



hoofdgroep

CONTROLS

code

E3

**REGELTECHNIEK
TOEPASSINGEN**

Ing. K. van Heiningen

INHOUDSOPGAVE

1. MODULEBESCHRIJVING	5
1.1 Doel van de module	5
1.2 Inhoud van de module.....	5
2. VOORBEEDLDEN VAN REGELKRINGEN	6
2.1 Voorbeelden van regelkringen in de koeltechniek;	6
2.2 Hogedruk niveau regeling, direct.....	6
2.3 Hogedruk niveau regeling, indirect.....	7
2.4 Aan-uit regeling koelceltemperatuur.....	8
2.5 Modulerende temperatuur regeling	9
2.6 Modulerende drukregeling	10
2.7 Oververhittingsregeling	11
2.8 Compressor capaciteitsregeling	12
2.9 Condensor capaciteitsregeling	12
2.10 Gaskoeler regeling CO ₂ transkritisch.....	13
3. Instrumentatie	15
3.1 Temperatuursensoren.....	15
3.2 Druksensoren	18
3.3 Niveau opnemers.....	22
4. Corrigerende organen.....	26
4.1 Aan-uit versies	26
4.2 Modulerende uitvoeringen.....	29
4.3 Magneetkleppen	36
5. Selectie en berekening.	40
5.1 Kv waarde.....	40
5.2 Selectietabellen.....	41
5.3 Selectieprogramma's	42
6. Expansieventielen	43
6.1 Expansiecapillair	43
6.2 Thermostatisch expansieventiel	43
6.3 Expansieventielen met externe aandrijving	47
6.4 Puls-modulerende expansieventielen.....	48
6.5 Modulerende elektronische ventielen	48
6.6 Optimalisatie	48
6.7 Selectie	50

© Stichting Post HBO Koudetechniek, 2014

De totstandkoming van dit lesmateriaal is mede mogelijk gemaakt dankzij financiële bijdragen van OTIB en de Stichting Gustav Lorenzen in het kader van kennisontwikkeling in de Nederlandse koudetechnische sector.

De opleiding Post HBO Koudetechniek wordt georganiseerd door de Stichting Post HBO Koudetechniek. Hierin werken KNVvK, NVKL, UBF-ACA, SOK en docenten samen om een goede opleiding te kunnen bieden. De cursus staat onder toezicht van een onafhankelijke Werkveld Advies Commissie. De lesstof is uit de best beschikbare kennis en kunde samengesteld. De Stichting Post HBO kan niet aansprakelijk gesteld worden voor schade die voortvloeit uit de tijdens de opleiding verstrekte informatie

1. MODULEBESCHRIJVING

1.1 DOEL VAN DE MODULE

Deze module leidt tot inzicht in;

- Theoretische achtergronden van de in de koeltechniek gebruikelijke regelvormen;
- Praktische uitvoering en toepassingen limieten van opnemers en regelkleppen;
- Selecteren van regelkleppen.

1.2 INHOUD VAN DE MODULE

Deze lessen worden onderverdeeld in 3 segmenten;

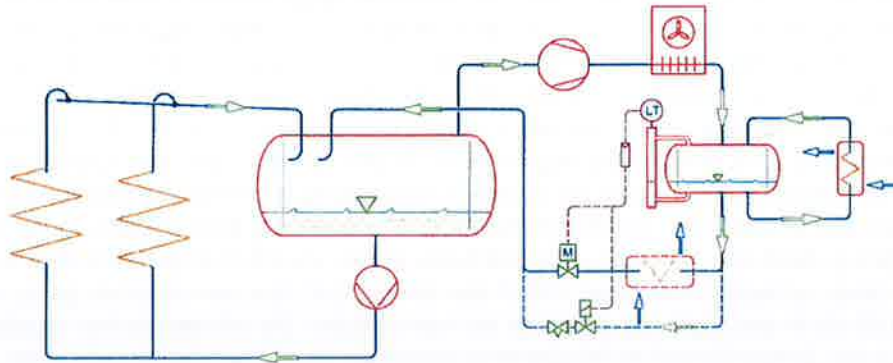
- Voorbeelden van regelsystemen aan de hand van schema's met een beschrijving van de functie en een opgave van de variabelen die invloed hebben op het regelgedrag;
- De voorbeelden worden omgezet in een weergave en analyse van het dynamische regelgedrag met behulp van blokschema's en het simulatie programma Scilab/Xcos; (deel S3)
- Een aantal kenmerkende aspecten van regelkleppen, signaalgevers en actuators worden behandeld. Selecties aan de hand van k_v waarden en d.m.v. selectieprogramma's worden praktisch ingevuld.

De lesstof behandelt alleen de werkelijk te regelen variabelen in het koelproces. Er kunnen zich ook oncontroleerbare massastroom verplaatsingen voordoen, waarvoor geen praktische regel strategieën ontwikkeld kunnen worden. Bekende voorbeelden zijn

- Onregelmatig afvoeren van de vloeistof (drainen) uit onjuist gemonteerde parallel opgestelde condensors
- Vloeistof niveau veranderingen door sterk opkoken van vloeistof in bad verdampers of in een standpijp
- Onregelmatige vloeistof verplaatsing aan het einde van de circuits in directe expansie verdampers

In de lesstof worden deze invloeden buiten beschouwing gelaten.

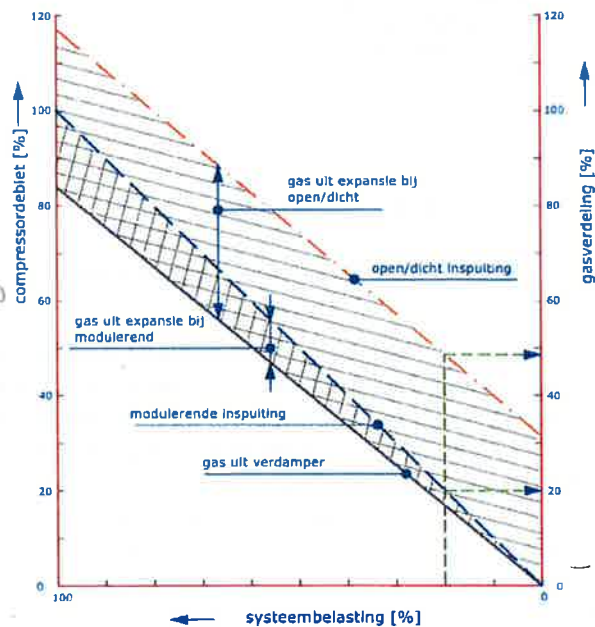
2.3 HOGEDRUK NIVEAU REGELING, INDIRECT



Schema 2.2 Systeem met indirecte niveauregeling

A) Aan-uit regeling

De gestippelde vloeistofleiding in Schema 2.2 bevat een magneetklep en erachter een handregelventiel. Het elektrische signaal voor de magneetklep komt van een relais in een niveau opnemer. Om verzekerd te zijn van voldoende vloeistoftoevoer wordt het handregelventiel ingesteld op 1,5 tot 2 keer de maximale compressor capaciteit. Bij geactiveerde magneetklep moet de compressor het gas uit de verdampers en het door de expansie gevormde gas (flashgas) gezamenlijk afzuigen. Bij maximum belasting met lange inspuut perioden en korte rusttijden is de verstoring op de zuigdruk, en daarmee op het compressorgedrag nog enigszins acceptabel. Zodra de installatie in deellast gaat wordt het flashgas aandeel relatief steeds groter omdat het handregelventiel altijd de maximum ingestelde hoeveelheid koudemiddel zal doorlaten. (Grafiek 2.1, NH_3 , -10/+35 °C, inregelventiel 2x max. capaciteit). De inspuut perioden worden korter en de rusttijden langer. De in verhouding grote hoeveelheid flashgas zal een grote onrust in het schakelbeeld van de compressoren geven en verlaagt de efficiency van de installatie. Deze regeling wordt bij voorkeur niet toegepast. Dit geldt zowel voor aan-uit niveau regelingen aan de hogedruk- en aan de lagedruk zijde van de installatie.

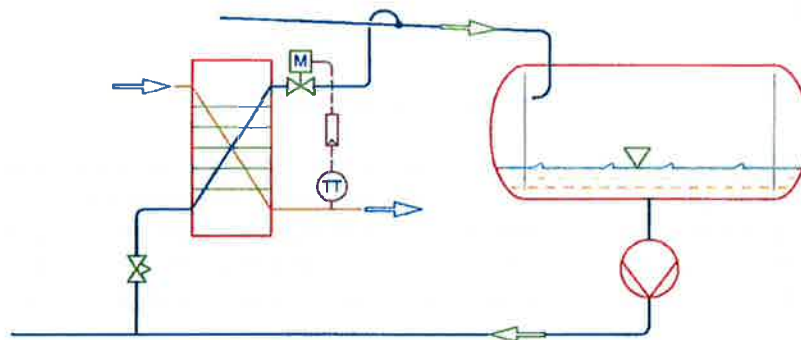


Grafiek 2.1 Invloed van expansiegas op compressordebiet

zuigleiding dient ook het nakoelen ten gevolge van het uitdampende koudemiddel in acht te worden genomen. Een kritische situatie bij minimale belading en lage omgevingstemperatuur kan op deze manier met een simulatie tevoren ingeschat worden.

2.5 MODULERENDE TEMPERATUUR REGELING

Modulerende temperatuur regeling wordt toegepast in een industriële omgeving voor het koelen van vloeistoffen. Een voorbeeld hiervan is het snel koelen van bier tot een temperatuur net boven het vriespunt. De uitgaande vloeistoftemperatuur wordt geregeld door de verdampingsdruk (temperatuur) in de koeler/platenwarmtewisselaar te variëren. Belangrijkste voorwaarde bij een dergelijke regeling is een continue toevoer van koudemiddel aan de koeler. Daarom wordt dit principe alleen in de z.g. pomp circulatie systemen toegepast. Omdat op de uittrede temperatuur geregeld wordt is het tevens van belang dat de koeler een hoge doorloopsnelheid heeft.

