

Stoomketels en stoomgeneratoren, de kenmerken

Door Hermen Bollemaat (TKT)

Inhoud

- Stoom
- Voordelen/nadelen stoom
- Druk en temperatuur
- Stoomgebruikers
- Opwekking
 - Stoomketel
 - Stoomgenerator
 - Tussenvorm

Stoom

- Verdampft water
- Drie soorten:
 - Natte stoom
 - Verzadigde stoom
 - Oververhitte stoom
- Druk bepaalt de temperatuur



Stoom

- In de stomerij: vaak verzadigde stoom
- Natte stoom: teveel waterdeeltjes
 - Erosie van de leidingen
 - Beschadiging van textiel
- Oververhitte stoom:
 - Zou nog minder beschadiging geven
 - weinig gebruik van gemaakt, vanwege energieverbruik

Voordelen stoom

- Goede temperatuurcontrole
- Snelle warmte-overdracht
- Eenvoudig te transporteren
- Diverse toepassingen
 - Temperatuur/Energie
 - Mechanische werking
 - Bevochtiging

Nadelen stoom

- Conversie-verliezen
- Transport-verliezen
- Groot volume

Stoomgebruikers

- Reinigingsmachine:
 - Verwarmen drooglucht
 - Destileer:
 - Verhitten
 - Regenereren
- Wasmachine:
 - Verwarmen drooglucht
 - Directe injectie van stoom (kookwas)
- Nabehandeling contactwater
- Finishingapparatuur
- Detacheertafel
- Stoomketel: verdrijven O₂ en CO₂ uit ketelwater

Temperatuur

- Destileer:
 - Kookpunt PER: 121°C
 - PER ontleedt bij 145°C
 - KW (onder vacuum): 125-145°C
- Drooglucht: $\pm 60-70^{\circ}\text{C}$ (Stoomregister hoger)
- Nabehandeling contactwater: hoog
- Finishingapparatuur:
- Detacheertafel:
- Stoomketel: hoog



110

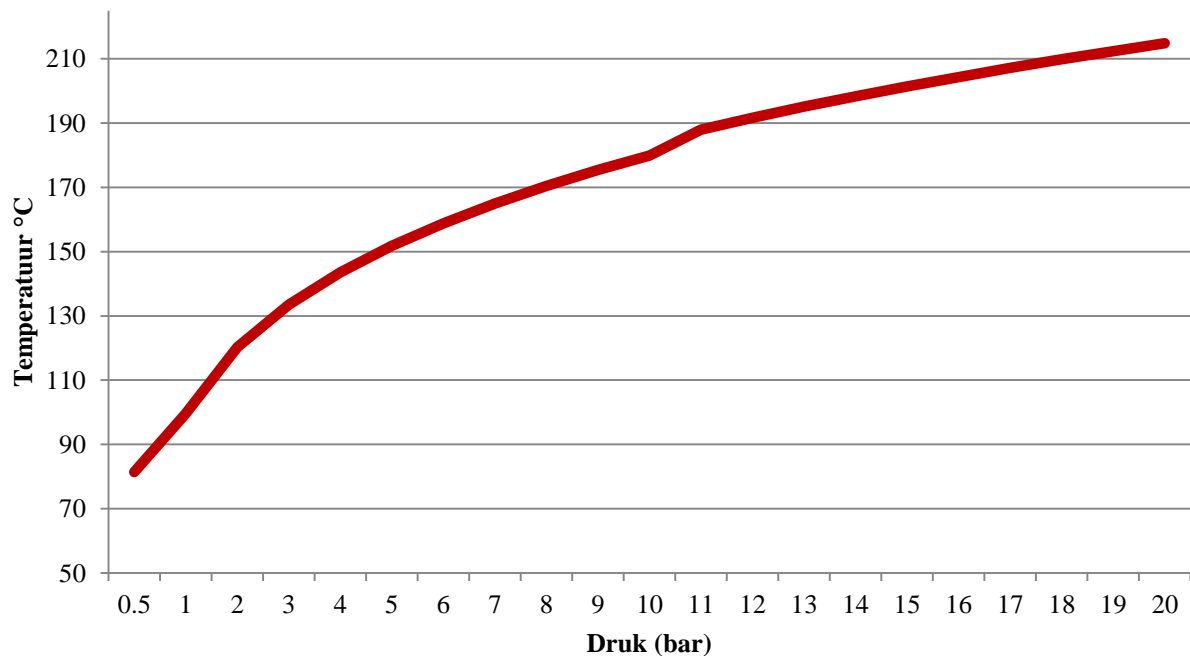


150



200 °C

Druk



Druk (bar)	Temperatuur (°C)
0.5	81.4
1	99.6
2	120.2
3	133.5
4	143.6
5	151.8
6	158.8
7	165.0
8	170.4
9	175.4
10	179.9
15	198.3
20	212.4

Bron:

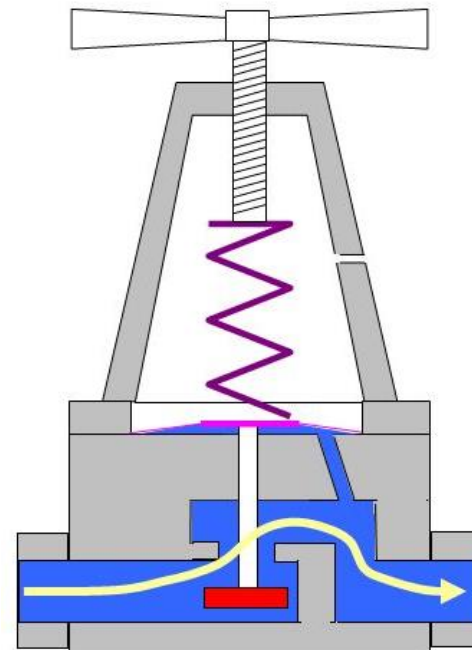
<http://www.stoommachine.info/tabel.html>

Reduceer

- Diversiteit aan stoomgebruikers
- Diversiteit aan vereiste druk/temperatuur

Oplossing:

