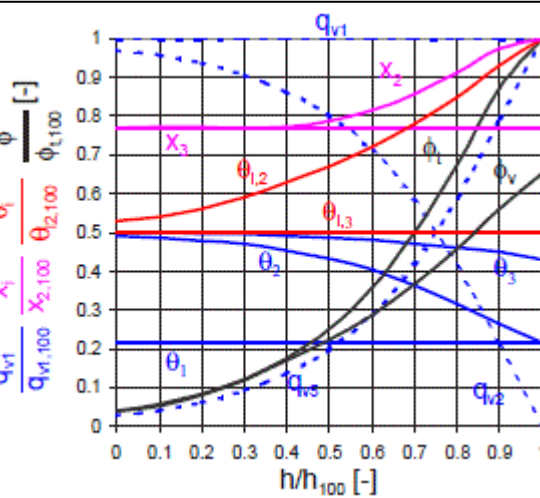
- Aansluitdruk moduul $\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$ constant houden;
- Als $(\Delta p_{5,100} + \Delta p_{v,100}) < 3 \cdot \Delta p_{1,100}$, dan IRA4 in bypassleiding (4) opnemen;
- Regelafsluiter RA equiprocentueel en complementair met SVO > 50;
- Autoriteit $A > 0,5$ met $A = \Delta p_{RA,100} / (\Delta p_{RA,100} + \Delta p_{1,100})$.



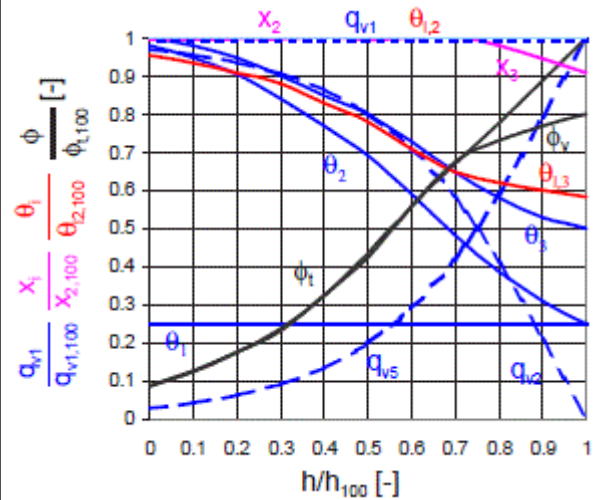
- $\theta_{12,10} = 24^\circ$
const
- $x_{2,10}$
kgv/k
const
- $\gamma_{2,10}$
- $\theta_{13,10} = 14^\circ\text{C}$;
- $x_{3,10}$
kgv/k
- $\gamma_{13,0}$
100%
- $\theta_{1,10}$
 $\theta_{2,10}$
const
- $\theta_{3,10}$
 $^\circ\text{C}$;
- Geen
nareg

Aanvulling retour temperatuur koude gebruiker modulen 5 en 6

1. Ontwerpsituatie Als de uittrede luchttemperatuur $\theta_{13,100}$ constant wordt gehouden en deze kleiner is dan de gekoeld water uittrede temperatuur $\theta_{3,100}$ dan daalt de uittrede temperatuur θ_3 tijdens deellast en wordt het temperatuurverschil $\theta_3 - \theta_1$ van het gekoeld water kleiner. Deze situatie komt voor bij duurzame technieken met hogere gekoelde water temperaturen.
2. Deellast situaties De uit de buitenlucht weg te koelen warmte is o.a afhankelijk van de combinatie buitenluchttemperatuur θ_{l2} en absolute vochtigheid x_{l2} . In bijlage C van ISSO-publicatie 47, zijn alleen combinaties van θ_{l2} en x_{l2} gegeven, waarbij de retourtemperatuur θ_3 stijgt en het temperatuurverschil $\theta_3 - \theta_1$ groter wordt. Er zijn ook combinaties voor de buitenlucht te bedenken waarbij de retourtemperatuur θ_3 daalt en het temperatuurverschil $\theta_3 - \theta_1$ kleiner wordt.

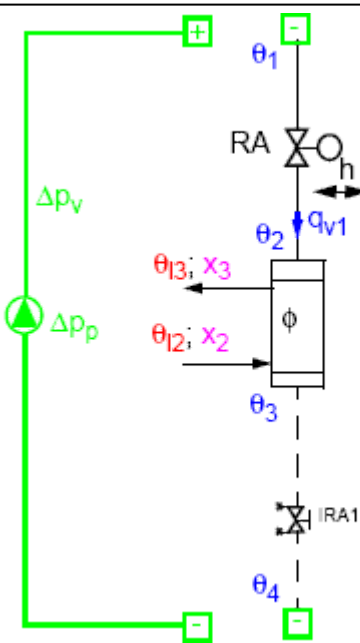
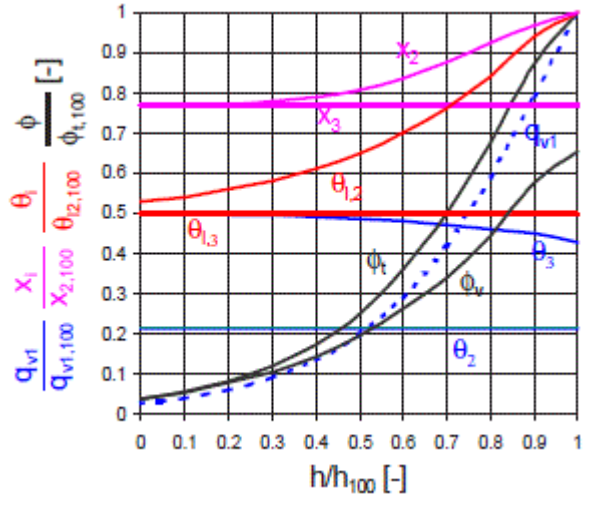
KOUDEGEBRUIKERMODUUL 5	
Passieve moduul	Gewenst gedrag moduul als ontwerpeisen worden
 <p>recirculatieleiding (2) Met 2-weg naregeling omkeren van q_{v2} in rechterdeel grafiek.</p>	Grafiek 1 (θ_{l3} en x_3 constant)
<p>Functie inregelafsluiters (vollast= index 100 en nullast=index 0)</p> <p>Zonder vaste voormenging ($q_{v2,100}=0$; dus $\theta_{l1,100}=\theta_{l2,100}$)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instellen vollastvolumestroom $q_{v1,100}$ met IRA1; • Instellen vollastvolumestroom $q_{v5,100}=q_{v1,100}$ met IRA5 	
Hydraulische ontwerpeise (vollast=index 100 en nullast=index 0)	Grafiek 2 (θ_{l2} en x_2 constant)

- Aansluitdruk moduul $\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$ constant houden;
- Recirculatieleiding (2) drukverlies, < 1kPa; kort en/of grote diameter;
- Regelaarsluis RA equiprocentueel met SVO>50;
- Autoriteit $A > 0,5$ met $A = \Delta p_{RA,100} / (\Delta p_{RA,100} + \Delta p_{5,100} + \Delta p_{v,100})$;
- Met 2-weg naregeling omkeren van q_{v2} in rechterdeel van de grafiek.