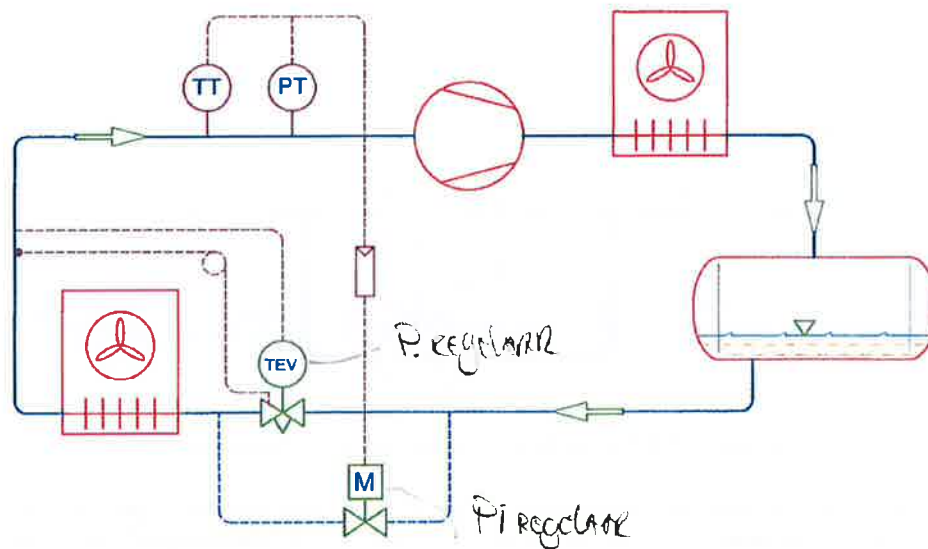


Schema 2.4 Verdampers met modulerende zuigdrukregeling

De variabelen, massastroom en ingaande temperatuur van het product, liggen geheel aan de gebruikers kant. Bij een juist ingeregelde massastroom van de pompvloeistof zijn de wisselingen van de koudemiddelmassastroom door pompdrukvariaties van ondergeschikte invloed op de warmteoverdracht coëfficiënt van de warmtewisselaar. De $k \cdot \Delta T$ factor van de koelercapaciteit wordt kleiner naarmate de regelklep verder sluit waardoor de koelercapaciteit afneemt en daarmee dus ook het afkoeltraject van het te koelen product. Regelaars met PI of PID regelgedrag zijn noodzakelijk voor een dergelijke uittrede temperatuur regeling. Deze techniek wordt ook veel toegepast bij pompcirculatie systemen voor het lang bewaren van fruit. Als basis worden de fruitcellen op basis van cel temperatuur aan-uit geregeld, maar op het moment dat de koeler in bedrijf komt wordt de lucht uittrede temperatuur op een minimum waarde geregeld. Als de cel temperatuur de gewenste waarde heeft bereikt sluiten zowel de magneetklep in de vloeistoftoevoer als de motor gestuurde regelklep in de zuigleiding. Dit om de uitdroging van het fruit zo gering mogelijk te houden

variabelen: product massastroom & ingaande temp.

2.7 OVERVERHITTINGSREGELING



Schema 2.6 Regeling van de oververhitting

Directe expansie koelers worden geregeld door een thermostatisch expansieventiel of door een elektronisch equivalent ervan. In beide gevallen is het doel om enerzijds de koeler zoveel als mogelijk te bevoelen (in feite zoveel mogelijk gevuld te houden) voor het bereiken van het maximale mogelijke koelvermogen en anderzijds de compressor te vrijwaren van vloeistof of van verzadigd of "nat" zuiggas. Thermostatische expansieventielen zijn altijd proportioneel werkend waarbij de zuiggas temperatuur wordt omgezet in een druk boven een membraam. Deze druk wordt vergeleken met de zuigleidingdruk onder het membraam vermeerderd met de veerdruk. De veerdruk bepaalt het punt van openen en de veer karakteristiek bepaalt de proportionele band. Het punt van openen kan door wijzigen van de veerspanning aangepast worden, de veer karakteristiek en daarmee de proportionele band ligt vast.

De elektronische versies van expansieventielen maken gebruik van een druktransmitter, een temperatuur opnemer, een regelaar en een extern aangedreven regelventiel. Voor dit laatste zijn 4 versies te onderscheiden, t.w.

- de z.g. puls width modulation (PWM) (magneetklep principe);
- modulerende magneet;
- motor, conventioneel of stappen;
- pneumatisch.

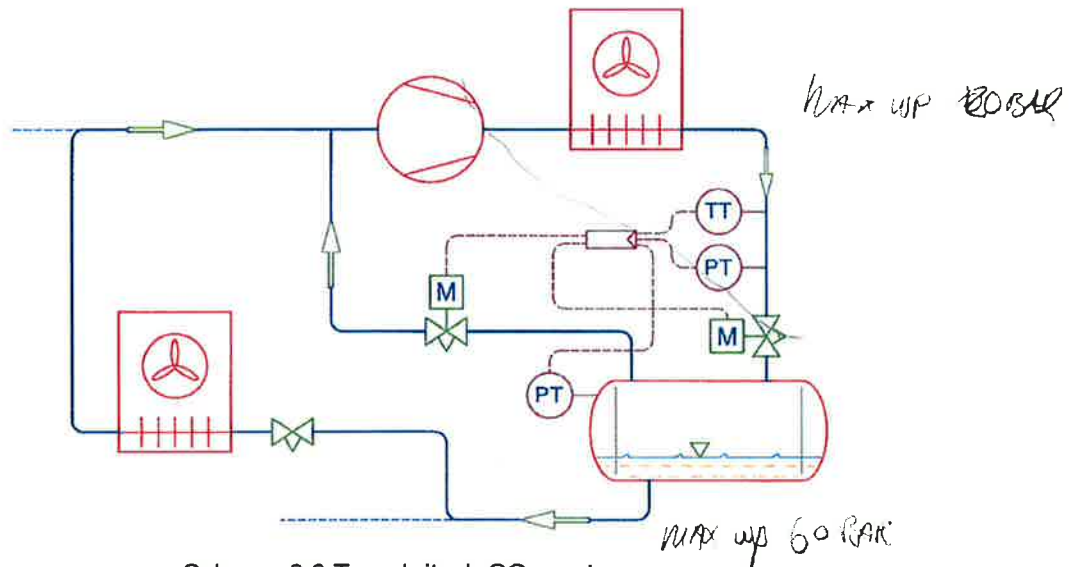
De elektronische regelaars zijn gebaseerd op PI regeling. Het samenspel van koeler en expansieventiel is vooral bij geringe oververhitting instellingen een gecompliceerd fysisch proces. Koelers hebben afhankelijk van de momentane belasting een punt waarbij de oververhitting niet lager stabiel kan zijn. Dan ontstaat het z.g. "hunken" van expansieventielen. De variabelen waarmee rekening moet worden gehouden bij expansieventielen zijn de koelerbelasting, het drukverschil over het ventiel, de onderkoeling van de vloeistof, het minimum stabiele signaal in relatie tot de koelerbelasting en de minimum toelaatbare oververhitting, opgegeven door de compressorfabrikant. Al met al te gecompliceerd om een "eenvoudige" simulatie op te zetten. Wel wordt aan de hand van blokschema's verder op deze regelingen ingegaan

variabelen: koeler belasting, drukverschil, onderkoeling

moeten of k of A of beiden verkleind worden. Verkleinen van het werkzame oppervlak gebeurt door de condensor met behulp van drukregelaars op te vullen met vloeistof. Het deel waar condensatie effectief blijft wordt kleiner en het temperatuurverschil gaat omhoog. Deze regeling vereist een hoeveelheid extra koudemiddel en een groot vloeistofvat. Met de huidige koudemiddel restricties is dit dus geen aantrekkelijke optie.

Bij luchtgekoelde condensoren wordt de k -waarde voor het overgrote deel beïnvloed door de externe warmteoverdracht, m.a.w. de luchtsnelheid over het lamellenblok. Verlagen van de luchtsnelheid vertaalt zich dus in ventilator regeling. Dit wordt gedaan als modulerende regeling met frequentieregeling, EC motoren of als stappenregeling door ventilatoren uit te schakelen. De basis is altijd een druksignaal wat in een regelaar vergeleken wordt met de ingestelde waarde. Afhankelijk van de praktische mogelijkheden, (aantal ventilatoren, aantal condensoren, toerenregeling of aan-uit), zal een bepaalde proportionele band ingesteld moeten worden om een rustig regelgedrag te krijgen. Dit speelt het sterkst in extreme deel last condities in combinatie met stappen regeling. Geluidsarme luchtgekoelde condensoren hebben een aanzienlijke capaciteit als alle ventilatoren zijn uitgeschakeld. Deze kennis en de invloed van bijvoorbeeld overwegende windinvloeden zijn van belang bij het opzetten van de regelparameters

2.10 GASKOELER REGELING CO₂ TRANSKRITISCH



Schema 2.9 Transkritisch CO₂-systeem

Transkritische CO₂ compressie systemen hebben te maken met een specifiek fenomeen in het werkgebied boven het kritische punt van de CO₂. Het persgas wordt afgekoeld in een gaskoeler die qua constructie hetzelfde is opgebouwd als een luchtgekoelde condensor. Het vermogen wordt ook weergegeven door de formule $Q=k \cdot A \cdot \Delta T$, waarbij ΔT nu staat voor het logaritmisch temperatuurverschil tussen de opgewarmde buitenlucht en het afgekoelde CO₂ gas. Na het afkoelen gaat het gas door een expansie regelafsluiter en komt in een vloeistofvat als een mix van gas en vloeistof. Vanuit dit vloeistofvat wordt de CO₂ vloeistof naar de verdampers gevoerd. Het gas gaat via de gas-bypass regelafsluiter naar de zuigzijde van de compressor. Door de CO₂ eigenschappen in het transkritische gebied hoort bij elke gaskoeler uittrede temperatuur een bepaalde druk waarbij de COP van het systeem optimaal is. Bij een hogere gaskoeler uittrede temperatuur hoort een hogere druk. Omdat er niet gecondenseerd wordt is de gaskoeler uittrede temperatuur sturend en wordt door de expansie regelafsluiter de persdruk op het gewenste niveau gebracht. De druk in het vloeistofvat heeft een vooraf ingestelde waarde, geregeld door de gas-bypass regelafsluiter.

Variabele: DEEL compressor, Buitelucht

3. INSTRUMENTATIE

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens behandeld opnemers voor

- Temperatuur
- Druk
- Niveau

Er zal worden ingegaan op de diverse uitvoeringen, de werking, de verschillen in nauwkeurigheid en de reactie snelheid.