- Reduceerventielen

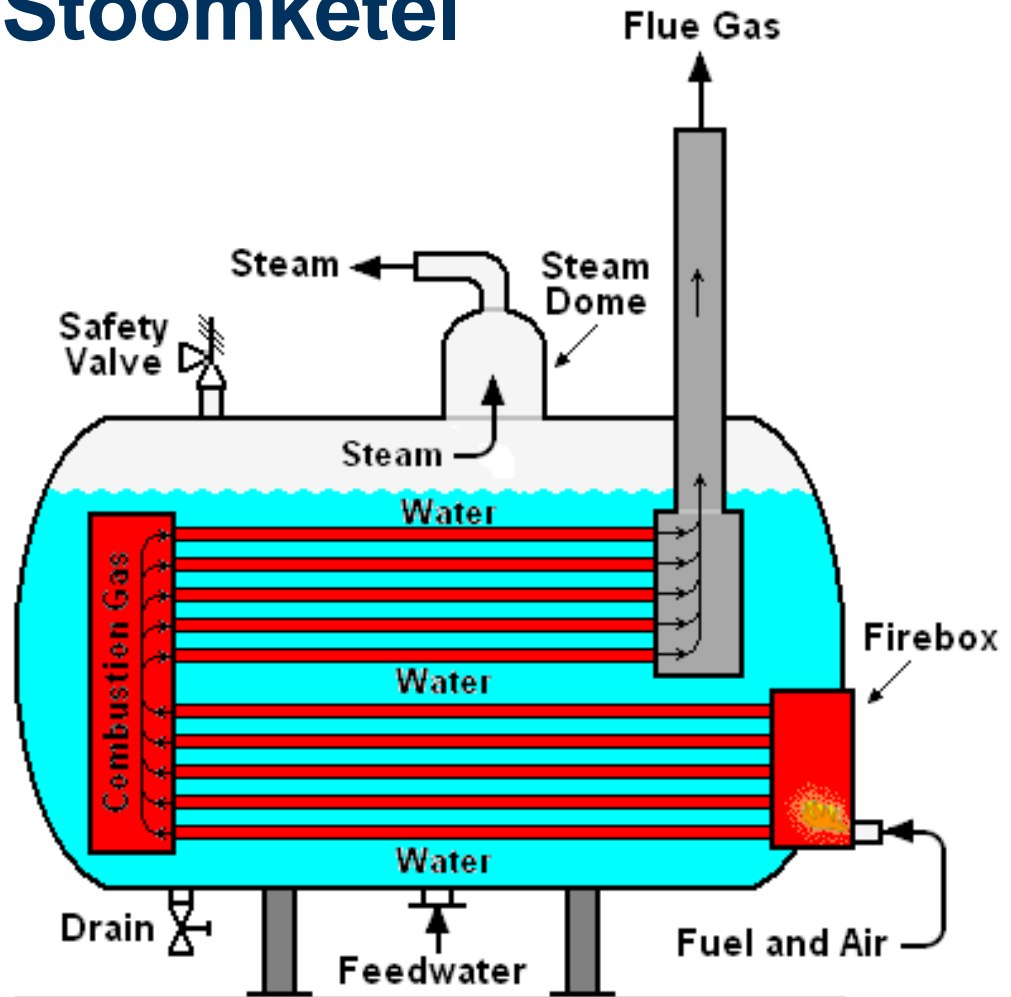


Stoomopwekking

- Stoomketel
- Stoomgenerator
- Tussenvorm

Stoomketel

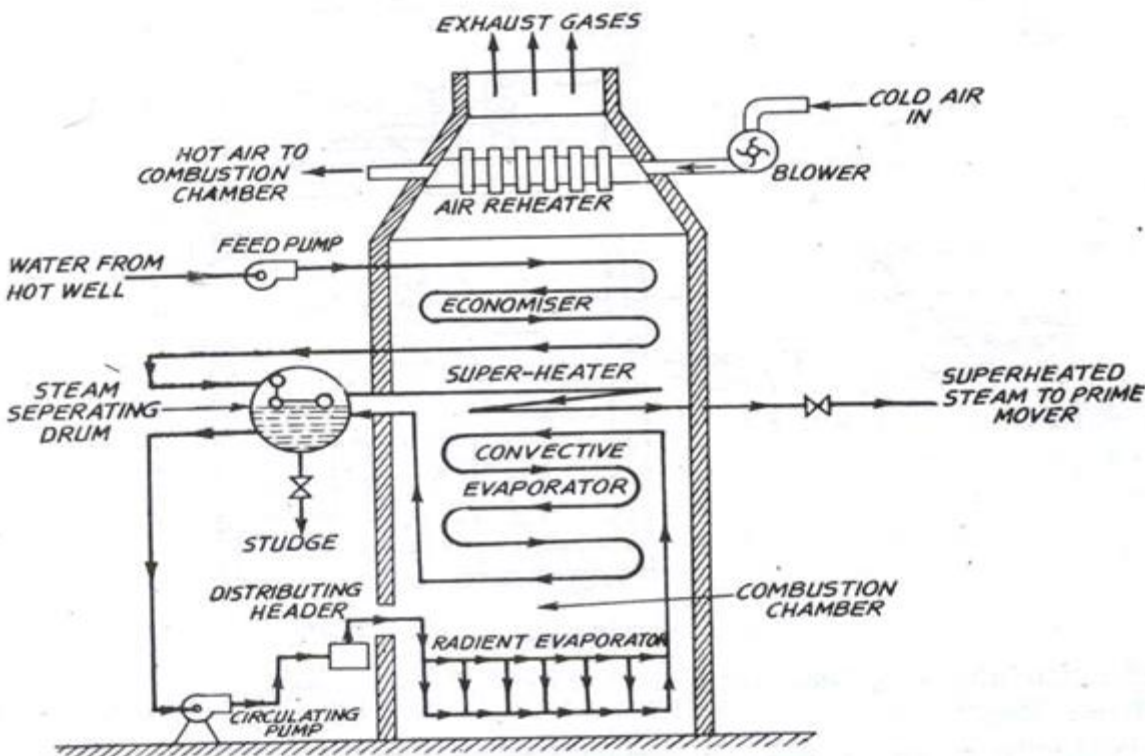
- Eentreks
- Tweetreks
- Drietreks



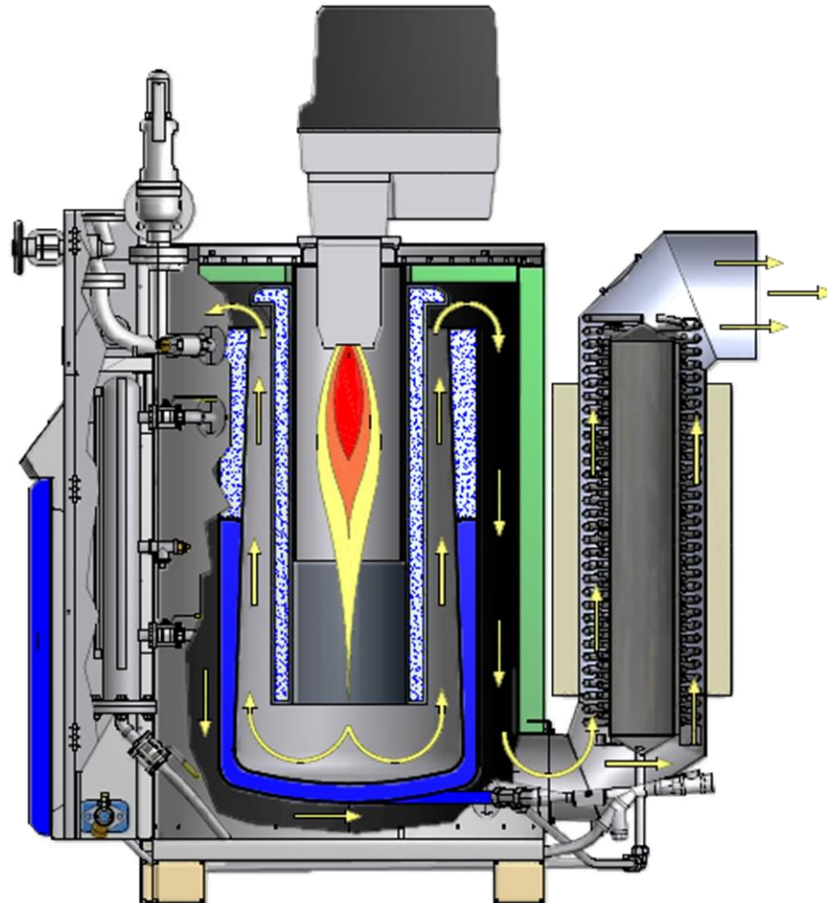
Stoomketel



Stoomgenerator



Tussenvorm van Jumag



Waterkwaliteit

- Onthard
- pH-controle (9-9,5)
- Lage geleidbaarheid
- Zuurstofgehalte

Van belang bij alle methoden, maar vooral bij generator en de tussenvorm.

Stoom

Door Johan Mourits (RHDHV)

- Inleiding
- Opwekking (en gebruik)
- Stoom en condensaat transport systemen
- Corrosie

Stoom en haar toepassingen

Toepassingen

- Levering van proceswarmte
- Opwekken van elektriciteit
- Spoel- en wasdoeleinden in de voedings- en genotmiddelenindustrie
- Sterilisatieprocessen (b.v. levensmiddelen)
- Droogprocessen in de voedings- en genotmiddelenindustrie

Eigenschappen

- Grote warmtecapaciteit \Rightarrow warmtetransport
- Warmteafgifte bij condensatie bij constante temperatuur
- Combinatiemogelijkheden warmte/kracht

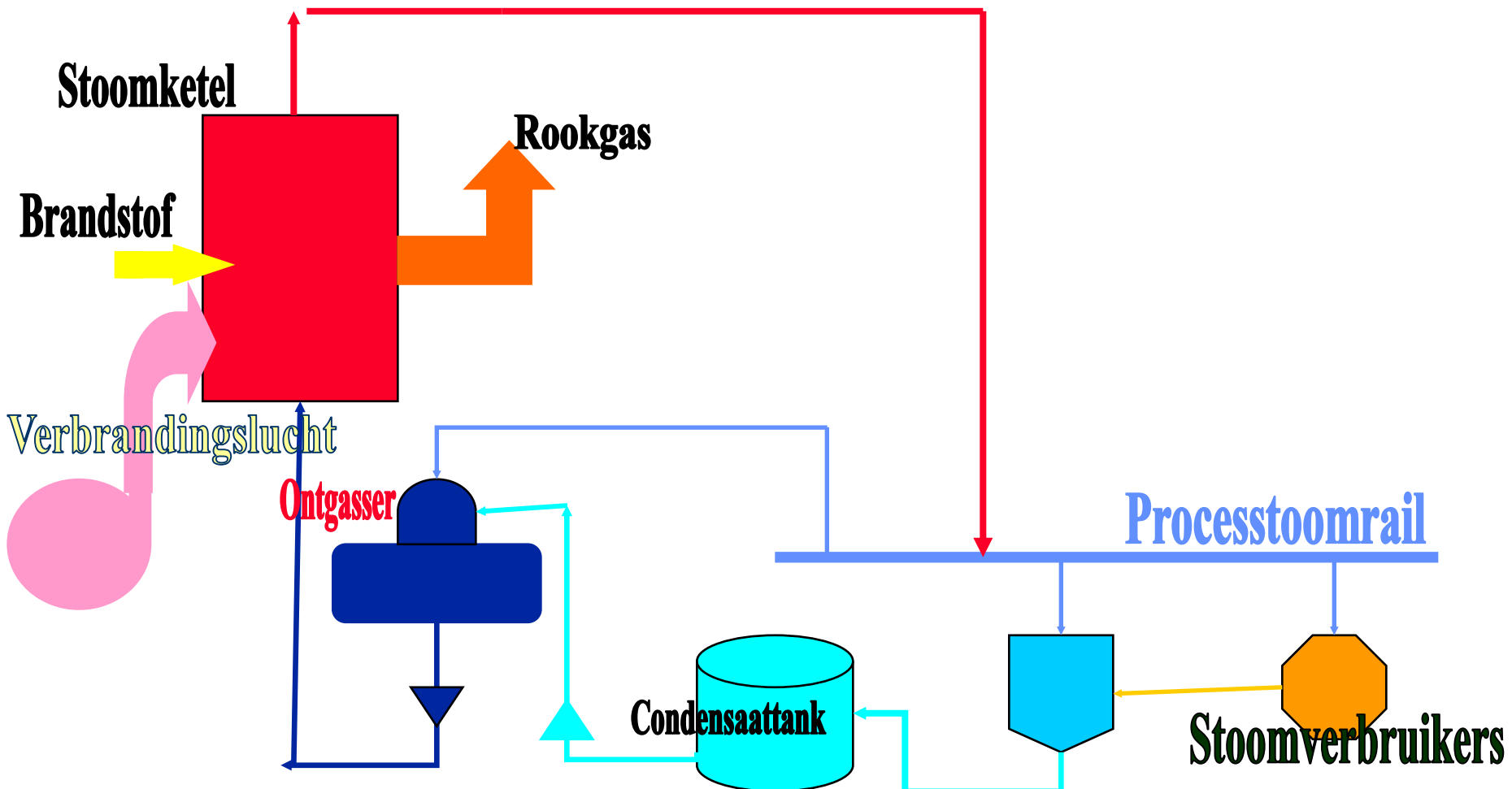
Processtoom

- Veel voorkomend:
 - 10 tot 20 bar verzadigd voor procestemperaturen van 180 tot 210 °C
 - hogere drukken ten behoeve:
 - electriciteits opwekking
 - chemische processen
- Voorbeeld:
 - Papierfabriek
 - 3 ketels (waterpijp) 120 ton/uur en 450 oC
 - 1 aftap/condensatie turbine (20 MW)
 - Kalkzandsteenfabriek
 - 2 ketels (vuurgang/vlampijp) van 4 ton/uur en 18 bar

Stoom: vraag en aanbod

- Vraag wordt bepaald door proces
 - Hoeveelheid
 - Druk
 - Temperatuur (verzadigd of oververhit)
 - Bedrijfstijd
 - Condensaat aanmaak/retour
- Aanbod via stoomketel
 - Vuurgang/vlampijp
 - Waterpijp
 - Natuurlijke circulatie
 - Geforceerde circulatie