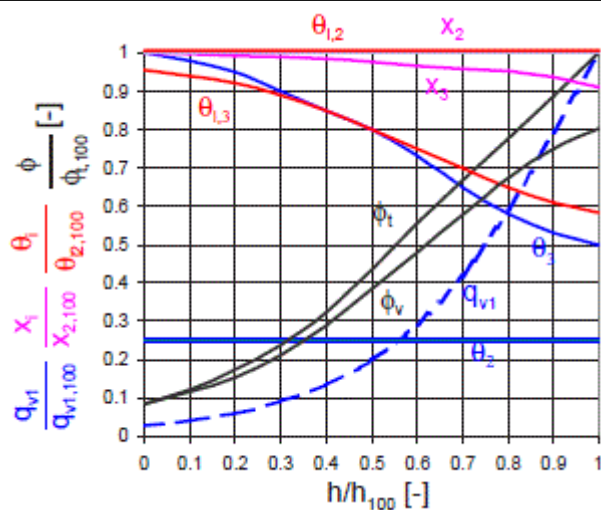


Aanvulling retour temperatuur koude gebruiker modulen 5 en 6

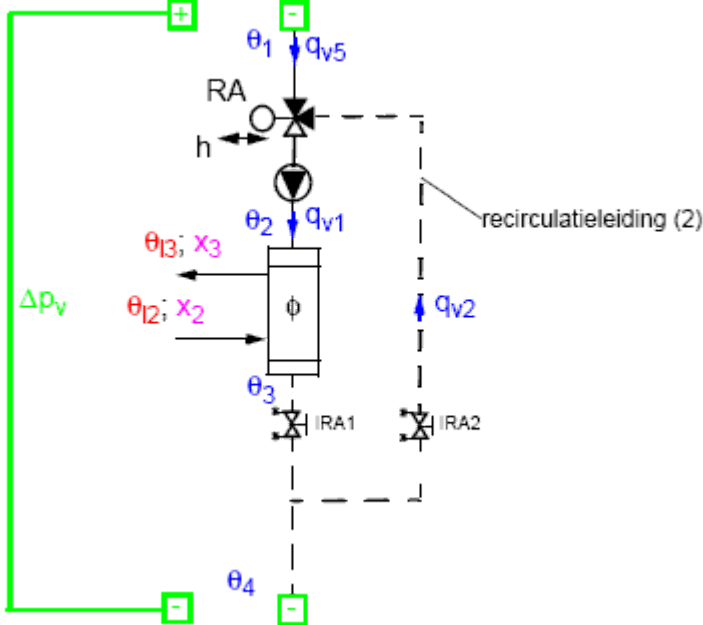
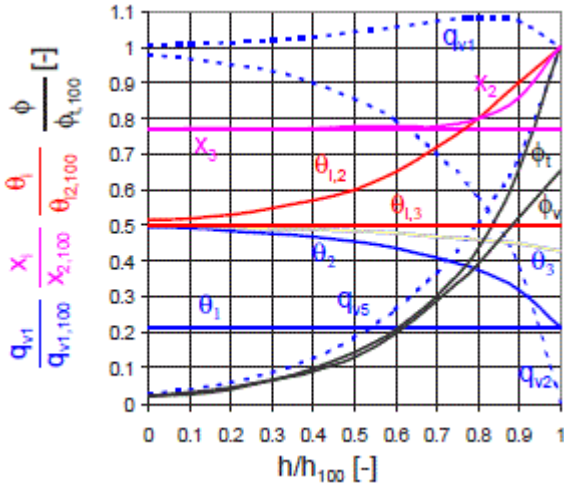
1. Ontwerpsituatie Als de uittrede luchttemperatuur $\theta_{13,100}$ constant wordt gehouden en deze kleiner is dan de gekoeld water uittrede temperatuur $\theta_{3,100}$ dan daalt de uittrede temperatuur θ_3 tijdens deellast en wordt het temperatuurverschil $\theta_3 - \theta_1$ van het gekoeld water kleiner. Deze situatie komt voor bij duurzame technieken met hogere gekoelde water temperaturen.
2. Deellast situaties De uit de buitenlucht weg te koelen warmte is o.a afhankelijk van de combinatie buitenluchttemperatuur θ_{l2} en absolute vochtigheid x_{l2} . In bijlage C van ISSO-publicatie 47, zijn alleen combinaties van θ_{l2} en x_{l2} gegeven, waarbij de retourtemperatuur θ_3 stijgt en het temperatuurverschil $\theta_3 - \theta_1$ groter wordt. Er zijn ook combinaties voor de buitenlucht te bedenken waarbij de retourtemperatuur θ_3 daalt en het temperatuurverschil $\theta_3 - \theta_1$ kleiner wordt.

KOUDEGEBRUIKERMODOUUL 6		ISSO-publicatie 47
Passieve moduul	Gewenst gedrag moduul als ontwerpeisen worden gevolgd	
	Grafiek 1 (θ_{l3} en x_3 constant)	Uitgangspunten
<p>Functie inregelafsluiters (vollast= index 100 en nullast=index 0)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instellen vollastvolumestroom $q_{v1,100}$ met IRA1. 		<ul style="list-style-type: none"> • $\theta_{l2,100} = 28^\circ\text{C}$; • $x_{2,100} = 0,013 \text{ kgv/kgf}$; • $\gamma_{2,100} = 54,7\%$; • $\theta_{l3,100} = \theta_{\text{ref}} = 14^\circ\text{C}$ constant; • $x_{3,100} = 0,01 \text{ kgv/kgf}$ constant; • $\gamma_{l3,00} = 100\%$; • $\theta_{l1,100} = \theta_{t1,100} = 6^\circ\text{C}$ constant; • $\theta_{t3,100} = 12^\circ\text{C}$; • Geen naregeling.
Hydraulische ontwerpeise (vollast=index 100 en nullast=index 0)	Grafiek 2 (θ_{l2} en x_2 constant)	Uitgangspunten

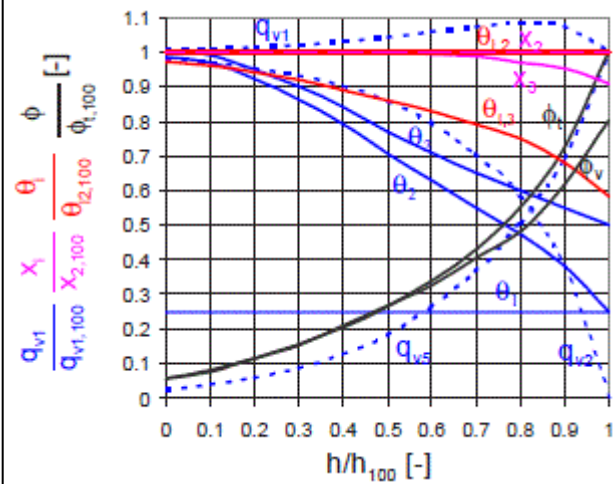
- Aansluitdruk moduul $\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$ constant houden;
- Regelaflsluiter RA equiprocentueel ;
- Als: $\varepsilon < 0,2$; dan Autoriteit $A > 0,8$ en $SVO = 100$;
 $\varepsilon < 0,3$; dan Autoriteit $A > 0,5$ en $SVO > 50$;
 $\varepsilon > 0,3$; dan Autoriteit $A > 0,3$ en $SVO > 50$.
met: $\varepsilon = (\theta_{2,100} - \theta_{3,100}) / (\theta_{2,100} - \theta_{ref})$, zie voor θ_{ref} uitgangspunten
 $A = \Delta p_{Ra,100} / (\Delta p_{Ra,100} + \Delta p_{1,100} + \Delta p_{v,100})$.



- $\theta_{l2,100} = \theta_{ref} = 24^\circ\text{C}$ constant;
- $x_{2,100} = 0,011$ kgv/kg constant;
- $\gamma_{2,100} = 59\%$;
- $\theta_{l3,100} = 14^\circ\text{C}$;
- $x_{3,100} = 0,01$ kgv/kgl;
- $\gamma_{l3,00} = 100\%$;
- $\theta_{1,100} = \theta_{2,100} = 6^\circ\text{C}$ constant;
- $\theta_{3,100} = 12^\circ\text{C}$;
- Geen naregeling.

KOUDEGEBRUIKERMODOUUL 7	
Actieve moduul	Gewenst gedrag moduul als ontwerpeisen worden g
	Grafiek 1 (θ_{l3} en x_3 constant)
<p>Functie inregelafsluiters (vollast= index 100 en nullast=index 0)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instellen vollastvolumestroom $q_{v1,100}$ met IRA1; • Instellen nullastvolumestroom $q_{v2,0}=q_{v1,100}$ met IRA2 (IRA2 optioneel, zie ontwerpeisen). 	
Hydraulische ontwerpeise (vollast=index 100)	Grafiek 2 (θ_{l2} en x_2 constant)

- Aansluitdruk moduul $\Delta p_a = \Delta p_p - \Delta p_v$ zonder pomp uitvoeren ($\Delta p_p < 1 \text{ kPa}$);
- Als $\Delta p_{1,100} < 5 \cdot (\Delta p_{5,100} + \Delta p_{v,100})$ dan IRA2 in recirculatieleiding 2 opnemen;
- Regelaflsluiter RA equiprocentueel en complementair $25 < \text{SVO} < 100$;
- Autoriteit A als $\Delta p_{1,100} > 5 \cdot (\Delta p_{5,100} + \Delta p_{v,100})$ dan $0,2 < A < 0,5$;
- Autoriteit A als $\Delta p_{1,100} < 5 \cdot (\Delta p_{5,100} + \Delta p_{v,100})$ dan $A > 0,5$;
- $A = \Delta p_{RA,100} / (\Delta p_{Ra,100} + \Delta p_{5,100} + \Delta p_{v,100})$.



BIJLAGE D OVERZICHT SAMENSTELLEN MODULEN

Neutrale distributiemoduul				Passieve distributiemoduul (evt. door regeling)														8	x		
																		A			
																		7			
																		A			
Passieve distributiemoduul				Actieve distributiemoduul														6		x	
																		P			
																		5	x		
																		P			
																		4		x	
																		P			
																		3			
																		P			
																		2	x		
																		P			
																		1			
																		P			
Opwekkermodulen																					
19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		warmtewisselaar in LBK – zonder condensatie	warmtewisselaar in LBK – met condensatie
A	A	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			
			x				x	x	x	x	x		x		x	x				compressie koelmachine	
			x				x	x	x	x	x		x		x	x				absorptie koelmachine	
			x	x		x						x						x		korte termijn koude-opslag	
			x	x		x						x						x		lange termijn koude-opslag in aquifers	
			x	x	x								x			x		x		bodem warmtewisselaar	
x					x	x							x				x			warmtewisselaar in LBK	
x			x		x	x	x						x							droge koeler	
x					x		x						x							koeltoren	
x					x		x						x							oppervlakte water	

BIJLAGE E CIRCULATIEPOMPEN CP

E.1 TESTEN VAN POMPEN

Voor het testen van een pomp of een pomp-/elektromotorcombinatie wordt door de fabrikant/leverancier gebruik gemaakt van verschillende normen. Enkele van deze normen zijn:

- ISO 9906 / EN 10704
Vaststellen pompkarakteristiek $\Delta p/q_v$ ($\Delta p/Q_v$);
- NEN-EN 1151
Eisen en beproevingen van centrifugaalpompen voor verwarming en drinkwaterinstallaties;
- ISO 2548 / 9906
Afnametesten afhankelijk van klasse.

