

STOOMTOEPASSING 2.0

Promotieboekje



JAN KOOPMANS

Omslag: Shell Pernis
Bron: Shell Nederland

Colofon

Copyright © 2023: www.steamsave.nl
Vormgeving: Jan Koopmans
Illustraties: www.steamsave.nl
Druk en bindwerk: www.arsprintmedia.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Redactie en uitgever zijn zich volledig bewust van hun taak om zo volledig en betrouwbaar als mogelijk is om de uitgave in dit boek juist weer te geven. Niettemin kan er geen aansprakelijkheid aanvaard worden voor eventuele in deze uitgave voorkomende onjuistheden. Het wordt op prijs gesteld om aanvullingen, onjuistheden en verbeteringen aan ons te melden.

Voorwoord

Er zijn mensen die zich afvragen of er nog stoom wordt toegepast? Men denkt hierbij dan terug aan het tijdsbeeld toen er nog volop stoomlocomotieven rondreden.

Stoom wordt echter heden ten dage nog volop toegepast. Nee niet voor transport doeleinden, de toeristische stoomtreinen daargelaten, maar voor energietoevoer voor velerlei uiteenlopende processen.

Zo wenden voedingsmiddelenbedrijven stoom aan om producten te blancheren, koken, pasteuriseren, thermiseren, vacumeren, etc. in ketels, vaten en autoclaven.

Ook voor het verwijderen (indampen) van water bij droogprocessen bij de fabricage van papier en karton in de papiermachines. Of het indampen en drogen van melk in indampers, droogtorens voor productie van melkpoeder en ook voor de bereiding van wrongel waarvan weer kaas wordt gemaakt.

Ook wasserijen gebruiken stoom voor hun was- reinigings- en droogprocessen.

De (petro)chemie voor het destilleren en fractioneren in hun transformatieprocessen. Ziekenhuizen en farmaceutische bedrijven gebruiken stoom voor sterilisatie doeleinden, voor bevochtigen van lucht in klimaatinstallaties en voor 'cleanrooms', etc.

Echter een groot deel van de opgewekte stoom wordt toegepast bij de elektriciteitscentrales voor het aandrijven van de stoomturbine/generator set om elektriciteit te produceren.

Vindt er bij het opwekken van stoom een faseverandering plaats van water in stoom. Bij de toepassing van stoom in de diverse processen wordt deze stoom weer omgezet in water. We noemen dit echter condensaat. Bij het condensereren van stoom komt hierbij veel energie vrij dat via warmtewisselaars of directe stoominjectie wordt overgedragen aan de diverse processen.

Het toepassen van stoom voor deze processen is gelegen in de unieke eigenschappen die stoom bezit.

Te noemen zijn hierbij:

- Het zeer snelle transport (25-40 m/sec.) via leidingen naar de eindverbruikers. Vanwege de druk van de opgewekte stoom komt hier geen pomp aan te pas. Tevens zijn de energieverliezen die hierbij optreden bij correct uitgevoerde aanleg van de installatie minimaal;
- De grote en snelle overdracht van warmte die verkregen wordt tijdens temperatuurverhoging van processen (korte doorlooptijd batchprocessen);
- Het condensaat afkomstig van de warmtewisselaars wordt geretourneerd naar het ketelhuis. De kringloop wordt hierbij gesloten met veelal het behoud van de warmte-inhoud van het condensaat.

Naast voordelen bezit stoom ook een aantal nadelen. Door plotselinge onderkoeling van stoom in leidingen kan er een faseverandering optreden. De stoom implodeert hierbij tot condensaat. Er treedt een volumeverkleining op van ca. 1400 tot 1600 maal afhankelijk van de stoomdruk. Hevige slagen in de leiding treden hierbij op ook wel bekend als cavitatie waarbij het gevaar bestaat dat leidingen uit hun bevestigingspunten kunnen geraken en zelfs kunnen afbreken.

Een foutief aangelegd condensaat leidingnet kan er de oorzaak van zijn dat corrosie en scheurnaadvorming optreden.

Na 45 jaar ervaring en werkzaam te zijn geweest bij een drietal stoomketelleveranciers en een drietal kennisinstituten op stoomgebied en het feit dat ik reeds meer dan 15 jaar trainingen verzorg over dit vakgebied, is er bij mij een behoefte aan overdracht van kennis en meer diepgang over stoomtoepassing.

Onafhankelijkheid staat hierbij hoog in het vaandel.

Is er bij de opwekking van stoom in het ketelhuis vaak nog specifieke kennis aanwezig, bij de toepassing van stoom in de bedrijven en instellingen ontbreekt deze nog wel eens. Met name de engineering en keuze van leidingsystemen, warmtewisselaars en condensaatafvoer systemen (condenspotten) worden lang niet altijd correct uitgevoerd. Ook de communicatie met de leverancier van de stoomverbruiker is vaak te eenzijdig.

Verder worden de veranderingen in wet- en regelgeving niet altijd nageleefd terwijl de eigenaar van het bedrijf de verantwoordelijkheid blijft houden!

In dit boek tracht ik als auteur een helder en duidelijk inzicht te geven omtrent toepassing van stoom in de meest brede zin.

Ook aan het veilig gebruik van stoom wordt veel aandacht besteed evenals het adequaat oplossen van storingen, onderhoud, inspecties (ook voor de Vlaamse markt) en het voorkomen van optredende schades van installatiedelen.

Tot slot wordt het duurzaam en efficiënt toepassen van stoom en condensaat en met name het beperken van de verliezen in het systeem uitvoerig behandeld. Vaak zijn er bij de productieprocessen meer besparingen mogelijk dan bij de opwekking van stoom.

Dit boek is al met al een persoonlijk handboek, een 'must have' voor diegene die interesse heeft voor stoom. Voor zowel de startende operator, de ervaren specialist als de engineer/facility manager is er voldoende diepgang te vinden in dit boek. Ook voor opleidingsinstituten kan dit boek een welkome aanvulling zijn.

Ik wens u veel uitbreiding van kennis op het brede terrein van stoomtoepassing.

Maasbracht, november 2023

Jan Koopmans

Leeswijzer

Afbeelding/Tabel 2-8 – wil zeggen: Afbeelding/Tabel in Hoofdstuk 2 met volgnummer 8

Idem voor (6.2) - Formule in Hoofdstuk 6 met volgnummer 2

[B] - Norm en voorschrift zie bijlage D

[2] - Geraadpleegde literatuur zie bijlage D

Overzicht betekenis van enkele benamingen in NL en B (Vlaams)

NL	B (Vlaams)
'Flash' stoom	Evaporatie stoom
Generator	Spiralen ketel
Ketel	Generator
Waterontharder	Verzachter
Terugwinning	Recuperatie
Wethouders	Schepenen
Concessiedruk	Zegeldruk
Steekflenzen	Pannen
Certificaat	Attest
Stempelplaat	Kenplaat
Modificatie	Herstelling
Centimeter	Lintmeter
Roestvaststaal	Inox
Fabrikant/vervaardiger	Constructeur
Organisatie	Organisme
Vergunningverlener	Bestendige deputatie
Wet	Decreet/ Ordonnantie

Inhoudsopgave

1.0	Stoom en zijn hoedanigheden.....	1
1.1	Het stoom/water kringloopproces.....	1
1.2	Stoom- en condensaatvorming.....	3
1.3	Stoom-watertabellen.....	4
1.4	h-p-t diagram.....	7
1.5	Reduceren.....	12
1.6	Oververhitte stoom.....	13
1.7	'Natte' stoom.....	14
1.8	Onderkoelde stoom.....	17
1.9	Expansiestoom.....	18
2.0	Stoom- en condensaatleidingen.....	20
2.1	Berekeningen van stoom- en condensaatleidingen.....	20
2.1.1	Berekening leidingdiameter.....	20
2.1.2	Berekening drukverlies.....	21
2.2	Ontwerp stoom-en condensaatleiding.....	25
3.0	Stoom- en condensaatleidingen installeren.....	32
3.1	Leidingkrachten.....	32
3.1.1	Bochten.....	34
3.1.2	Expansiestukken.....	37
3.1.3	Voorspanning.....	40
3.2	Installatie stoom- en condensaatleidingen.....	41
3.2.1	Stoomleidingtracé.....	41
3.2.2	Condensaatleidingtracé.....	43
3.2.3	Leiding ondersteuning.....	44
3.2.4	Leiding isolatie.....	47

