



# Condensaatsystemen in de praktijk

Deze publicatie over condensaat(systemen) wordt u aangeboden door het Stoomplatform.

**Wat zijn de mogelijkheden om met condensaat(systemen) energie en kosten te besparen en technische verbeteringen door te voeren?**

Hoofdstuk één gaat in op het begrip condensaat en de waarde ervan. Hoofdstuk twee worden de problemen besproken die in de praktijk kunnen optreden, zoals waterslag en erosie. Hoofdstuk drie behandelt de verschillende besparingsmogelijkheden en in hoofdstuk vier komt de technische uitvoering van de systemen aan bod en de voordelen die met verbeteringen te behalen zijn.

# Inhoud

1.	<b>Wat is condensaat?</b>	4
2.	<b>Veelvoorkomende problemen met condensaatssystemen</b>	10
3.	<b>Besparingsmogelijkheden condensaatssystemen</b>	13
4.	<b>Technische verbeteringen condensaatssystemen</b>	20

# 1. Wat is condensaat?

**Stoom- en condensaatssystemen zijn complexe systemen. Een condensaatstelsel is een twee-fasen-systeem, waarin zowel een gas (stoom) als een vloeistof (condensaat) zich tegelijkertijd in de leidingen kan bevinden. Stoom- en condensaatssystemen worden van elkaar gescheiden door condenspotten. Condenspotten zorgen er voor dat geen verse stoom wordt meegevoerd naar het condensaatstelsel. Voor en na de condenspot heersen daardoor verschillende drukken.**

De fysieke eigenschappen van stoom en condensaat zijn belangrijk bij het ontwerp van een systeem. Als het ontwerp niet voldoet, ontstaan problemen zoals waterslag, erosie en het niet (goed) op temperatuur komen van processen. Veelal is een stoom- en condensaatstelsel reeds jaren in bedrijf en in de loop der tijd gewijzigd en/of uitgebreid. Met de consequenties hiervan is vaak onvoldoende rekening gehouden:

- Leidingdiameters blijken niet meer te voldoen waardoor er stuwings van condensaat optreedt.
- Door menging van onderkoeld en verzadigd condensaat treedt waterslag op.
- Fout gekozen of lekkende condenspotten leiden tot inefficiënt stoomgebruik.

De praktijk leert dat deze problemen in de meeste systemen in meer of mindere mate voorkomen.

## 1.1 Het h-p-t-diagram

De fysieke eigenschappen van stoom en condensaat blijken in de praktijk het best te verklaren aan de hand van een eenvoudig h-p-t diagram. Hierin staat:

- de h (van *heat content*) voor warmte-inhoud ofwel enthalpie;
- de p (van *pressure*) voor druk;
- de t (van *temperature*) voor temperatuur.

Het h-p-t-diagram is een grafische weergave van de alom bekende stoomtabel. Een deel uit de stoomtabel is weergegeven in figuur 1.

Figuur 1 Stoomtabel

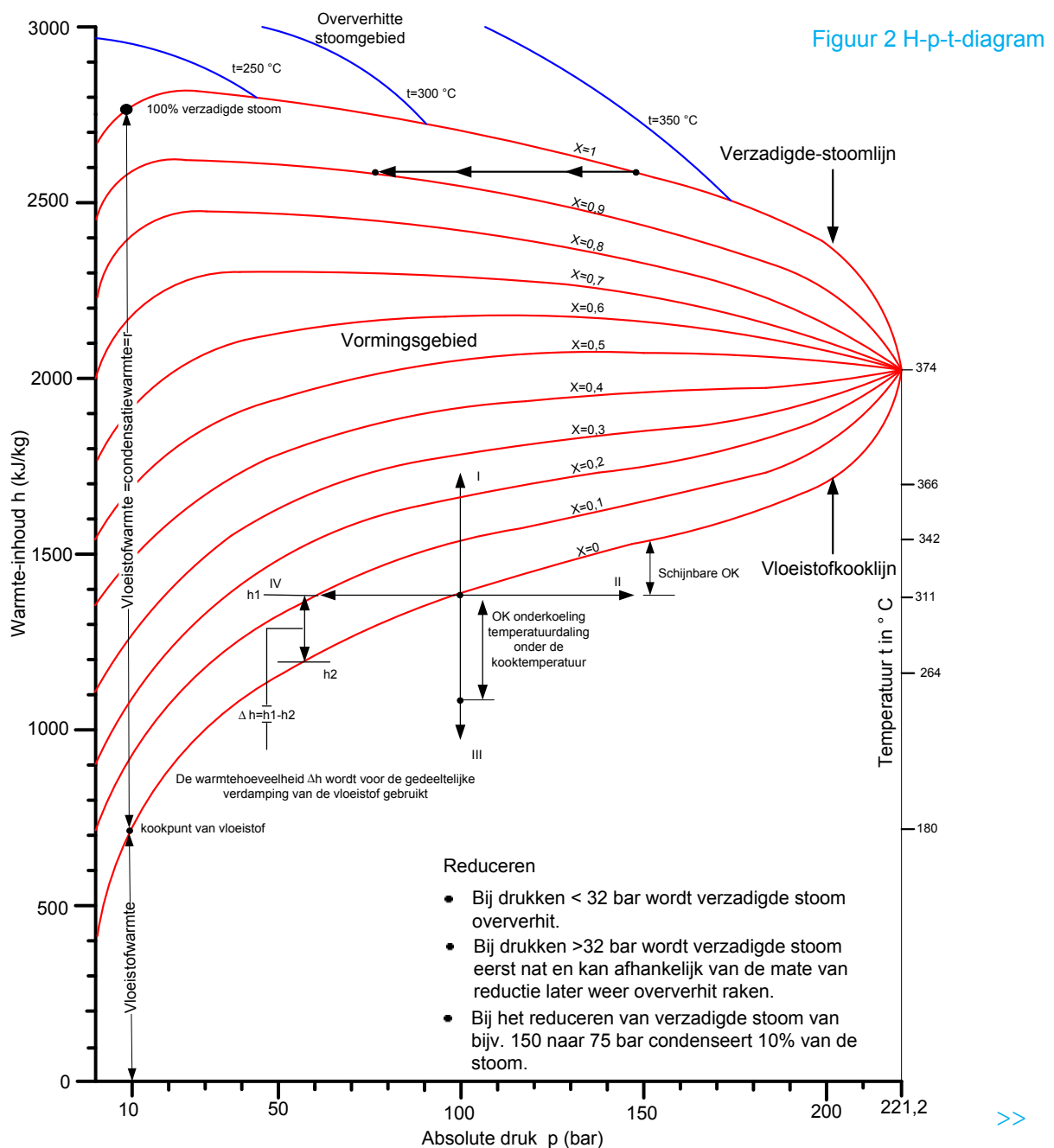
Vereenvoudigde stoomtabel voor verzadigde stoom (druktabel 1,0 - 20,0 bara)

druk	temperatuur	soortelijk volume stoom	soortelijke massa stoom	vloeistof- warmte	enthalpie stoom	verdamings- of condensatie- warmte
p bara	t C	v" m <sup>3</sup> /kg	ρ" kg/m <sup>3</sup>	h' kJ/kg	h" kJ/kg	r kJ/kg
1,0	99,6	1,694	0,590	417	2675,4	2258
2,0	120,2	0,885	1,129	505	2706,3	2201
3,0	133,5	0,606	1,651	561	2724,7	2163
4,0	143,6	0,462	2,163	605	2737,6	2133
5,0	151,9	0,375	2,669	640	2747,5	2107
6,0	158,8	0,316	3,170	670	2755,5	2085
7,0	165,0	0,273	3,667	697	2762,0	2065
8,0	170,4	0,240	4,162	721	2767,5	2046
9,0	175,4	0,215	4,655	743	2772,1	2030
10,0	179,9	0,194	5,147	763	2776,2	2014
11,0	184,1	0,175	5,637	781	2779,7	1999
12,0	188,0	0,163	6,127	798	2782,7	1984
13,0	191,6	0,151	6,617	815	2785,4	1971
14,0	195,0	0,141	7,106	830	2787,8	1958
15,0	198,3	0,132	7,596	845	2789,9	1945
16,0	201,4	0,124	8,085	859	2791,7	1933
17,0	204,3	0,117	8,575	872	2793,4	1922
18,0	207,1	0,110	9,065	885	2794,8	1910
19,0	209,8	0,105	9,555	897	2796,1	1899
20,0	212,4	0,100	10,050	909	2797,2	1889

Met het h-p-t-diagram (figuur 2) is goed inzicht te verkrijgen in het stoomvormings- en condensatieproces. Uit dit diagram zijn bovendien de toestandsveranderingen van stoom en condensaat af te lezen. Op de horizontale as van het diagram is de druk weergegeven, op de verticale linker-as de enthalpie en op de verticale rechter-as is de kooktemperatuur van de vloeistof uitgezet. De onderste kromme lijn in het diagram is de vloeistofkooklijn. De bovenste kromme lijn is de verzadigde stoomlijn. De ruimte tussen beide lijnen is het stoom/condensaatvormingsgebied oftewel het coëxistentiegebied waar zich zowel stoom als condensaat bevindt (co = beiden/exist = bestaan).

Omdat zowel de [stoomtabel](#) als het hiervan afgeleide [h-p-t-diagram](#) uitgaan van absolute drukken, wordt gemakshalve in deze *factsheet*, daar waar bar staat de absolute druk bedoeld.

Het hier weergegeven h-p-t-diagram is niet exact op schaal getekend. Dit diagram dient dan ook niet te worden gebruikt om hier waarden uit af te lezen. De waarden zoals weergegeven in de stoomtabel (figuur 1) zijn leidend.



### 1.1.1 Vloeistofkooklijn

Door middel van de vloeistofkooklijn is af te lezen welke warmtehoeveelheid ( $h'$ ) bij een bepaalde druk aan het water moet worden toegevoerd voordat de stoomvorming begint. En omgekeerd hoeveel warmte er in het condensaat achterblijft nadat alle stoom is gecondenseerd. Op de rechter-as is af te lezen bij welke temperatuur dit gebeurt. Bij 10 bar is de temperatuur 180 °C en bij 50 bar 264 °C.

### 1.1.2 Verzadigde stoomlijn

De bovenste lijn van het diagram is de verzadigde stoomlijn. In wezen is het de verzadigingslijn uit het Mollier-diagram. Op de linker-as kan de enthalpie ( $h''$ ) van de stoom bij een bepaalde druk worden afgelezen. Bij 10 bar bedraagt deze 2.776 kJ/kg. De temperatuur is gelijk aan die van de kokende vloeistof bij 10 bar. Wat opvalt is dat tot een druk van 31 bar de enthalpie toeneemt, daarna neemt naarmate de druk verder stijgt de enthalpie af.

### 1.1.3 Vormingsgebied

Het gehele proces van verdampen en condenseren vindt plaats in het vormingsgebied. De verdampings-/condensatiwarmte ( $r$ ) wordt bepaald door het verschil tussen de enthalpie van de verzadigde stoom ( $h''$ ) en de vloeistofwarmte ( $h'$ ), ofwel  $r = h'' - h'$ . In het diagram is dit de waarde die overeenkomt met de afstand tussen beide krommen bij een bepaalde druk. Te zien is dat de verdampings-/condensatiwarmte bij het stijgen van de druk steeds geringer wordt.

### 1.1.4 Kritische punt

Het punt waar de vloeistoflijn en de verzadigde stoomlijn bij elkaar komen, heet het kritische punt (221,20 bar en 374 °C). Bij een hogere druk dan die van het kritische punt kunnen stoom en water niet tegelijkertijd bestaan. Anders gezegd, voorbij dit punt is er geen scheiding tussen de vloeistof (water) en het gas (stoom). Ter verduidelijking van deze abstracte toestand: stel je voor dat de waterdampmoleculen zover zijn samengedrukt dat de stoom zich gedraagt als een vloeistof.

### 1.1.5 Oververhittingsgebied

De ruimte boven de verzadigde stoomlijn is het oververhittingsgebied. Wordt aan verzadigde stoom bij een bepaalde druk op de verzadigde stoomlijn meer warmte toegevoerd, dan raakt de stoom oververhit. Er is dan geen relatie meer tussen de stoomdruk en de stoomtemperatuur, zoals dat in het vormingsgebied wel het geval is.