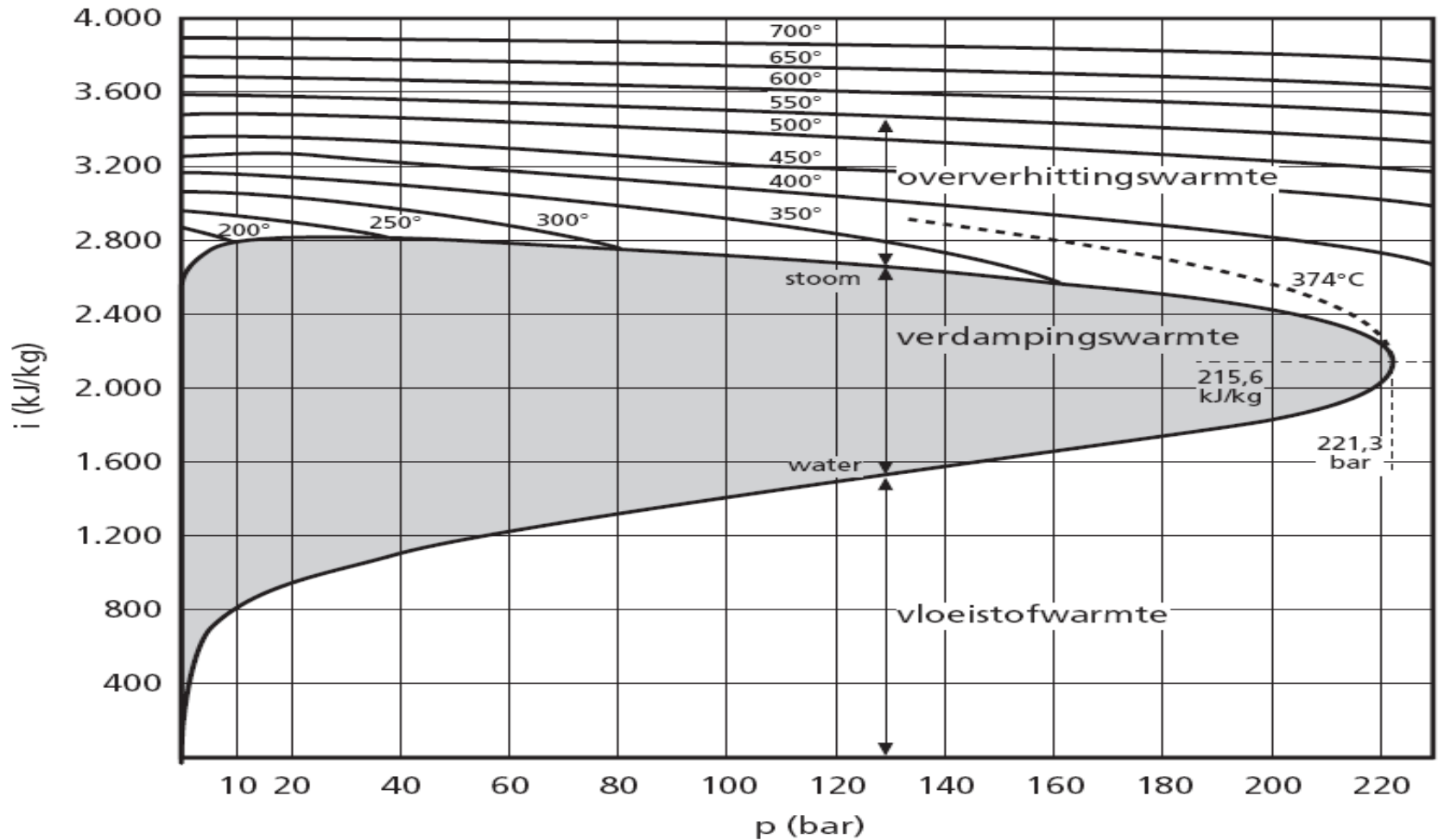
Industrieel stoomsysteem



Verplichte appendages aan ketels

- – een stoomafsluiter
- – een voedingwaterafsluiter
- – een spuiafsluiter
- – één of meer veiligheidskleppen
- – één of meer peilglastoestellen
- – een manometer (of thermometer)
- – een laagwaterbeveiliging
- – een voedinginrichting

Van water naar stoom



Figuur 1. h - p diagram voor stoom en water.

Stoomkwaliteit cilindrische ketels < 0,1 % ketelwater

Verstoringsfactoren :

- mechanische oorzaken;
- bedrijfsvoering;
- ketelwaterkwaliteit;
- systeemdruk.

Mogelijke 'verontreinigingen' water

- zwevende deeltjes en slib;
- zouten;
- (overige) mineralen als silicaat (kieselzuur);
- ijzer, mangaan;
- gassen;
- bacteriën, algen en schimmels;
- organische stoffen als humuszuren.

Voorbehandeling Suppletiewater

Voorbehandeling suppletiewater	Leiding- water	Grond- water	Oppervlakte- water
Ontijzeren/ontmanganen		X	
Slibverwijdering/filtratie			X
Verwijderen microbiologische groei			X

Waterbehandelingsstap	Cilindrisch (< 30 bar)	Waterpijp (30 - 60bar)	Waterpijp (> 60 bar)
Suppletiewater			
Ontharden	X	X	
Decarbonateren	(X)	(X)	
Ontzouten (demi of omgekeerde osmose)	(X)	[X]	X
Voedingswater			
Ontgassen	[X]	X	X
Retourcondensaat			
Ontzouten		(X)	X
Filtreren		(X)	X
Doseren chemicaliën			
Zuurstofbinding voedingswater	[X]	[X]	(X)
Bestrijding afzetting in ketel	X	[X] ¹⁾	(X)
Bescherming condensaatstelsel	(X)	[X]	[X]
Alkalisering voeding-/ketelwater	(X)	[X] ¹⁾	X