4.0	Warmtewisselaars.....	49
4.1	Warmtewisselaar uitvoeringen.....	49
4.1.1	Buizenwarmtewisselaar.....	49
4.1.2	Platenwarmtewisselaar.....	55
4.1.3	Spiralenwarmtewisselaar.....	58
4.1.4	Overzicht warmtewisselaars.....	58
4.2	<i>Berekening stoomgevoedde buizenwarmtewisselaar.....</i>	<i>59</i>
4.2.1	<i>Warmteoverdracht.....</i>	<i>59</i>
4.2.2	<i>Berekening stoomgevoedde warmtewisselaar.....</i>	<i>65</i>
4.3	Installeren van warmtewisselaars en appendages.....	76
5.0	Condensaatbeheer.....	78
5.1	Condenspotten.....	82
5.1.1	Mechanische condenspotten.....	82
5.1.2	Thermische condenspotten.....	86
5.1.3	Thermodynamische condenspot.....	90
5.1.4	Venturi condenspot.....	93
5.1.5	Overzicht eigenschappen condenspotten.....	95
5.2	Condensaat afvoersystemen.....	96
5.2.1	Condensaat koeling.....	96
5.2.2	Condensaatzijdige regelingen.....	97
5.2.3	Expansiestoom aanwenden in proces.....	97
5.2.4	Hogedruk condensaatssystemen.....	102
5.2.5	Verlagen stoomdruk.....	104
5.2.6	Voldoende koud suppletiewater.....	105
5.2.7	Stoomaccumulatoren.....	106
6.0	Inspectie stoom- en condensaatssystemen.....	107
6.1	Inspectie condenspotten.....	107
6.1.1	Condenspot laat stoom door.....	110
6.1.2	Condenspot houdt condensaat tegen, stuwing.....	110
6.1.3	Condenspot ontlucht niet goed.....	110

6.1.4	Inspectie condenspotten.....	111
6.2	Inspecties en keuringen stoomsystemen.....	114
6.2.1	Materialen stoomsystemen.....	115
6.2.2	Voorschriften voor ontwerp en vervaardiging van stoomsystemen.....	119
6.3	Eerstmalige inbedrijfname.....	124
6.3.1	Bestaande stoomtoestellen opgesteld in Nederland.....	125
6.3.2	Bestaande stoomtoestellen opgesteld in België (Vlaanderen).....	126
6.3.3	Stoomtoestellen die vallen onder de PED.....	126
6.3.4	In bedrijf nemen installatie.....	132
6.4	Periodieke keuringen stoomsystemen.....	133
6.4.1	Periodieke keuring druklichaam opgesteld in NL.....	135
6.4.2	Periodieke controle druklichaam opgesteld in B (Vlaanderen).....	137
7.0	Stoomtoepassingen.....	140
7.1	Voedingsmiddelenindustrie.....	140
7.1.1	Conserven van levensmiddelen.....	140
7.1.2	Bereiding voorgebakken frites.....	141
7.2	Droogprocessen.....	141
7.2.1	Papierfabricage.....	142
7.2.2	Indamprocessen.....	145
7.3	Bevochtiging.....	148
7.3.1	Ventilatielucht.....	148
7.4	Tracing.....	149
7.5	Conclusie.....	151
8.0	Appendages en instrumenten.....	153
8.1	Meetapparatuur.....	153
8.1.1	Drukmeters.....	154
8.1.2	Temperatuurmetingen.....	156
8.1.3	Debietmeters.....	158

8.2	Appendages.....	164
8.2.1	Afsluiters.....	166
8.2.2	Automatisch bediende afsluiters.....	170
8.2.3	Regelafsluiters.....	171
8.2.4	Terugslagkleppen.....	174
8.2.5	Filters.....	176
8.2.6	Kijkglazen.....	176
9.0	Regelingen.....	178
9.1	Condensaatsystemen.....	178
9.1.1	Condensaattank.....	178
9.1.2	Condensaatpomp.....	179
9.1.3	<i>Pomp theorie</i>	182
9.1.4	Regeling condensaatsystemen.....	187
9.2	Stoomsystemen.....	191
9.2.1	Reduceer installatie.....	191
9.2.2	Stoomconditionering.....	193
10.0	Onderhoud stoominstallaties.....	195
10.1	Onderhoud.....	195
10.1.1	ND (Niet Destructieve) inspectietechnieken.....	196
10.2	Corrosie verschijnselen.....	198
10.2.1	Zuurstof corrosie.....	199
10.2.2	Koolzuur corrosie.....	200
10.2.3	Erosie corrosie.....	201
10.2.4	Galvanische corrosie.....	201
10.2.5	Corrosie onder isolatie.....	202
10.2.6	Cavitatie.....	203
10.3	Onderhoud stoomsystemen.....	204
10.3.1	Support scans.....	204
10.3.2	Reparaties.....	205
10.3.3	Revisie en testen appendages.....	208

Bijlage A Stoom- en watertabellen conform IAWPS-IF97

Bijlage B Symbolenlijst (alfabetisch)

Bijlage C Literatuurlijst

Register (alfabetisch gerangschikt)

SAMPLE

1.0 Stoom en zijn hoedanigheden

In dit hoofdstuk worden de kenmerkende eigenschappen van stoom en condensaat toegelicht. Hierin wordt het stoomproces omschreven dat uit een kringloop bestaat waarbij water wordt omgezet in stoom en vervolgens in condensaat. Door zijn eigen druk wordt stoom gedistribueerd naar de verbruikers en condensaat geretourneerd naar de condensaat tank zonder dat er een pomp aan te pas komt. Druk en temperatuur van stoom zijn aan elkaar gekoppeld en zijn naast energiegegevens en specifieke eigenschappen van stoom, terug te vinden in de stoomtabellen. Het h-p-t diagram wordt uitvoerig behandeld waarin onder invloed van druk, temperatuur en warmte-inhoud de eigenschappen van stoom nader worden toegelicht. Ook de diverse hoedanigheden waarin stoom kan voorkomen worden behandeld.

1.1 Het stoom/water kringloopproces

Water kent onder atmosferische condities (1013,25 mbar) drie aggregatietoestanden namelijk de:

- Vaste vorm als ijs bij een temperatuur van minder dan 0,01°C;
- Vloeibare vorm als water bij een temperatuur van 0,01°C tot aan 100°C;
- Gas vorm als waterdamp oftewel stoom bij een temperatuur vanaf 100°C.

Stoomopwekking en –toepassing verloopt via een kringloopproces, zie **Afbeelding 1-1**.

Opwekking vindt plaats in een stoomopwekker waarbij de stoom grofweg voor twee doeleinden gebruikt kan worden. Namelijk voor het verwarmen van processtromen of het door middel van stoom opwekken van mechanische energie in stoomturbines. Dit laatste noemt men ook wel een thermodynamisch proces. Het verwarmen van processtromen vindt grotendeels plaats in warmtewisselaars. Het gevormde condensaat wordt hierbij zoveel mogelijk geretourneerd naar het ketelhuis. Door verliezen en/of door het feit dat het condensaat niet geschikt is voor hergebruik moet er in alle gevallen suppletiewater worden toegevoegd. Dit is ook het geval wanneer stoom rechtstreeks geïnjecteerd wordt in processtromen. Bij stoomturbine bedrijf moet de stoom vooraf in een oververhitter in temperatuur verhoogd worden. Dit is noodzakelijk om er zorg voor te dragen dat er nagenoeg geen condensatie in de turbine plaats vindt en om de warmte-inhoud van de stoom te verhogen.