### 1.1.6 Verdampen

Wanneer aan een kokende vloeistof meer warmte wordt toegevoerd, dan verdampt deze. Uit het h-p-t-diagram is af te lezen dat bij een druk van 10 bar aan kokend water ( $t = 180$  °C en  $h' = 760$  kJ/kg) 1.240 kJ/kg aan warmte wordt toegevoerd (dat wil zeggen tot totaal  $760 + 1.240 = 2.000$  kJ/kg), 70% van het water is verdampt. Als nog eens 2.004 kJ/kg wordt toegevoerd, is al het water verdampt en is de enthalpie van de gevormde stoom 2.774 kJ/kg. De temperatuur van het water en van de gevormde stoom blijven beide 180 °C. Tijdens de toestandsveranderingen 'verdampen en condenseren' wijzigt de temperatuur immers niet.

### 1.1.7 Condenseren

Tijdens condenseren gebeurt het omgekeerde als bij verdampen. Op de linker-as is bij condensatie van verzadigd stoom met een druk van bijvoorbeeld 10 bar (180 °C) de enthalpie van de stoom af te lezen (2.776 kJ/kg). Wanneer 776 kJ/kg aan deze kg stoom wordt onttrokken, resteert nog 2.000 kJ/kg en is in het diagram af te lezen dat 30% van de stoom is gecondenseerd. Als 2.013 kJ/kg aan warmte is opgenomen, is alle stoom uiteindelijk gecondenseerd en blijft condensaat over met een warmte-inhoud van 762 kJ/kg en een temperatuur van 180 °C. Zoals bij het verdampen al is vermeld, blijft ook tijdens het condenseren de temperatuur van het stoom-/condensaatmengsel constant.

## 1.2 Toestandsveranderingen

### 1.2.1 Stoom

Als stoom in druk wordt verlaagd (bijvoorbeeld via een reduceertoestel), dan blijft de enthalpie gelijk; er wordt immers geen warmte overgedragen of arbeid verricht. Vanuit het h-p-t-diagram is af te lezen wat er met stoom gebeurt als de druk wordt verhoogd of verlaagd.

- Als van verzadigde stoom (neem een willekeurige plaats op de verzadigde stoomlijn) de druk wordt verlaagd (horizontaal naar links) dan komt bij een druk boven de 32 bar de stoom in het vormingsgebied en zal condensatie plaatsvinden. Er zijn situaties waarbij de stoom eerst nat wordt, vervolgens bij verdere drukverlaging weer verzadigt, om daarna weer oververhit te worden.
- Bij een druk beneden de 32 bar (horizontaal naar links) raakt de stoom oververhit, als de druk wordt verlaagd.

### 1.2.2 Condensaat

Wordt in het diagram op een willekeurige plaats op de vloeistofkooklijn een assenkruis getekend, dan kunnen vanuit dit assenkruis een aantal toestandsveranderingen van de kokende vloeistof worden afgelezen:

- Wanneer vanaf een willekeurige plaats op de vloeistofkooklijn meer warmte wordt toegevoerd (recht omhoog in het vormingsgebied) dan begint de kokende vloeistof te verdampen en wordt stoom gevormd.
- Wanneer vanaf die willekeurige plek op de vloeistofkooklijn de druk wordt verhoogd (horizontaal naar rechts) dan raakt de vloeistof van de kook en raakt onderkoeld.
- Wanneer vanaf diezelfde plek warmte wordt onttrokken (recht naar beneden), raakt de vloeistof eveneens onderkoeld.
- Wanneer vanaf die plek op de vloeistofkooklijn de druk wordt verlaagd (horizontaal naar links), dan zal de kokende vloeistof gaan ontspannen. Ontspanningsstoom wordt gevormd.

Dit laatste gebeurt als condensaat de condenspot passeert en in een condensaatleiding komt waarin

een lagere druk heerst. Afhankelijk van het drukverschil over de condenspot wordt meer of minder ontspanningsstoom gevormd. Omdat het volume van de gevormde ontspanningsstoom veel groter is dan het condensaat waaruit het is gevormd, moet bij het berekenen van de diameter van de condensaatleiding rekening worden gehouden met het ontspannen. Verder in dit hoofdstuk gaan we hier dieper op in.

### ‘Een condensaatleiding direct na de condenspot is geen waterleiding’

In de praktijk worden bij het berekenen van condensaatleidingen veel fouten gemaakt, daarom wordt gesteld: ‘Een condensaatleiding direct na de condenspot is geen waterleiding’.

## 1.3 Condensatieproces en de waarde van condensaat

Het condensaat dat na warmtewisseling overblijft, heeft vóór de condenspot een temperatuur die gelijk is aan die van de stoom waaruit deze is gevormd. Dat condensatieproces heeft een specifiek verloop. Het is niet zo dat de stoom die een warmtewisselaar binnenkomt direct neerslaat op het warmte-overdragende verwarmd oppervlak (VO). Bij binnenkomst in de warmtewisselaar hebben de waterdampmoleculen een hoge snelheid. Wanneer die waterdampmoleculen in aanraking komen met het koudere VO, dan staan die moleculen maar een deel van hun warmte af aan dat VO. Hierdoor neemt de snelheid wel af, maar blijft nog hoog genoeg om zich weer los te maken van het VO en in de dampfase te blijven. Pas na een aantal botsingen met het VO is de snelheid zover afgenomen, dat het dampmolecuul niet meer los komt van het VO. Dan pas heeft volledige condensatie plaatsgevonden. De temperatuur van het, tijdens dit proces gevormde condensaat, blijft die van de stoom van waaruit het werd gevormd. Met andere woorden, tijdens het condensatieproces (= faseverandering) vindt geen temperatuurdaling plaats. De warmte-inhoud van het condensaat is afhankelijk van de stoomdruk waaruit het werd gevormd en is af te lezen uit de stoomtabel. Condensaat afkomstig van 5 bar stoom heeft een temperatuur van 150 °C en een

vloeistof warmte ( $h'$ ) van 640 kJ/kg. Bij condensaat afkomstig van 10 bar stoom geldt een temperatuur van 180°C en een  $h'$  van 762 kJ/kg. Dit aandeel is ruim 27% van de stoom van waaruit het is gevormd. Bij een stoomprijs van € 20,-/ton heeft de warmte van condensaat afkomstig van 10 bar stoom een waarde van € 5,-/ton. Voeg hierbij nog circa € 1,25/m<sup>3</sup> voor het verlies aan gedemineraliseerd of onthard water, dan loont het alleszins de moeite om voor de warmte en het condensaat zelf een nuttige bestemming te zoeken.

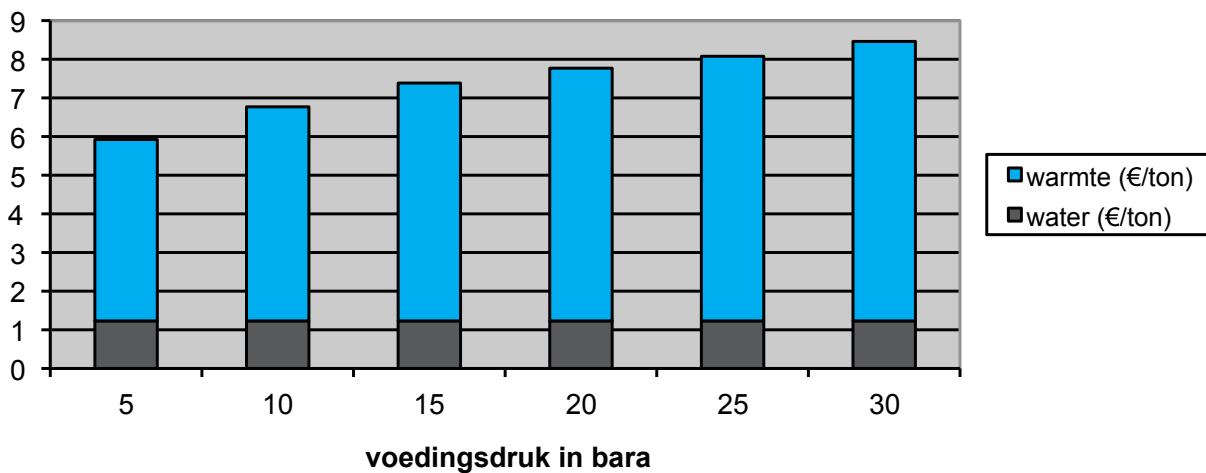
Vanwege de hoge warmte-inhoud wordt condensaat idealiter opgevangen en retour gebracht naar het

ketelhuis om opnieuw als ketelvoedingwater dienst te doen. Het blijkt dan ook in veel gevallen haalbaar en rendabel om bij bedrijven een groter percentage van het condensaat naar het ketelhuis te retourneren dan tot nu toe wordt gedaan.

Vaak kan ook de warmte uit het condensaat direct bij het verwarmingsproces al geheel of gedeeltelijk worden benut.

Onderstaand is een staafgrafiek afgebeeld, waarin de kostprijs van condensaat bij verschillende drukken is af te lezen.

### Financiële waarde condensaat



**Figuur 3 Financiële waarde condensaat** bij een stoomprijs van € 20,-/ton en gedemineraliseerd water van € 1,25,-/ton. Dit is berekend aan de hand van een gasprijs van € 0,25 per Nm<sup>3</sup>.



## 1.4 Ontspanningsstoom

Uit het h-p-t-diagram blijkt duidelijk dat wanneer condensaat (vanaf de vloeistofkooklijn) in druk wordt verlaagd, er ontspanningsstoom wordt gevormd. Als condensaat afkomstig van stoom met een druk van bijvoorbeeld 11 bar (184 °C en 781 kJ/kg) naar een atmosferisch systeem wordt gevoerd, waar een druk heerst van 4 bar (144 °C en 605 kJ/kg) zal het verschil in warmte-inhoud de vorming van ontspanningsstoom tot gevolg hebben. Het verdampingsproces vindt direct na het passeren van de condenspot plaats.

### Bepalen van percentage vrijgekomen ontspanningsstoom

De hoeveelheid ontspanningsstoom die wordt gevormd, is te berekenen met de formule:

$(h_1 - h_2)/r \times 100\%$  ( $h_1$ ,  $h_2$  en  $r$  zijn te vinden in de stoomtabel)

Hierin zijn  $h_1$  en  $h_2$  de vloeistofwarmte van het condensaat voor en na de ontspanning en  $r$  de verdampingswarmte bij de tegendruk.

$h_1$  bij 11 bar is: 781 kJ/kg

$h_2$  bij 4 bar is: 605 kJ/kg

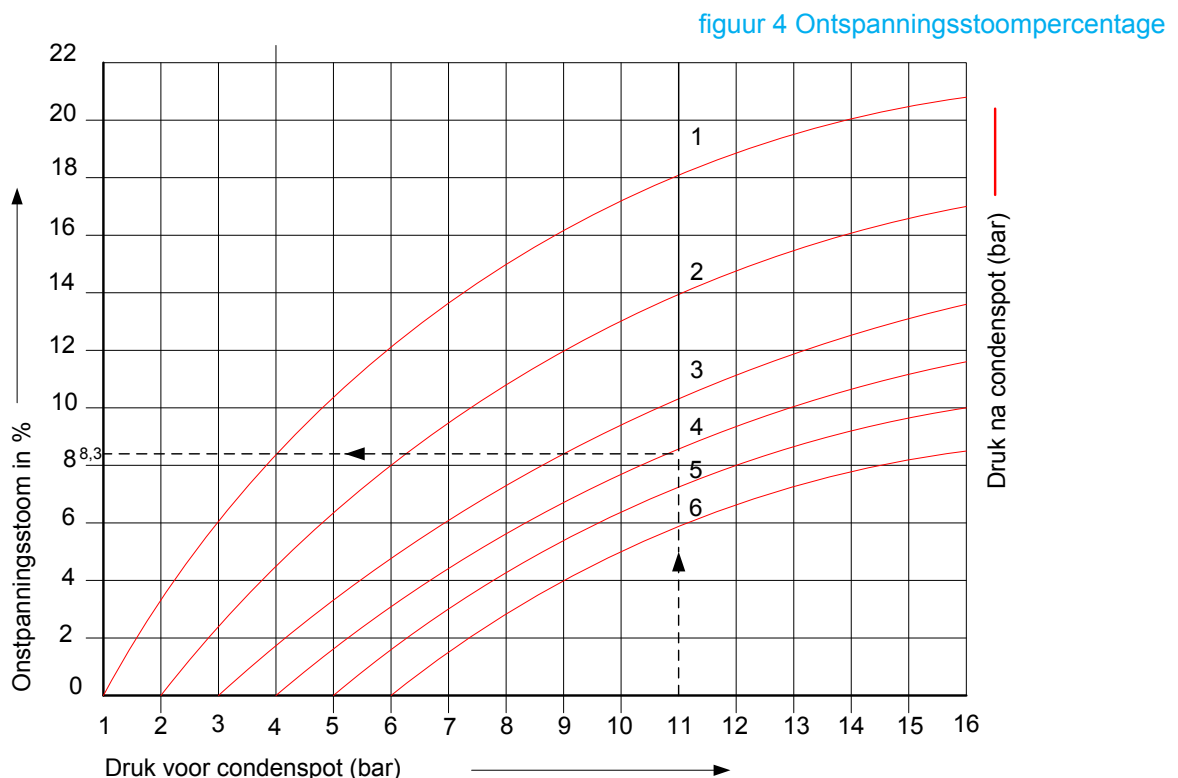
$r$  bij 4 bar is: 2.133 kJ/kg

$$(781-605)/2.133 \times 100\% = 8,3\%$$

De hoeveelheid ontspanningsstoom is dus 8,3% van de desbetreffende condensaatstroom.