3.1 TEMPERATUURSENSOREN

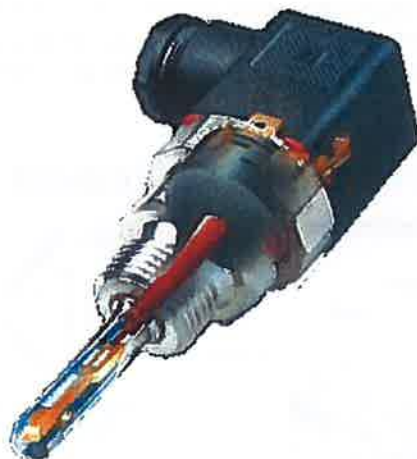
3.1.1 Uitvoeringen

Toegepaste temperatuur sensoren in de koeltechniek zijn:

- **Lineaire temperatuur afhankelijke weerstanden.**
Van sommige metalen is de relatie tussen de weerstand en de temperatuur van het materiaal nagenoeg lineair in een afgebakend temperatuur traject. Platina is hiervan het meest bekende materiaal. In het verleden werd ook nikkel voor dit doel toegepast. De op platina gebaseerde sensoren zijn gestandaardiseerd op basis van de weerstand bij een temperatuur van 0 °C. Meest gebruikelijk zijn de Pt100 met 100 ohm bij 0 °C en de Pt1000 met 1000 ohm bij 0 °C. Bij stijgende temperatuur stijgt de weerstand met respectievelijk 0,38 en 3,8 ohm/K. Bij dalende temperatuur tegengesteld. Een voorbeeld van een Pt100 is te zien als Figuur 3.1.
- **Niet lineaire temperatuur afhankelijke weerstanden.**
In deze groep vallen de z.g. PTC en NTC thermistors. PTC is een stijgende weerstand bij stijgende temperatuur en de NTC geeft een dalende weerstand bij stijgende temperatuur. Ze worden gemaakt van halfgeleiders (metaaloxiden). De referentie temperatuur is 25 °C en vanwege de non-lineairiteit worden regelaar en temperatuur sensor meestal als combinatie geleverd.
- **Thermokoppel**
Een thermokoppel wordt gevormd door twee draden van verschillende metalen aan de uiteinden met elkaar te verbinden. Bij een temperatuurverschil tussen beide uiteinden ontstaat er een potentiaal verschil. De hoogte ervan is afhankelijk van de gebruikte materialen en van het temperatuurverschil tussen de uiteinden. De relatie tussen spanning en temperatuur is bij benadering lineair. Omdat de opgewekte spanning is gebaseerd op het temperatuurverschil zal de invloed van een temperatuurafwijking van het aansluitpunt gecompenseerd moeten worden. Daarom wordt meestal de temperatuur van de z.g. koude las, dit is de aansluiting in het meetinstrument, apart gemeten en via een elektronische schakeling van de werkelijke meetwaarde afgetrokken of opgeteld. Koper/Constantaan met een meetbereik van -270 °C tot 400 °C is een combinatie die onder andere in de koeltechniek wordt toegepast.
- **Temperatuur transmitter**
In industriële toepassingen gaat de kabellengte van de temperatuuropnemer een rol spelen in de nauwkeurigheid van het signaal aan de regelaar. Alle hierboven genoemde opnemers kunnen ook uitgevoerd worden als transmitter waarbij het uitgangssignaal wordt omgezet in 4-20 mA. In de praktijk wordt dit meestal gedaan op basis van Pt100, Pt1000 en thermokoppels vanwege de al aanwezige lineariteit.
- **Draadloze temperatuurmeting**
Alle hierboven genoemde temperatuuropnemers zijn via bekabeling verbonden met een regel/monitoring unit. Dit kan 1 op1 zijn of d.m.v. een buscommunicatie. In plaats daarvan kan het meetsignaal omgezet worden in een digitale code wat dan in een bepaald frequentiegebied wordt verzonden. De temperatuuropnemer en de ontvanger zijn dan onderdeel van een digitaal

$$T_x = t_{63,2} \cdot \ln\{100/(100-x)\}.$$

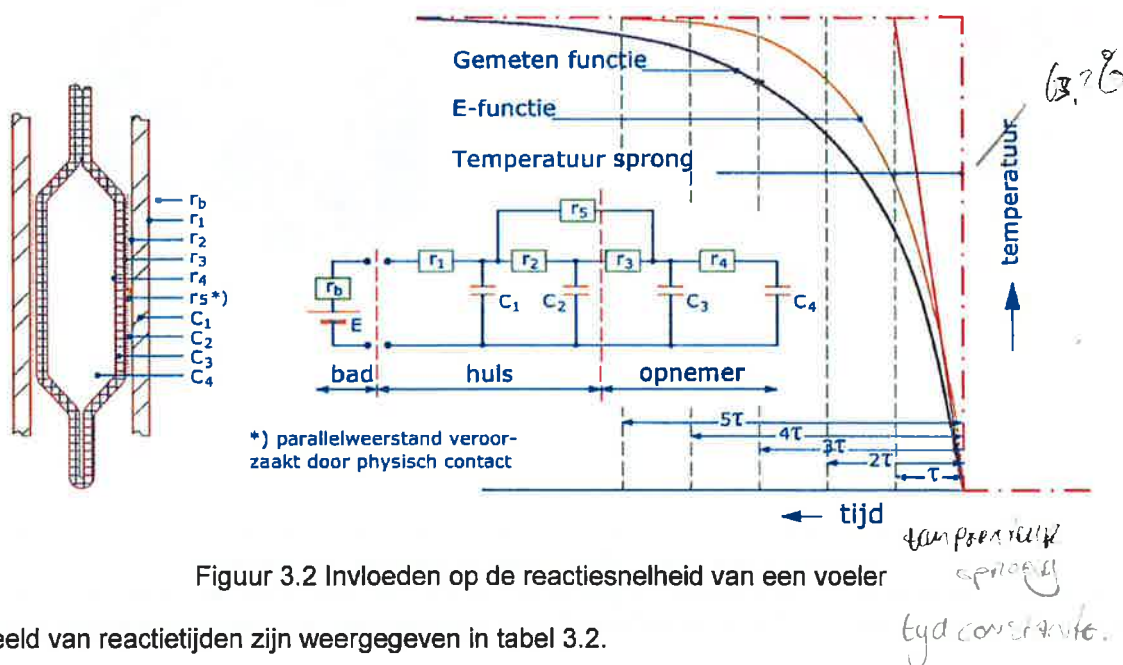
Voor $t = 0,9$ dus $t_{63,2} \cdot \ln[100/100-90] = t_{63,2} \cdot \ln 10 = t_{63,2} \cdot 2,3$.



Figuur 3.1

	DOMPELBUIS	WATER 0,2 m/s	LUCHT 1 m/s
		$t_{0,9}$	
Vervangbaar meetelement	Wanddikte 1 mm RVS	33 s	310 s
	Wanddikte 1 mm RVS met warmtegeleiding pasta	10 s	300 s

Tabel 3.2 Voorbeeld van reactiesnelheden

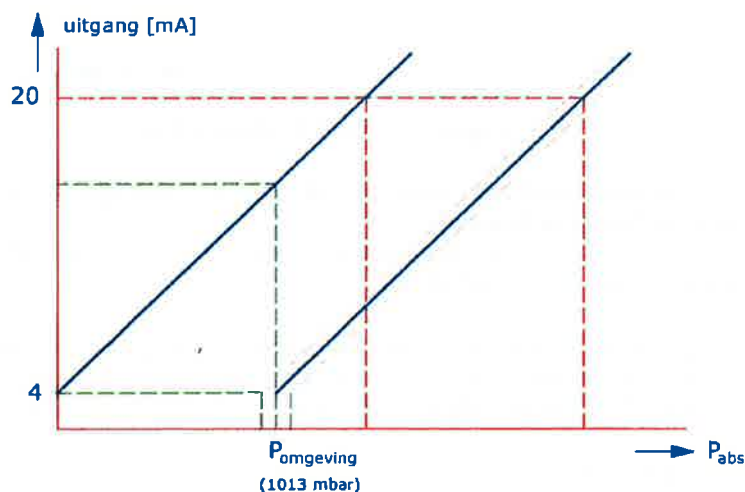


Figuur 3.2 Invloeden op de reactiesnelheid van een voeler

Voorbeeld van reactietijden zijn weergegeven in tabel 3.2.

3.4). De elektrische aansluitingen worden via gasdichte doorvoeren naar de elektronica ruimte gevoerd. (figuur 3.4). De druk van het systeem wordt niet rechtstreeks op het silicium membraan gezet. Als scheiding zit er nog een RVS membraan tussen. De ruimte rondom het meetelement wordt opgevuld met siliconenolie (figuur 3.5).

Er zijn twee manieren om de druk te meten. De eerste is ten opzichte van het absolute vacuüm (absoluut meting) en de tweede ten opzichte van de heersende barometerdruk, (relatief meting). Een koelinstallatie is een gesloten systeem dus de druk erbinnen wordt niet beïnvloed door de erbuiten heersende luchtdruk. Toepassen van een absoluut meting is noodzakelijk omdat anders bij een lagere luchtdruk, of bijvoorbeeld plaatsing van de installatie op 2000 meter hoogte, een te hoge systeemdruk aangegeven wordt. Bij een uitgang van 4-20mA geeft de transmitter dus een signaal van 4 mA af bij het absolute vacuüm en 20 mA bij de eindwaarde FS (Full Scale). De aanduiding op de transmitter kan dan $-1/9$ bar (p_e) zijn of 0/10 bar (p_a), maar het zijn identieke uitvoeringen. Door veel gebruikers wordt de voorkeur gegeven aan de p_e uitvoering ($-1/9$, $-1/24$) omdat de uitkomst dan gelijk loopt aan de metingen met normale manometers. Om die reden zijn er ook transmitters voor de hogedrukzijde van de installatie die gekalibreerd worden om bij een barometerstand 1013 mbar een signaal van 4 mA af te geven. In figuur 3.6 is het verschil op grafische wijze verduidelijkt.