De afgewerkte stoom na de turbine wordt vooraf gecondenseerd in een condensor om hier weer geschikt ketelvoedingwater van te maken. Een andere mogelijkheid is het toepassen van

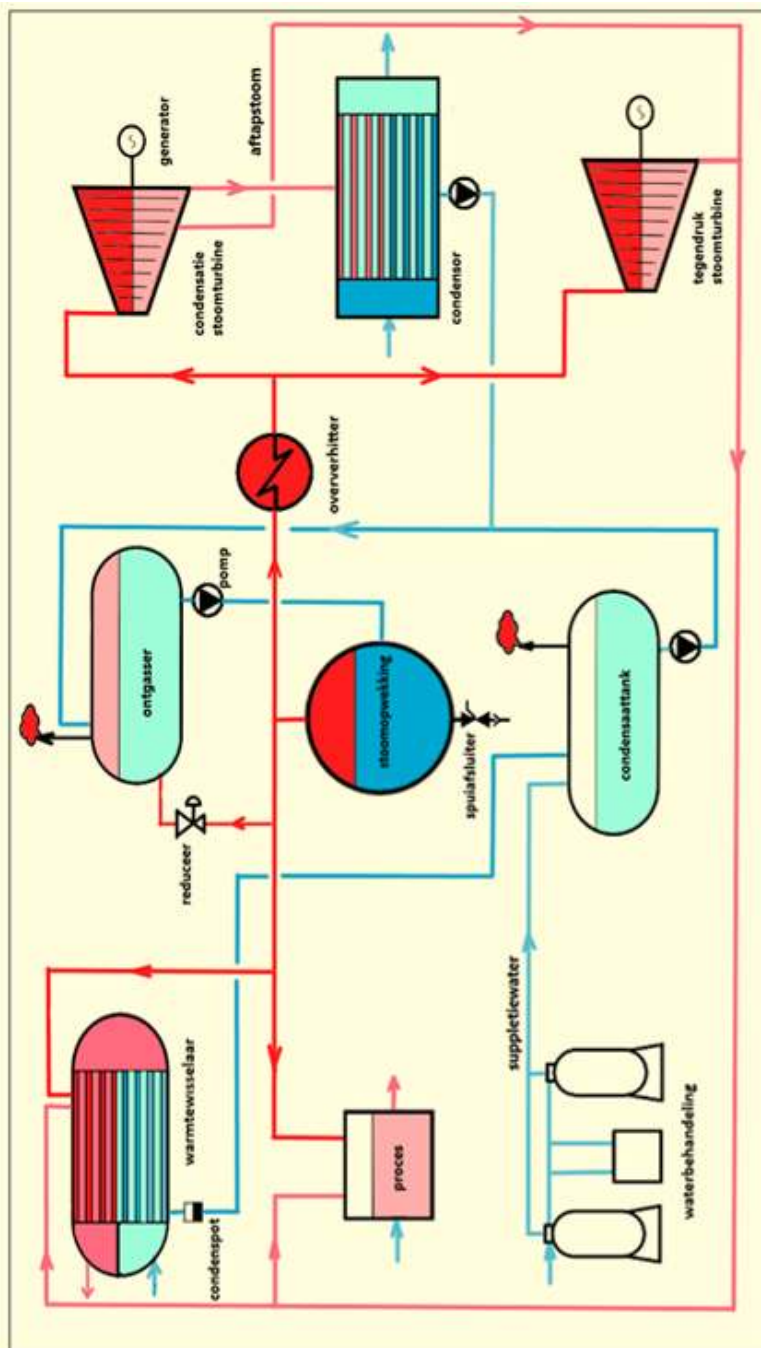
een tegendruk turbine, waarbij de reststoom voor procesdoeleinden gebruikt kan worden. Ook een tussenweg is mogelijk door stoom af te tappen van een condensatie turbine.

De verliezen aan stoom/water zijn aldus:

- Spuiverliezen;
- Eventuele stoompluim condensaat-tank;
- Stoompluim ontgasser (noodzakelijk vanwege zuurstof uitdrijving);
- Verliezen en disfunctioneren condenspot(ten);
- Lekkages van pakkingen en afsluitorganen;
- Stoom die condenseert in het productieproces (hoeft niet in alle gevallen een verlies te zijn).

Naast genoemde water/stoom verliezen, die tevens verlies aan energie vertegenwoordigen, zijn er verder nog aanvullende energie verliezen van:

- Rookgassen afkomstig van een met brandstof gestookte stoomopwekker;
- Koelwater of -lucht afkomstig uit de condensor bij turbine bedrijf;
- Wrijvingsverliezen in de stoomturbine/generator set;
- Isolatieverliezen van equipment en leidingen bij de opwekking en toepassingen van stoom/condensaat.



Afbeelding 1-1

Water-stoom kringloopproces

Bron: stamsave

2.0 Stoom- en condensatleidingen

In dit hoofdstuk zullen we het ontwerp, de uitvoering en aanleg van stoom- en condensatleidingen behandelen.

In de praktijk worden hier nog wel eens fouten meegemaakt, waarbij verkeerde leidingdiameters worden toegepast met name bij de condensatleidingen. Te hoge drukverliezen in leidingen kunnen hierbij optreden. Correcte ontwatering van stoomleidingen, het vermijden van koudebruggen en het op afschot monteren van leidingen ontbreken vaak. Hierdoor kan waterslag optreden met alle gevolgen van dien.

Foutieve ophang- en ondersteuningspunten met onvoldoende expansiemogelijkheden van leidingen kunnen in de praktijk tot gevaarlijke situaties leiden.

2.1 Berekeningen van stoom- en condensatleidingen

De leidingdiameter wordt bepaald door het volume en de optredende snelheid van het doorstromende medium.

Ook het drukverlies dat optreedt in de leiding is afhankelijk van volume en mediumsnelheid alsmede de lengte en uitvoeringsvorm zoals bochten en appendages. Het stromingsprofiel dat weergegeven wordt door het getal van Reynolds in combinatie met de oppervlaktegesteldheid, beter gezegd de ruwheid aan de binnenzijde van de leiding, maakt deel uit van het drukverlies.

Tot slot worden de materialen, afmetingen en keuringen van stoomleidingen behandeld.

2.1.1 Berekening leidingdiameter

De diameter wordt met de volgende formule berekend:

$$d_i = \sqrt{\frac{V \cdot 4}{v \cdot \pi}} \quad (2-1)$$

Waarbij:

d_i = inwendige leidingdiameter, m;

V = volume, m³/s;

v = stromings snelheid, m/s.

Voor de stromings snelheid kunnen de waarden uit **Tabel 2-1** gehanteerd worden.

Stromings snelheden			
Medium	Soort	Druk, barg	Snelheid, m/s
Stoom	LD	Tot 0,5	10-15
	MD	0,5 tot 20	20-40
	HD	20 tot 120	40-60
Condensaat	Ontspanstoom 0%	n.v.t.	2
	Ontspanstoom 0-40%	n.v.t.	max. 20
	Ontspanstoom > 40%	n.v.t.	max. 15

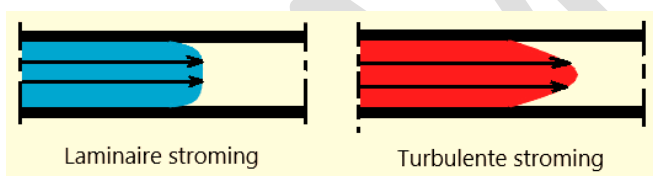
Tabel 2-1

Stromings snelheden

Bron: steamsave

2.1.2 Berekening drukverlies

Het drukverlies is sterk afhankelijk van het stromingsprofiel in de leiding. Hiervoor wordt het getal van Reynolds gehanteerd. Er zijn twee stromingsprofielen n.l. laminaire en turbulente stroming. Bij laminaire stroming blijft het medium als het ware aan de binnenzijde van de buis kleven, terwijl de turbulente stroming wordt gekenmerkt door los van de buiswand wervelende stromingsrichtingen. Zie hiervoor **Afbeelding 2-1**.



Afbeelding 2-1

Stromingsprofielen

Bron: steamsave

De formule voor het bepalen van het Reynolds getal luidt:

$$R_e = \frac{v \cdot d_i}{\nu} \quad (2-2)$$

Waarbij:

- R_e = Reynolds getal, -;
- d_i = inwendige pijpdiameter, m;
- v = stromings snelheid, m/s;
- ν = kinematische viscositeit, m²/s.

3.0 Stoom-en condensaatleidingen installeren

In dit hoofdstuk wordt het installeren van stoom- en condensaatleidingen behandeld.