Een handige vuistregel voor het bepalen van het percentage: vermenigvuldig het verschil in temperatuur voor en na de condenspot met 0,2; ofwel:  $(184 - 144) \times 0,2 =$  circa 8%.

Het ontspanningsstoompercentage is - ook - te bepalen met de grafiek in figuur 4 (volg de pijlen voor het geschetste voorbeeld).



## 2. Veelvoorkomende problemen met condensaatssystemen

**Met condensaatssystemen worden vaak problemen ondervonden. Onderstaand volgt een beschrijving van de oorzaak van veel voorkomende problemen.**

### 2.1 Thermische waterslag

Thermische waterslag ontstaat onder andere wanneer stoom in contact komt met koud condensaat. Dit treed bijvoorbeeld op als ontspannend condensaat wordt gemengd met onderkoeld condensaat. De ontspanningsstoom condenseert spontaan. Door de plotselinge volumevermindering ontstaan drukgolven. Bij een spontane condensatie kan de volumevermindering in de orde van grote van een factor 1.000 liggen. Plaatselijk ontstaat dan een onderdruk. Van alle kanten wordt met hoge snelheid condensaat aangezogen om die onderdruk op te vullen. De krachten die hierbij vrijkomen, gaan gepaard met hevige knallen. Er kunnen flenspakkingen worden uitgeblazen, afsluiters en andere *appendages* kunnen scheuren, of erger.

Waterslag kan ook optreden wanneer bijvoorbeeld een koude stoomleiding, een warmtewisselaar of een vat met daarin een beetje afgekoeld condensaat

**Waterslag kan ook optreden wanneer bijvoorbeeld een koude stoomleiding, een warmtewisselaar of een vat met daarin een beetje afgekoeld condensaat weer in gebruik wordt genomen.**

weer in gebruik wordt genomen. Ook wanneer condensaat afkomstig van systemen met verschillende stoomdrukken beide in dezelfde condensaatverzamelleiding uitlopen kan waterslag optreden, zoals bijvoorbeeld bij condensaatzijdig geregelde warmtewisselaars.

Over het algemeen kan het samenvoegen van

condensaatstromen worden geaccepteerd als het stoomdrukverschil kleiner is dan 2,5 bar (een verschiltemperatuur van 20 °C.) Bij grotere verschildrukken/-temperaturen dient het condensaat vóór menging eerst te worden ontspannen. In hoofdstuk vier gaan we in op praktische maatregelen om waterslag tegen te gaan.

### 2.2 Stagnerende condensaatvoer

Bij stoomzijdige capaciteitsregeling van een warmtewisselaar wordt de hoeveelheid warmte in de vorm van stoom, geregeld door het meer of minder openen van de regelklep in de stoomtoevoer naar die warmtewisselaar. Afhankelijk van de warmtevraag varieert dus de stoomdruk in de warmtewisselaar, ofwel de stoomdruk in de warmtewisselaar stijgt bij een toenemende en daalt bij een afnemende belasting.

Bij een hoge warmtevraag functioneert de regeling uitstekend. Echter bij een geringe warmtevraag en bij procestemperaturen (secundair) lager dan 100 °C, kan de druk in de warmtewisselaar zover dalen dat deze onder de druk in het condensaatstelsel komt. Het condensaat is dan niet meer op een normale wijze uit de warmtewisselaar af te voeren. Niet alleen wordt dan geen condensaat meer afgevoerd, maar ontbreekt er een terugslagklep in de condensaatleiding, dan wordt ook condensaat teruggezogen in de warmtewisselaar. De warmtewisselaar verdrinkt, waardoor het effectieve warmte-uitwisselend oppervlak kleiner wordt en daardoor de capaciteit (gewenste temperatuur) niet meer wordt gehaald.

Om de problemen met een stagnerende condensaatvoer, door een te gering of een negatief drukverschil, het hoofd te bieden zijn een aantal maatre-

gelen mogelijk. Afhankelijk van de situatie zijn de volgende maatregelen te overwegen:

- Afloop van condensaat naar een drukloos (atmosferisch) condensaatvat;
- Beluchten van de warmtewisselaar, waardoor de onderdruk wordt opgeheven;
- Een tweede (nood)condensaataansluiting voorzien, die afloopt naar een atmosferisch vat;
- Toepassen van een barometrisch been (alleen bij hoger gelegen warmtewisselaars kan de leidinglengte voor de condenspot dienen als waterkolom die zorgt voor een statische druk);
- Toepassen van een stoom gedreven condensaatpomp (in de volksmond ook wel Ogdenpomp genoemd).

In hoofdstuk vier worden deze maatregelen nader toegelicht.

### 2.3 Erosie

Erosie treedt op door te hoge snelheden in de condensaatleidingen. De oorzaak is vaak dat condensaatleidingen qua diameter te krap worden berekend. Men houdt dan geen of te weinig rekening met het volume van de ontspanningsstoom. Ook wanneer wel rekening wordt gehouden met het ontspanningsstoomvolume, kiest men toch vaak voor een te hoge snelheid. De in de literatuur genoemde snelheden van 15 of 20 m/sec zijn veel te hoog. Stel voor dat een aantal condensaatdruppels met een snelheid van 15 m/sec met de ontspanningsstoom worden meegevoerd. Die condensaatdruppels vliegen dan met een snelheid van 65 km/h door de leiding en knallen tegen de buitenwand van de eerste bocht die zij tegen komen. Door de botsing beschadigt de beschermende magnetietlaag, waarna corrosie optreedt (het schademechanisme wordt daarom ook wel erosie-corrosie genoemd). Dit is de oorzaak dat de meeste lekkages in condensaatleidingen optreden in bochten. Kenmerkend is dat in circa  $\frac{3}{4}$  deel van de bocht de lekkage optreedt. Als een leidingstuk of bocht inwendig nader wordt bekeken, dan tekent zich een streep patroon af.

De diameter van condensaatleidingen dient te worden berekend op basis van het volume van de

ontspanningsstoom. Bovendien moet rekening worden gehouden met het condenspottype. De meeste condenspotten werken discontinu (intermitterend) en staan tijdens het condensatieproces in de warmtewisselaar langere of kortere tijd dicht (afhankelijk van het werkingsprincipe van de pot). Houd bij de berekening van condensaatleidingen ook rekening met dit werkingsprincipe. Aanbevolen snelheden:

- vlottercondenspotten maximaal 10 m/sec;
- andere typen condenspotten maximaal 8 m/sec.

### 2.4 Corrosie

Corrosie wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door in de stoom aanwezige:

- zuurstof ( $O_2$ ) - de corrosie openbaart zich als putten in het materiaal in de leiding;
- kooldioxide ( $CO_2$ ) - de corrosie heeft een onregelmatig uiterlijk aan de onderzijde van een horizontaal gelegen condensaatleiding en beslaat een groter oppervlak die sterke gelijkenis vertoont met aantasting door erosie-corrosie.

#### 2.4.1 Zuurstofcorrosie

Zuurstof komt op de volgende manieren in het voedingswater terecht:

- opgelost in het suppletiewater;
- bij de in bedrijf name van de installatie of tijdens intermitterend bedrijf;
- via open condensaat tanks.

Als het ketelvoedingswater thermisch wordt ontgast, hoeft - in theorie - voor zuurstofcorrosie in de ketel niet te worden gevreesd. Tegendrukcondensaat kan via een geperforeerde binnenpijp direct in de ontgasser worden gebracht. Atmosferisch condensaat moet gezamenlijk met het koude suppletiewater in de ontgasser worden versproeid. Het temperatuurverschil tussen dit mengsel en het ontgasserwater moet voor een goede ontgassing minimaal 15 °C zijn. Bij een hoge ketelbelasting of een defect aan de ontgasser kan restzuurstof met behulp van additionele chemicaliëndosering (onder andere: sulfiet, tannine of iso-ascorbine) worden geëlimineerd.

Vóór de in bedrijf name van de installatie, bij intermitterend bedrijf en bij het stoppen- of stilzetten van

een installatie is zuurstof in het condensaatstelsel aanwezig. Dit is het gevolg van de volumeverkleining die optreedt als de in het stelsel nog aanwezige reststoom condenseert. Door de volumeverkleining daalt de druk in het stelsel en kan lucht worden aangezogen. Bij in bedrijf name van de installatie is het nuttig de leiding met stoom door te blazen en het condensaat te spuien. Dit geldt ook bij intermitterend bedrijf en langere stilstand. Veel corrosieproblemen doen zich voor bij open, naar buiten aflopende tracingsystemen, bijvoorbeeld om leidingen vorstvrij te houden. Deze systemen staan het grootste gedeelte van het jaar drukloos buiten bedrijf uit energiebesparende overwegingen. Omdat de condenspot open staat, heeft lucht vrije toegang tot de tracer.

Bij het testen van de vorstvrijvoorzieningen voor de winter blijkt vaak dat filters met roest zijn dichtgeslibd en condenspotten vervuild zijn geraakt. Dit is te voorkomen door voor het stopzetten van het verwarmingssysteem de tracer achter de condenspot af te sluiten, het stelsel in twee à drie dagen vol te laten condenseren en daarna de stoomtoevoer pas te sluiten. Bovenstaande voldoet overigens alleen als het condensaat niet corrosief is en een juiste pH-waarde heeft.

#### 2.4.2 Koolzuurcorrosie

Kooldioxide (koolzuur) is voor het grootste deel in gebonden vorm als waterstofcarbonaat ( $\text{HCO}_3$ ) in het suppletiewater aanwezig. Een klein gedeelte is als vrij koolzuur ( $\text{CO}_2$ ) opgelost in het suppletiewater. In zowel de ketelvoedingswaterontgasser als in de stoomketel vindt bicarbonaatsplitsing en sodasplitsing plaats, als gevolg van de aldaar heersende drukken en bijbehorende temperaturen. Onder deze condities wordt deels in de ontgasser, maar met name in de stoomketel gebonden koolzuur ( $\text{HCO}_3$ ) omgezet in carbonaat ( $\text{CO}_3$ )- en hydroxyl ( $\text{OH}$ )-ionen, waarbij uiteindelijk vrij koolzuur ( $\text{CO}_2$ ) wordt gevormd. Vrij koolzuur ( $\text{CO}_2$ ) gaat vervolgens met de stoom mee naar de verbruikers en komt als zodanig in het condensaatnet terecht, waar het de koolstofstalen onderdelen van het condensaatstelsel aantast. Geringe  $\text{CO}_2$ -gehalten laten al corrosieverschijnselen zien. Verlaging van het  $\text{CO}_2$ -gehalte kan worden bereikt door het waterstofcarbonaatgehalte ( $\text{HCO}_3$ )

in het suppletiewater te verlagen met een decarbonatie-installatie, een demineralisatie-installatie (demi-installatie) of een *Reverse Osmose*-installatie (RO-installatie). Ook kan het effect van koolzuurcorrosie worden bestreden door een behandeling met chemische middelen. In een decarbonatie- of demi-installatie wordt het vrijgemaakte  $\text{CO}_2$  in een koolzuuruitdrijftoren uitgeblazen. Het gebruik van neutraliserende vluchtige alkaliseringsmiddelen is een chemische methode. Deze middelen binden de  $\text{CO}_2$  en verhogen de pH van het condensaat. Houd de pH tussen 9,2 en 9,6. Ammoniak wordt ook wel toegepast als neutraliserend middel. Dit is echter af te raden in systemen waarin koper is verwerkt (zoals tracingsystemen en warmtewisselaars). Om het condensaatnet van een beschermend laagje te voorzien kan een filmvormende amine in de stoomleiding worden geïnjecteerd. Bij het gebruik van filmvormende amines moet vooraf bij de dosering rekening worden gehouden met het feit dat in het leidingnet aanwezige roest en dergelijke kan losraken, waardoor filters van condenspotten kunnen verstopen.