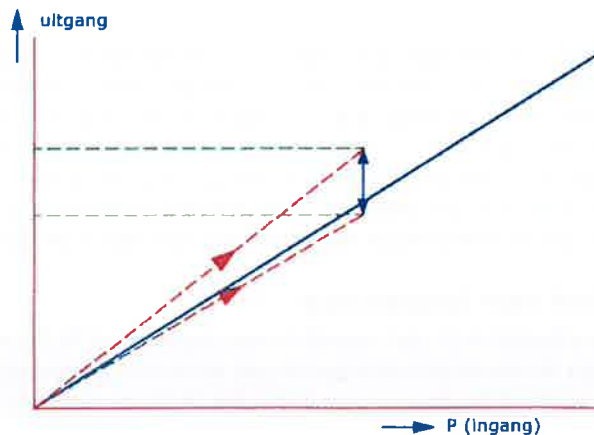
Figuur 3.6 Verband tussen druk en uitgangssignaal

3.2.2 Nauwkeurigheid.

In alle brochures en documentatie van druktransmitters wordt gesproken over de nauwkeurigheid. Dat wordt dan uitgedrukt in een percentage van het volledige drukbereik FS (FS= Full Scale). Dus in feite wordt hiermee de onnauwkeurigheid van de druktransmitter aangegeven. Bij een transmitter met een bereik van 0-10 bar is de "nauwkeurigheid" bijvoorbeeld $\pm 1\%$. De mogelijke afwijking over het gehele bereik is dan 0,1 bar (1 % van 10 bar). Bij een meetwaarde van 1 bar ligt de spreiding van het uitgaande signaal tussen 0,9 en 1,1 bar. Het niet lineaire verband tussen druk en temperatuur van de koudemiddelen zorgt hier voor een specifiek probleem. Bij NH_3 geeft dit een temperatuur een spreiding van $\pm 2\text{K}$ wat niet acceptabel is.

De ideale druktransmitter heeft een perfect lineair signaal in relatie tot het opgegeven drukbereik. Ontwerpcriteria, productie toleranties en omgevingsfactoren zorgen voor een afwijking van de perfecte rechte lijn en het totaal van de afwijkingen wordt samengevat als nauwkeurigheid. Een aantal factoren wordt nader verklaard.

- *Linearity*, ook wel conformity genoemd, is de maximale afwijking ten opzichte van de ideale rechte lijn. Binnen deze conformity bestaan drie begrippen, te weten:



Figuur 3.9 Repeatability

- *resolutie*, is de afleesnauwkeurigheid van een instrument, m.a.w. het aantal plaatsen achter de komma. Dit mag niet verward worden met de nauwkeurigheid. Het duidelijkst is dit bij een temperatuuropmeter met een maximale afwijking van ± 1 K. Een uitlezing van $12,645^{\circ}\text{C}$ is een schijn nauwkeurigheid want de werkelijke waarde ligt tussen $11,645$ en $13,645^{\circ}\text{C}$.

3.2.3 Invloed van de temperatuur

Voor alle druktransmitters geldt dat bovengenoemde afwijkingen gemeten worden bij een temperatuur van de gehele transmitter van 20°C . Een elektrische weerstand is temperatuurafhankelijk. De piezo weerstand maakt daar geen uitzondering op. Ook de elektronica om het uitgangssignaal te produceren wordt beïnvloed door de temperatuur. De temperatuur invloed wordt aangegeven als een verschuiving van het 0-punt en van het bereik, de z.g. zero point shift en de span shift. Dat wordt meestal aangegeven in $\pm \% \text{ FS}$ per 10K temperatuurverandering. Het is mogelijk om een garantie af te geven voor de maximale afwijking binnen een tevoren gedefinieerd temperatuurbereik. Om dat te bereiken worden 2 kalibraties uitgevoerd, ieder bij een verschillende temperatuur. Voor de koudetechniek is het dan ook optimaal om lagedruk transmitters te kalibreren bij een lage temperatuur en de persdruk transmitters bij een hogere temperatuur. Buiten dit temperatuurgebied blijft de transmitter normaal functioneren maar het signaal zal meer afwijken dan in het gegarandeerde gebied.

3.2.4 Trillingen en pulsaties

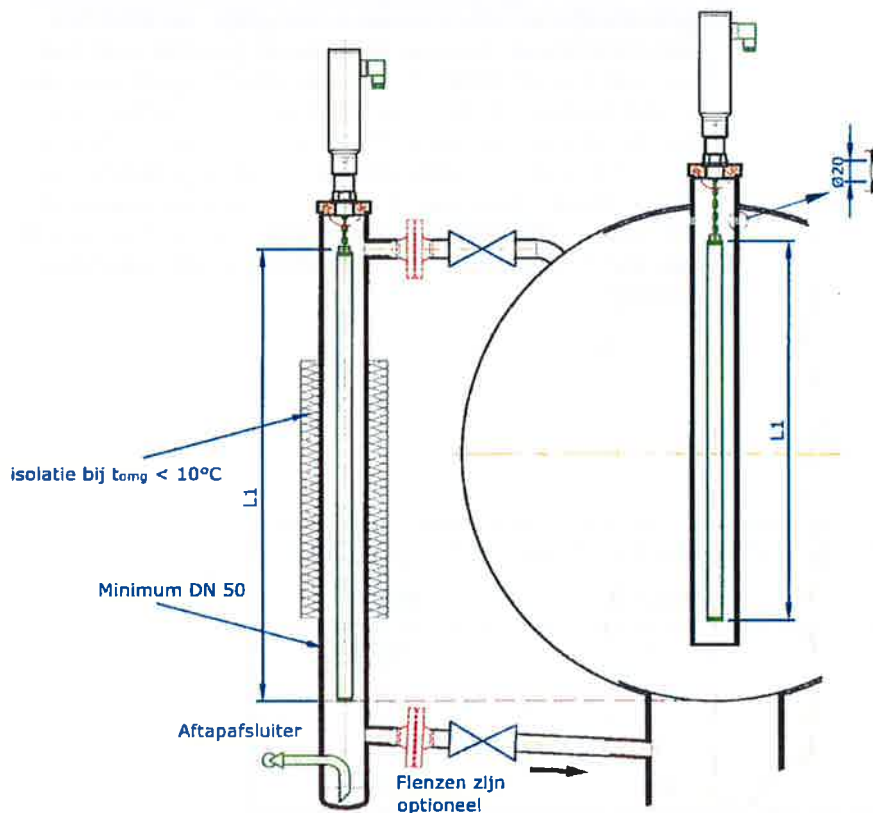
Trillingen treden op in alle machines en druktransmitters moeten daar uiteraard tegen bestand zijn. Een belangrijk detail voor een goede signaaloverdracht van de transmitter naar de aansluitkabel zijn de contactvlakken in een aansluitdoos. Na een aantal jaar blootgesteld te zijn geweest aan trillingen kan het contact minder worden en het signaal onbetrouwbaar. Een afdoende remedie hiertegen is het toepassen van z.g. mescontacten in de aansluitdoos.

In industriële koelinstallaties kunnen drukstoten of pulsaties optreden tijdens persgas ontdooien, starten van circulatiepompen of compressoren, openen van magneetkleppen in een lege leiding, enz. Deze drukstoten kunnen gemakkelijk 200 bar bereiken met als gevolg beschadiging van de druktransmitter en soms ook van overige apparatuur. Een ander aspect vormt flashgas in de vloeistof van een pomp-persleiding. Deze dampbellen bevinden zich ook onder het membraan van de druktransmitter en kunnen bij wijziging van de vloeistofcondities imploderen wat een zeer hoge drukverhoging op het membraan geeft. Weliswaar gedurende enkele milliseconden, maar genoeg om de druktransmitter te beschadigen. In alle gevallen waarin de verwachting bestaat dat drukstoten kunnen optreden is een vernauwing in de verbinding met het koelsysteem raadzaam. Een veelgebruikte term voor een dergelijke vernauwing is "pulse snubber". Bij de gebruikelijke koudemiddelen en olie in een koelinstallatie is de vertraging van de signaal opbouw in de orde grootte van 2 milliseconde en dus te verwaarlozen.

3.3.1 Gewicht (Archimedes)

Een verdringer hangt aan een veerbalans met daaronder een metalen kern die in een spoel beweegt. De stand van de kern geeft een bepaalde inductie in de spoel wat dan omgezet wordt in een uitgaand 4-20mA signaal. Bij rust is het gewicht van de verdringer gelijk aan de opwaartse kracht van de vloeistof plus de veerkracht. Bij stijgend vloeistof niveau wordt de opwaartse kracht groter en kan de veerkracht afnemen en zal de kern iets stijgen. Dit geeft een verandering in de inductie in de spoel wat de erbij behorend signaalverandering creëert.

De opwaartse kracht is afhankelijk van het soortelijk gewicht van de toegepaste vloeistof en het volume van het verdringerlichaam. Bij dit principe is de opnemer dus altijd specifiek voor het toegepaste koudemiddel, de erbij behorende bedrijfstemperatuur en de gewenste meet hoogte in de standpijp. Toepassen op schepen wordt niet aanbevolen omdat bij een helling de verdringer tegen de binnenkant van de standpijp kan rusten en daarmee een miswijzing zal geven.



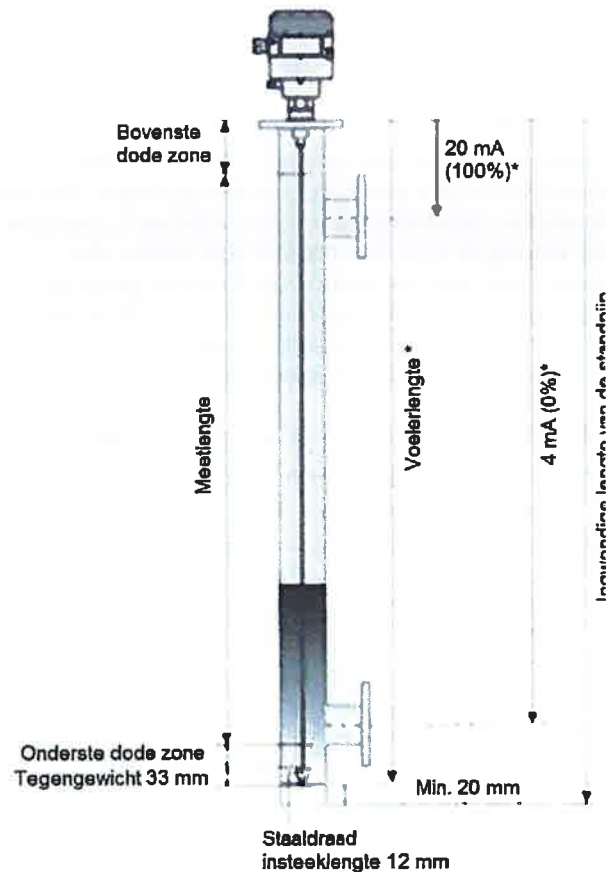
Figuur 3.10 Niveaugever op basis opwaartse kracht (RTK) met standpijp of montage in afscheider