Hierbij is aandacht voor de krachten die kunnen optreden vanwege de uitzetting van met name stoomleidingen en hoe deze opgevangen kunnen worden. Ook de afvoer van leidingcondensaat in stoomleidingen middels een correct uitgevoerd leiding tracé met de juiste ontwateringen en leidingisolatie krijgt de nodige aandacht.

Ook het doeltreffend ondersteunen en ophangen van leidingen wordt behandeld.

Tot slot het toepassen van de juiste uitvoering en dikte van leidingisolatie om onnodig energieverlies te voorkomen.

3.1 Leiding krachten

Ten gevolge van thermische uitzetting, leidinggewicht en windbelasting kunnen er spanningen in leidingen optreden. Dit kunnen trek-, afschuif- en torsiespanningen zijn, terwijl in bochten buigspanningen kunnen optreden.

Het uitzetten van leidingen is afhankelijk van de temperatuur van de leiding, de lineaire uitzettingscoëfficiënt van het leidingmateriaal en de leidinglengte.

Met de volgende formule kan de uitzetting berekend worden:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T \quad (3-1)$$

Waarbij:

ΔL = uitzetting, m;

α = lineaire uitzettingscoëfficiënt, m/m·K;

L_o = leidinglengte voor uitzetting (koud), m;

ΔT = temperatuurverschil, K.

In **Tabel 3-1** zijn een aantal lineaire uitzettingscoëfficiënt van verschillende materialen weergegeven.

Lineaire uitzettingscoëfficiënt, 10 ⁻⁶ m/K		
Koolstof staal	Roestvast staal	Koper
12	16	16,8

Tabel 3-1 Lineaire uitzettingscoëfficiënt Bron: Dubbel

De leidingkrachten die ontstaan indien er geen vrije uitzetting optreedt in de leiding kan met de Wet van Hooke als volgt berekend worden:

$$F = E \cdot \epsilon \cdot A \quad (3-2)$$

Waarbij:

F = Leidingkracht, N

E = Elasticiteitsmodulus, Pa

ϵ = relatieve lengte verandering, -

A = oppervlakte, m²

In deze formule is $\epsilon = \Delta L / L_0$. We kunnen formule (3-2) ook schrijven als:

$$F = E \cdot \Delta L \cdot A / L_0 \quad (3-3)$$

De elasticiteitsmodules voor diverse materialen is in **Tabel 3-2** vermeld.

Elasticiteitsmodules, 10 ¹⁰ Pa		
Koolstof staal	Roestvast staal (AISI 316)	Koper
21	19,7	12

Tabel 3-2 Elasticiteitsmodules Bron: Dubbel

Voorbeeld A

Gegeven

Een naadloze koolstofstalen stoomleiding van DN 150 afmeting conform EN 10216 en met een druk van 12 barg heeft een rechte lengte van 20 m. De stoomleiding is opgesloten tussen twee vast steunpunten en is dus niet voorzien van expansiemogelijkheden.

Gevraagd

Bepaal de krachten op de steunpunten

Oplossing

Conform Tabel 6-3 is de buitendiameter 168,3 met een wanddikte van 4,5 mm.

De uitzetting bedraagt dan volgens formule (3-1):

$$\Delta L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 191,6 = 0,046 \text{ m}$$

Het oppervlak bedraagt dan: $\pi \cdot (168,3^2 - 159,3^2) / 4 = 2.314,5 \text{ mm}^2$ oftewel $2,3145 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

De kracht op de steunpunten bedraagt conform formule (3-3):

$$F = 21 \cdot 10^{10} \cdot 0,046 \cdot 2,3245 \cdot 10^{-3} / 20 = 1.117.904 \text{ N. Oftewel: } 111,8 \text{ ton.}$$

4.0 Warmtewisselaars

Stoom wordt voor een groot deel aangewend om processen in temperatuur te verhogen. Dan wel om de conditie van processen te veranderen. Naast open stoom toepassingen, waarin de stoom direct geïnjecteerd wordt in het procesmedium, draagt stoom voor het overgrote deel via warmtewisselaars zijn warmte over aan het proces. Hierbij wordt de verdampingswarmte van de stoom afgegeven aan het proces en wordt er condensaat gevormd. Dit condensaat wordt hierbij in de meeste gevallen geretourneerd naar een condensaat tank dan wel ontgasser om weer te dienen als ketelvoedingwater voor de stoomopwekker. Hierbij is de kringloop gesloten.

In dit hoofdstuk worden de diverse uitvoeringen, materiaaltoepassingen en opstellingen van warmtewisselaars behandeld.

Voor de geïnteresseerde wordt in cursief tevens een berekening van een stoomgevoedde buizen warmtewisselaars behandeld.

4.1 Warmtewisselaar uitvoeringen

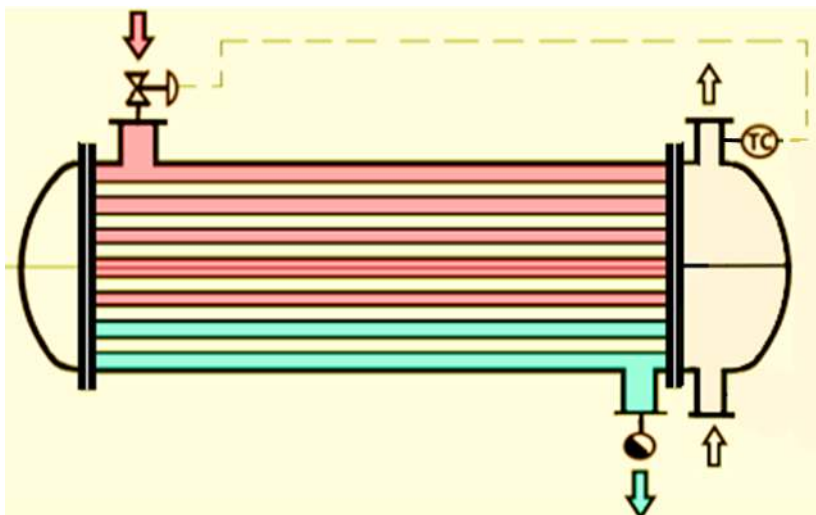
Warmtewisselaar zijn ook wel bekend onder de benamingen TSA (Tegen Stroom Apparaat) en 'Heat Exchanger'.

Een verdere onderverdeling is te maken in:

- Buizenwarmtewisselaar;
- Platenwarmtewisselaar;
- Spiralenwarmtewisselaar.

4.1.1 Buizenwarmtewisselaars

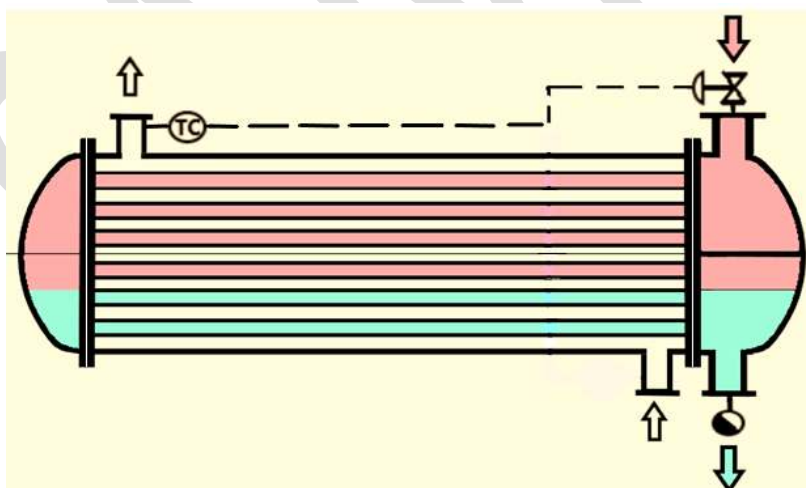
Deze bestaan uit een cilindrisch vat dat aan kopse zijden is voorzien van pijpplaten waartussen buizen zijn gemonteerd. Hierbij is een scheiding gevormd tussen stoom/condensaat en proces stromen. Er kan gekozen worden voor stoom/condensaat óm de pijpen volgens **Afbeelding 4-1** of stoom/condensaat dóór de pijpen. Zie **Afbeelding 4-2**.