Er kan ook voor worden gekozen om het condensaatnet geheel in roestvaststaal (RVS) uit te voeren, hetgeen echter duurder is dan de uitvoering in gewoon koolstofstaal.

# 3. Besparingsmogelijkheden condensaatssystemen

## Warmteterugwinning uit condensaat

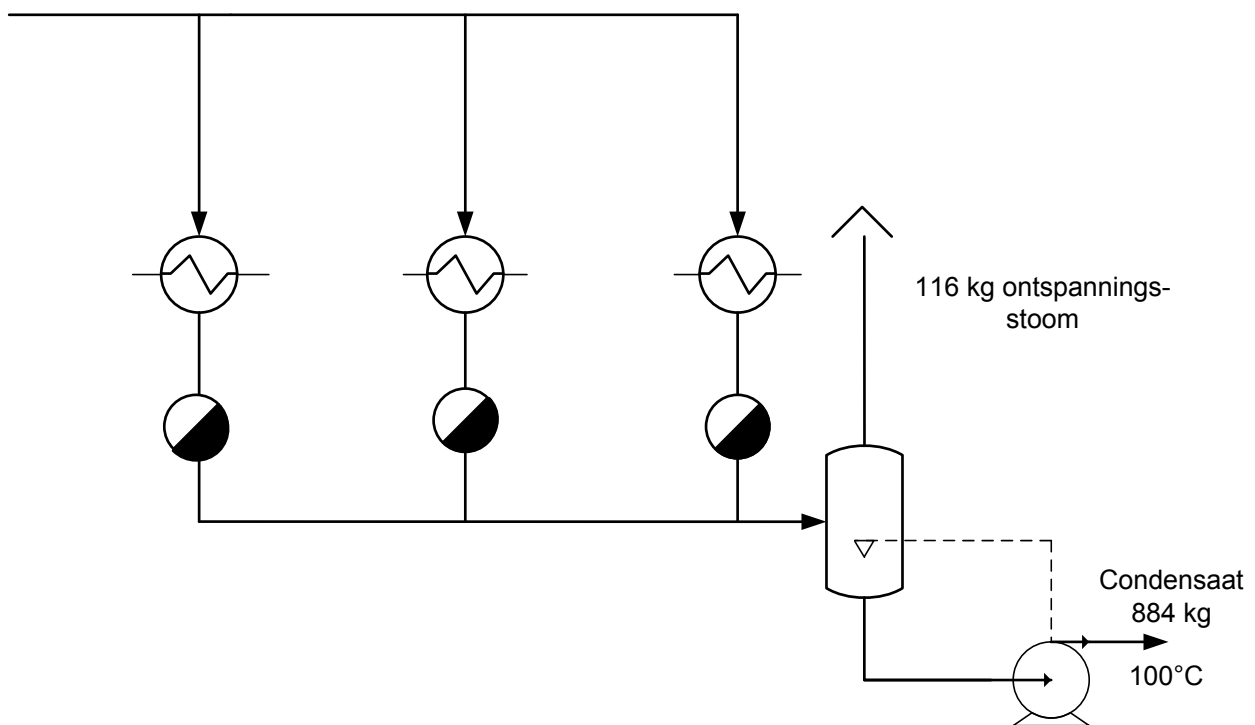
In het eerste hoofdstuk is de waarde van condensaat beschreven. Vanwege de hoge warmte-inhoud en het feit dat het rendabel is om de verliezen te beperken en de warmte uit het condensaat nuttig te gebruiken, zijn hieronder verschillende besparingsmogelijkheden toegelicht.

### 3.1 Verliezen bij atmosferisch ontspanningsvat

Als condensaat in een atmosferisch systeem wordt opgevangen, wordt de gevormde ontspanningsstoom afgeblazen en gaan hierdoor zowel water als warmte verloren. Het resterende condensaat van 100 °C wordt naar de ontgasser gepompt, waarna het weer als ketelvoedingswater wordt gebruikt.

figuur 5 Atmosferisch systeem

1000 kg/h bij 6 bar



Worden één of meer warmtewisselaars gevoed met stoom van 6 bar en wordt het condensaat in een vat onder atmosferische druk opgevangen, dan ontstaat  $(158-100) \times 0,2 = 11,6\%$  ontspanningsstoom. Van iedere ton stoom gaat 116 kg verloren; op jaarbasis circa € 18.500,- (uitgegaan van 8.000 bedrijfsuren  $\times$  0,116  $\times$  € 20/ton). In de praktijk zijn de verliezen vaak groter dan men op basis van de grootte van de ont-

spanningsstoompluim zou verwachten. Een deel van de ontspanningsstoom condenseert namelijk al in het condensaatnet, in ongeïsoleerde condenspotten, afsluiters, leidingen en vaten, voordat het condensaat het condensaatverzamelvat bereikt.

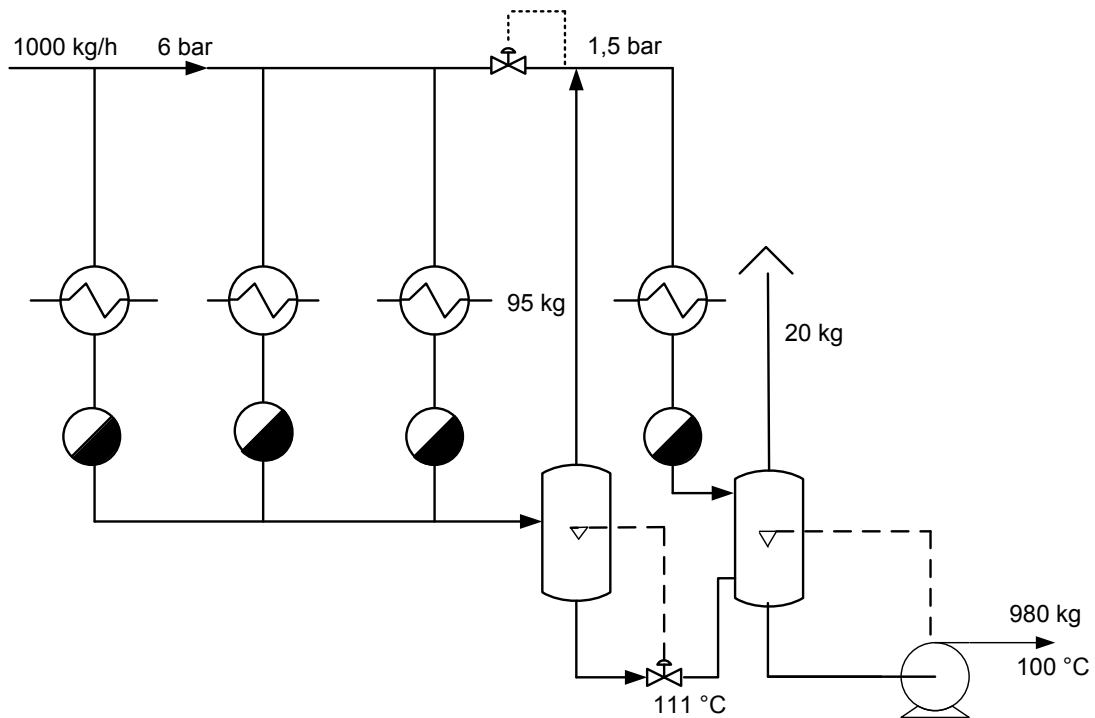
De verliezen als gevolg van atmosferische ontspanningsstoom zijn door middel van onderstaande maatregelen te minimaliseren of te elimineren.

### 3.1.1 Drukontspanningsvat

Een atmosferisch condensaatvat is meestal zonder al te grote problemen te combineren met een druk-ontspanningsvat. De ontspanningsstoom die in het drukontspanningsvat ontstaat kan worden afgevoerd naar een systeem met een lagere stoomdruk.



figuur 6 Drukontspanningsvat

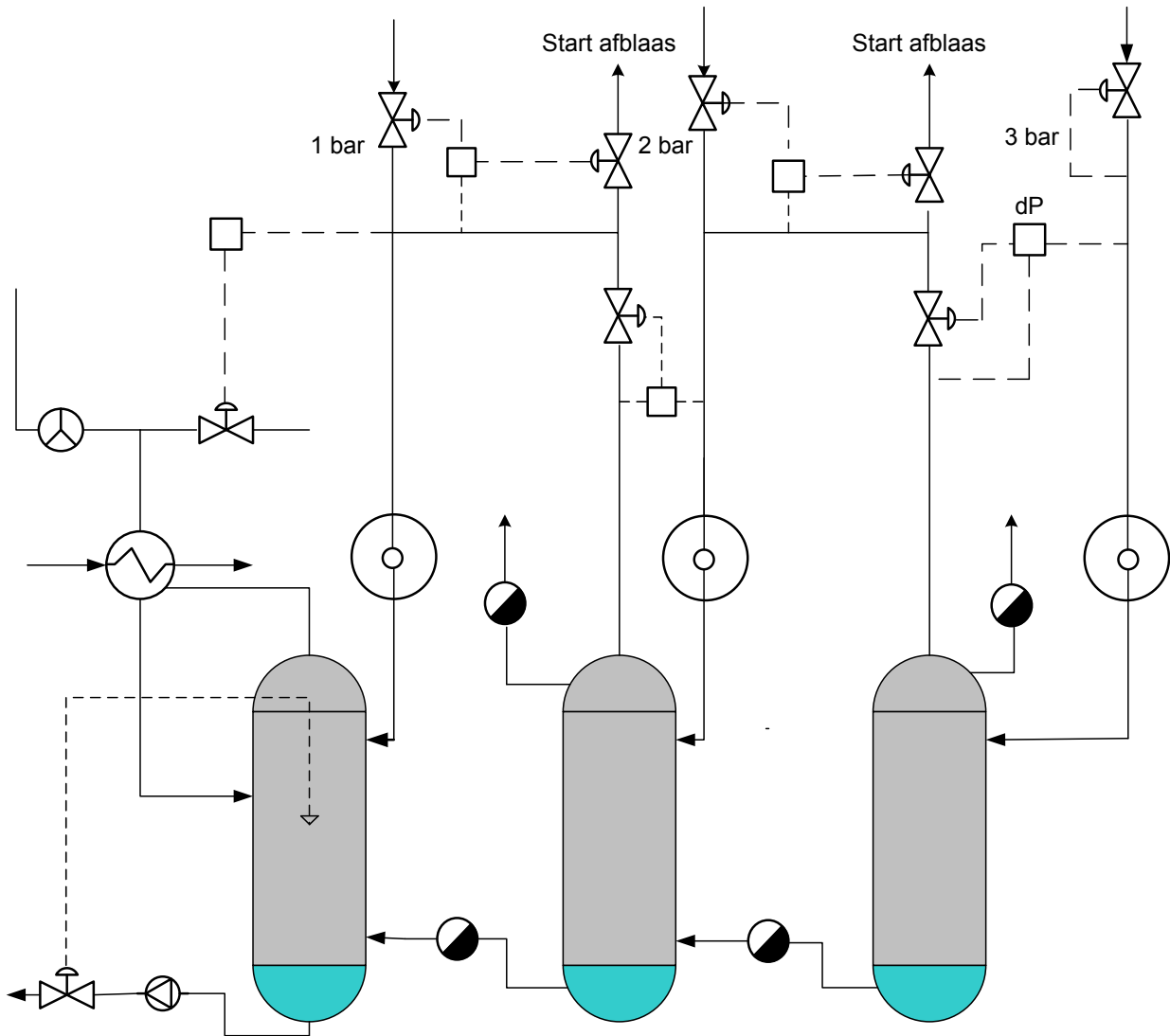


Warmteterugwinning door middel van een ontspanningsvat, waarin de druk met een reduceerventiel op 1,5 bar wordt gehouden. Het condensaat uit de warmtewisselaars wordt in plaats van in een atmosferisch condensvat nu opgevangen in een vat dat stoomzijdig is aangesloten op een 1,5 bar stoomnet, waarop één of meerdere gebruikers zijn aangesloten. Het 1,5 bar stoomnet wordt op druk gehouden door middel van een 1,5 bar stoomreducer. Een voorwaarde voor een dergelijke terugwinning is dat het 1,5 bar stoomgebruik altijd groter moet zijn dan de ontspanningsstoomhoeveelheid. Het 1,5 bar net is met een veiligheidsklep tegen overdruk beveiligd. In vergelijking met het voorbeeld bij een atmosferische afblaas, waarbij 116 kg/h ontspanningsstoom (= € 18.500,-) naar de atmosfeer wordt afgeblazen,

wordt hier  $(158-111) \times 0,2 = 9,5\%$  (95 kg/h ofwel € 15.200,-) ontspanningsstoom naar het 1,5 bar systeem gevoerd. Uit het atmosferische condensvat gaat dan nog circa 20 kg ontspanningsstoom ofwel € 3.200,- verloren. De investering in een tegendrukvat met reduceer- en regelkleppen zal zich over het algemeen binnen twee jaar terugverdienen.