Afhankelijk van:

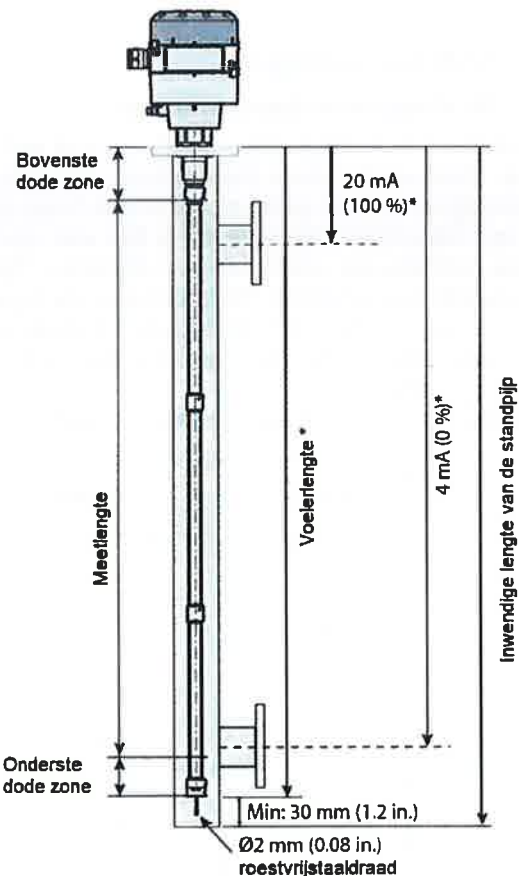
- Vloeistof
- Temperatuur
- Hoogte standpijp
- Algeheel ontwerp

tot de afstand. In de elektronica wordt deze afstand afgetrokken van de totale meetlengte. Op die manier wordt de werkelijke vloeistofhoogte als een 4-20 mA signaal gepresenteerd.

De geleide draad wordt op de montage plaats ingekort tot de standpijp hoogte. De uitvoering met externe geleiding moet op een vooraf vastgestelde lengte besteld worden.



Figuur 3.12 TDR niveau signaalgever



Figuur 3.13 TDR voor CO₂

3.3.4 Nauwkeurigheid / reactiesnelheid

Voor de gebruikelijke toepassingen in industriële pompcirculatie systemen is de nauwkeurigheid van de niveau regeling geen kritische factor. Een miswijzing van 1 tot 2 centimeter bij een standpijp van een vloeistof vat of afscheider van 1 meter diameter wordt niet als storend ervaren. Dat wordt anders bij systemen met een geringe vloeistofinhoud waar de niveau regeling snel en accuraat moet reageren. De nauwkeurigheid van regelen wordt echter niet alleen bepaald door het type opnemer maar wordt ook beïnvloed door de condities in de afscheider en de standpijp zoals opkoken, aanwezigheid van olie en vocht. Systeem ontwerp en proces ervaring zijn dan ook de criteria bij de keuze voor een type niveau opnemer.

VULLING	EIGENSCHAPPEN	REACTIE SNELHEID	VOELER AFMETINGEN
Gasvulling	Indien balg kouder dan voeler → voeler gevuld met damp → geen regeling meer	Zeer snel	gering
Gedeeltelijke vulling	Indien balg warmer dan voeler → voeler gevuld met vloeistof → geen regeling meer	snel	normaal
Cross-ambient vulling	Balg kan kouder of warmer dan bulb zijn → blijft regelen	traag	groot
Adsorbtie vulling	Balg kan kouder of warmer dan bulb zijn	traag	groot

Tabel 4.1

4.1.2 Pressostaten

Mechanische pressostaten worden meestal als beveiliging voor lage en hoge druk van de compressor toegepast. Volgens EN12263 worden bij compressoren boven een bepaald slagvolume pressostaten met dubbele balg voorgeschreven, waarbij dan ook nog onderscheid gemaakt wordt in uitvoeringen W, B en S. Dat refereert aan de manier waarop de pressostaat na uitschakelen weer inschakelt. Bij W is dat automatisch, bij B handmatig van buiten af en bij S handmatig na openen van het deksel.

Kenmerkende eigenschap van deze pressostaten is het feit dat de ingestelde uitschakeldruk wordt verlaagd zodra ofwel de binnenbalg of de buitenbalg lek raakt.

In enkelvoudige koelsystemen, 1 compressor, 1 verdamper, wordt vaak een pressostaat toegepast om de compressor aan en uit te schakelen. De temperatuur van de gekoelde ruimte wordt geregeld met een thermostaat die een magneetklep in de vloeistof toevoer naar de verdamper bedient. Dit is de z.g. pump-down schakeling. Als de magneetklep sluit gaat de druk aan de zuigzijde dalen tot op een gegeven moment de compressor door de pressostaat wordt uitgeschakeld. Het doel van deze schakeling is om de druk boven de olie in carter zo laag mogelijk te houden. Dit, vaak in combinatie met carterverwarming, houdt de hoeveelheid koudemiddel in de olie gering. Bij starten van de compressor is er dan weinig opschuimen van de olie.

4.1.3 Niveau beveiliging

Voor het signaleren van hoog- en laagniveau in afscheiders en oliereservoirs worden de volgende drie principes toegepast.

- vlottersystemen met een relais uitgang.
De stand van de vlotterbal of vlotterhuls wordt gesignaleerd door een buiten het koudemiddelcircuit aangebrachte magneet, die op zijn beurt een relais activeert, zie figuur 4.2 en figuur 4.3.

- **Resonantie.**
Een stemvork wordt continue in trilling gebracht en de frequentie ervan wordt teruggekoppeld naar een opnemer. Als er vloeistof in plaats van damp om de stemvork zit neemt de trill frequentie af. Dit wordt vastgesteld door de opnemer en een relais wordt geactiveerd.



Figuur 4.5 niveauschakelaar met stemvork (Endress + Hauser)

4.2 MODULERENDE UITVOERINGEN

4.2.1 Drukregeling in commerciële installaties

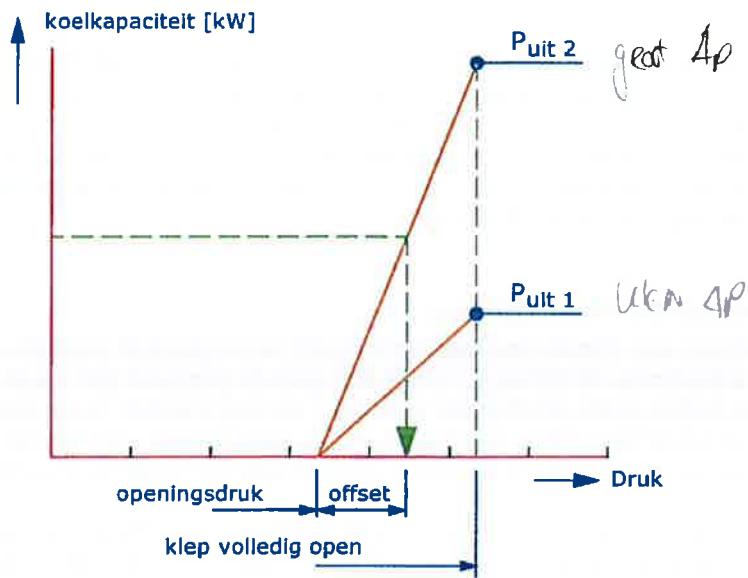
Direct werkende drukregelaars worden verdeeld in twee groepen, de intrededruk en de uittrededruk regelaars. Als de pijl (stromingsrichting) naar de instelveer wijst is het een intrededruk regelaar, figuur 4.6 en als de pijl vanaf de veer wijst is het een uittrededruk regelaar, figuur 4.7.

Met de veerinstelling wordt de openingsdruk vastgelegd. Daarna zorgt een verdere drukstijging/daling voor verder openen van de klep. De drukverandering die nodig is om de klep volledig te openen ligt vast met de veerconstante en het klepoppervlak en is de P-band van de regelaar. Het deel van de P-band dat bij een evenwicht ontstaat wordt de "off-set" genoemd. Uit de krachtenbalans van figuur 4.8 volgt dat de niet-geregelde druk geen invloed heeft op de klepstand. De oppervlakken van de klep en van de compensatiebalg zijn even groot.

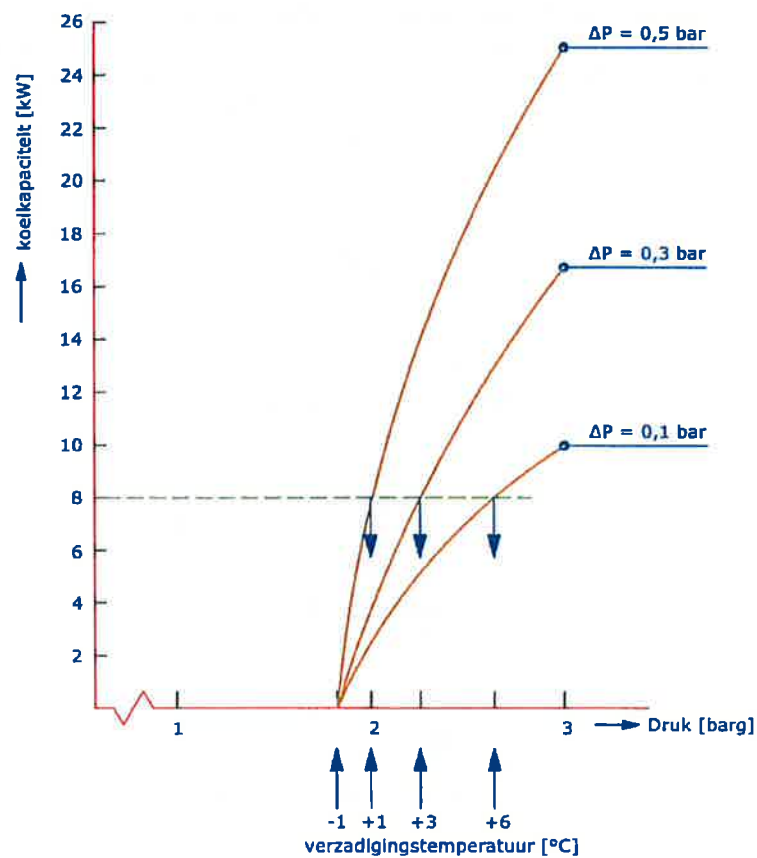
Het drukverschil over de klep is echter wel van invloed. Hoe groter dit drukverschil des te groter de volumestroom door de klep en daarmee de capaciteit. Bij een intrede druk regelaar zal de intrede druk dan dalen. De off-set wordt minder en er wordt een nieuw evenwicht gemaakt. Hier valt niets aan in te stellen.