Afbeelding 4-1 Buizenwarmtewisselaar met stoom óm de buizen

Bron: steamsave

Warmtewisselaars met stoom om de pijpen verdient de voorkeur omdat deze minder gevoelig zijn voor waterslag en aan de product zijde beter zijn te reinigen. Belangrijk hierbij is dat er stoomzijdig zoveel mogelijk een kruisstroom principe met het proces gevormd wordt en dat tevens het condensaat altijd uit het laagste gelegen punt van de warmtewisselaar wordt afgevoerd. Getoonde afbeeldingen betreffende horizontaal opgestelde TSA's. Deze worden meestal stoomzijdig geregeld via een TC (Temperature Controller) en een regelklep.



Afbeelding 4-2

Buizenwarmtewisselaar met stoom dóór de buizen

Bron; steamsave

5.0 Condensaatbeheer

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan mogelijke oplossingen om het ontstane condensaat, afkomstig van warmtewisselaars, zoveel mogelijk te recupereren. Niet alleen de warmte inhoud ervan echter ook het water aandeel.

De warmte inhoud kan of direct terug aangewend worden in het productieproces of geretourneerd worden naar het ketelhuis en hergebruikt worden voor de stoomopwekking. Ook wordt aandacht besteed aan een correcte afvoer van condensaat uit de warmtewisselaar middels condenspotten.

Hergebruik in het proces kan plaats vinden door hogedruk condensaat in 'flash' vaten te expanderen voor lage(re) druk stoomtoepassingen.

Het vermijden van een stoompluim op de atmosferische condensaat tank(s) en daarmee energie en water verlies te voorkomen is het uiteindelijke doel van correct condensaatbeheer.

5.1 Werking warmtewisselaar

Condensaatbeheer start met het correct afvoeren van het condensaat afkomstig van warmtewisselaars. Naast warmtewisselaars zoals omschreven in hoofdstuk 4.1 kunnen dit ook autoclaven, papierwalsen, indampers, stoomtracing, etc. zijn. Deze wisselaars, apparaten en machines zijn overwegend voorzien van condenspotten.

Een condenspot heeft primair tot taak om geen **verzadigde stoom** door te laten naar het condensaat afvoer systeem!

De werking van de warmtewisselaar is tot nu toe omschreven bij vollast bedrijf. Bij deellast bedrijf zal, indien de warmtewisselaar te groot is gedimensioneerd, de verminderde stoom toevoer nog vroegtijdiger gaan condenseren en verdrinken, stuwen.

Bij een te klein ontworpen warmtewisselaar zal er echter bij deellast bedrijf wellicht niet vroegtijdig 'natte' stoom gevormd worden in de warmtewisselaar.

Afhankelijk van de temperatuur van het secundaire medium kan er stoomzijdig vacuüm optreden in de wisselaar indien de druk te laag wordt. We komen hier nog nader op terug.

Bij koude opstart van een proces waarbij de warmtewisselaar van druk af is geweest zal er door de grote stoomvraag veel condensaat gevormd worden, bij een lage druk. In het systeem is daarbij ook lucht aanwezig in zowel het primaire (stoom) systeem als in het secundaire (medium) systeem. Van belang hierbij is om deze systemen te ontluchten, op het hoogste punt gelegen van de installatie. Lucht is n.l. een isolator die overdracht van energie (warmte) ernstig belemmert. Stoomzijdig kan dit ontluchten ook in de condenspot plaats vinden mits deze daarvoor geschikt is of een voorziening hiervoor is ingebouwd. De lucht wordt dan door het condensaat eruit geduwd.

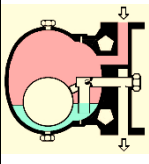
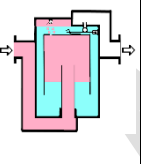
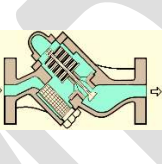
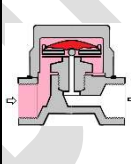
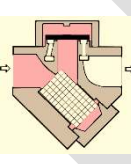
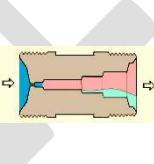
Is het proces op de gewenste temperatuur dan zal de druk in het systeem toenemen en de condensaat hoeveelheid verminderen. Tot slot zijn er ook condenspot uitvoeringen die het condensaat nadat de stoom zijn verdampingswarmte heeft afgegeven aan het proces het ontstane condensaat verder laten afkoelen in de wisselaar.

Zo genaamde condensaat nakoeling.

5.1.5 Overzicht eigenschappen condenspotten.

Afhankelijk van het soort proces kan een keuze gemaakt worden van het type condenspot. In **Tabel 5-1** is een overzicht samengesteld van de diverse condenspotten met daarbij een classificatie van hun eigenschappen.

Waarbij we willen aantekenen dat de universele condenspot die voor alle processen geschikt is niet bestaat.

						
	vlotter	klokvlotter	bimetaal	membraan	plaatklep	venturi
robuust	**	***	****	***	***	****
modulerend	****	-	-	-	-	***
ontluchter	*	*	****	***	**	***
waterslag bestand	*	***	****	***	***	****
isoleren	****	****	*	*	*	****
condensaat hoeveelheid	****	***	***	**	**	***
stoom doorslag bestendig	****	***	**	**	*	**
oververhitte stoom ¹	*	*	****	***	**	**
druk variatie	****	**	**	**	****	**

Tabel 5-1

Eigenschappen condenspotten

Bron: steamsave

*slecht **matig ***goed ****uitstekend¹ Bij toepassing van oververhitte stoom heeft de condenspot geen functie. Echter het stoomslot, indien aanwezig, kan dan gaan verdampen en de werking tijdens normaal bedrijf (verzadigde stoom) ondermijnen.

6.0 Inspectie stoom- en condensaatsystemen

In dit hoofdstuk besteden we aandacht aan het inspecteren van stoom- en condensaatsystemen. Inspectie van condenspotten wordt uitvoerig onder de loep genomen. Verder wordt de inspectie en keuring van stoomleidingen en -vaten opgesteld in NL als B(Vlaanderen) uitvoerig behandeld.

Ook de eerstmalige inbedrijfname van stoomleidingen en toestellen wordt behandeld. Tot slot worden de periodieke keuringen van stoomleidingen, vaten en warmtewisselaars onder de loep genomen.

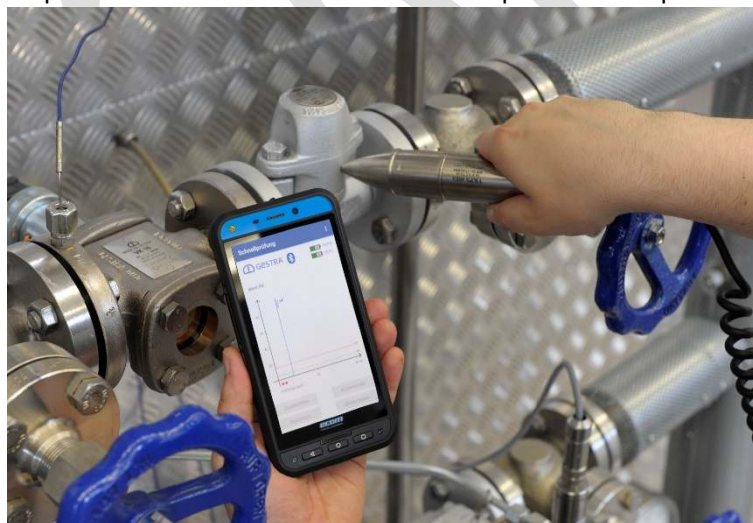
6.1 Inspectie condenspotten

Het is belangrijk om de juiste werking van de condenspotten te inspecteren. Een condenspot is in feite een regelaar waarvan de bewegende onderdelen onderhevig zijn aan slijtage.

Ook gebeurt het in de praktijk dat de verkeerde condenspot voor de toepassing is geïnstalleerd. Condenspotten die niet correct functioneren kunnen een behoorlijke kostenpost opleveren aan onnodig energieverbruik. Bij een gemiddeld productiebedrijf treft met al snel meer dan 100 condenspotten aan.