De gemeten resultaten $\Delta p / q_v / \text{NPSH} / n / P_2$ bij pompen en de $\Delta p / q_v / \text{NPSH} / n / P_1$ bij pompen met elektromotor worden alle te samen met de berekende waarden voor rendementen gepubliceerd.

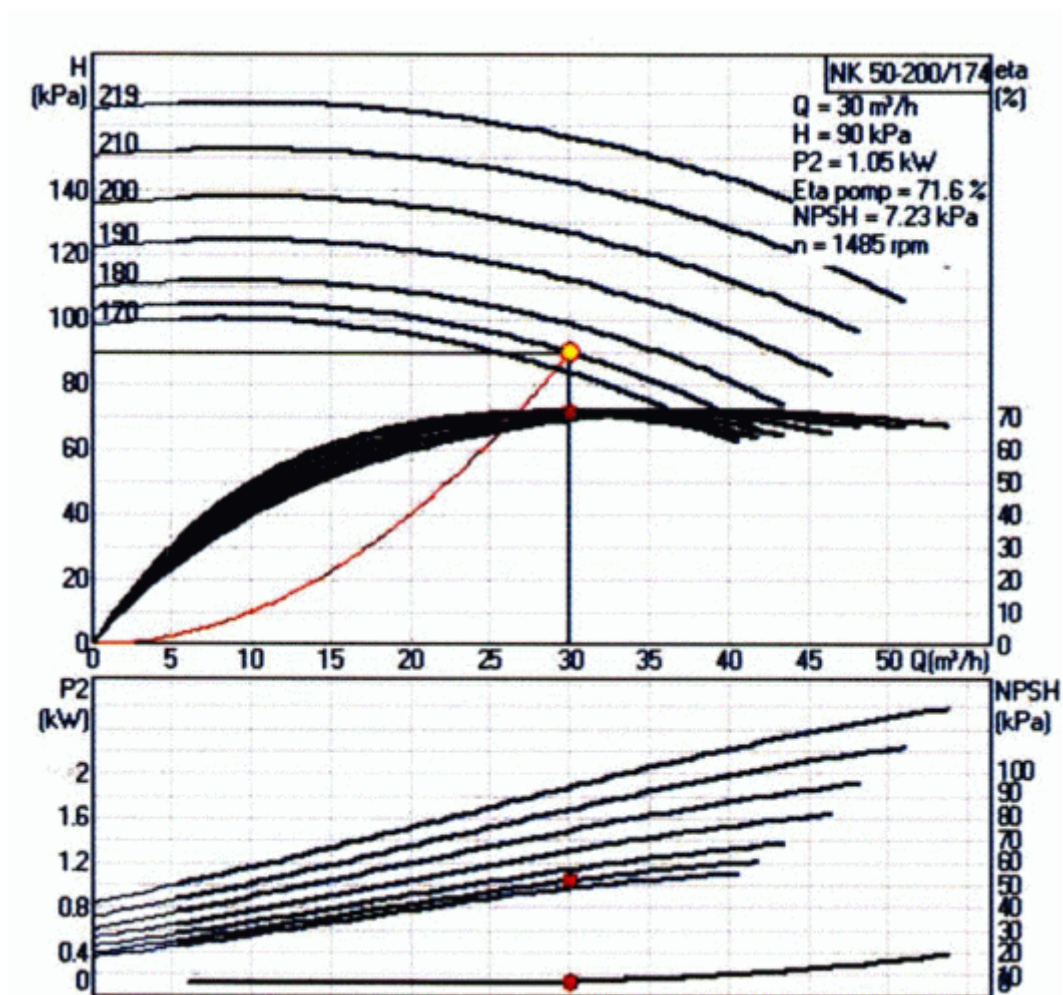
De toleranties in de publicaties zijn afhankelijk van productiemethode en volgens normen afhankelijk van klasse:

- ISO 2548 / 2858 / 3555 / 5198
toleranties afhankelijk van klasse en productiemethode.

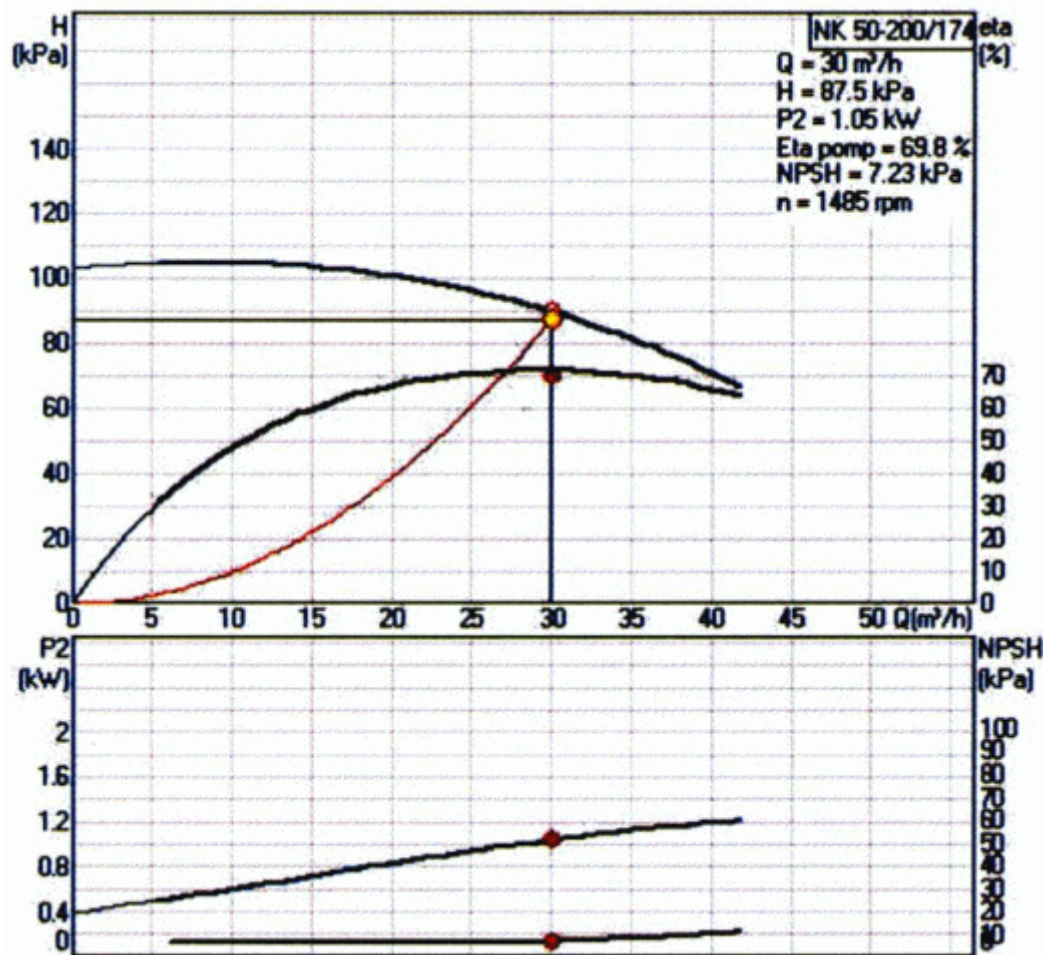
Praktijkopstellingen van pompen wijken vrijwel altijd af van deze meetopstelling en dit dient door de ontwerpers en zij die pompselectie en de installatie doen in acht genomen te worden.

E.2 POMPKARAKTERISTIEK PUBLICATIES

De door fabrikant/leveranciers gepubliceerde pompkarakteristieken (term: Q/H -curve) zijn veelal gebaseerd op het soortelijk gewicht en kinematische viscositeit van water bij 20 °C en een gedefinieerd toerental en waaierafmetingen. Bij de pomp met motor geldt het combinatie toerental.