X : Wordt (vrijwel) altijd uitgevoerd

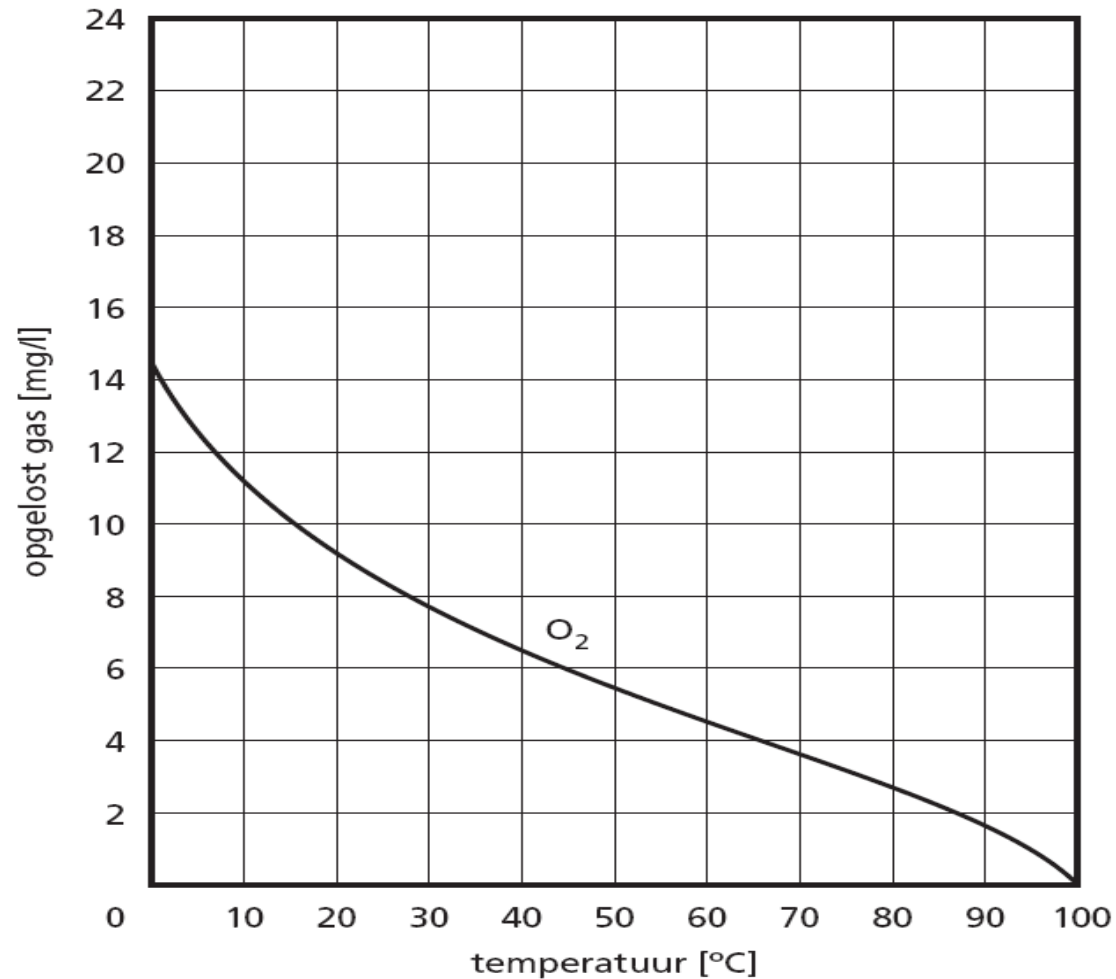
(X) : Wordt meestal niet uitgevoerd

[X] : Wordt meestal wel uitgevoerd

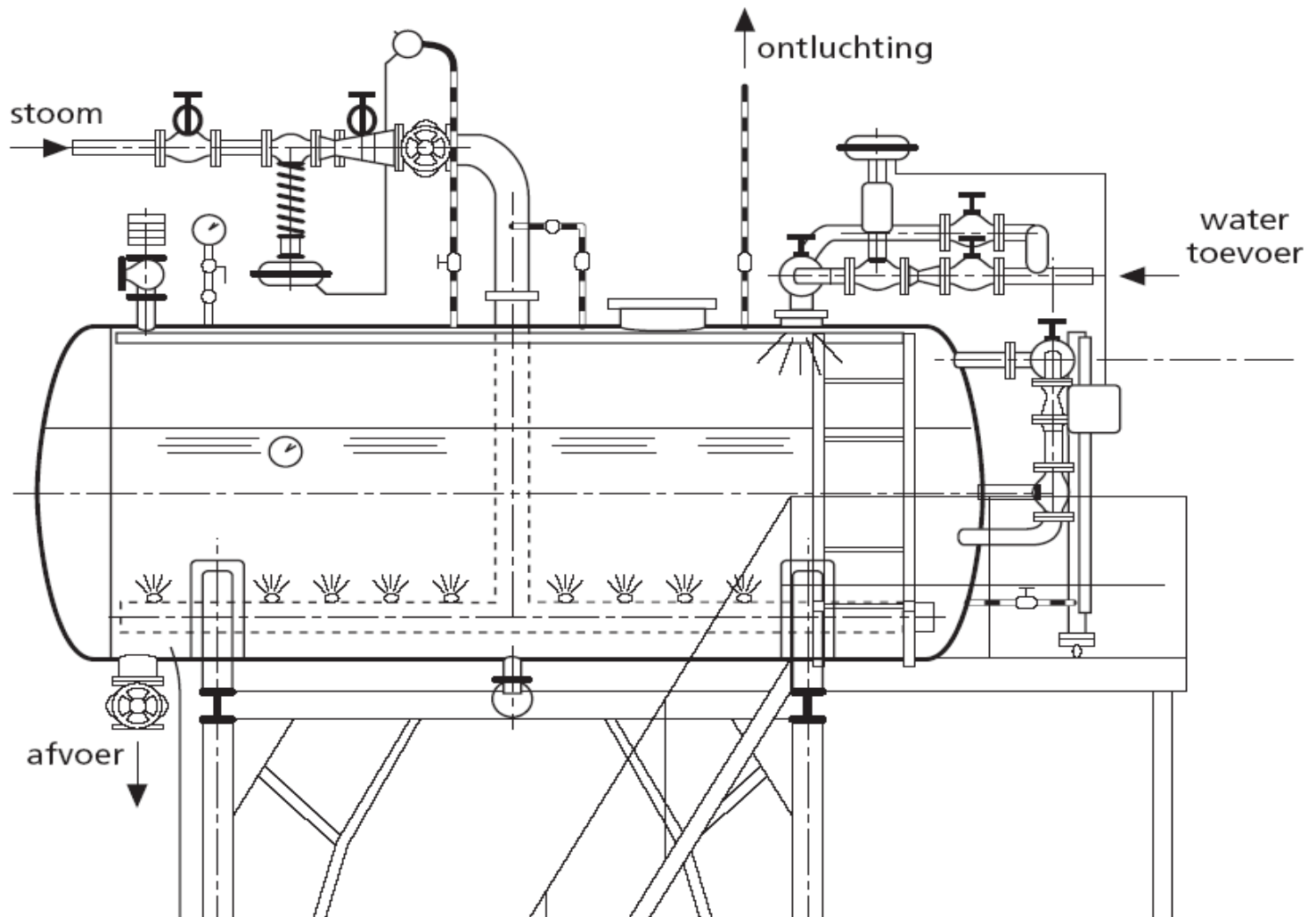
Tabel 1. Richtlijnen zuurstofgehalte ketelvoedingwater

Cilindrische ketel		Waterpijpketel
>0,5 – 20 bar	>20 – 30 bar	alle drukken
<0,02 mg/l	<0,02 mg/l	<0,05 mg/l

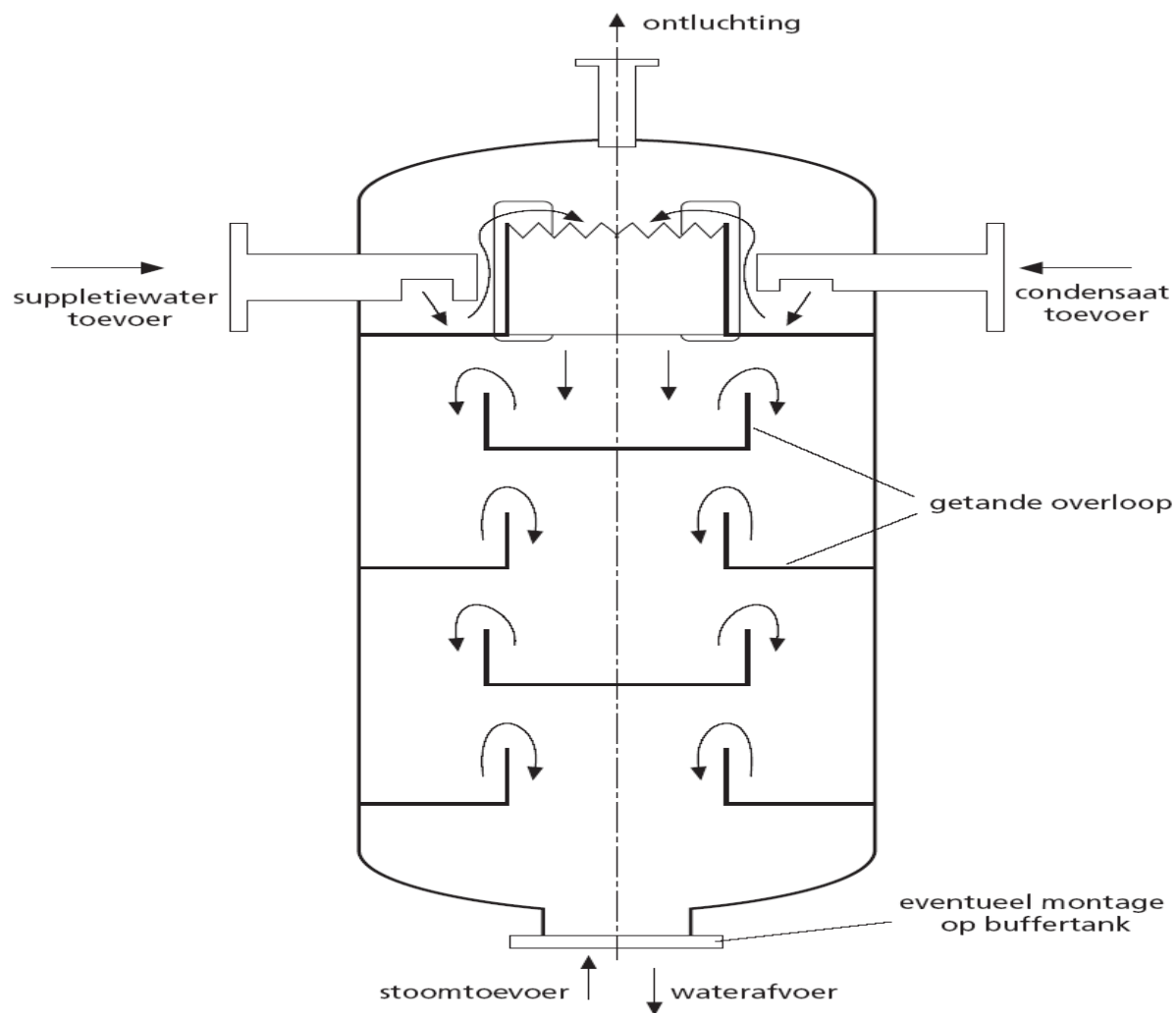
Zuurstof in water



Sproei ontgasser



Cascade ontgasser



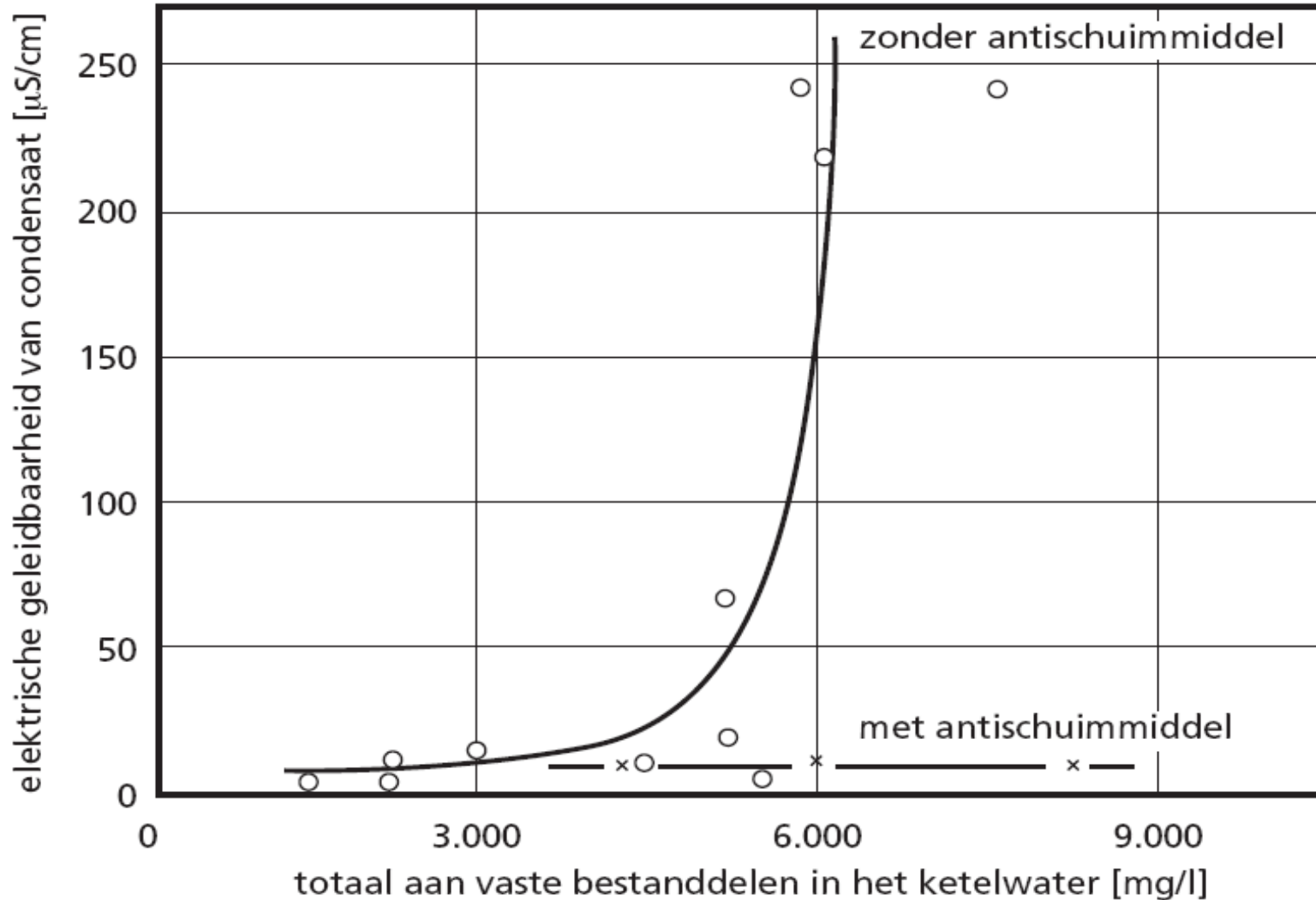
Figuur 6. Cascade ontgasser.