6.1.4.3 Geluidmeting

Het constateren of de pot verse stoom of flash stoom doorlaat kan met het meten van het geluidsspectrum plaats vinden en niet door middel van een temperatuurmeting. Er zijn verhalen bekend van mensen die met het handvat van een schroevendraaier aan het oor en de punt van diezelfde schroevendraaier op de condenspot kunnen bepalen of deze correct is



of aan het lekken is. Echter hier is naast veel ervaring ook kennis nodig van de verschillende geluidsfrequenties van de diverse condenspotten bij diverse drukken. Het verschil in geluid tussen verse en flash stoom is hierbij moeilijk te onderscheiden. Met een stethoscoop kunnen beter resultaten geboekt worden,

Afbeelding 6-3

Ultrasonie condenspotmeting

Bron: Gestra

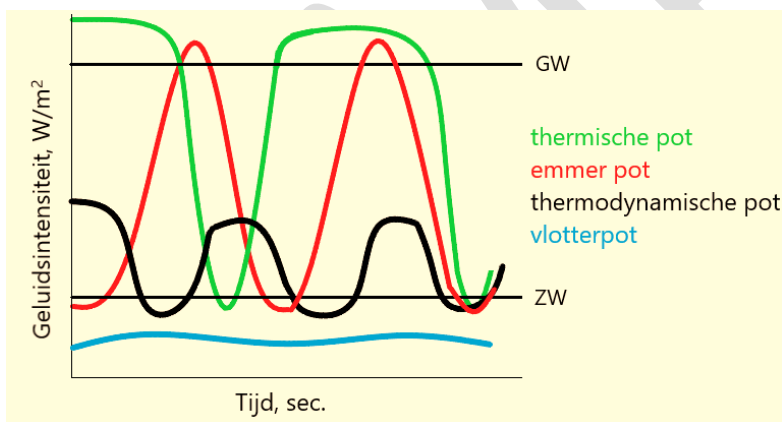
echter hierbij is eveneens veel ervaring en kennis voor nodig.

De beste techniek is om de inspectie met een ultrasoon meter uit te voeren die speciaal hiervoor in de handel te koop zijn. Zie **Afbeelding 6-3**.

Hierbij is het wel zaak om de gegevens van de condenspot zoals, doorlaat, fabricaat en type, druk voor en na de pot te kennen. Voor de eerste maal is dit best wel veel werk ook om de plaats van de condenspot bij de diverse apparatuur vast te leggen. Indien men de condenspotten waarmerkt met bijvoorbeeld een aangebrachte penning dan is het voor elke volgende meting slechts de condenspotten nalopen. In **Voorbeeld 6-4** is een voorbeeld te zien van de werking van de diverse condenspotten.

Hierin is duidelijk te zien dat de thermische pot (groene kleur) een wachttijd kent om de onderkoeling te bereiken van het condensaat. De emmer pot (rode kleur) iets sneller reageert, echter ook tijd nodig heeft om de emmer te vullen met condensaat. Het thermodynamisch potje (zwarte kleur) een onrustiger karakter heeft van open en sluiten van de plaatklep. De vlotter pot (blauwe kleur) continu aan het regelen is. Dit is daarom ook de moeilijkste pot om te testen.

Indien men bij de ultrasone meting tevens de temperatuur meet, ontstaat een compleet beeld over het al dan niet correct functioneren van de condenspot.



Afbeelding 6-4 Geluidsintensiteit condenspotten

Bron: steamsave

7.0 Stoomtoepassingen

Stoom kent veel toepassingen. In het begin van de vorige eeuw werd stoom veelal toegepast voor het aandrijven van werktuigen zoals machines, pompen en locomotieven. Heden ten dage vindt dat alleen nog maar toepassing voor aandrijving van stoomturbines bij de opwekking van elektriciteit in centrales.

Voor het merendeel wordt stoom gebruikt voor verwarmings- en droog- en reinigingsprocessen en voor het transformeren van processen in de (petro)chemie.

Voor het verwarmen, drogen en reinigingen wordt veelal middeldruk verzadigde stoom tot een druk van 20 barg aangewend, terwijl voor de elektriciteitsproductie oververhitte hogedruk stoom wordt toegepast met een hoge druk.

We zullen een aantal veel voorkomende processen beschrijven waar stoom aan te pas komt. Tevens met specifieke aandachtspunten behorende bij deze processen.

7.1 Voedingsmiddelenindustrie.

Hierbij wordt stoom toegepast voor het koken, pasteuriseren, fermenteren, blancheren, thermiseren en vacumeren en steriliseren van voedings- en genotmiddelen. Dit vindt plaats in ketels, autoclaven, vaten, productlijnen, walsen, etc.

7.1.1 Conserveren van levensmiddelen.

Na de oogst van bijvoorbeeld groenten en peulvruchten, worden deze gewassen, gesorteerd en vervolgens geblancheerd. Dit is kort koken in ketels in water op een temperatuur van 100°C met stoomverwarming. Vervolgens worden de producten in glazen potten gedaan, deksel erop met de afdichting en dan met kookvocht en water en in weckketels geplaatst. Hierin wordt stoom ingebracht en op een temperatuur van ca. 120°C op stoomdruk gehouden. Na dit proces worden de potten uit de ketel gedaan om af te koelen. Tijdens dit proces wordt de stoom in de glazen pot door afkoeling weer condensaat en wordt er een vacuüm getrokken.

Hierna noemen we het conserveren die meerdere jaren houdbaar zijn. I.p.v. glazen potten kunnen conserven ook in blik(groenten) op deze wijze bewaard worden.

Hierbij wordt stoom dus toegepast voor te steriliseren (doden bacteriën en bacillen), blancheren en het maken van een vacuüm.

7.2 Droogprocessen

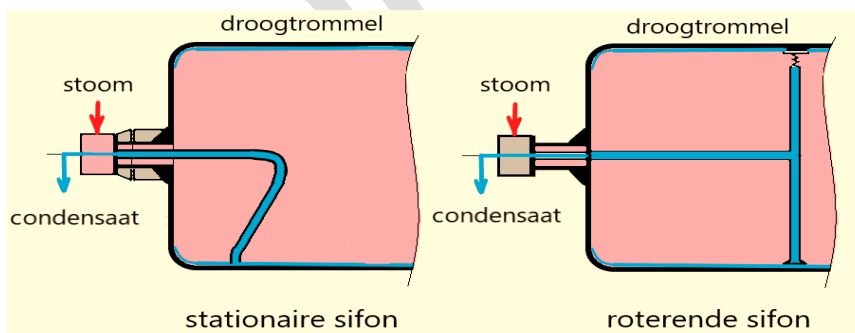
Hierbij wordt stoom veelal toegepast voor het verdampen van water uit producten. Dit kan met droogtrommels voor de fabricage van papier echter ook met indam installaties voor de bereiding van zuivelproducten en maken van drinkwater.



Afbeelding 7-2 Papiermachine Bron:

7.2.1 Papierfabricage

Dit vindt plaats op walsrollen. Men noemt deze walspartijen ook wel roterende warmtewisselaars. Deze worden gebruikt om het water uit vezels van papier, textiel en garens eruit te verwijderen. Papier bijvoorbeeld bestaat voor meer dan 99% uit water en pulp of oud papier. Het water wordt eerst op een zeefdoek d.m.v. lucht en vacuüm eruit verwijderd tot een vaste stofgehalte van circa 20%. In de perspartij wordt het doorgevoerd op meerdere walsen tot een vast stofgehalte van ongeveer 50%. Vervolgens wordt in de droogpartij met stoomgevoedde holle cilinders (droogtrommels) het resterende water eruit verdampt. Zie **Afbeelding 7-2**. De waterdamp die hierbij ontstaat wordt in een droogkap opgevangen en met in temperatuur verhoogde omgevingslucht afgevoerd naar buiten. De stoom die met een begindruk van circa 16 barg start in de droogtrommels wordt met behulp van een reduceer installaties bij de diverse walsrollen in druk verlaagt. Hierbij is een onderscheid te maken in stilstaande en roterende met de droogtrommel mee bewegende sifons. **Afbeelding 7-4** geeft een tweetal voorbeelden hiervan. In alle gevallen is het zaak dat het condensaat via de astap van de trommel verdwijnt. Bij een roterende sifon zorgt de doorblaasstoom hiervoor, terwijl bij de stilstaande sifon er een drukverschil wordt gecreëerd in de voet van de sifon hetgeen zich vertaalt in een snelheidstoename van het condensaat. (Wet van Bernoulli).