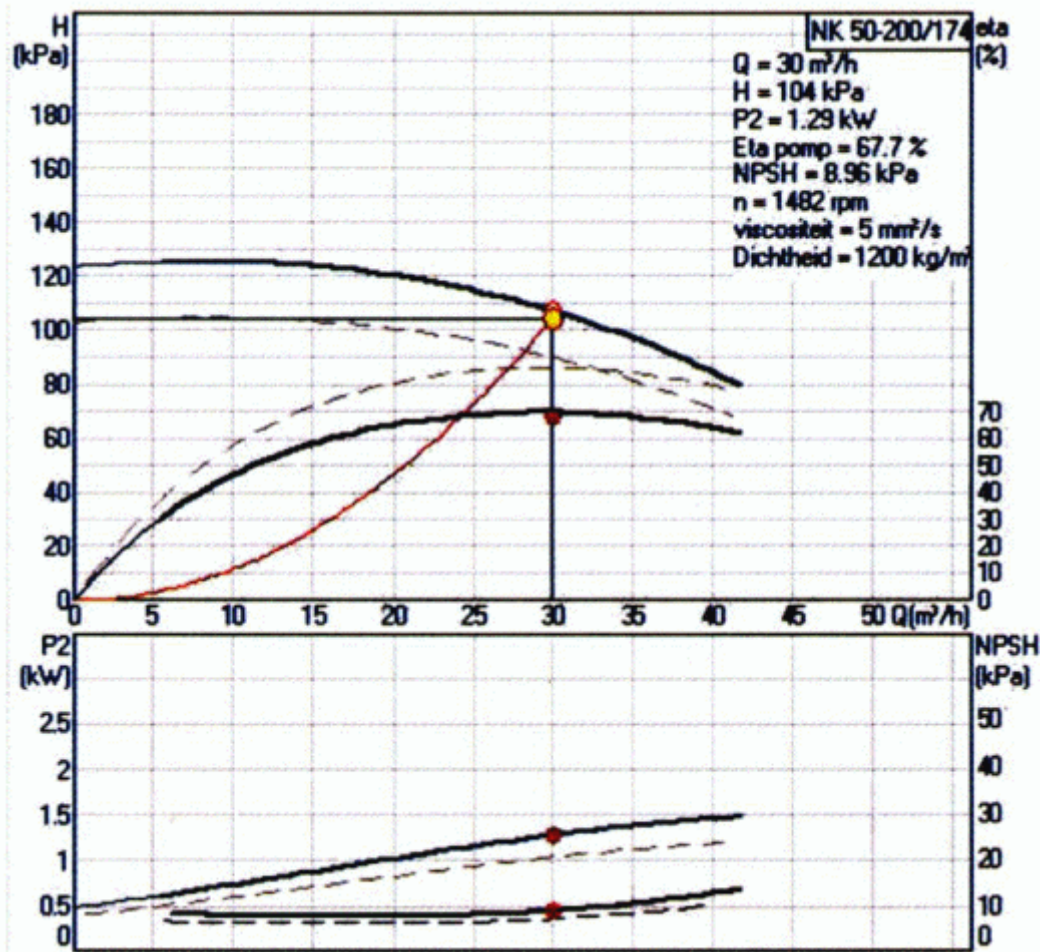
Figuur 1a Pompkarakteristieken: Pomponderhuis met de mogelijke standaard enkeltrap waaier diameters.(niet toerental-geregeld)



Figuur 1b Pompkarakteristieken: Pomp met een afgedraaide standaard enkeltrap waaier diameter (180mm ->174mm en niet toerental-geregeld)

Bij evt. afwijkende condities en bij voor specifieke toepassingen ontwikkelde pompen dienen de extra vermeldingen beoordeeld te worden.

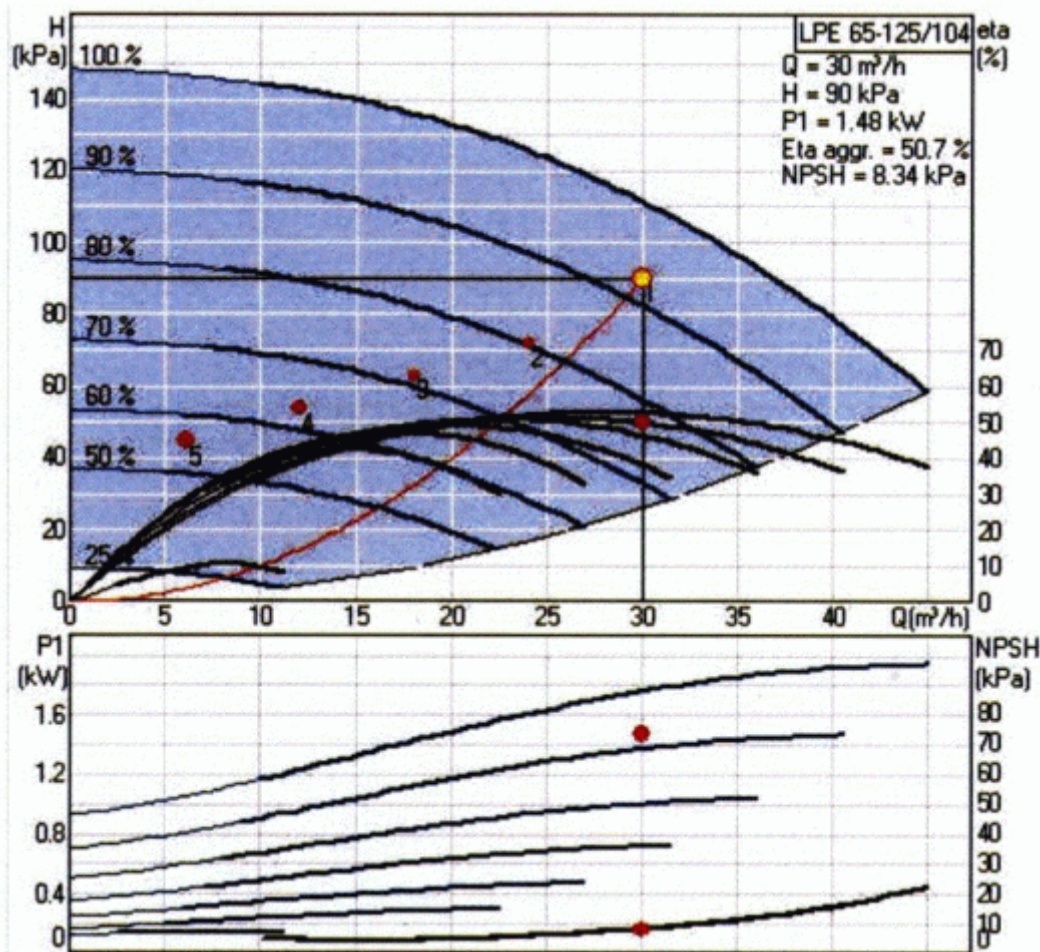
Computer pompselectie programma's van fabrikanten kunnen voor de afwijkende situaties, de geldende resultaat karakteristieken berekenen en tonen.



Figuur 1c Pompkarakteristieken: Pomp als in Figuur 1b echter bij afwijkende condities voor Viscositeit en Soortelijk gewicht

Bij toerengeregelde pompen worden de karakteristieken bij het minimaal ($n_{\min.}$), maximaal ($n_{\max.}$) en veelal een aantal tussen liggende toerentallen (90%, 80%, 70%, 60%, 50% en 25%) weergegeven. Het minimaal toerental en regelbereik is afhankelijk van de constructie en toepassing pomp – motor – toerenregelaar bepaald. (zie Figuur 2)

Bij onderwaterpompen wordt het minimum toerental hoofdzakelijk door de lagers (smering) in de motor bepaald.



Figuur 2 Pompkarakteristieken: Toerental geregelde pomp met 5 deellast werkpunten binnen het regelbereik van de pomp

E.3 BENODIGDE GEGEVENS VOOR SELECTIE EN DIMENSIONERING.

Voor de minimaal benodigde gegevens die bij een juiste selectie en dimensionering van pompen benodigd zijn, is een geschikte checklijst opgenomen in:

- ISO 5199 – Annex A en H
Technische specificaties voor centrifugaal pompen.

Na selectie dient van de eisen en voorwaarden die de fabrikant/leverancier over zijn product vermeld te worden uitgegaan. Als er gedurende installatie (o.a. reinigen) of normaal bedrijf (o.a. antivries) additionele middelen aan het medium worden toegevoegd, dienen de verstrekte gegevens te worden gecorrigeerd. Denk hierbij vooral aan de corrosie en de as-afdichting keuze.

E.3.1 Toepassing en systeem opbouw

Het vanuit de pomp beschouwde “open” of “gesloten” systeem met de bijbehorende niveauverschillen bepaald de geodetische opvoerhoogte. Samen met de systeemdrukverliezen (leidingen en apparatuur) die bij het leveren van de vollast ontwerpvolumestroom $q_{v,100}$ optreden wordt de benodigde pompdruk $\Delta p_{p,100}$ bepaald.

Met de belastingsprofiel informatie en de gewenste deellast volumestroom/pompdrukken is een optimaal energetische pompselectie te maken en zijn de eventuele “life-cycle-costs” te bepalen. De toepassing (droge of “halfnatte” motor) en de beschikbare elektrische voeding (spanning en frequentie) bepalen de toepasbare motor en toerentalregelaar.

E.3.2 $\Delta p / Q_v$ gegevens

Het vollast ontwerpvolumestroom $q_{v,100}$ met bijbehorende pompdruk $\Delta p_{p,100}$ bepaalt in belangrijke mate de pompdimensionering. De pomp zal op zijn hoogste rendementspunten geselecteerd worden.

Afhankelijk van bedrijfsomstandigheden kan een vlakke of steile grafiek een voordeel zijn. Als algemene ontwerpregel geldt dat, zonder toerentalregeling, een vlakke (horizontaal) $\Delta p/Q_v$ -karakteristiek dient te worden geselecteerd. Een steilere karakteristiek geeft een betere toerentalregelbaarheid.