Ketel spui is afhankelijk van :

- ketelconstructie;**
- overige equipment, als stoomturbine, economiser, oververhitter**
- voedingwaterkwaliteit;**
- stoomverbruik;**
- stoomdruk.**

Bij cilindrische ketels, die met onthard water worden gevoed, zal afhankelijk van de ingenomen leiding- of grondwaterkwaliteit 3 – 25% ten opzichte van de suppletiehoeveelheid dienen te worden weggespuid.

Schuimvorming in de ketel



Pijpleidingen

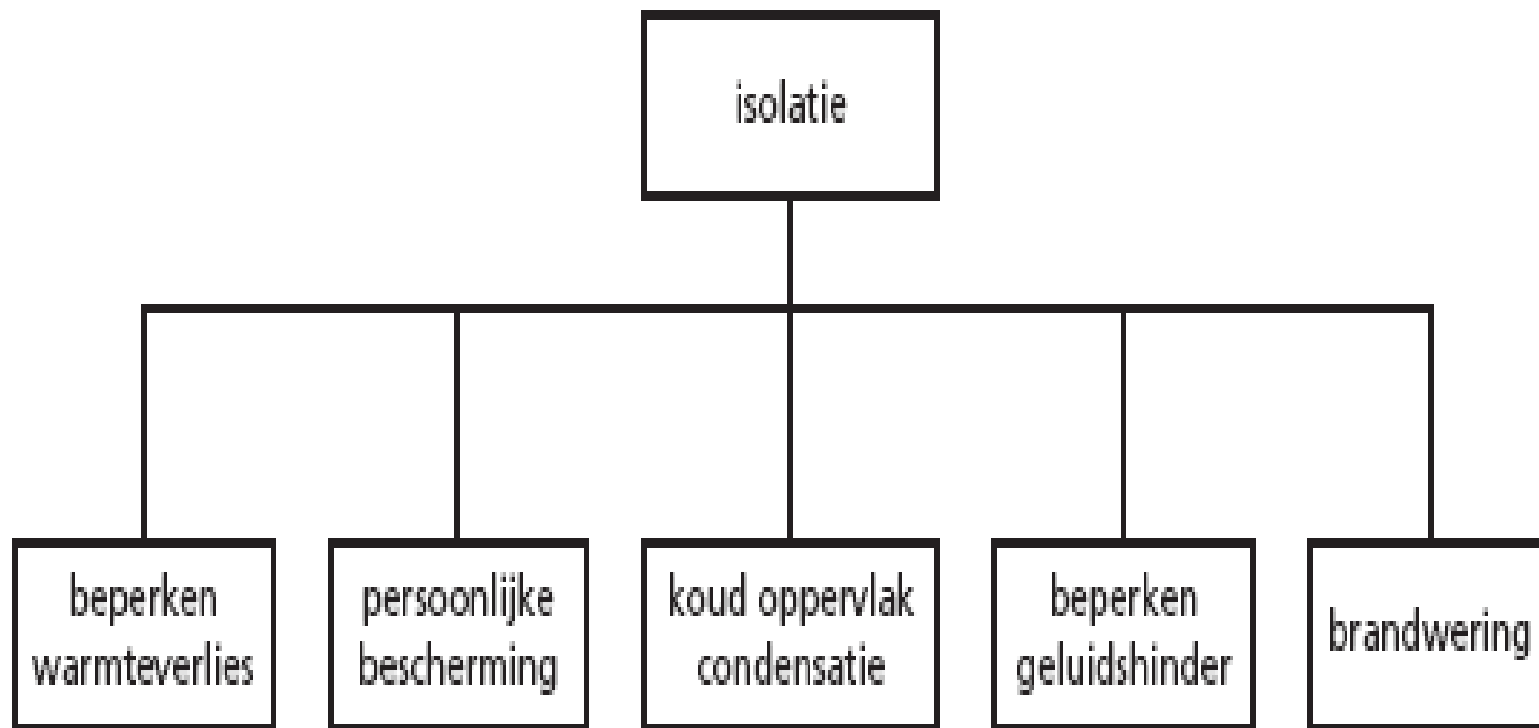
Mediumsnelheden

– stoomleidingen

- lage druk (1,5 bar): 10 - 15 m/s
- 1,5 - 10 bar: 15 - 20 m/s
- 10 - 40 bar: 20 - 40 m/s
- 40 - 125 bar: 30 - 60 m/s

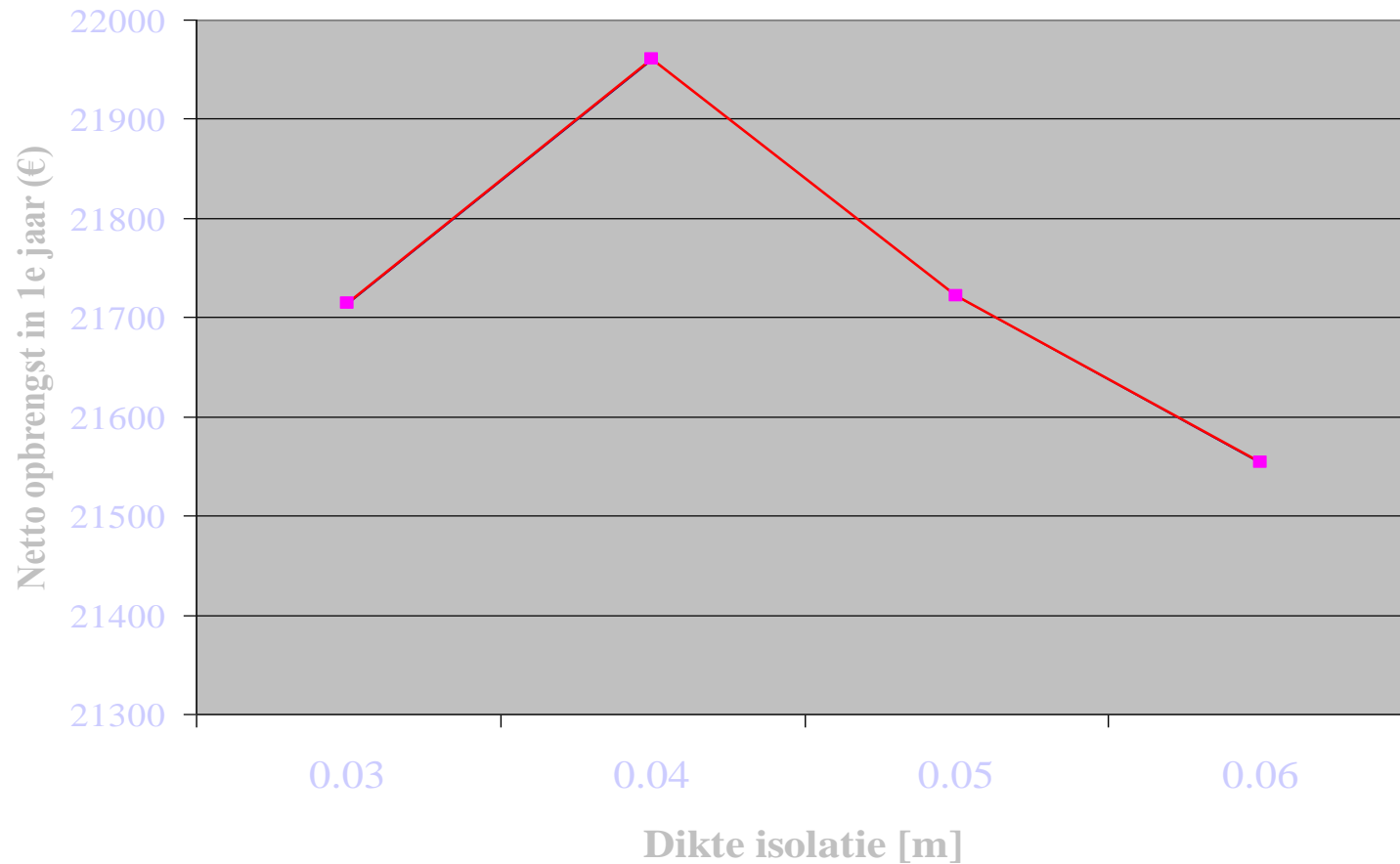
– waterleidingen

- condensaat: 1 - 2 m/s
- voedingwater: zuig 0,5 - 1 m/s, pers 1,5 - 3 m/s
- heetwater 2 - 3 m/s