Afhankelijk van de klepcapaciteit, het werkelijke koelvermogen, de ingestelde veerkracht en het drukverschil over de klep ontstaat een evenwicht. In figuur 4.9 is het principe hiervan weergegeven.

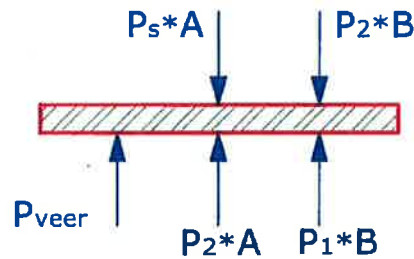
In figuur 4.10 zijn grafisch de uitkomsten van een selectie gebundeld. Het gaat om een vorstbeveiliging van een 8 kW waterkoeler, koelcapaciteit, R134a, normaal werkend op +2°C verdampingstemperatuur en die zou moeten sluiten bij -1°C. De uitkomsten van de klepcapaciteit zijn berekend bij drukverschillen van 0,1 tot 0,5 bar. Stel nu dat het werkelijk drukverschil maar 0,1 bar is. Dan heeft de klep een off-set nodig van 0,85 bar en gaat de koeler op +6°C werken in plaats van de gewenste +2.



Figuur 4.9 P-band en off-set

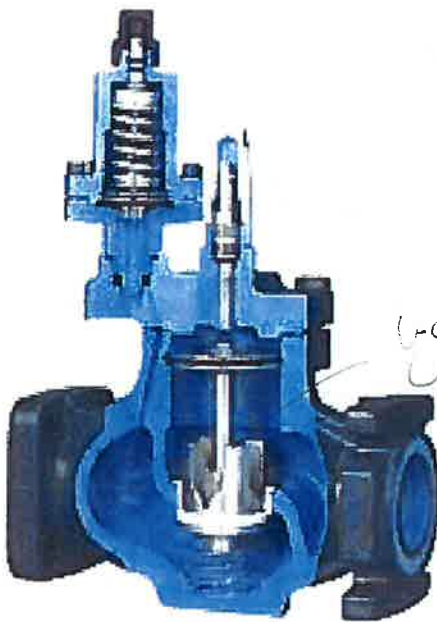


Figuur 4.10 R134a verdampersdrukregelaar

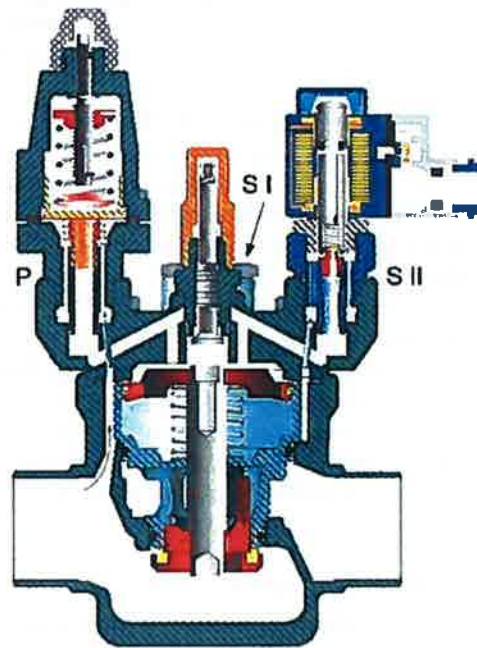


Figuur 4.12 Krachtenspel op zuiger van servogestuurd regelventiel

VOORBEELDEN VAN SERVOGESTUURDE VENTIELEN



Figuur 4.13 (Hansen)



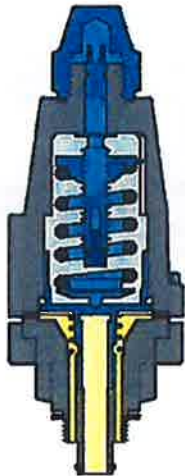
Figuur 4.14 (Danfoss)

De werking op minimale deellast bij drukverschillen tussen 0,07 en 0,1 bar wordt verbeterd indien een z.g. equiprocentuele klep wordt toegepast. Dit houdt in dat er relatief veel verplaatsing nodig is voor een geringe capaciteit toename. Zie figuur 4.15.

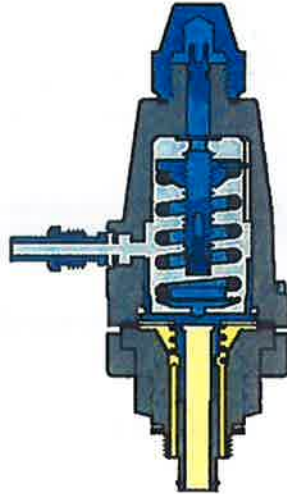
Dit voorkomt de neiging van een klep om door de hoge stroomsnelheid bij een zeer geringe lichthoogte zichzelf weer dicht te "zuigen". Een tweede aspect is dat bij een zeer lage belasting de meest geringe opening van de hoofdklep de intrede druk direct laat dalen waardoor ook de stuurklep sluit en de stuurdruk wegvalt. Er ontstaat dan een open dicht regeling (hunting) die, vooral in de persleiding, hinderlijk lawaaiig kan worden. In de moderne selectieprogramma's wordt met het vermijden van deze minimum deellast situatie rekening gehouden.

nodig van het membraan. Dit geeft dan weer een hogere P band (max. 1,6 bar), wat door de specifieke druk-temperatuur verhouding bij CO₂ dan weer geen probleem is.

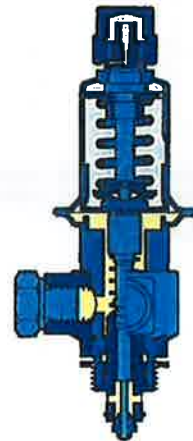
DIVERSE STUURMODULES



Figuur 4.16 Intrededruk



Figuur 4.17 Verschildruk



Figuur 4.18 Uittrededruk

4.2.3 Extern aangedreven regelkleppen.

Extern aangedreven (motor, stappenmotor, magneetmotor, pneumatisch) regelkleppen hebben als voordeel dat er een grote mate van flexibiliteit is in zowel het instellen en het kiezen van de meest geschikte regelparameters en klep karakteristiek. Bij externe aandrijving kan voor PI of PID gekozen worden. Door de externe aansturing is er geen minimum drukval nodig om de klep te openen wat leidt tot een betere efficiency van de installatie. Een ander keuze aspect kan het beter functioneren bij extreme deellast zijn. Als de actie en de status van een regelklep in een schema op een computer-scherm gepresenteerd moeten worden valt de keuze altijd op externe aansturing.

Naast alle voordelen is er het nadeel van de hogere prijs. Extern aangestuurde kleppen hebben een extern regelcircuit nodig wat kostenverhogend werkt voor zowel de benodigde apparatuur, de bekabeling en het in bedrijfstellen. Voorbeelden van extern aangestuurde regelkleppen worden weergegeven in de figuren 4.19 t/m figuur 4.22. De meest voorkomende vormen van regelconussen is te zien in Figuur 4.23

+ stekingen (moeilijk op)



Figuur 4.19
Elektrisch
(RTK)



Figuur 4.20
Pneumatische
(RTK)

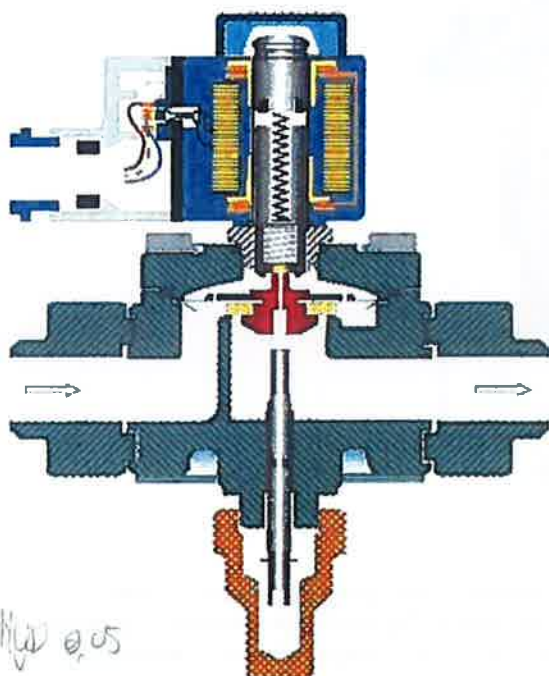


Figuur 4.21
Magneetveld
(Siemens)



Figuur 4.22
Stappenmotor
(Danfoss)

4.3.1.2 Servo-werkende magneetkleppen met membraan



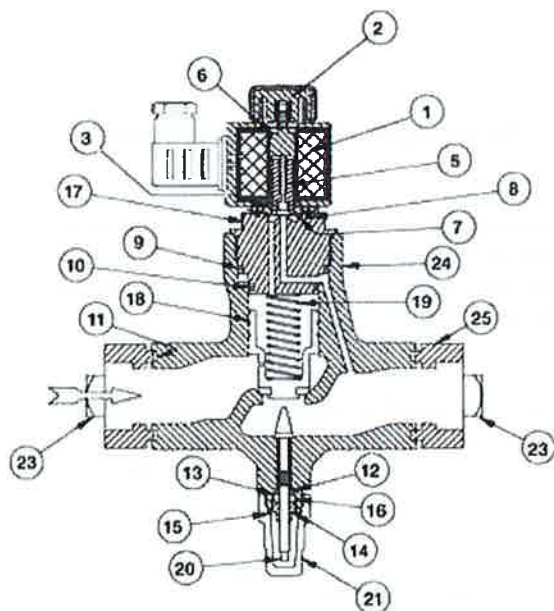
Figuur 4.25

Een soepel membraan, meestal versterkt teflon, rust direct of via een extra teflon plaat op de zitting van de magneetklep. In het hart van het membraan wordt een pilot-opening afgesloten door de magneetkern als de spoel niet bekrachtigd is, zie figuur 37. De ruimte boven het membraan krijgt via een kleine tweede opening in het membraan dezelfde druk als eronder waardoor de klep gesloten blijft.