In systemen voor deellast bedrijf situaties ontworpen, zijn toerental geregelde pompen te

selecteren en de regelstrategieën te bepalen. Hierbij zijn ook de minimum ontwerp volumestromen $q_{v,min}$ met de bijbehorende pompdrukken $\Delta p_{p,min}$ benodigd. Alle deellast werkpunten dienen binnen het werkgebied (regelbereik) van de pomp te liggen.

E.3.3 Maximale stroomsnelheid

Sommige fabrikanten/leveranciers stellen voorwaarden aan de maximaal toelaatbare stroomsnelheid aan de zuigzijde van de pomp i.v.m. slijtage en cavitatie in de pomp.

E.3.4 Minimaal benodigde statische druk aan de zuigzijde van een pomp (NPSH)

De verzadigde dampspanning in een (vloeistof)medium is afhankelijk van de druk en temperatuur van dat medium. Bij een te lage druk ontstaan dampbellen in de waaier, welke verder in de waaier (c.q. het verlaten van de waaier) imploderen (cavitatie). Cavitatie veroorzaakt naast geluid ook schade aan de waaier en onbalans in lagers en as-afdichtingen. Door de statische druk aan de zuigzijde van de pomp boven deze verzadigde dampdruk te houden, wordt cavitatie voorkomen. De voor de pomp vereiste NPSH (Netto Positive Suction Head) wordt in de pompkarakteristieken weergegeven en is afhankelijk van de volumestroom. In de praktijk wordt tevens een veiligheidsmarge (H_s) van 0,5 – 1 mwk gehanteerd.

$NPSH + H_s < H_{barometrisch} - H_{zuighoogte} - H_{dampspanning} - H_{verlies}$

In gesloten systemen bepaalt het drukexpansievat het nulpunt van het hydraulisch systeem. De druk op het vat bepaalt de systeemdruk. Het vat dient zo dicht mogelijk aan de zuigzijde van de pompen geplaatst te worden. De drukken in het gehele systeem kunnen zo ook boven de heersende barometrische luchtdruk ($H_{barometrisch}$) gehouden worden, waardoor lucht intrede in het systeem wordt voorkomen. Bij de halfnatte pompen wordt i.p.v. NPSH veelal de minimaal benodigde systeemdruk (absoluut) opgegeven afhankelijk van de mediumtemperatuur.

E.3.5 Maximale werkdruk

Het verschil tussen de statische druk in het pomphuis en heersende atmosferische druk zal de door de fabrikant/ leverancier opgegeven maximale werkdruk niet overschrijden. De statische druk in het pomphuis bestaat uit de aanwezige druk aan de zuigzijde van de pomp + hoogste pompdruk (veelal bij een volumestroom = 0).

E.3.6 Mediumtemperatuur

De minimaal- en maximaal temperaturen zijn de grenswaarden voor het te transporteren medium. De maximale werkdruk en minimale- en maximale temperaturen bepalen de gebruikte materialen in de pomp, welke hierop worden afgestemd (bv. As-afdichtingen).

Lage mediumtemperaturen kunnen afhankelijk van de omgevingscondities condensatie op de pomp, in de halfnatte motor en in een geïntegreerde toerentalregelaar veroorzaken. Condensafvoer en condens openingen verdienen daarom bij plaatsing van de pomp/ motor (aansluitklemmen- kastpositie) extra aandacht. Halfnatte motoren met geïntegreerde toerentalregelaar kennen veelal een ander mediumtemperatuurbereik.

E.3.7 As-afdichtingen

In koelsystemen zijn naast de maximale werkdruk en de mediumtemperaturen, het mediumtype en de toevoegingen (additieven zoals: Brine/pekelwater, glycolen, temper/pekasol) bepalend voor de juiste keuze van as-afdichtingsmaterialen.

Een as-afdichting bestaat uit vaste afdichtingen en een draaiende. Deze laatste is opgebouwd uit verschillende materialen (b.v.: hardmetaal, siliciumcarbide, koolstof) en worden gekoeld en gesmeerd door het medium of extern toe te voegen medium. Ze zijn aan slijtage onderhevig. Uitbouwkoppelingen voor de service werkzaamheden zijn aan te bevelen. Bij toerentalgeregelde pompen dient de smering te worden gegarandeerd door veelal een minimaal toerental (ca: 50%) aan te houden.

Halfnatte motoren bezitten geen as-afdichtingen en krijgen in diverse koelsystemen (zoutoplossingen en pekasol) de voorkeur. De resistentie van de vaste afdichtingen dient ook bij deze pompen te worden beoordeeld. De fabrikant/leverancier onderhoudt contacten met de fabrikanten van in de markt toegepaste additieven. Zij kunnen de juiste as-afdichting adviseren.

E.3.8 Omgevingcondities

Maximale omgevingstemperatuurwaarden hebben naast de thermische en mechanische aspecten van de pomp, meest betrekking op de elektrische delen van motor en de toerentalregelaar. Deze betrekken hun koeling uit de omgevingsluchtstromingen en temperatuur.

De $H_{barometrisch}$ en de toegepaste isolatie afstanden (kruip- en luchtwegen) zijn mede bepalend voor de toepassing.

De luchtvochtigheid bepaalt de condensatievorming (zie ook 3.6 Mediumtemperatuur). In de buitenlucht opgestelde motoren met geïntegreerde toerentalregelaars dienen met een extra kap te worden beschermd.

Bij hoogrendement motoren dient extra rekening gehouden te worden met een hogere motoroppervlaktetemperatuur.

E.3.9 Minimale volumestroom

Is een grenswaarde die voorkomt dat de mediumtemperatuur in de pomp toeneemt en door dampbellen schade zal ontstaan aan de as-afdichting en lagering. De mediumtemperatuur in de pomp wordt mede bepaald door de medium aanvangstemperatuur, koeling naar omgeving (isolatiepakket), aanwezig toerental (hydraulisch vermogen) en de tijdsduur van deze procestoestand. $q_{v,min} = 0,1-0,3 \cdot q_{v,nominaal}$ (opgave fabrikant).

Kortstondig met een lage volumestroom draaien behoeft niet direct destructief voor de pomp te zijn. Bij halfnatte motoren wordt ook de motorwarmte aan het medium afgestaan om de motor te koelen. In koelsystemen is dit niet gewenst en worden de pompen met normmotor en asafdichting aanbevolen. Onderwater motoren (bronnepompen) zijn specifiek ontworpen vanuit een motorkoeling door de min. stromingssnelheid langs de motor. De afmetingen van de motor en de bron bepalen hier de minimale volumestroom.

E.3.10 Geluid niveau

Nationale en internationale normen (bouwbesluit) gelden voor de geluidsniveaus in ruimten en bepalen zo de keuze van pomptype, installatieplaats en installatie voorzieningen (o.a.: trillingsmat, leidingcompensatoren, omkasting). Geluid ontstaat zowel in de pomp, de motor en de toerentalregelaar. Het toerental en aantal waaierschoppen bepaalt de mediumpulsatie. De constructie van pomp en aandrijving bepalen de mogelijke trillingsgetallen en resonanties. Geluid door lagerbeschadigingen of slechte uitlijning van pomp/motor dienen o.a. door onderhoud en inspectie te worden voorkomen. De opstellings-, onderhoud- en uitlijningsvoorschriften van de fabrikant/leverancier voor het gebruikte pomptype dienen daarom opgevolgd te worden.

Bij hogere toerentalen veroorzaakt de koelventilator een hoog luchtstromingsgeluid en daarmee groot aandeel in het geproduceerde pompgeluid.

Bij toerentalgeregelde motoren kan door de gebruikte schakelfrequentie (veelal ca. 4,5 kHz) ook het zg. "frequentiegeluid" optreden in de motor. Het gebruik van extra motorfilters kan dit verplaatsen.

Bij pompen met geïntegreerde toerentalregelaars is rekening gehouden met de trillingsgetallen en zijn ook veelal volledig "frequentiegeluid" vrij.

Een halfnatte motor heeft mediumgesmeerde keramische lagers en geen koelventilator waardoor zij bijzonder stil zijn en ondanks de afgestane motorwarmte aan het koelmedium wel worden toegepast in koelsystemen.

E.3.11 Isolatie

Isoleren van de pomp in koelinstallaties heeft minder betrekking op de koudeverliezen maar wel op de condensvorming. Dampdicht isoleren van pompen in koelsystemen heeft alleen betrekking op de pomp. Asafdichtingen behoren te kunnen ventileren.

Pomp typeplaten zouden voor het isoleren naar een zichtbare plaats moeten worden verplaatst.

De motoren en geïntegreerde toerentalregelaars welke zich koelen aan de omgevingslucht dienen niet met isolatiestukken te worden verpakt. Standaard pomphuisisolatiestukken zijn veelal ontwikkeld als warmte isolator en minder goed dampdicht te verkrijgen.

E.3.12 Inbouw en inbedrijfstelling voorschriften

Inbouw en inbedrijfstelling voorschriften van de fabrikant/ leverancier aanhouden en bij afwijkende situaties met hen overleggen. Voor de uitlijningswerkzaamheden zijn de werkelijke bedrijf- condities te benaderen. Voor het verrichten van servicewerkzaamheden zijn soms extra voorzieningen te treffen om aan nationaal geldende normen (NEN 3140) te kunnen voldoen.