### 3.1.2 Meertrapsontspanning

Bij meertrapsontspanning wordt het condensaat dat op hoge druk vrijkomt ontspannen op een lagere druk. De ontspanningsstoom wordt toegevoerd aan een proces of een middendruknet. Dit kan in één of meerdere stappen gebeuren. Een voorwaarde voor een dergelijk systeem is wel de gelijktijdigheid van de procescycli.



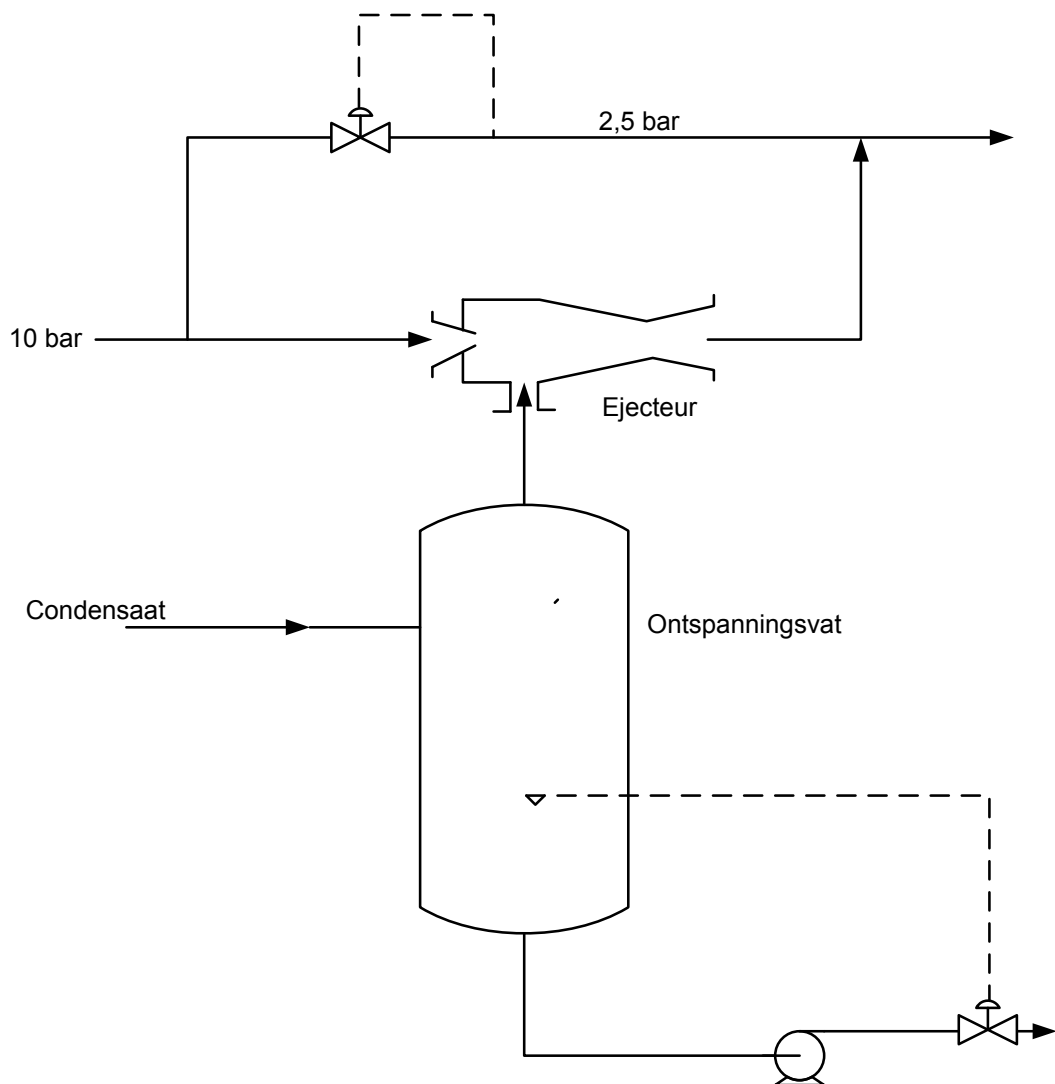
Meertrapsontspanning vindt onder andere plaats bij de fabricage van papier (zie figuur 7).

De ontspanningsstoom van de droogcilinder op de hoogste druk wordt benut in een cilinder met een lagere druk. Tekorten worden vanuit het stoomnet bijgesuppleerd. Het gaat vaak om meerdere cilinders na elkaar met geringe drukverschillen. Het komt voor dat in de laatste cilinder de druk te laag is om het condensaat af te voeren. Hiertoe wordt de druk in het laatste condensvat door middel van een vacuumpomp voldoende laag gehouden. Het condensaat wordt door middel van een pomp naar bijvoorbeeld de ontgasser geretourneerd.

Bij bedrijven waar meerdere stoomnetten op verschillende drukken worden bedreven past men vaak met succes meertrapsontspanning toe.

### 3.1.3 Damprecompressie

Met damprecompressie wordt de ontspanningsstoom of andere lagedruk stoom op een verhoogde druk en temperatuur gebracht. Voor grote ontspanningstoomhoeveelheden (bijvoorbeeld grote indampinstallaties), past men wel centrifugaal- en schroefcompressoren toe. Er zijn ook kleinere redelijk betaalbare compressoren op de markt. Bijvoorbeeld een aangepaste rootsblower (compressieverhouding 1:1,7) of een compressor die is ontwikkeld uit een zuigerstoommachine. Ook wordt veel gebruikgemaakt van thermische dampcompressie. Hierbij zuigt een stoomstraalejecteur de ontspanningsstoom aan. Als drijfstoom voor de ejecteur wordt stoom met een hogere druk gebruikt. In figuur 8 is een prinseschema weergegeven. De verhouding drijfstoom/aanzuigstoom is tamelijk groot.



Wordt in een bedrijf 10 bar stoom voor gebruik gereduceerd tot 2,5 bar, dan kan de ontspanningsstoom afkomstig van het condensaat van een 10 bar stoomgebruiker door middel van een stoomstraalejecteur op een druk van 2,5 bar worden gebracht. Een voorwaarde is de gelijktijdigheid van vraag en aanbod. Afhankelijk van hoeveelheid en compressieverhouding varieert de terugverdientijd van drie tot zes jaar. Damprecompressie door middel van stoomstraalejecteurs wordt veel toegepast in de zuivelindustrie bij meertrapsindampers.

### 3.1.4 Stoomdrukverlaging

Extra hoge ontspanningsverliezen ontstaan bij verbruikers die gevoed worden met stoom van een hogere druk dan nodig is. Verlaging van de stoomdruk door middel van een reduceer resulteert in

minder ontspanningsstoom. Drukverlaging levert hiernaast ook minder stralingsverliezen op. Te vaak wordt stoom met een druk van 5 bar gebruikt om in een warmtewisselaar water of een ander product tot een temperatuur van 80 °C te verwarmen, terwijl 2 á 3 bar voldoende is. Hetzelfde geldt voor *tracing*, onder meer voor vorstvrijvoorzieningen. In de praktijk blijkt de investering in een eenvoudige reduceer een terugverdientijd te hebben van één tot twee jaar.

### 3.1.5 Op onderkoeling afgestelde condenspotten

Met thermische condenspotten kunnen bij *tracing*- en verwarmingssystemen goede besparingen worden bereikt. Deze op onderkoeling afgestelde condenspotten openen bij een aanzienlijk lagere temperatuur dan de verzadigingstemperatuur. Er zijn speciale thermische condenspotten op de markt die op onderkoeling zijn



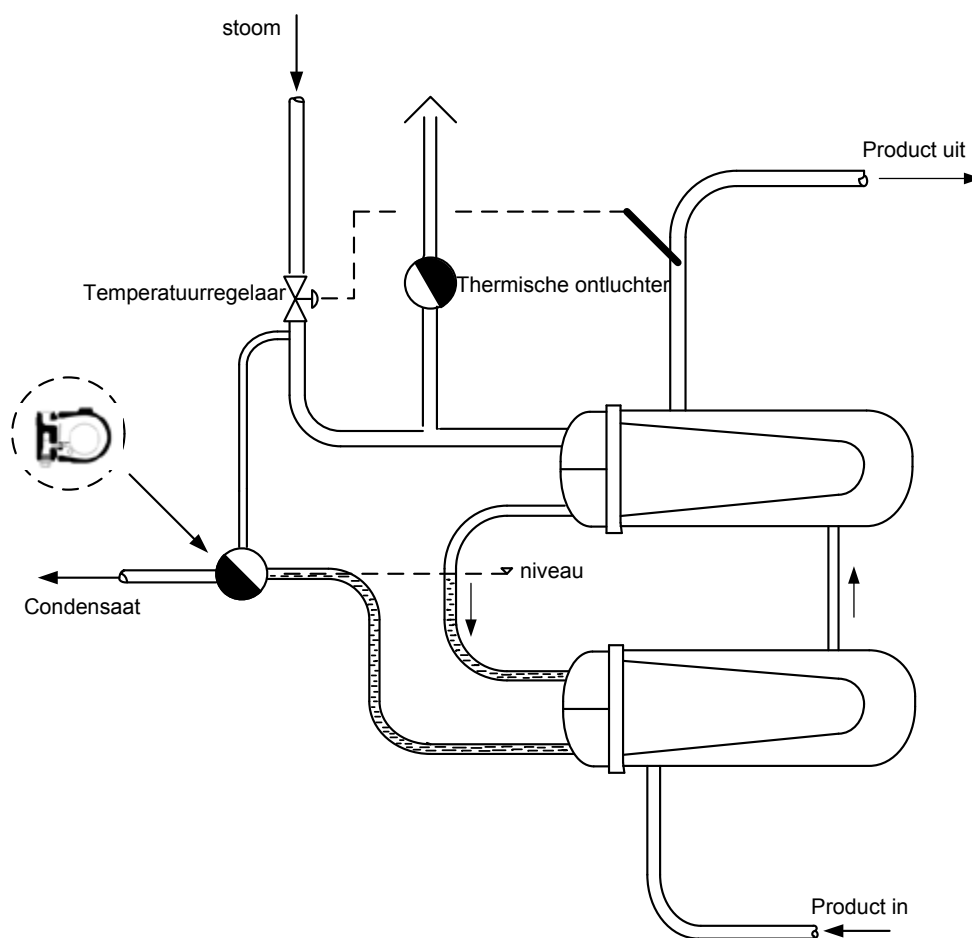
afgesteld, waarbij het condensaat, onafhankelijk van de, bij de stoomdruk horende verzadigingstemperatuur, pas op een temperatuur van 80 á 90 °C wordt doorgelaten. Bepaalde typen kunnen tijdens bedrijf op de gewenste onderkoeling worden afgesteld. Het afstellen van condenspotten moet echter nauwkeurig en met beleid worden uitgevoerd. Een verkeerde afstelling kan leiden tot enerzijds stoomlekage en anderzijds stuwning. Een aandachtspunt is dat er kans op waterslag bestaat bij het gebruik van onderkoeld afgestelde condenspotten in een gesloten retoursysteem, als daarin ook verzadigd condensaat uitmond.