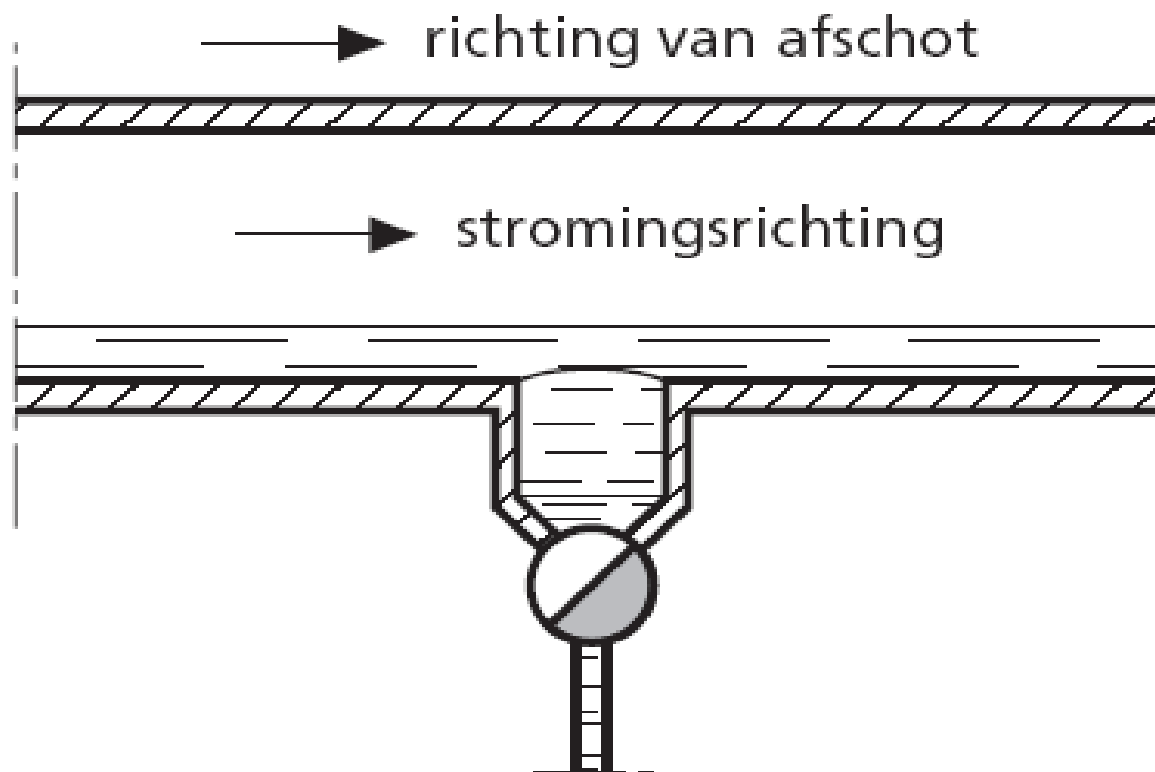


Figuur 1. Belangrijkste doelstellingen voor isolatie.

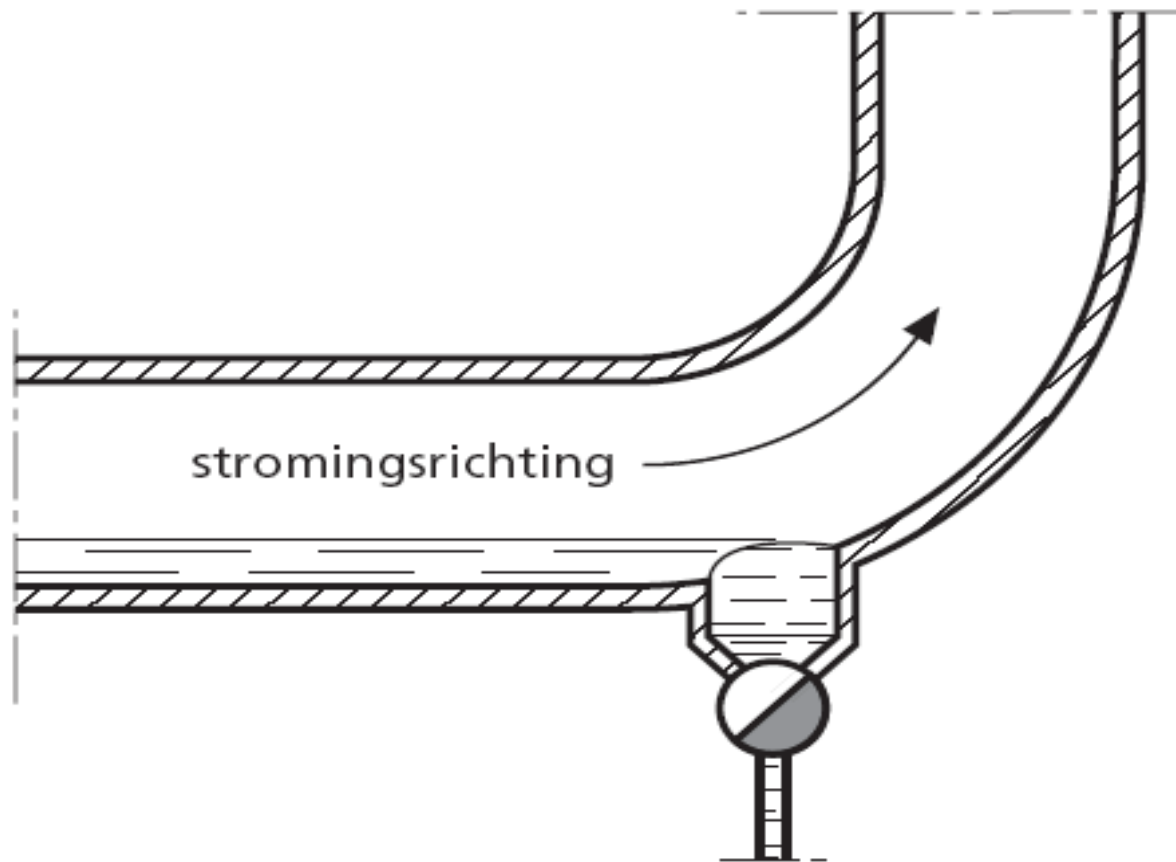
Isolatie dikte versus opbrengst



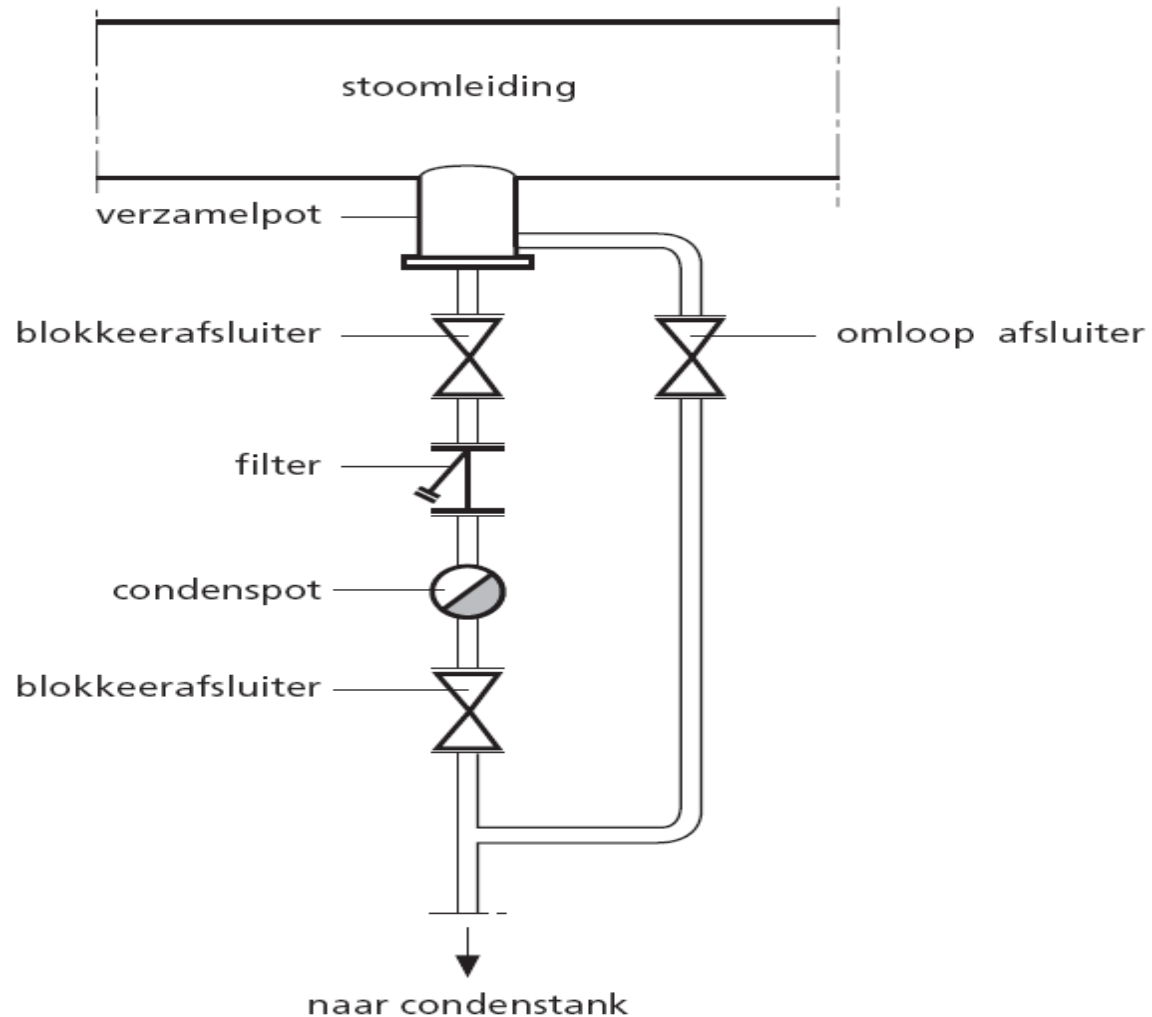
Ontwatering in horizontaal leidinggedeelte



Ontwatering in bochtstuk



Ontwateringsinrichting.