E.3.13 Motorgegevens

Voor de selectie van de te gebruiken motor zijn nog diverse elektrische gegevens nodig o.a.:

- Halfnatte of normmotor toepassing;
- Voedingsspanning (spanningsniveau, 1 of 3 fase);
- Voedingsfrequentie (50 of 60 Hz);
- Toegepaste externe toerentalregelaar (spanning of frequentie).

Motoren worden volledig pompkarakteristiek dekkend of alleen voor het ontwerp werkpunt QV / $\Delta p_{p,100}$ geselecteerd. Hierbij wordt een veiligheidsmarge zoals in ISO 5199 figure 1 aangehouden.

Afhankelijk van de belastingsprofiel informatie en "lifecycle- costs" zijn hoogrendement motoren te overwegen.

Bij kleine motoren (veelal zonder fase-isolatie scheidingen) zijn de uit frequentieregelaars ontstane piekspanningen met smoorspoel of LC-filters te begrenzen.

Na de selectie zal de fabrikant/leverancier opgave doen van de definitieve waarde o.a.:

- Motor uitvoeringstype;
- Voeding spanningsbereik ($U_{nom.}$) (b.v.: 380– 415V);
- Voeding frequentie;
- Aansluitvermogen ($P_{1,nom.}$) per selecteerbaar toerental;
- Nominaal stromen ($I_{nom.}$) per selecteerbaar toerental;
- Condensatorwaarde;
- IP klasse (b.v.: 55);
- Isolatiewaarde (b.v.: F);
- Ingebouwde motorbeveiliging type.

E.3.14 Motorbeveiliging

Motoren dienen te worden beveiligd tegen overbelasting (geblokkeerde rotor, te hoge Q /H, hoge stromen), kortsluiting en faseuitval. Bij overschrijding van nominaal stromen dient de motor in alle voedende fasen te worden uitgeschakeld. Dit kan volledig of deels in de motor zijn voorzien, of dient in de voedende installatie (motor-starterkast) te zijn opgenomen.

Motoren zijn of kunnen worden voorzien van ingebouwde motortemperatuurbeveiligingen (uitgevoerd als Thermo/klixon contact of als thermistor / PTC).

Bij kleine en 1 fase halfnatte motoren is een thermocontact direct in de motorwikkelingen opgenomen. Ook zijn de wikkelingen veelal kortsluit-vast uitgevoerd.

Bij de grotere en 3 fase halfnatte motoren is dit contact op klemmen uitgevoerd en dient in het stuurstroomcircuit van de motor/magneetschakelaar te zijn opgenomen.

De fabrikant/leveranciers leveren ook de "plug-in-modulen" voorzien van de magneetschakelaar.

Bij normmotoren zijn meerdere (2/3) thermocontacten of thermistoren in serie op klemmen uitgevoerd.

Bij thermistoren is altijd signaalversterkende elektronica benodigd, alvorens de motor/magneetschakelaar te kunnen schakelen.

Toerentalgeregelde motoren dienen van een ingebouwde bewaking te worden voorzien o.a. i.v.m. de verminderde koelventilator capaciteit. Motoren met geïntegreerde toerentalregelaars zijn intern al voorzien van deze beveiligingen en dient hierbij slechts de maximale voorzekerings in acht te worden genomen. Met deze voorzekerings is tevens de voedingskabel beveiligd.

E.3.15 Toerental regelingen

Met toerentalregelingen wordt het werkgebied van de pomp vergroot. Zo kan comfort worden verbeterd en elektrische energie bespaard.

De pompwaaiers affiniteit formules zijn (zie ook figuur 2):

Q2=	(n2/n1)	Q1
H2=	(n2/n1) ²	Q1
P2=	(n2/n1) ³	Q1

$$Q2 = (n2 / n1) \cdot Q1$$

$$H2 = (n2 / n1)^2 \cdot Q1$$

$$P2 = (n2 / n1)^3 \cdot Q1$$

Toerentalregelingen worden hoofdzakelijk uitgevoerd met spanningsomvormers (ook wel: slip/thyristor/triac/fase-aansnijdingsregelaar genoemd) of frequentieomvormers.

Voor spanningsomvormers zijn speciaal motoren in de markt. Bij de selectie van een afzonderlijke pomp, motor en omvormers met de geldende Europese richtlijnen voor o.a. laagspanningsinstallaties en EMC, dienen alle specificaties van de diverse leveranciers (ook installatie- technische) op elkaar afgestemd te worden.

Bij pompen met geïntegreerde toerentalregelaars heeft de fabrikant de pomp, motor en toerentalregelaar zo optimaal mogelijk op elkaar afgestemd en zijn geen afgeschermd kabels en filters bij installatie te beoordelen.

In de omvormers zijn thans aansluitingen voor opnemer ingangen en een PID-regelkring opgenomen en kunnen eenvoudig regelingen worden gecreëerd zoals o.a.:

- Constant drukverschil in de installatie of het installatiedeel;
- Constant drukverschil over de pomp;
- Constante aanvoertemperatuur;
- Constante retourtemperatuur;
- Constant temperatuurverschil;
- Constante volumestroom.

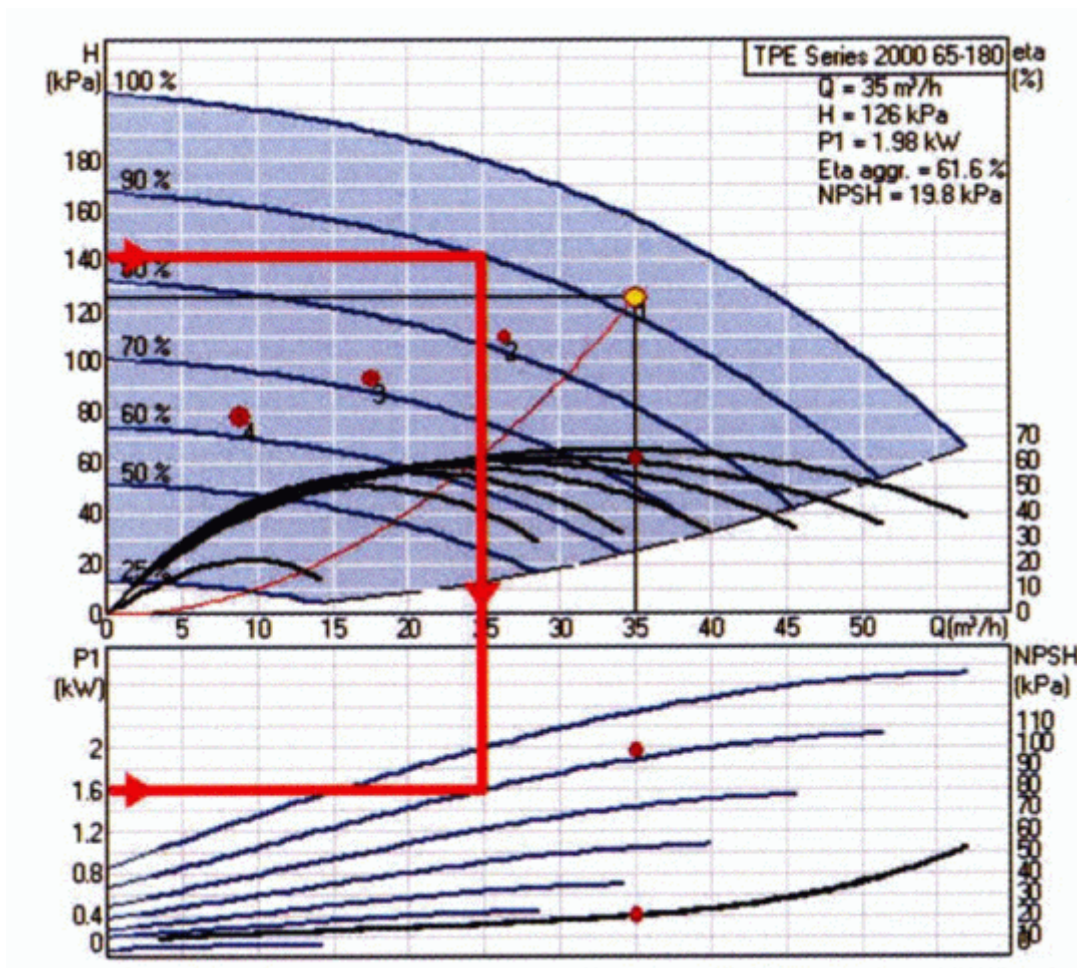
D.m.v. externe regelkringen/bewakingen (b.v. in het Gebouw Beheer Systeem) kunnen en worden extra gewenste waarde beïnvloedingen of schakelingen aan deze regelingen toegevoegd.