### 3.1.6 Condensaatnakoeler

In een condensaatnakoeler wordt de warmte uit

verzadigd condensaat, dat uit een warmtewisselaar afloopt, teruggewonnen. De terugwinning vindt plaats in een andere warmtewisselaar, die proceszijdig in serie is geschakeld met de warmtewisselaar waarmee het product op de gewenste temperatuur wordt gebracht. In beginsel heeft condensaat de temperatuur van de stoom waaruit het is gevormd. Condensaat uit een warmtewisselaar met een stoomdruk van bijvoorbeeld 6 bar zou, indien atmosferisch opgevangen, resulteren in een verlies van 12% ontspanningsstoom. Bij het gebruik van een condensaatnakoeler wordt het condensaat gevormd in een warmtewisselaar die niet direct naar het condensaatnet terugvoert, maar dit vindt plaats via een met de productstroom in serie geplaatste condensaatnakoeler (zie figuur 9).

figuur 9 Condensaatnakoeler



In de nakoeler wordt de productstroom eerst door middel van de warmte uit het condensaat voorverwarmd en pas daarna in de productwarmtewisselaar op de gewenste bedrijfstemperatuur gebracht. De

condenspot wordt niet direct achter de eerste warmtewisselaar geplaatst, maar in de afvoer van de condensaatnakoeler en wel zodanig verhoogd opgesteld dat de nakoeler altijd vol met condensaat blijft staan.

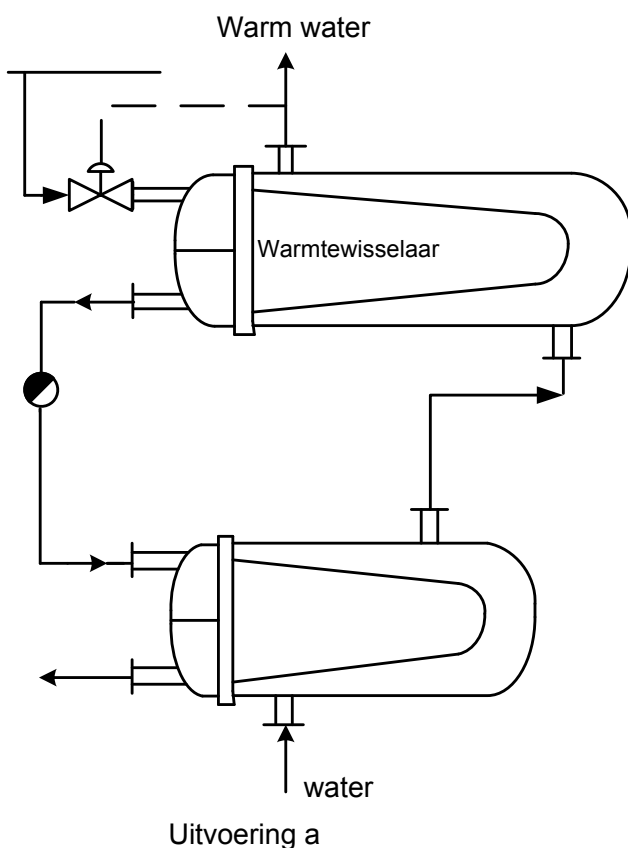
De condenspot dient nu als niveauregelaar van de nakoeler.

De uitvoering van een condensaatnakoeler moet aan deze belangrijke voorwaarde voldoen omdat anders te snelle defecten en waterslag kunnen optreden. Een condensaatnakoeler moet altijd vol met condensaat staan zodat er geen stoom kan worden meege-

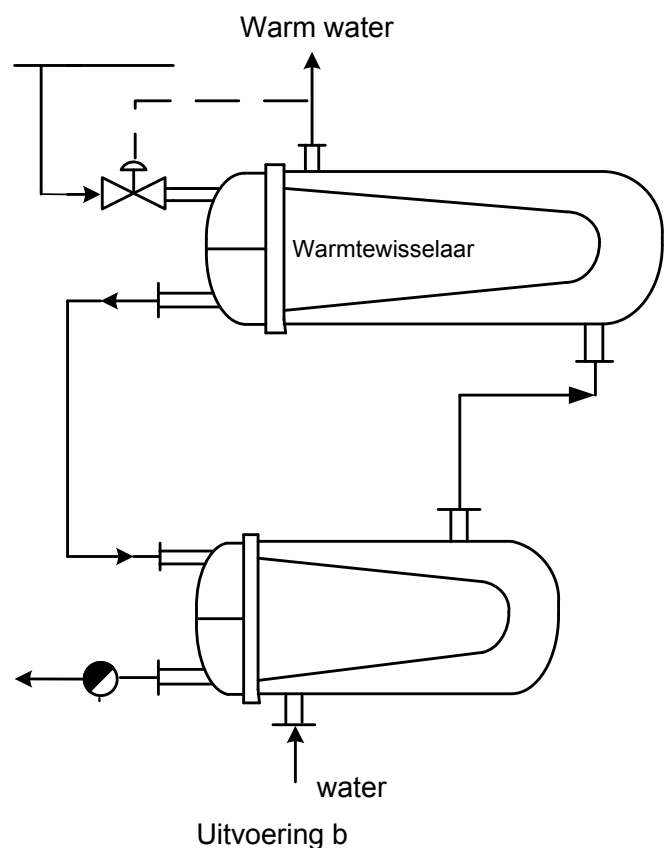
voerd met het condensaat. Om dat te bereiken dient een condenspot te worden toegepast die modulerend werkt en als zodanig functioneert als een niveauregelaar.

Figuur 10 en 11 tonen twee verkeerd ontworpen warmtewisselaaraansluitingen, die in de praktijk regelmatig worden aangetroffen.

figuur 10 Uitvoering a



figuur 11 Uitvoering b

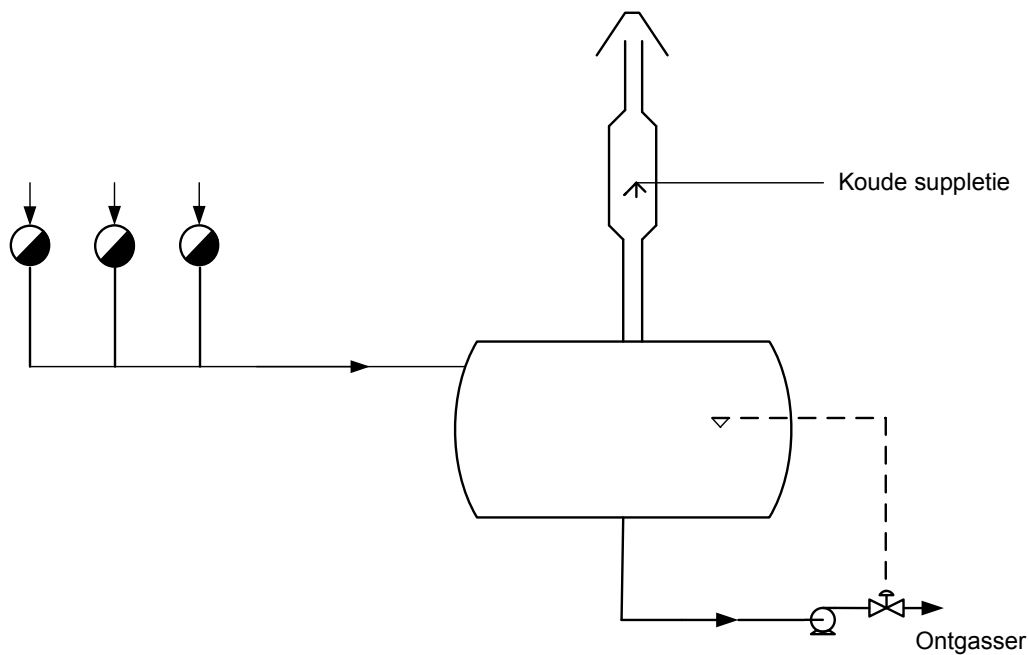


In figuur 10 Uitvoering a ontspant het van de stoomverwarmde warmtewisselaar afkomstige condensaat in de condensaatnakoeler. Het ontspanningsstoom/condensaatmengsel treedt met hoge snelheid de condensaatnakoeler binnen en veroorzaakt daar erosie op de pijpplaat en in de pijpen. In figuur 11 Uitvoering b is geen sprake van condensaatnakoeling maar van een vergroot verwarmend oppervlak.

### 3.1.7 Neerslaan ontspanningsstoompluim met suppletiewater

De stoompluim op een atmosferisch ontspanningsvat is neer te slaan door het suppletiewater te vernevelen in de ontluchtingsleiding. In de ontluchtingsleiding van dit vat zijn dan één of meerdere sproeiers gemonteerd om het koude suppletiewater te kunnen vernevelen. Bereken de diameter van het verdikte leidingstuk op basis van een snelheid van 1 m/sec.

(zie figuur 12)



### 3.2 'Verdacht' condensaat

Met name bij batchprocessen kan het voorkomen dat door een lek in een verwarmingsspiraal het condensaat met een product wordt verontreinigd. Vervuild condensaat mag niet worden hergebruikt als ketelvoedingswater en moet worden geloosd. Als lekkage niet is uit te sluiten, dan is het toch de moeite waard om een goede toepassing te vinden voor de warmte uit het condensaat; bijvoorbeeld het voorverwarmen van koud suppletiewater. Waar vervuiling incidenteel

voorkomt, kan verdacht condensaat met een meting worden bewaakt. Vooraf moet worden vastgesteld welke meting geschikt is om een lekkage te detecteren. Dit kan een geleidbaarheidsmeting, troebelheidsmeting, pH-meting of een andere meting zijn. Bij 150 kg/h naar de goot stromend condensaat is de investering in zo'n condensaatmeting vaak binnen twee jaar terugverdiend.

Vooraf moet worden vastgesteld welke meting geschikt is om een lekkage te detecteren.

## 4. Technische verbeteringen van condensaatssystemen

Om problemen zoals waterslag en erosie, maar ook inefficiënt gebruik van stoom binnen de perken te houden, is aandacht voor de technische uitvoering van het systeem onontbeerlijk. Hoge snelheden in condensaatleidingen leiden bijvoorbeeld tot slijtage en lekkage in met name bochten en daardoor tot kosten van verlies, onderhouds- en reparatiekosten. Stuwings van condensaat in warmtewisselaars leidt tot slechte warmteoverdracht (inefficiëntie) en waterslag.

Let bij de technische uitvoering en verbetering met name op:

- het toepassen van het juiste type condenspot en het correcte monteren hiervan;
- de juiste dimensionering van condensaatleidingen.

### 4.1 Bepalen diameter condensaatleidingen

De meeste problemen met stoominstallaties komen vaak door te klein gedimensioneerde condensaatleidingen. In de praktijk komt het regelmatig voor dat condensaatleidingen worden beschouwd als waterleidingen en dat daarom met snelheden van 2 m/sec wordt gerekend. Het is van belang rekening te houden met het effect en het volume van de zich in de condensaatleiding gevormde ontspanningsstoom.

Als het condensaat uit een warmtewisselaar wordt afgevoerd via een condenspot in het condensaatnet, ontspant door het drukverschil een deel van het condensaat. Het volume verandert hierdoor aanzienlijk (zie ook paragraaf 1.4). Houd bij het berekenen van de diameter van een condensaatleiding daarom rekening met de toename van het volume van de gevormde ontspanningsstoom.

In de wereld van het condensaat zijn de meningen nogal verdeeld over de toegestane mengselsnelheid. In de literatuur staan snelheden tussen de 15 en 20 m/sec. De ervaring leert echter dat deze snelheden veel te hoog zijn.

### Voorbeeld

Een condensaatleiding is gevuld met 95 volume% ontspanningsstoom en 5 volume% water. Het met de ontspanningsstoom meegevoerde waterdruppeltje botst met de snelheid van die ontspanningsstoom (20 m/sec ofwel 72 km/h) tegen de eerste bocht in de leiding. Er verzamelt zich daar wat condensaat. Door de condensaatstuwings vernauwt de doorstroomopening enigszins. Het verzamelde condensaat schiet als een prop door naar de volgende bocht, enzovoort. Niet voor niets lekken condensaatleidingen altijd in de bocht (ongeveer  $\frac{3}{4}$  door de bocht wordt het pijpmateriaal flinterdun). Bovendien geldt die 72 km/h voor een continue stroom. Met uitzondering van de vlottercondenspot werken alle condenspottypen discontinu. Condenspotten staan soms meer dan de helft van de tijd dicht. De bimetalen van thermische condenspotten moeten dan weer afkoelen, de ruimte onder het emmertje van omgekeerde emmercondenspot weer opgevuld, of het stoombelletje boven het plaatje van de thermodynamische condenspot vol gecondenseerd. Actuele snelheden in een condensaatnet tussen de 100 km/h en 140 km/h zijn geen uitzondering. In de praktijk blijkt dat de oorzaak van problemen met de condensaatafvoer hoofdzakelijk zijn terug te voeren op een te krappe leidingdiameter en maar bij uitzondering op het condenspottype. Houd na een vlottercondenspot een mengselsnelheid van 10 m/sec aan en na discontinu werkende potten 6 tot 8 m/sec.