Afbeelding 7-4

sifon in droogtrommels

8.0 Appendages en instrumentatie

Bij stoomtoepassingen zijn er bij leidingen, warmtewisselaars en vaten een groot scala van appendages en instrumenten noodzakelijk. Enerzijds om processen te regelen en anderzijds om deze te monitoren.

In dit hoofdstuk zullen we de algemene meet- en regelcomponenten behandelen zonder hierbij diep in te gaan op de processen met hun eigen specifieke appendages en instrumenten.

Aandacht zal besteed worden aan het meten en regelen van drukken, temperaturen, debieten, geleidbaarheid en condensaat kwaliteit bewaking.

8.1 Meetapparatuur

Om ervoor te zorgen dat de stoomtoepassing optimaal verloopt zijn er metingen aan het proces noodzakelijk. Deze geven inzicht in:

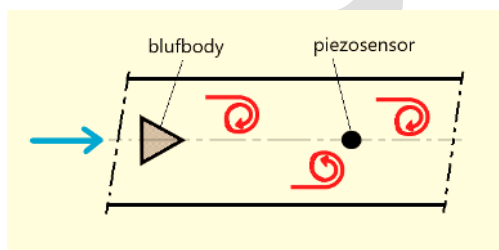
- Verbruiken aan water, stoomdebiet, etc.;
- Monitoring van bepaalde proces grootheden zoals druk, temperatuur, geleidbaarheid, enz.;
- Analyseren van toestandsgrootheden en storingsanalyse;
- Procesbewaking.

8.1.3.3 Wervel-debietmeters

Wervel-debietmeters zijn in twee uitvoeringen beschikbaar. Namelijk als Vortex en als Swirl debietmeter.

Vortex debietmeters maken gebruik van wervelingen die door een obstructie stroomafwaarts

in een stromend medium ontstaan. Deze meters die zijn gebaseerd op de Von Kármán wervelstraat, genoemd naar zijn ontdekker, kan het beste voorgesteld worden door de wervelingen die optreden achter een brugpijler in een snelstromende rivier. De obstructie in deze meter is een kegelvormig voorwerp dat in de meetbuis wordt geplaatst, een zgn. 'blufbody'. Zie



Afbeelding 8-13

Werking

Vortex

Bron: steamsave

Afbeelding 8-13. De frequentie van deze wervelingen zijn recht evenredig met de stromingssnelheid. Deze veroorzaken lokale positieve dan wel negatieve drukken die door een piëzosensor wordt gedetecteerd en door elektronica wordt vertaald in een 4-20mA overdracht signaal.

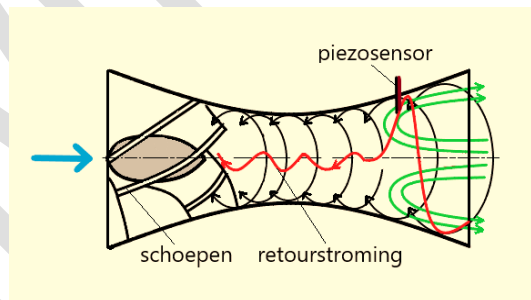
De Vortex flowmeter vereist een homogeen en turbulent ($Re > 2100$) stromingsprofiel. Hiertoe moet er vóór en ná de meter in stromingsrichting gezien een rechte leidinglengte zijn van 15D resp. 5D. Tevens, om de leidingsnelheid (lees turbulentie) te verhogen, moet deze in de meeste gevallen in diameter kleiner zijn dan de hoofdleiding.

Dit laatste vermindert tevens de aanschaffkosten van de meter.

Swirl debietmeters, ook wel bekend onder de naam Drall, maken gebruik van een stuulement in de inlaat die de axiale stroming van het medium veranderen in een draaiende spiraalvormige beweging. In het hart ontstaat een wervelkern, die door een plaatselijke onderdruk middels een retourstroming tot een spiraalvormige secundaire draaiing wordt gedwongen. Zie **Afbeelding 8-14**. De frequentie hiervan is recht evenredig met het debiet en is lineair over een groot meetbereik. Deze frequentie wordt door een piëzosensor gemeten en verder omgezet in de meetomvormer tot een 4-20mA overdrachtssignaal. In de natuur ontstaat deze werveling bij een windhoos of tornado. In het hart van de tornado ontstaat een onderdruk met desastreuze gevolgen. Het voordeel t.o.v. de Vortex



Afbeelding 8-15 Swirl flowmeter Bron: ABB



Afbeelding 8-14

Werking swirl

Bron: steamsave

meter is dat de Swirl debietmeter zijn eigen stromingsprofiel vormt en niet zozeer afhankelijk is van het stromingsprofiel vóór en ná de meter.

Er is slechts een recht leiding stuk vereist van 3D ervoor en 1D na de meter. Zie **Afbeelding 8-15** voor een Swirl flowmeter.

9.0 Regelingen

In dit hoofdstuk behandelen wij de regelingen die van toepassing (kunnen) zijn bij de toepassing van stoominstallaties. Hiervan uitgezonderd de stoomopwekking.

Bij condensaat systemen voor het opslaan van condensaat en het bewaken van de kwaliteit hiervan zal aandacht aanbesteed worden. Bij condensaat systemen kunnen we denken aan opslagtanks, pompen en kwaliteitsbewaking van het condensaat.

Voor meer diepgang hebben we de pomp theorie in schuinschrift geplaatst

Bij regelingen van stoomsystemen kunnen we denken aan reduceer installaties voor het regelen en onderhouden van stoomdrukken, echter ook het regelen van oververhitte stoomtemperaturen.

9.1.4.3 Condensaatafvoer stagnatie

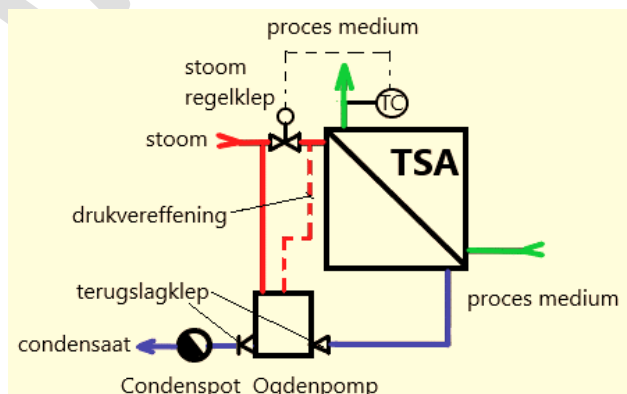
Indien er in warmtewisselaars stoomzijdig een vacuüm optreedt dan zal er geen positieve stoomdruk zijn om het condensaat via de condenspot af te voeren. Dit vacuüm kan optreden bij het verwarmen van produktstromen waarbij met name bij deellast bedrijf de stoomdruk onder de 1 bar dus in het vacuümgebied terecht komt. Dit kan optreden bij het verwarmen van produktstromen in het lage temperatuurbereik en dan met name bij deellastgebieden. Bijvoorbeeld bij weersafhankelijke regelingen van een verwarmingssysteem.

Ook kan het voorkomen dat er teveel condensaat tegedrukt in het systeem optreedt omdat het condensaat omhoog gedrukt moet worden naar hoger liggende condensaatleidingen.

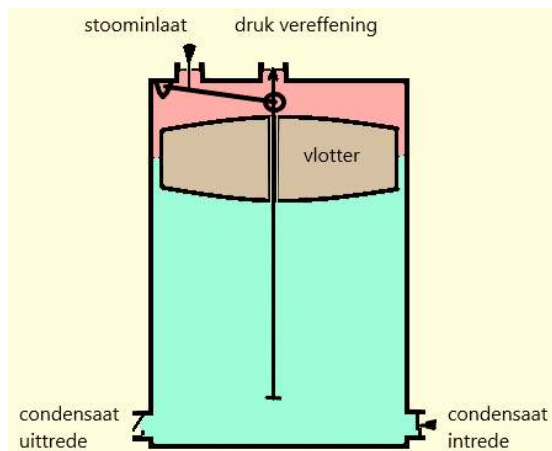
Om toch het condensaat te kunnen afvoeren kan er een condensaatpomp voor worden toegepast.