Als de spoel wordt bekrachtigd wordt de kern opgetrokken. De druk boven het membraan daalt en de druk eronder duwt het membraan omhoog. Het koudemiddel stroomt nu door de hoofddoorlaat. Bij afnemende massastroom daalt het drukverschil over de doorlaat en zal het membraan zakken. Er is dus altijd een minimum openingsdrukverschil nodig om de magneetklep open te houden. Bij een te groot geselecteerde magneetklep gaat het membraan maar een fractie open en loopt het risico om "scheef" op de zitting terecht te komen waardoor goed afsluiten niet meer mogelijk is.

Er zijn speciale uitvoeringen, waarbij het membraan via een veer aan de kern gekoppeld wordt. Zolang de spoel bekrachtigd is blijft het membraan via de opgetrokken magneetkern in een volledig open positie van 0% tot 100 % capaciteit. Een toepassingsvoorbeeld is een magneetklep in een installatie waarvan het koelvermogen tot onder de 10 % teruggeregeld moet worden.

4.3.1.3 Servo werkende magneetkleppen met zuiger



Figuur 4.26

Bij doorlaatopeningen boven 20 mm zou een membraan, om de grotere krachten op te vangen, te stug worden om goed te kunnen functioneren. Er wordt dan overgegaan op een servo-zuiger, zie figuur 4.26. Deze uitvoering functioneert op identieke wijze als de membraan uitvoering. Alleen is het minimum openingsdrukverschil voor volledig openen 0,2 bar in plaats van 0,05 bar. Net als bij de regelkleppen is de zuigeruitvoering gevoeliger voor vuil en vocht.

- **Persgas ontdooi toevoerleidingen:**

Bij persgas ontdooien wordt gerekend dat 1,5 tot 3 keer het verdampervermogen als persgas wordt toegevoerd. Omdat het ontdooien maar kort duurt worden deze kleppen met een relatief hoge drukval geselecteerd. Uitermate belangrijk is de controle op het eventueel vormen van condensaat in de hoofd- of zijtak van de ontdooi persgas toevoer. Dit resulteert in vloeistofslag en beschadiging van de magneetklep, ongeacht het model of de grootte.

In tabel 4.2 worden richtlijnen gegeven voor de toe te passen ontwerp drukverschillen bij de selectie van magneetkleppen. Het blijft uiteraard altijd de verantwoordelijkheid van de ontwerper om de installatie en dus de selectie zo optimaal mogelijk uit te voeren.

ONTWERPDRUKVERSCHIL IN Bar				
Toepassing	membraan		zuiger	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Vloeistof DX	0.1	0.4	0.2	0.4
Vloeistof pomp	0.2	0.4	0.2	0.4
Persgas	0.2	0.8	0.4	0,8
Zuiggas	0.1	0.3	0.2	0.3
Persgasontdooi toevoer	0.6	1.6	0.4	1.6

Tabel 4.2

4.3.3 Maximum openingsdruk verschil

Voor de combinatie magneetklep + spoel wordt altijd een maximum openingsdruk verschil aangegeven. Afgekort als MOPD. Voor standaard koelinstallaties zal de MOPD weinig problemen geven zolang de elektrische voorziening binnen de aangegeven toleranties valt. Bij hogedruk koudemiddelen zoals CO₂ en bij hoge temperatuur warmtepompen moet de MOPD een punt van aandacht zijn, vooral bij persgas ontdooisystemen. In tabel 4.3 zijn voor een serie magneetkleppen met een maximale werkdruk van 50 bar een aantal combinaties aangegeven. Duidelijk is te zien dat bij toepassen van gelijkstroom de trekkracht van de spoel aanzienlijk lager ligt en dat voor het openen van een uitvoering met gekoppelde kern en membraan een grotere kracht nodig is.

TYPE	MOPD IN Bar (VOOR VLOEISTOF)			
	10 W a.c.	12 W a.c.	20 W a.c.	20 W d.c.
3	21	25	38	14
15	21	25	38	18
15T	14	21	38	18
20	21	25	38	13

Tabel 4.3

$$P \cdot V/T = C.$$

Het resultaat is dan $Q_N = P_{\text{gas}} \cdot Q_{\text{gas}} \cdot 273/T_{\text{gas}}$.

De normaal dichtheid van gasen kan in tabellen worden gevonden. Een aantal voorbeelden staan in tabel 5.2.

KOUDEMIDDEL	ρ_N [in kg/m ³ bij 1 bar en 273K]
R 717 Ammoniak	0,77
R 744 Kooldioxide	1,97
R 290 Propan	2,01
R 600a Isobutaan	2,59
R404A	4,40
R134a	4,62

Tabel 5.2 normaal dichtheid

Bij een vloeistof/gasmengsel wordt de kv- waarde bepaald als som van de afzonderlijke Kv-waarden van het vloeistof- en het gasdeel. Dit komt voor in de natte retour in pompcirculatie systemen en bij expansieventielen.

In leiding systemen is het gebruikelijk om meerdere componenten achterelkaar te monteren. De totale kv waarde wordt dan berekend met

$$\frac{1}{K_{v \text{ totaal}}} = \sqrt{\frac{1}{K_{vs1}^2} + \frac{1}{K_{vs2}^2} + \frac{1}{K_{vs3}^2} + \text{etcetra}}$$

het op kwadraten

Uitvoeren van berekeningen in vloeistof, natte retour, droge zuig persgas en regelventiel voor persgas ontdooing tijdens de lessen laten uitwerken.

5.2 SELECTIETABELLEN

Het rekenwerk voor het bepalen van de juiste Kv waarde is door de fabrikanten van appendages al uitgevoerd en samengevat in selectietabellen. Deze tabellen in de catalogi zijn gebaseerd op de erbij aangegeven condities. Meestal zullen de actuele werkomstandigheden afwijken. Daarom zijn dan correctiefactoren aangegeven. Het is van belang om de condities na te gaan bij maximum en deellast koelvermogen en daarop de selecties te maken.

Het is uitermate belangrijk om de correctiefactoren op de juiste manier te gebruiken. Fabrikanten hanteren verschillende principes. Dit zijn;

- De tabelcapaciteit vermenigvuldigen met of delen door de correctiefactor om tot de werkelijke capaciteit te komen;
- Het koelvermogen vermenigvuldigen met of delen door de correctiefactor en dan met het resultaat de juiste appendage in de tabel opzoeken.

Het lijkt hetzelfde maar bij onjuist toepassen kunnen er grote verschillen ontstaan.

N.B. Tijdens de lessen zullen een aantal selecties doorgewerkt worden op basis van input en interesse van de cursisten.

$\dot{m} = \frac{Q_2 \cdot \rho_2}{T_1}$

januari 2015

$\dot{m} = \frac{Q_2 \cdot \rho_2}{T_1}$

6. EXPANSIEVENTIELEN

In dit hoofdstuk worden expansieorganen voor de z.g. droge verdamper behandeld. Voorwaarde van het goed functioneren van een dergelijk systeem is een vloeistof vrije retour van de verdamper naar de compressor. Deze zekerheid ontstaat door de damp in het laatste traject van de verdamper te oververhitten, d.w.z. een temperatuur realiseren die boven de verzadigingstemperatuur van de druk in de zuigleiding ligt. Vandaar de verzamelnaam; oververhittingsregeling. Er worden drie hoofdgroepen onderscheiden, t.w.:

- Expansiecapillair;
- Thermostatisch expansieventiel;
- Electrisch aangedreven expansieventiel.

6.1 EXPANSIECAPILLAIR

Dit is in aantallen het meest toegepast, simpel vanwege het feit dat alle koelkasten, vriezers en kleine (raam) airconditioners hiermee zijn uitgerust. Het is niets anders dan een koperen leiding met een bepaalde lengte /diameter (inwendig) verhouding waarmee de condensatiedruk wordt gereduceerd naar de druk in de verdamper. Een dergelijk systeem werkt optimaal onder de ontwerpcondities maar daarbuiten wordt het minder efficient. Er is geen sprake van regeling en het evenwicht massastroom door het capillair en de massastroom door de compressor werkt tegengesteld. (hogere condensatie is lagere compressor capaciteit maar een grotere "capaciteit" van het capillair).

Door een exact aangepaste koude-middelvulling en een na de verdamper aangebracht extra volume wordt voorkomen dat eventueel opkokende vloeistof in de zuigleiding terecht komt. Doorstroom hoeveelheden van capillairen worden uitgedrukt in dm^3/min droge stikstof bij 10 bar drukverschil. Dit is dan een referentiewaarde voor het toe te passen koudemiddel. De optimale lengte/diameter verhouding zal altijd empirisch moeten worden bepaald.

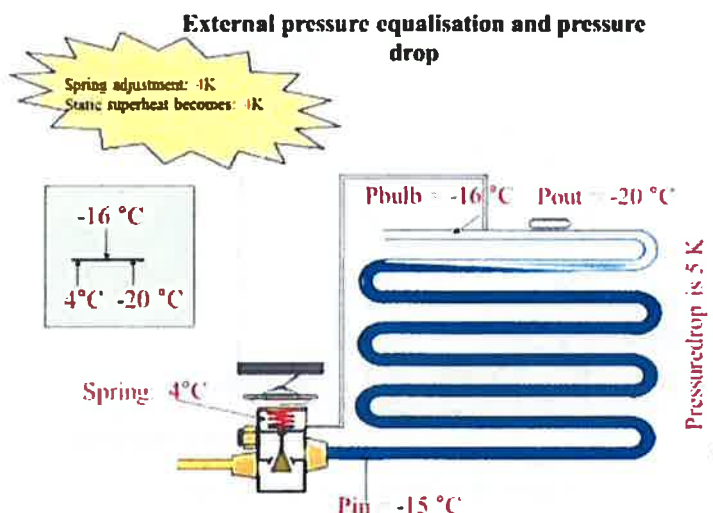
6.2 THERMOSTATISCH EXPANSIEVENTIEL

6.2.1 Constructie

Het thermostatisch expansieventiel zorgt voor een maximale benutting van de verdamper bij variërende condities. Op basis van de oververhitting van het zuiggas wordt de doorlaatopening aangepast en daarmee de massastroom koudemiddel. Het expansieventiel is een direct werkend proportioneel ventiel met koudemiddeldruk en veerdruk onder het membraan en de druk van het thermische element erboven. Dalen van de verdamperdruk of stijgen van de voelertemperatuur zullen de veer indrukken en de doorlaat verder openen. De P-band wordt dus bepaald door de veerconstante.