Hiermee zijn regelingen zoals o.a.:

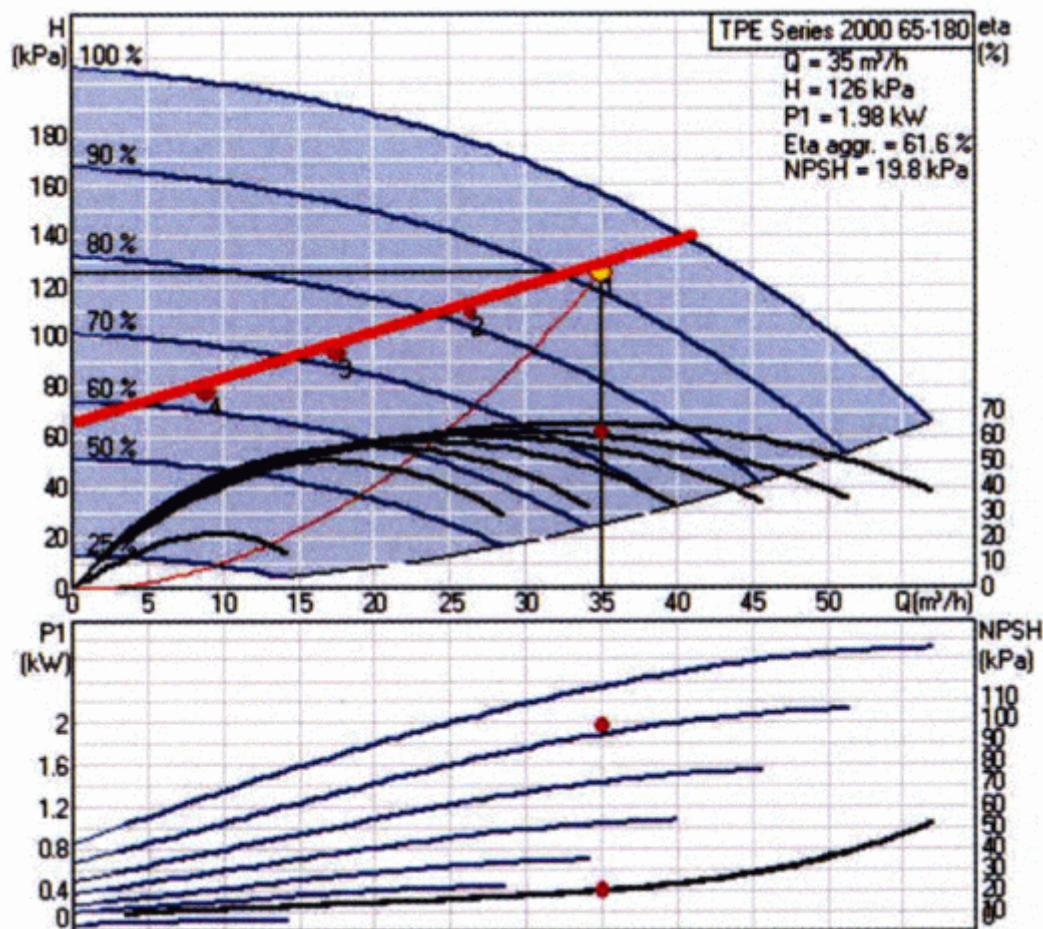
- Volumestroom proportionele drukverschil over de pomp;
- Buitentemperatuur proportionele drukverschilregelingen;
- Energieafhankelijke beïnvloedingen;
- Weersafhankelijke voorregeling;
- Temperatuurafhankelijke beïnvloedingen;
- Tijdsafhankelijke / procesafhankelijke beïnvloedingen.

Onder de pompseries met geïntegreerde toerentalregelaars zijn uitvoeringen ontwikkeld, welke specifiek voor drukverschilregelingen over de pomp zijn ontwikkeld. Door de integratie van de pompkarakteristieken in de regel software zijn de volumestromen (zonder volumestroom

opnemer) ook te berekenen en als gewenste drukverschilwaarde beïnvloeding ISSO-publicatie 31 specificatieblad 6.1.12 (leidingverliescompensatie) mee te nemen in de regelstrategie (zie ook voor het indicatief meten van de volumestroom via de pompkarakteristiek). Deze proportionele regeling is echter veelal alleen in-/uitschakelbaar en indien actief, de $\Delta p_{p,0} = 50\% \cdot \Delta p_{p,vol}$ (vast 50%).



Figuur 3a Volumestroomberekening uit de pompkarakteristieken en het gemeten toerental en met het drukverschil over de pomp of het opgenomen vermogen (P1) of beide, zie hiervoor ISSO-publicatie 31. $n = 90\%$, $P1 = 1,6$ en $\Delta P_p = 140$ kPa geeft $q_v = 25$ m³/h.



Figuur 3b Toerentalgeregelde pomp met volumestroom proportionele drukverschilregeling over de pomp

$\Delta p_{p,0} = 50\%$; $\Delta p_{p,vol} (140 \text{ kPa}) = 70 \text{ kPa}$

De in deze bijlage eerder vermelde aspecten van toerenregelingen dienen in acht genomen te worden. Ook dient men altijd na te gaan wat de invloed van een pompenregeling is op de rest van het hydraulisch systeem.

3.16 Besturingen

De koppelingen van de diverse besturingssystemen in een gebouw wordt steeds belangrijker. Het verhogen van de interoperationaliteit tussen de systemen laat de centrale gebouwvoorzieningen (o.a. de pompen) efficiënter functioneren (bezettingstijden/toegang en aanwezigheidscontrole met de weerstation informatie bepalen o.a. de verwachte warmtelast). Door conventionele besturingscontacten met standaard signalen of door het gebruik van seriële communicatie tussen de pompen met de bovenliggende besturings- of beheersystemen wordt steeds meer mogelijk en inzichtelijk. De mens/machine interfaces worden steeds duidelijker met meer functionaliteiten. Met meetpunten en grafieken is de werking van de gebouwvoorzieningen (o.a. de pompen) goed analyseerbaar en optimaliseerbaar.

Denk hierbij o.a. aan:

- Probleem of storingen zoeken en verhelpen;
- Bezetting/gebruik: dag-, nacht-, weekend-, vakantie;
- Gebouwdelen niet in gebruik;
- Energie "peak-shaving".

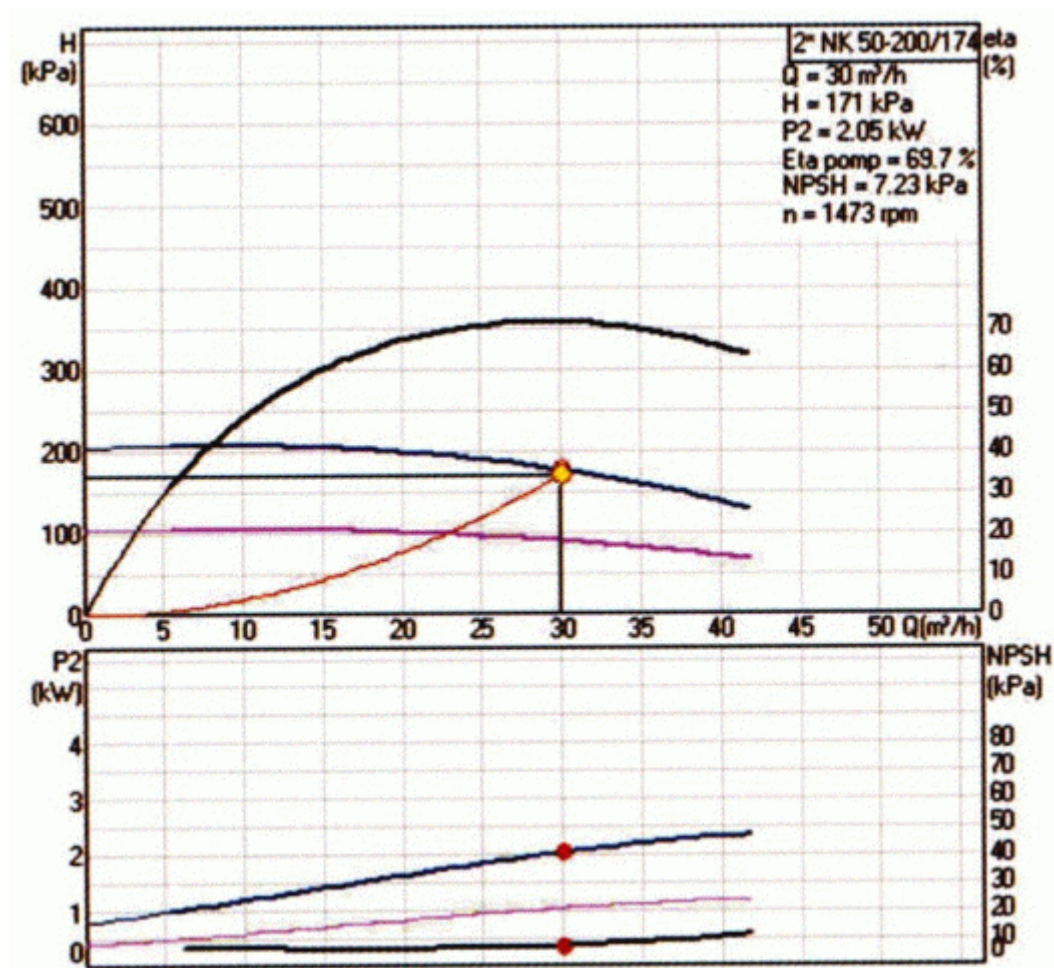
Naast alle hierboven vermelde besturingsmogelijkheden is een voorziening met de mogelijkheid om tot handmatige interventie overtegaan bij calamiteiten en de inbedrijfstelling en servicewerkzaamheden zeer gewenst.