## Berekening leidingdiameter

Hieronder zijn berekeningen toegelicht om de diameter van condensaatleidingen te bepalen. De methode geldt ook voor stoom-, lucht- en waterleidingen. Voor de berekening wordt gebruikgemaakt van de algemene formule:

$$Q = 1/4 \pi D^2 \cdot v$$

Hierin is:

Q = de hoeveelheid van het medium in m<sup>3</sup>/sec.

D = leidingdiameter in m.

v = de toegestane snelheid in m/s.

Omdat in de praktijk veel met hoeveelheden in m<sup>3</sup>/h en met leidingdiameters in mm wordt gewerkt, kan uit deze algemene formule de praktische formule voor de leidingdiameter worden afgeleid:

$$D = \sqrt{354 Q/v}$$

Hierin is:

Q = de hoeveelheid medium in m<sup>3</sup>/h.

D = leidingdiameter in mm.

v = de toegestane snelheid in m/s.

Het ontspanningsstoompercentage is te berekenen aan de hand van de vuistregel  $(t_1 - t_2) \times 0,2$ . Hierin is  $t_1$  de temperatuur die hoort bij de in de warmtewisselaar heersende stoomdruk (bijvoorbeeld bij 11 bar /184 °C) en  $t_2$  de temperatuur die hoort bij de druk in het condensaatstelsel (bijvoorbeeld bij 3 bar tegen-  
druk 134 °C). Van het condensaat dat de condenspot passeert ontspant  $(184 - 134) \times 0,2 = 10\%$ .

Naast deze vuistregel kan ook de formule  $(h_1 - h_2)/r$

worden gebruikt. Het soortelijke volume van de ontspanningsstoom bij een bepaalde druk is uit de stoomtabel af te lezen.

Voor de berekening van een condensaatleiding volstaat het volume van de ontspanningsstoom. Het volume van het resterende water is ten opzichte van het ontspanningsstoomvolume zo klein dat het kan worden verwaarloosd.

### Voorbeeld

Condensaat 1000 kg/h afkomstig van 11 bar stoom ( $h' = 781$  kJ/kg) ontspant naar een condensaatnet waarin een druk van 4 bar heerst ( $h' = 605$  kJ/kg en  $v'' = 0,4622$  m<sup>3</sup>/kg en  $r = 2.133$  kJ/kg).

Er ontspant  $(781 - 605)/2.133 \times 100\% = 8,3\%$  of  $0,083 \times 1.000 = 83$  kg/h.

Omgerekend naar m<sup>3</sup>/h:  $83 \times 0,4622 = 38$  m<sup>3</sup>/h.

Volumetrisch gezien bestaat 97,4% van het mengsel condensaat/ontspanningsstoom uit ontspanningsstoom.

De bijbehorende leidingdiameter wordt bij een aangenomen mengselsnelheid van 8 m/sec:

$$D = \sqrt{(354 \times 1.000 \times 0,08 \times 0,4622)/8} = 40 \text{ mm ofwel DN40.}$$

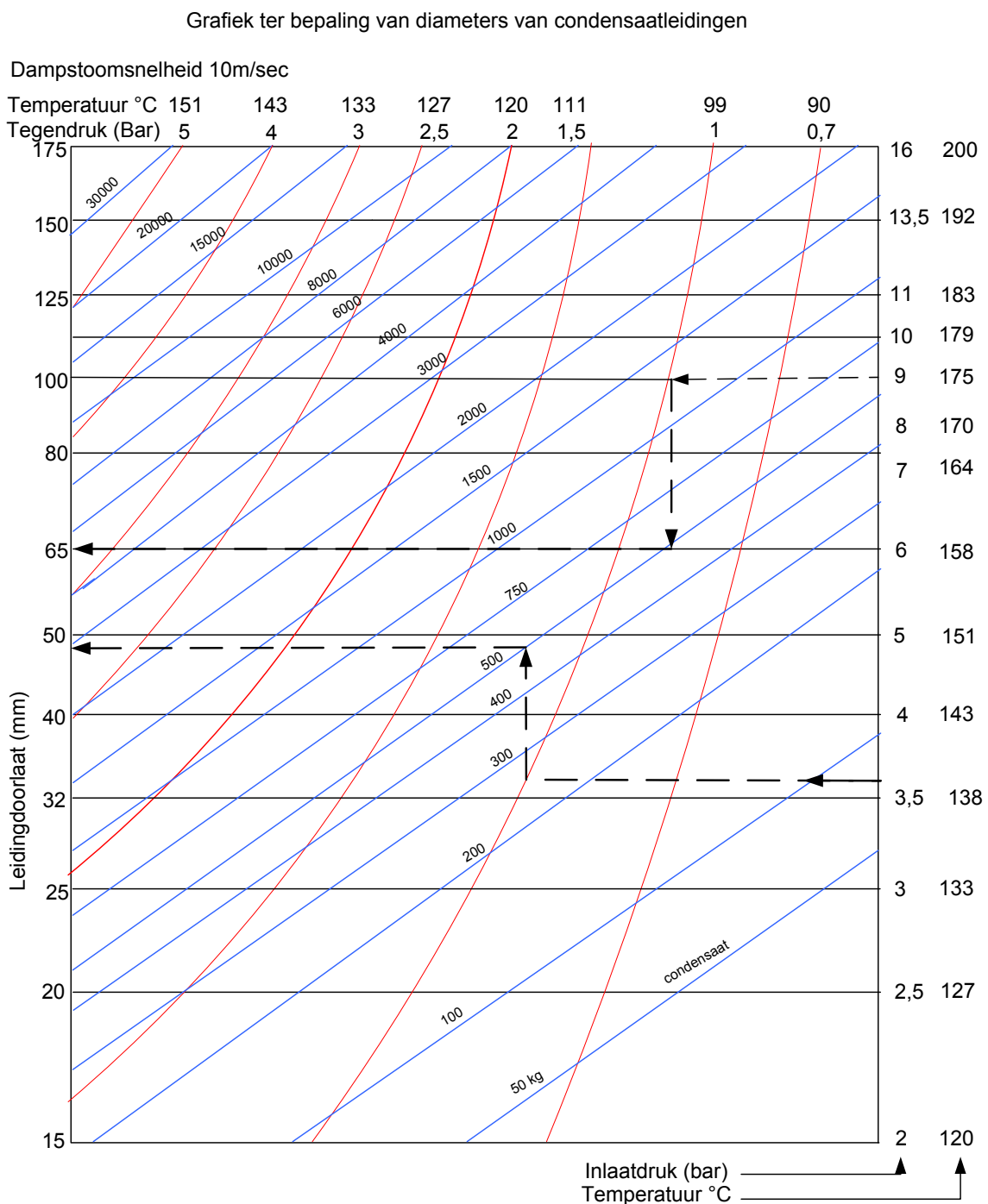
Bij uitloop in een atmosferisch condensaatnet ( $v'' = 1,694 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) zou  $(781-418)/2.258 \times 100\% = 16\%$  van het condensaat ofwel 160 kg/h ontspannen.

De leiding diameter wordt dan:

$$D = \sqrt{(354 \times 1.000 \times 0,160 \times 1,694) / 8} = 110 \text{ mm, ofwel DN100.}$$

De diameter van een condensaatleiding is ook aan de hand van de grafiek (figuur 13) eenvoudig te bepalen. De grafiek is opgesteld voor een snelheid van 10 m/sec. Voor bijvoorbeeld 8 m/sec wordt de uitkomst vermenigvuldigd met  $\sqrt{10/8} = 1,1$ . Bij deze bepaling moet rekening worden gehouden dat het condensaat na de condenspot ontspanningsstoom vormt.

figuur 13



### Voorbeeld 1

Stoomdruk 9 bar, condensaat tegendruk 1 bar, hoeveelheid condensaat 500 kg/h.

Uit de grafiek kunnen we een leidingdiameter van 65 mm aflezen.

### Voorbeeld 2

Stoomdruk 3,6 bar, condensaat tegendruk 1 bar, hoeveelheid condensaat 500 kg/h.

Uit de grafiek blijkt dat een leiding met een diameter van 50 mm gebruikt kan worden.

## 4.2 Voorkomen van thermische waterslag

In hoofdstuk één is beschreven dat waterslag in veel condensaatssystemen voorkomt en hoe dit ontstaat.

In de volgende paragrafen is te lezen, welke maatregelen waterslag kunnen voorkomen.

### 4.2.1. Mengen condensaatstromen

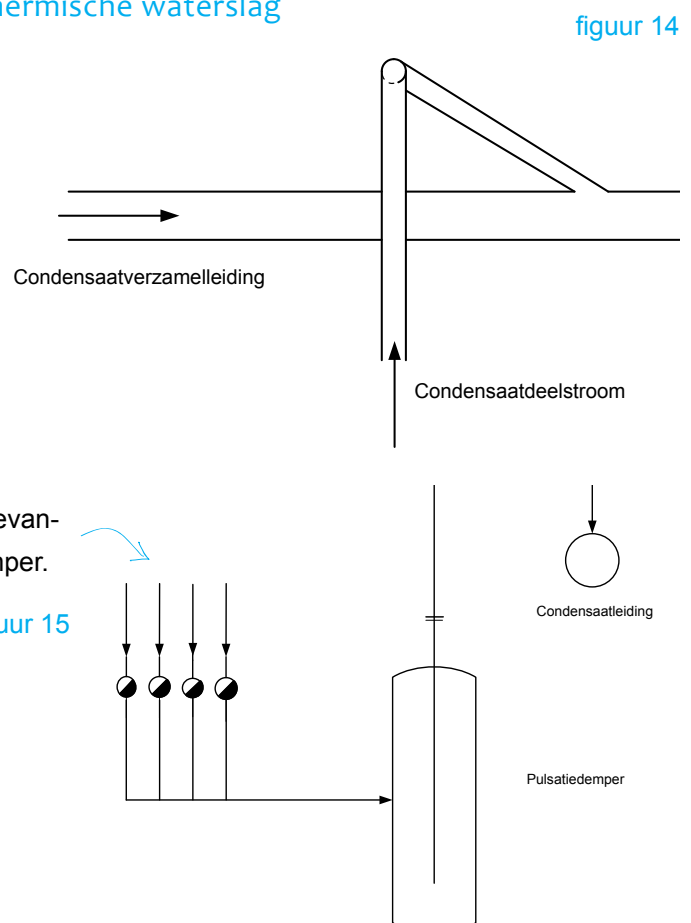
Doorgaans hebben bedrijven een centrale condensatretourleiding waarin de meeste condensaatstromen uitmonden, voordat die naar het ketelhuis worden teruggevoerd. Bij het mengen van diverse condensaatstromen moet rekening worden gehouden met waterslag. Als vuistregel wordt aangenomen dat bij het mengen van condensaatstromen, afkomstig van verschillende stoomdrukken en dus met verschillende temperaturen, de temperatuurverschillen onderling niet meer mogen bedragen dan 20 tot 30°C. Zijn de verschillen groter, dan is het aan te raden het condensaat vóór het mengen te ontspannen in een ontspanningsvat.

Pas nadat het condensaat is ontspannen of naar een lagere temperatuur is afgekoeld, mag het worden gemengd met atmosferisch of onderkoeld condensaat.

### 4.2.2 Aanvullende maatregelen voorkomen thermische waterslag

Als het condensaat in meestroom en bovenin de hoofdleiding wordt ingevoerd, dan neemt de kans op waterslag aanzienlijk af. De naverdampingstoom komt namelijk niet of minder met het afgekoelde condensaat in aanraking.