In **Afbeelding 9-13** is de werking van een zgn. Ogden condensaatpomp afgebeeld. Deze bestaat uit een pomphuis waarin zich een vlotter met een nauwe speling bevindt. Deze vlotter wordt gecentreerd over een glijtang. De in- en uitrede van de condensaat aansluitingen zijn voorzien van terugslagkleppen. De pomp moet aangesloten worden zoals in

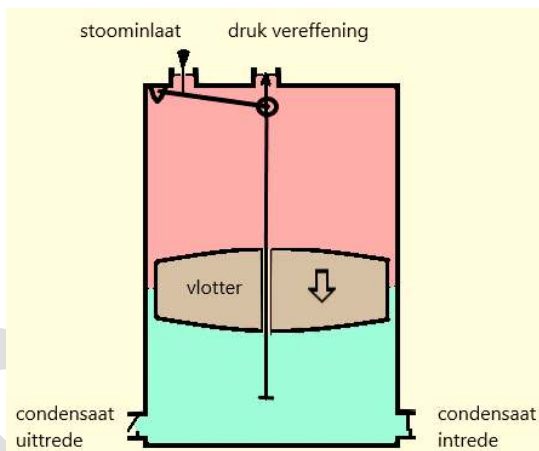
Afbeelding 9-14 is afgebeeld.



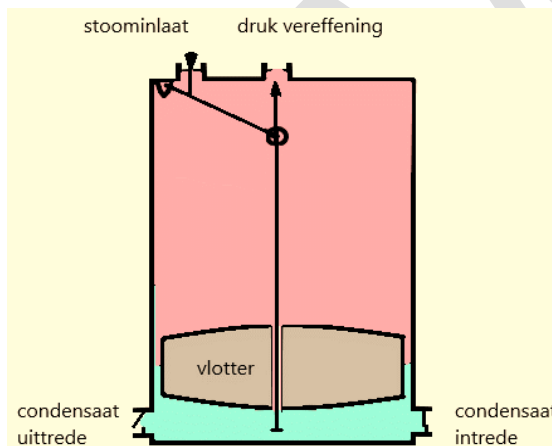
Afbeelding 9-14 Schema condensaatpomp Bron: steamsave



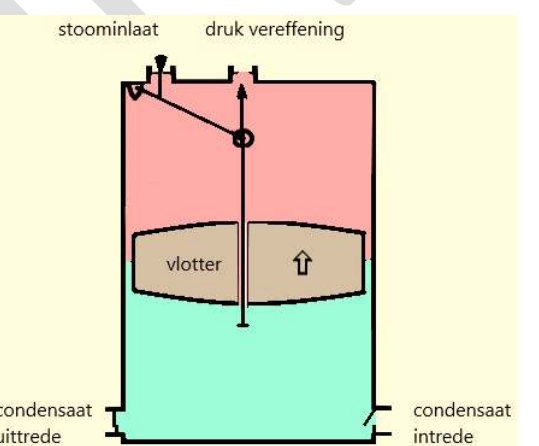
A



B



C



D

Afbeelding 9-13

Werking condensaatpomp

Bron: steamsave

10.0 Onderhoud stoominstallaties

De stoomtoestellen zoals stoom- en condensaatleidingen, warmtewisselaars, vaten zoals autoclaven en condensaat tanks, appendages, etc. hebben toezicht en onderhoud nodig.

Toestellen opgesteld in zowel NL als B(Vlaanderen) moeten een periodieke inspectie ondergaan. Vaak is dit te combineren met onderhoud indien de installatie buiten bedrijf is.

Voor inspectie en onderhoud zijn er specifieke ND (Niet Destructieve) inspectie technieken.

Leidingen en vaten kunnen onderhevig zijn aan corrosie. Met name aan de condensaatzijde zijn speciale maatregelen hiervoor te nemen.

Tot slot zullen er reparaties en zgn. 'supportscans' voor transportleidingen besproken worden.

10.2.3 Erosie corrosie

Dit is een vorm van corrosie die in condensaat systemen en dan met name in leidingen optreedt indien het condensaat agressief is en een (te) hoge snelheid bezit. Dit geeft in te krappe bochten, oneffenheden in de leidingen en te kleine diameters aantasting van gevormde corrosieproducten.

Deze corrosieproducten waaronder magnetietlagen beschermen het onderliggende staal tegen verdere aantasting.



Afbeelding 10-4 Erosie corrosie Bron: Studiekern corrosie

Bij het ontbreken hiervan wordt het materiaal aangetast als het ware weggerukt door het agressieve condensaat dat een hoge snelheid heeft.

Erosiecorrosie kan op de volgende manieren worden voorkomen of vermindert:

- Ontwerp het condensaatstelsel dusdanig dat er geen hoge snelheden in optreden. Zie voor de bepaling van de leidingdiameter Hoofdstuk 2.2. Het blijkt dat het ontspanningsstoom volume hierbij maatgevend is.
- Passen leidingbochten met een grote buigstraal toe van 5D. Zie ook Tabel 2-4.
- Gebruik geen koperen leidingen maar bij voorkeur roestvaststaal toe. Dit materiaal, min. AISI 316, is taaier dan koolstofstaal en er zal dan ook geen erosie corrosie ontstaan.

10.2.6 Cavitatie

Dit is weliswaar geen corrosie, echter hierbij wordt hetzelfde als bij corrosie, materiaal aangetast.

Dit komt door de implosie van een dampbel in een condensaatdruppel. Hierbij vindt er een enorme volume verkleining plaats die zich in een fractie van een seconde afspeelt. De vergelijking van een voetbal(dampbel) naar een knikker(condensaatdruppel) wat overeenkomt met een volume verkleining van circa 1600.



De omgeving waar de dampbel was wordt door het condensaat onmiddellijk opgevuld. Dit gaat met hevige tikken en slagen gepaard. Het materiaal in de omgeving hiervan wordt als het ware weggerukt.

Cavitatie die in leidingen kan optreden is een hoog schel geluid als ware het dat er iemand met een hamer in de leiding aan het slaan is. Vandaar de engelse benaming 'waterhammer'. In stoomleidingen kan dit optreden bij het opstarten van koude leidingen, waarbij

zich door afkoeling onmiddellijk condensaat vormt.

Bij condensaatleidingen indien hogedruk en lagedruk condensaat op dezelfde hoofdcondensaatleiding zijn aangesloten.

Het kan ook voorkomen bij pompwaaiers. Hierbij is dit vaak hoorbaar door een ratelend geluid.

Cavitatie kan voorkomen door:

- Hoge en lagedruk condensaat gescheiden afvoer
- Hogedruk condensaat laten expanderen in flashtanks
- Condenspotten met regelmaat (laten)inspecteren op stoomdoorslag
- Zakken in stoom- en condensaatleidingen vermijden
- Correcte ontwatering toepassen van stoomleidingen
- Bij pompen voldoende druk op de zuigflens van de pomp handhaven (NPSH). Condensaattank op hoogte plaatsen.
- Bij het op druk zetten van stoomleidingen deze langzaam op temperatuur te brengen.



Jan Koopmans is sinds jaren actief op het brede terrein van energieopwekking met toepassing van stoom als middelpunt. Hij is achtereenvolgens werkzaam geweest bij leveranciers en fabrikanten van stoomketels bij

Standard Fasel, Hagoort en ECO Ketelservice. In de functie van verkoop, engineering en projectmanagement voor ketelhuizen in binnen- en buitenland. Ook als adviseur voor stoomapplicaties bij Krachtwerktuigen, KWA, KW2 en Bureau Veritas. Vanaf 2010 geeft hij training aan ketelhuisoperators voor de opleiding tot Vakbekwaam Persoon Ketelinstallaties (VPS) georganiseerd door het Stoomplatform. Sinds 2019 heeft hij een eigen adviesbureau: steamsave.