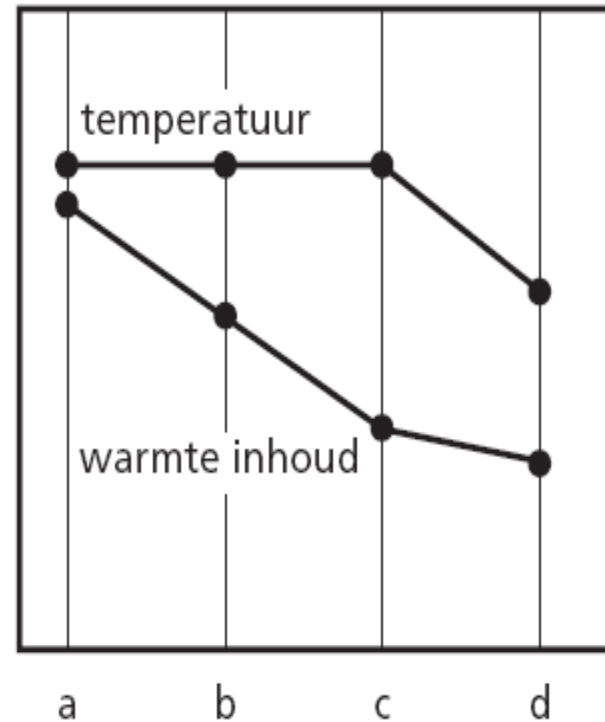
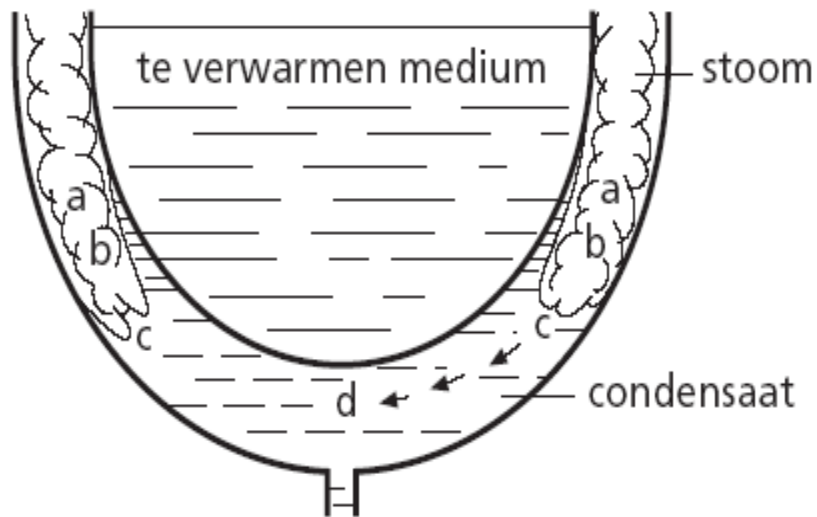
Locatie afwatering op stoomleiding

- Om 50 a 75 meter
- Voor bochten naar boven
- Stoom verdeel pijp
- Net voor stoom gebruikers
- Net voor stoom regelafsluiters
- Na stoom conditionering inrichting

Condenspot

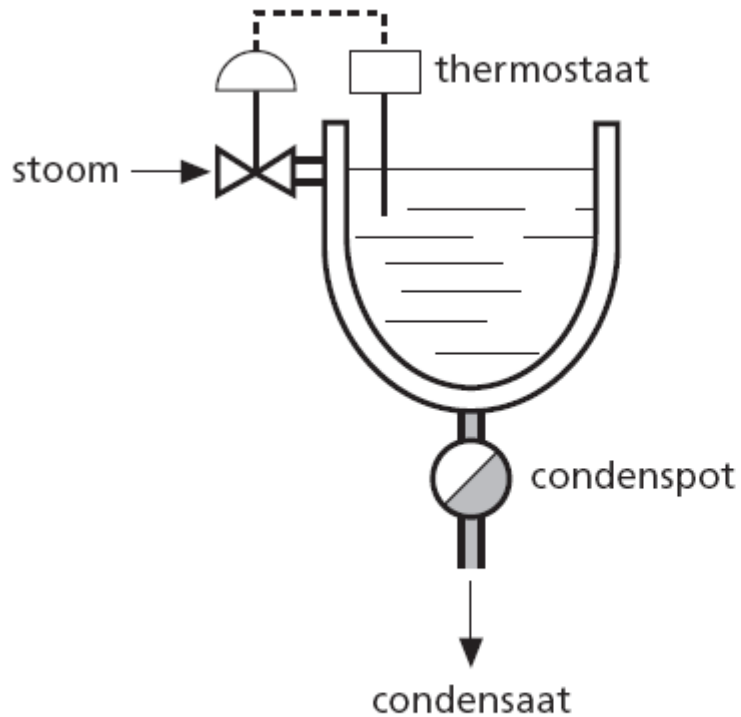
- Condensaat afvoer van gebruikers
- Afwatering stoomleidingen

Verwarmen met stoom

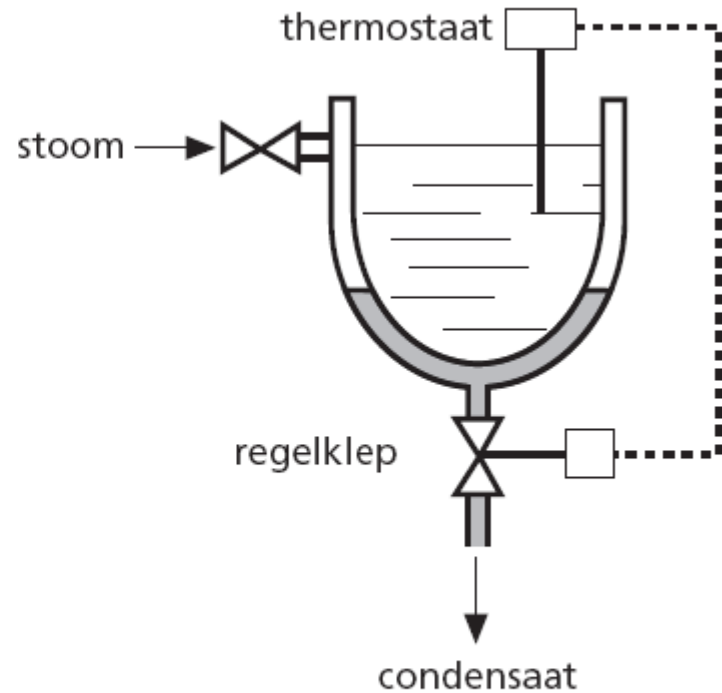


Figuur 1. Stoom en condensaat in een verbruiker.

Regelingen verwarming



directe regeling

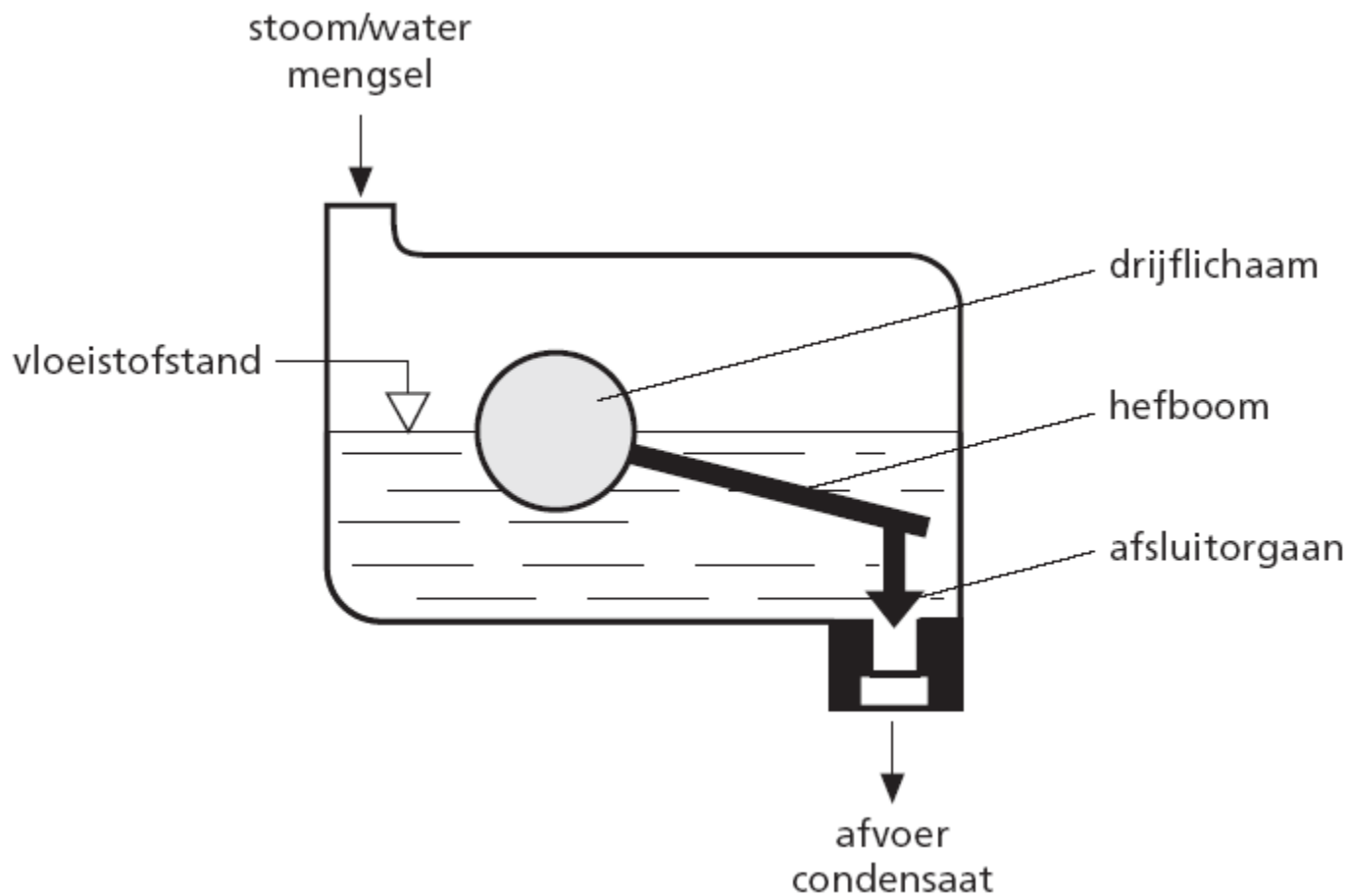


indirecte regeling

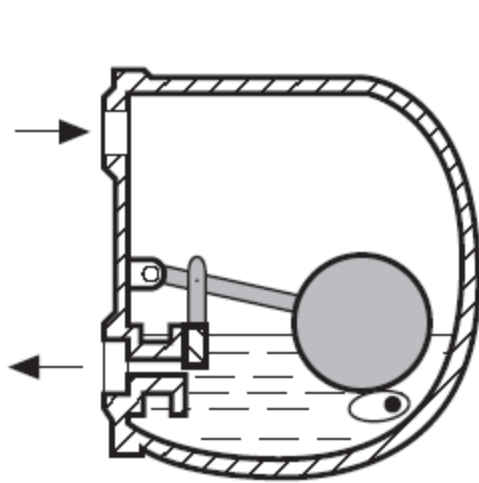
Soorten condenspotten

- **mechanische condenspotten;**
- **thermische condenspotten;**
- **thermodynamische condenspotten.**