Thermische waterslag kan ook optreden als condensaat van een gebruiker naar een hoog liggende transportleiding moet worden opgevoerd of om andere reden tegendruk moet overwinnen. Bij waterslag na de condenspot kunnen veel problemen opgevangen worden door het aanbrengen van een pulsatie-demper.



figuur 16

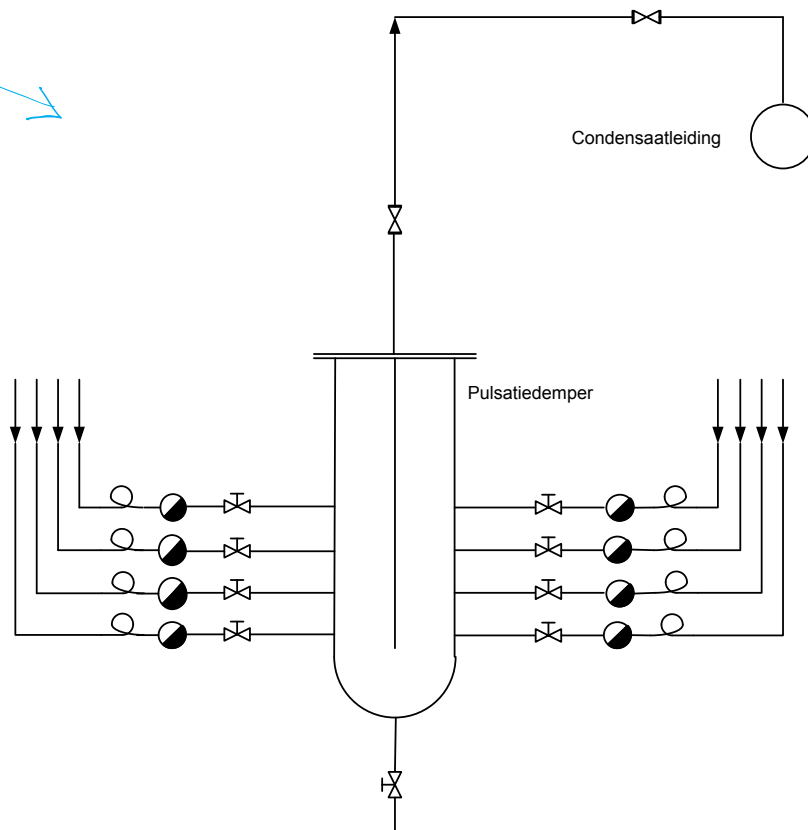
In een condensaatopvangstation voor *tracing* kan de verzamelleiding als pulsatiedemper worden uitgevoerd.

Waterslag komt ook vaak voor bij het in bedrijf nemen van een warmtewisselaar na stilstand. De stoom condenseert dan spontaan op het condensaat dat in de warmtewisselaar is achtergebleven.

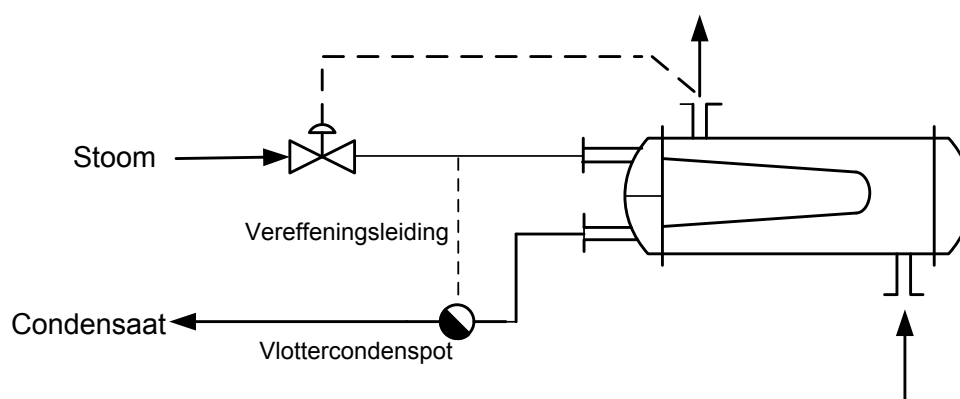
Monteer een pijpenwarmtewisselaar daarom altijd met enig afschot richting de condensaatafvoer. Het ontwateren kan handmatig maar ook automatisch middels een op druk werkend ontwateringsventiel. Dit ventiel dient te worden aangebracht tussen de terugslagklep en de condensaatuitlaat van de warmtewisselaar.

Bij een vlottercondenspot kan de afvoer van condensaat worden verbeterd en de kans op waterslag vermindert, door een circa 10 tot 15 mm drukvereffeningsleiding.

Deze verbindt de stoomtoevoerleiding na de regelklep met de stomp op de inlaatzijde van de condenspot. De drukval over de warmtewisselaar wordt hierdoor gecompenseerd, waardoor er voldoende drukverschil blijft bestaan om het condensaat beter af te kunnen voeren.



figuur 17



### 4.3 Vacuüm

Als de stoomtoevoer naar een warmtewisselaar zover wordt geknepen dat de stoomdruk zakt tot onder de druk die in de condensaatleiding heerst, treden er afvoerproblemen op van het condensaat.

Ook kan, wanneer de stoomtoevoer van een warmte-

wisselaar wordt afgesloten, vacuüm in de warmtewisselaar ontstaan, doordat de resterende stoom in het apparaat condenseert. Dunwandige pijpen of bundels in de warmtewisselaar kunnen door het vacuüm worden plat gezogen.



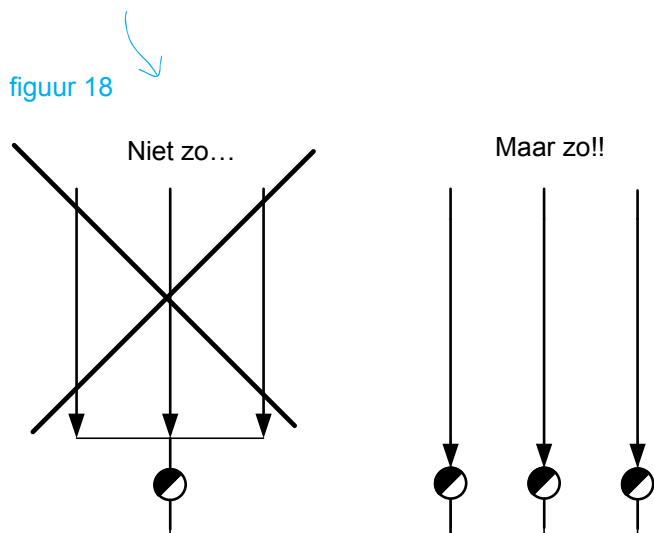
Het komt ook voor dat condensaat uit het condensaatnet de warmtewisselaar wordt ingezogen. Een terugslagklep kan dit voorkomen. Om vacuümproblemen te voorkomen, kan een beluchtingsterugslagklepje of een kleine thermische condenspot als vacuümbreker op de damruimte worden aangebracht. Condensaatafvoerproblemen als gevolg van een vacuüm, zijn ook op te lossen door het aanbrengen van een barometrisch been. Dit is echter alleen mogelijk bijvoorbeeld bij hooggelegen wandluchtverhitters in een bedrijfshal. De condenspot wordt dan op de grond aangebracht. De hoogte van de waterkolom, van heater tot voor de condenspot op de grond, compenseert dan het gebrek aan verschildruk.

Een andere oplossing om ondanks een te gering drukverschil toch condensaat uit de warmtewisselaar af te kunnen voeren, is het toepassen van een door stoom- of perslucht aangedreven vlottercondensaatpomp.

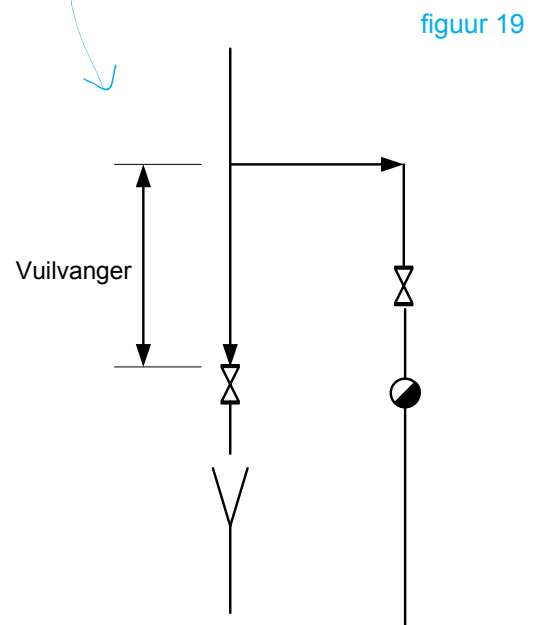
#### 4.4 Aandachtspunten bij ontwerp en montage

Bij het ontwerp en de montage van condensaatssystemen zijn de volgende ontwerpregels cruciaal:

1. Iedere gebruiker heeft z'n eigen condenspot.  
Het combineren van gebruikers op een enkele condenspot kan er toe leiden dat de condensaatafvoer van de gebruiker met de grootste leidingweerstand (lengte, vervuiling, beschadiging) stagneert. Bij stoomtracing kan het bijvoorbeeld voorkomen dat de ene tracer koud blijft of zelfs bevriest, terwijl de andere warm blijft.



2. In principe geen *bypass* om een condenspot aanbrengen. Plaats liever een aftap ervoor, zodat het zichtbaar is als de afsluiter in de *bypass* open staat. De leiding fungeert als vuilvanger, als de aftap in de leiding is geplaatst en de condenspot in de omleiding is gemonteerd.



3. Condenspotten moeten op het laagste punt in de leiding worden gemonteerd, zodat het condensaat uit de leiding of uit het procesapparaat op eigen gewicht naar de condenspot kan stromen. Dit bevordert een goede ontwatering.
4. Monteer condenspotten op de juiste wijze in de stromingsrichting van de leiding. Sommige typen zijn zowel horizontaal als verticaal te monteren. Andere typen kunnen maar in één stand functioneren. Volg de montage-instructies van de fabrikant op.
5. Heeft een condenspot geen terugslagklepwerking? Plaats dan een losse terugslagklep na de condenspot. De terugslagklep verhindert dat condensaat terugstroomt en voorkomt daarmee waterslag.
6. Selecteer een condenspot met een binnenwerk dat geschikt is voor de werkdruk waarvoor die wordt toegepast. Controleer bij revisie dat de juiste afvoernozzle wordt teruggeplaatst. Een verkeerde afvoernozzle kan leiden tot condensaatstuwning en waterslag.

7. Thermische condenspotten mogen niet worden geïsoleerd, want dit vertraagt de werking. Andere typen condenspotten zijn wel te isoleren.
8. Bij het in bedrijf nemen van een nieuwe installatie kunnen veel problemen ontstaan door vervuiling als gevolg van zand, laskorrels of roestdeeltjes in de leiding. Blaas vóór het monteren van de condenspot (ook bij tracingsystemen) de leiding door met stoom van hoge snelheid. Vuilinslagen zijn te horen, als een plaat achter de uitstroomopening wordt geplaatst.
9. Gebruik als niveauregelaar voor ontspanningsvaten een condenspot die modulerend werkt. Bij discontinu (open/dicht) werkende condenspotten in combinatie met een wisselende belasting en daardoor fluctuerend niveau, bestaat namelijk kans op het meesleuren van condensaat in het ontspanningsstoomnet.
10. Pas bij kritische warmtewisselaars, zoals bij destillatiekolommen, eveneens condenspotten toe die modulerend werken. Hiermee is een continue condensaatafvoer en een constant condensaatniveau in de warmtewisselaar zeker gesteld.
11. Monteer kijkglazen vóór de condenspot. Bij montage achter de pot kan de werking van de pot niet worden gecontroleerd, omdat het verschil tussen lekstoom en ontspanningsstoom niet is waar te nemen.
12. Voorkom zoveel mogelijk stijgende condensaatleidingen. Stijgende condensaatleidingen vergroten de kans op waterslag. Monteer bij een *tracer* het stoomverdeelstation hoog en de condensaatverzamelheader laag. Leg *tracers* en condensaatleidingen op afschot.
13. Voorkom in tracerleidingen zoveel mogelijk stijgende stukken. De som van alle stijgingen in een *tracer* mag, in verband met de weerstand die er door ontstaat, niet te groot zijn. Voor een 60 meter lange tracer bij een stoomdruk van 4 bar, mag de som van de stijgingen maximaal 4 meter zijn.
14. Monteer bij *tracers* altijd de verbindings- en expansielussen in het horizontale vlak om extra weerstand te voorkomen.





Voor meer informatie over  
condensaatsystemen in de praktijk  
wordt verwezen naar het boek:

## **Condenspotten en condensaatsystemen**

van N.D. (No) Duinkerken ISBN-13: 978-90-9020477-2