Om de compressor te vrijwaren van vloeistof wordt de veer zo ingesteld dat de doorlaat pas opent als er een bepaalde oververhitting gemeten wordt. Dat wordt ook aangeduidt als de fabrieksinstelling van thermostatische expansieventielen. Deze waarde ligt tussen de 4 en 6 K en wordt aangepast door de veerspanning te wijzigen.

De verdamperdruk kan op 2 manieren onder het membraan gebracht worden. De eenvoudige manier is om de druk aan het begin van de verdamper, ofwel de uittrddruk van het ventiel direct onder het membraan te brengen. Dit wordt het principe met inwendige drukvereffening genoemd. Het evenwicht en de optredende krachten zijn aangegeven in figuur 6.1.



Figuur 6.3 Expansieventiel met externe drukvereffening.

De ruimte onder het membraan wordt afgesloten, de ventielspindel wordt door een pakkingbus gevoerd en er wordt een leiding aangelegd om de druk die in de zuigleiding heerst over te brengen naar de ruimte onder het membraan. In figuur 6.3 is nu te zien dat de lagere druk onder het membraan het ventiel verder zal openen en daarmee een betere benutting van de verdamper geeft. Eventuele lekkage van vloeibaar koudemiddel langs de ventielspindel komt via de drukvereffeningsleiding in de zuigleiding. Daarom moet, in stromingsrichting gezien, de ventiel bulb voor de aansluiting van deze drukvereffening gemonteerd worden.

6.2.2 Voelvulling

Het thermostatisch expansieventiel is is koudemiddel specifiek en heeft een gelimiteerd werkgebied. Daarbuiten werkt het nog wel maar niet met de juiste oververhittingen. De oorzaak daarvan is het niet lineaire druk/temperatuur verloop van ieder koudemiddel. De voelvulling wordt samengesteld uit meerdere vloeistoffen zodat een druk/temperatuur curve ontstaat die binnen het werkgebied een gelijke temperatuurverandering omzet in een gelijk drukverschil tussen de verzadigingsdruk van het koudemiddel en de druk boven het membraan. Zie figuur 6.4.

6.2.3 MOP ventiel

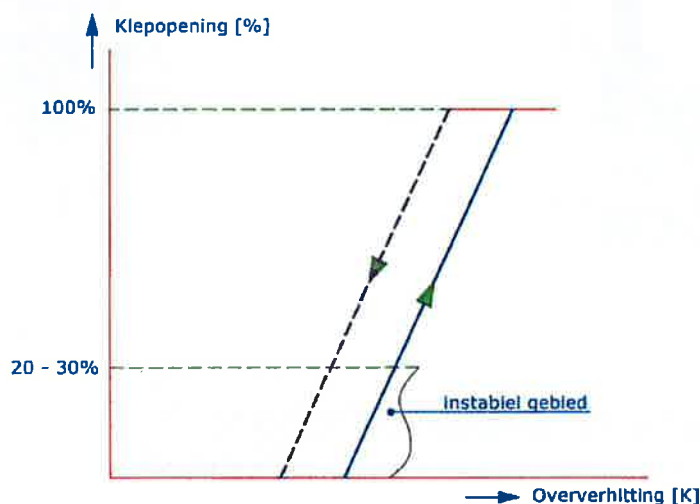
Een speciale uitvoering vormen de MOP ventielen. MOP staat voor Maximum Operating Pressure. Door een zeer beperkte hoeveelheid vloeistof in het voelersysteem is bij een bepaalde, vooraf vast te stellen, temperatuur alle vloeistof verdampt. Dit is vanaf de streep lijn in figuur 6.4. Een verdere temperatuur stijging leidt niet tot een drukverhoging. Bij stilstand zal de hogere druk onder het membraan het ventiel gesloten houden. Bij starten van de compressor wordt bij gesloten expansieventiel snel de druk in de verdamper omlaag gebracht. Voor compressoren met een beperkt motorvermogen is dit een vorm van startregeling.

Bij luchtintrede van 0°C en een verdampingstemperatuur van -10°C zou de totale oververhitting van het ventiel niet meer dan 6,5 K mogen zijn om het opgegeven koelvermogen te realiseren. Bij een delta T van 7 K, zoals gebruikelijk bij lang bewaren van fruit, wordt dit $0,65 \cdot 7 = 4,5$ K. Dit betekent dat naast een goede selectie het ventiel in de praktijk vanuit de fabrieksinstelling op een lagere statische oververhitting ingesteld moet worden.

Een ander fenomeen bij verdampers, zowel luchtkoelers als vloeistofkoelers, is het feit dat onder een bepaalde oververhitting de temperatuur van het zuiggas aan het einde van de verdamper niet meer stabiel te krijgen is. De oververhitting waarbij dit optreedt is afhankelijk van het koelvermogen en wordt het Minimum Stabiele Signaal genoemd, afgekort MSS, zie figuur 6.5. Het expansieventiel volgt deze fluctuatie en gaat min of meer open-dicht werken wat resulteert in een lagere efficiëntie en het risico van vloeistofslag met zich meebrengt.

6.4.5 Hysteresis en werkgebied

De overgang van sluiten naar openen in een regelcyclus zorgt bij een mechanische ventiel altijd voor een hysteresis. Bij een expansieventiel wordt dit veroorzaakt door de wrijving in de pakkingbus en vooral door de buigingsweerstand van het membraan. In figuur 6.6 is aangegeven dat daardoor in het ondergebied van de capaciteit de kans bestaat op onregelmatig werken. Voor thermostatische expansieventielen wordt in het algemeen een ondergrens van 20 tot 30 % als werkbare capaciteit aangehouden.



Figuur 6.6 Hysteresis in expansieventiel

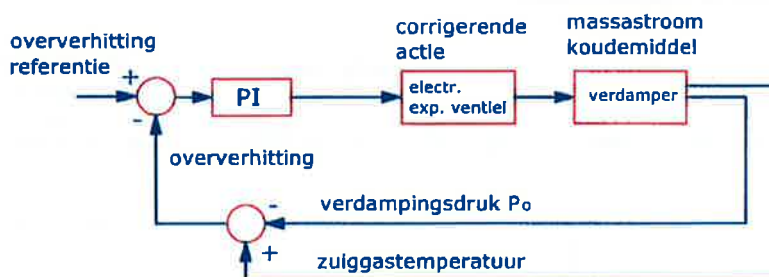
6.3 EXPANSIEVENTIELEN MET EXTERNE AANDRIJVING

In deze groep expansieventielen wordt de verstelkracht voor het openen van de doorlaat geleverd door een pneumatische of elektrische aandrijving. Een 4-20 mA of 0-10V signaal bepaalt de mate van opening. De hoogte van het signaal wordt aan de hand van druk en temperatuur opnemers in een elektronische regeling berekend. De externe aansturing maakt deze ventielen onafhankelijk van het koudemiddel en met een PI regeling is het mogelijk om een optimale benutting van de verdamper te creëren. Vanwege de geringe hysteresis is het werkgebied groter dan dat van thermostatische expansieventielen. Terug regelen tot 5-10 % is mogelijk. Pneumatische aansturing wordt toegepast bij grote vermogens bij vloeistofkoelers in een procesomgeving, Ventielen met elektrische aansturing zijn te verdelen in twee groepen; de puls-modulerende open/dicht werkende ventielen met een vaste doorlaatopening en de ventielen met een modulerende variabele doorlaatopening.

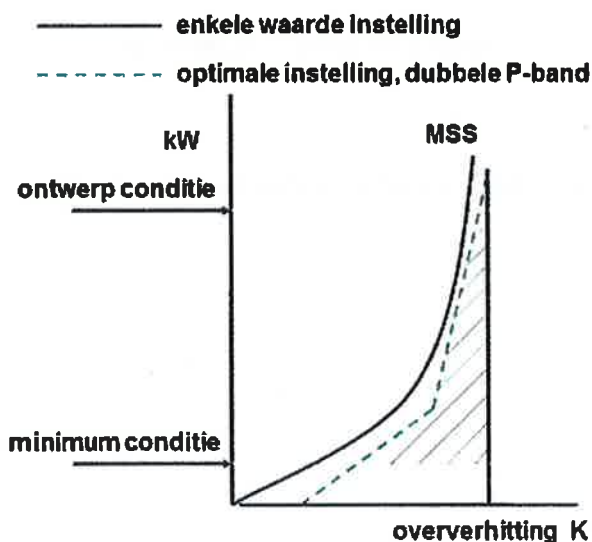
moet in het programma gecompenseerd worden en de opstart procedure moet rekening houden met het feit dat de beide temperaturen gelijk kunnen zijn bij het opstarten. In figuur 6.9 is een eenvoudig blokschema weergegeven van een oververhittingsregeling met de verdamperdruk en de zuiggas temperatuur als input voor de regeling. In figuur 6.9 staat de verticale lijn voor 100 % I regeling, m.a.w. de P actie is geheel uitgeschakeld. De oververhitting heeft altijd een vaste, hoge, waarde en bij deellast zou de verdamper beter benut kunnen worden. Deze instelling resulteert in een continue reagerend ventiel met een overmatige slijtage tot gevolg. Installaties met een grote capaciteit variatie zijn gebaat bij een regel karakteristiek die zo goed als mogelijk de MSS curve volgt.

Een goed resultaat geeft een regelaar waarbij een dubbele P-band ingesteld kan worden. De openingsgraad van het ventiel wordt gekoppeld aan de referentie instelling van de oververhitting. Een andere manier om de verdamper optimaal te benutten is een adaptieve regeling van de oververhitting.

De software in de regelaar verlaagt stap voor stap de referentie waarde van de oververhitting. Dit gaat door totdat "hunten" optreedt. Op dat moment wordt de referentie iets verhoogd om weer tot een stabiele regeling te komen. In figuur 6.9 is dit proces zichtbaar gemaakt. Een adaptieve regeling is niet geschikt voor installaties en/of verdamper met frequente variatie van de belasting. De regelaar zal dit ervaren als een onstabiele werking en de oververhitting onnodig hoog houden. Frequent schakelen van de compressoren in centrale systemen zorgt ook voor een te hoge referentiewaarde. Adaptieve regeling wordt daarom bij voorkeur toegepast in combinatie met compressor regeling met frequentieomvormers.



Figuur 6.9 Oververhittingsregeling



Figuur 6.10 Oververhittingsregeling, P-band uitgeschakeld.