E.4 SERIE- EN PARALLELSCHAKELN VAN POMPEN

Door het in serieschakelen van gelijkwaardige pompen (waaiers) wordt de totaal geleverde pompdruk verhoogd, de volumestroom blijft gelijk. Bij meertraps centrifugaal pompen (één motor) wordt hiervan gebruik gemaakt.

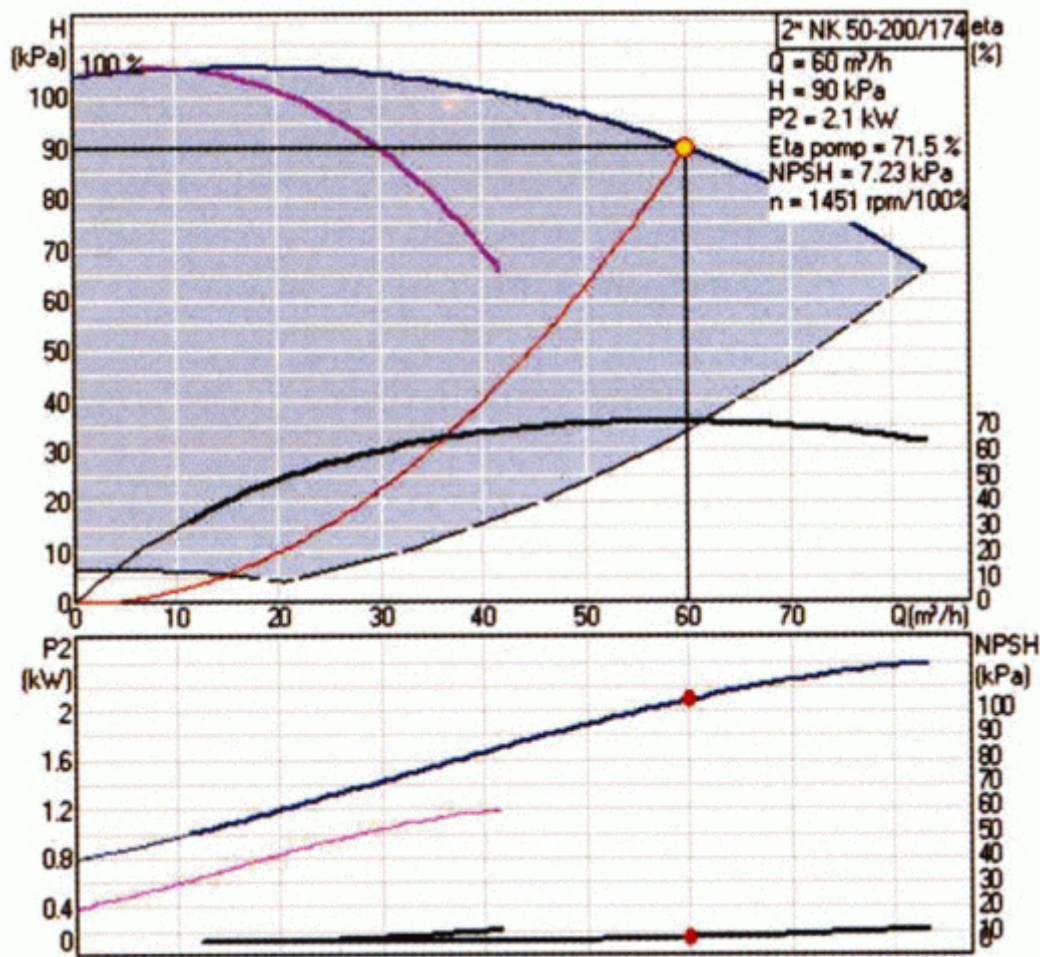
Indien de statische druk aan de zuigzijde van een pomp niet gerealiseerd kan worden, kunnen afwijkende “voordruk”- pompen in serie geplaatst worden. Dit zijn dan veelal dompel-, onderwater- of lage NPSH – pompen.

De in-/uitschakelvolgorde is dan belangrijk.



Figuur 4a Pompkarakteristieken van 2 stuks gelijke pompen (uit figuur 1b) in serie geschakeld (niet toerental geregeld). $\Delta p_{vol} = 171 \text{ kPa}$, $q_{vol} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$

Door het parallel schakelen van gelijkwaardige pompen (waaiers) wordt de totaal geleverde volumestroom verhoogd, de pompdruk blijft gelijk. Bij een gelijkblijvende leiding zal het nieuwe snijpunt met de leidingweerstandskarakteristiek het uiteindelijke werkpunt bepalen.



Figuur 4b Pompkarakteristieken van 2 stuks gelijke pompen (uit figuur 1b) parallel geschakeld en toerental geregeld. $\Delta p_{\text{vol}} = 90 \text{ kPa}$, $q_{\text{vol}} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$

Bij toerental geregelde parallelle pompen welke lastafhankelijk (b.v.: 75% -75%) in cascade dienen bij- en af te schakelen zijn regeleenheden nodig die de juiste toerentallen berekenen in de schakelpunten. Deze schakelpunten zijn afhankelijk van het gewenste Δp , beïnvloedingssignaal, voordruk en pompkarakteristieken.

De werkgebieden van het aantal pompen in bedrijf (wel of niet toerengeregeld) dienen in de diverse deellast situaties beoordeeld te zijn en het aantal schakelacties beperkt en geoptimaliseerd te worden.

In figuur E.4b zullen bij de getoonde leidingweerstand en een gewenste $\Delta p = 40 \text{ kPa}$ ($q_v = 40 \text{ m}^3/\text{h}$) altijd twee pompen beide toerengeregeld dienen te draaien.

Terwijl bij een verhoogde leidingweerstand en $\Delta p = 40 \text{ kPa}$ ($q_v = 30 \text{ m}^3/\text{h}$) met beide of één pomp toerengeregeld kan worden.

E.5 ENERGIEBESPARING

De juiste werking van een hydraulische schakeling, alsmede energiebesparing, wordt bevorderd door:

- Pompsselectie en dimensionering;
- Regeling en besturing.

Met de regeling wordt bereikt dat tijdens operationeel gebruik de transportenergie wordt vermindert.

Me de besturing kan buiten bedrijfstijd transportenergie worden vermeden door de pomp uit te schakelen of op een minimale stand te zetten.

Met behulp van computerprogramma's en de belastingsprofielinformatie in de deellastvolumestroom/ pompdrukken werkpunten zijn de "life-cycle-costs" en energiebesparing van diverse pompen en/of regelstrategieën te bepalen.

Met het gebruik van hoogrendement motoren (Permanent magneetmotor) en volumestroomproportionele drukverschilregelingen zijn voor groepspompen elektrische energiebesparingen tot 75% t.o.v. de vasttoerental pompen gerealiseerd.

LITERATUURLIJST

1. ISSO-publicatie 44, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor verwarmen, Rotterdam, november 1998.
2. ISSO-publicatie 48, Koelplafonds/klimaatplafonds, richtlijnen voor ontwerp en uitvoering, Rotterdam, november 1998.
3. ISSO rapport, Hydraulische schakelingen voor koelen, Rotterdam, maart 1999.
4. ISSO-publicatie 43, Concepten voor klimaatinstallaties, Rotterdam, april 1998.
5. ISSO-publicatie 18, Leidingnetberekening, Rotterdam, 1987.
6. ISSO-publicatie 39, lange termijn koudeopslag in de bodem, Rotterdam, april 1997.
7. ISSO-publicatie 73, Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars, Rotterdam, april 2005.

COLOFON

De realisatie van de ISSO-publicatie 47 'Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen' werd verzorgd door de ISSO-kontaktgroep 40.2 'Hydraulica en Koelen' die als volgt was samengesteld:

ing. J.C. Aerts	(projectcoördinator, co-rapporteur) ISSO, Rotterdam
B. Bloemendal	(corresp. lid IMI Indoor Climate, Alphen a/d Rijn
L.H. den Dekker	(rapporteur) DWA, Installatie- en energie- advies, Bodegraven
ing. P.A. Elkhuisen	TNO-Bouw, Delft
ing. T.J.M. van Giezen	Carrier Nederland BV, Hazerswoude
P. Haage	Trane Airconditioning BV, Soest
H.M.A. Janssen Groesbeek	(voorzitter) Woerden
ing. H. Th. C. Kuiling	Wolter & Dros, Amersfoort
R. Min	Grundfos Nederland BV, Weesp
prof. dr. ir. A.H.C. van Paassen	TU-Delft, Delft
R. Rijksen	(co-rapporteur) DWA, Installatie- en energie- advies, Bodegraven
H.J. van der Tholen	Deerns Raadgevende Ingenieurs BV, Rijswijk
ing. W.J. Wienk	(corresp. lid) Novem, Utrecht
ing. H.B. Woltering	Imtech Utiliteit Noordwest BV, Den Haag

© Stichting ISSO - Rotterdam, maart 2005