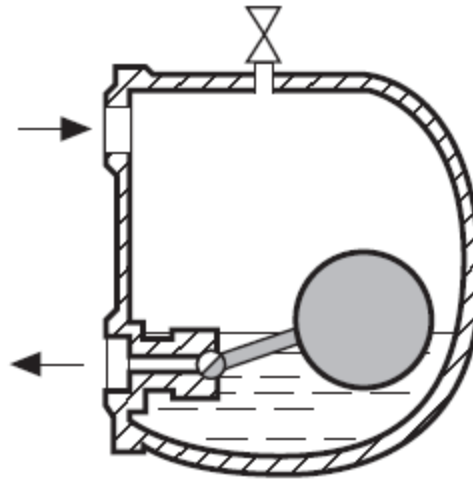
Condenspot met drijflichaam



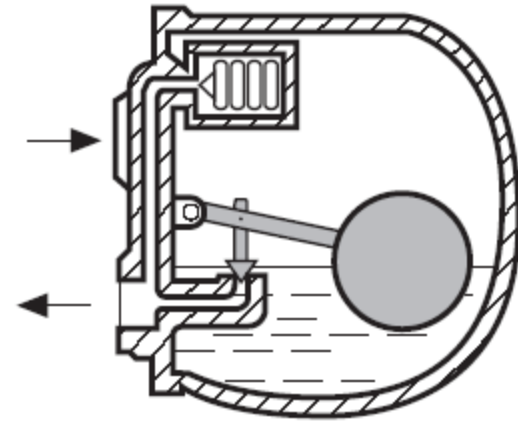
Vlottercondenspotten



a. schuifafdichting

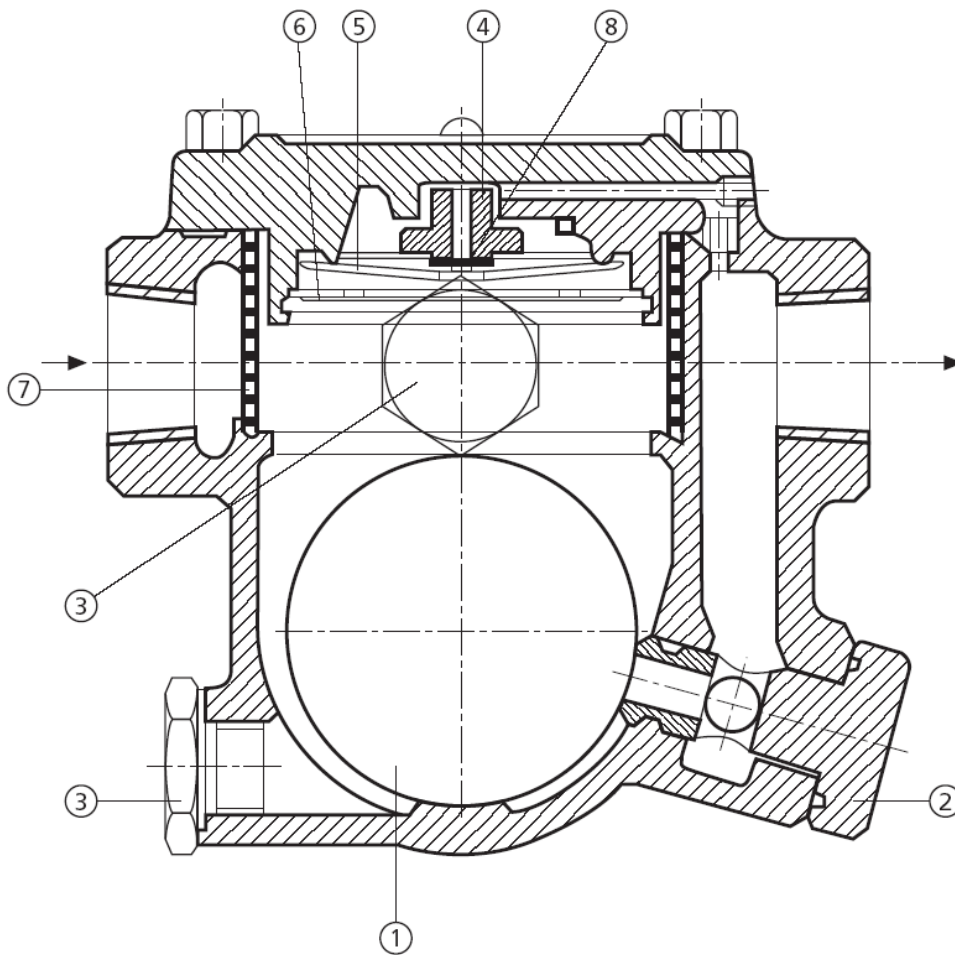


b. kogelafdichting



c. klepafdichting

Condenspot met vrij bewegende vlotter

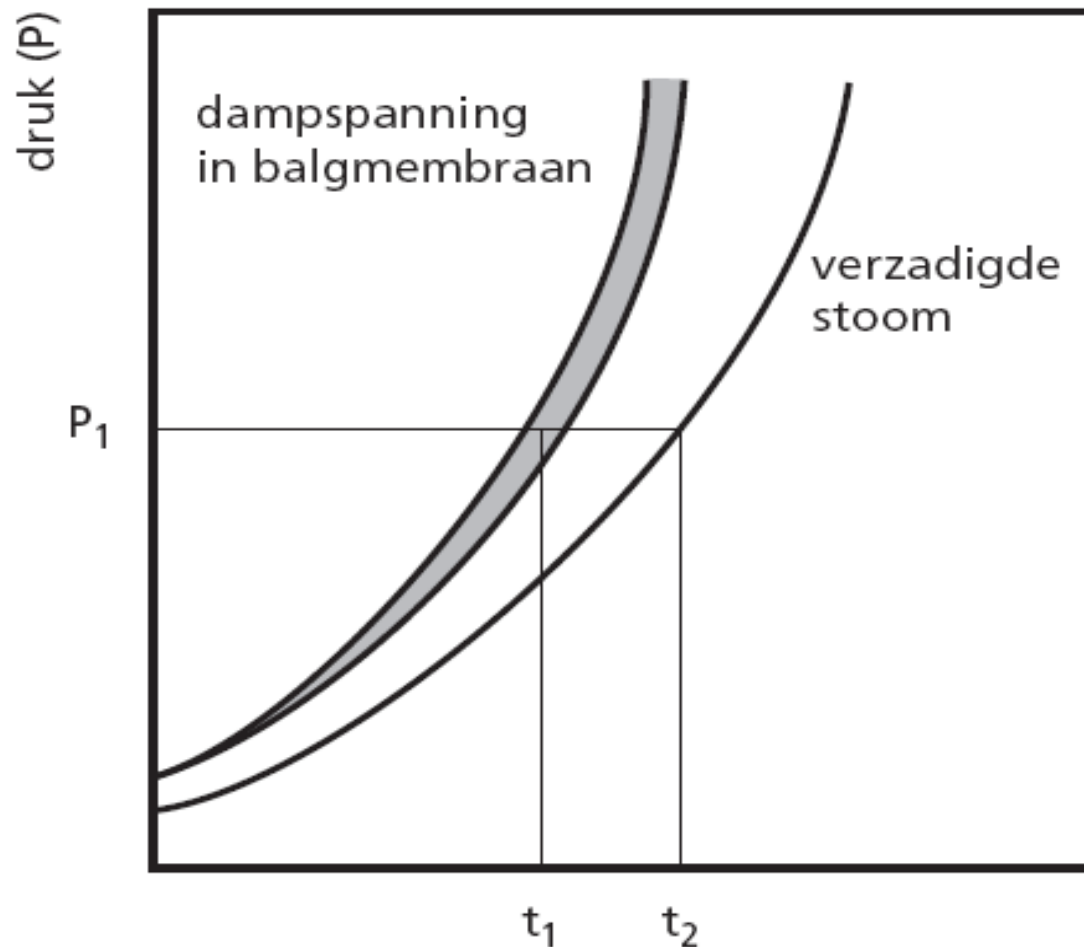


- 1 = vlotter van roestvast staal
- 2 = klepzitting van roestvast staal
- 3 = aftapplug
- 4 = ontluhtklepzitting
- 5 = bimetaal
- 6 = plaatklep
- 7 = filterkorf
- 8 = ontluhtklep

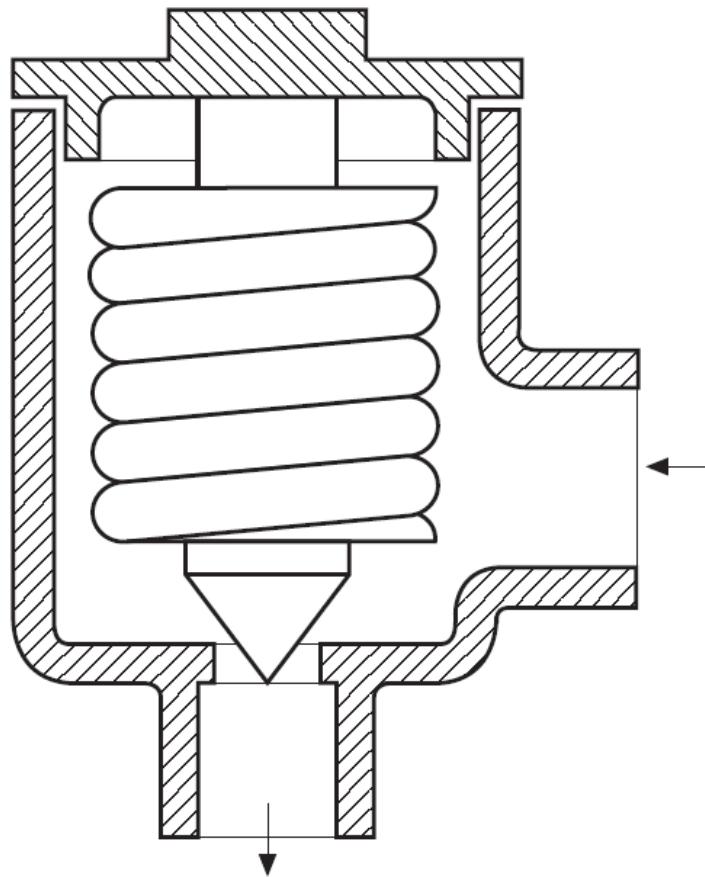
Thermische condenspotten

- balgmembraan of thermo-elastische condenspotten (druk en temperatuur)
- bimetaal of thermo-statische condenspotten (temperatuur)

Werkingsprincipe bolmembraan condenspot

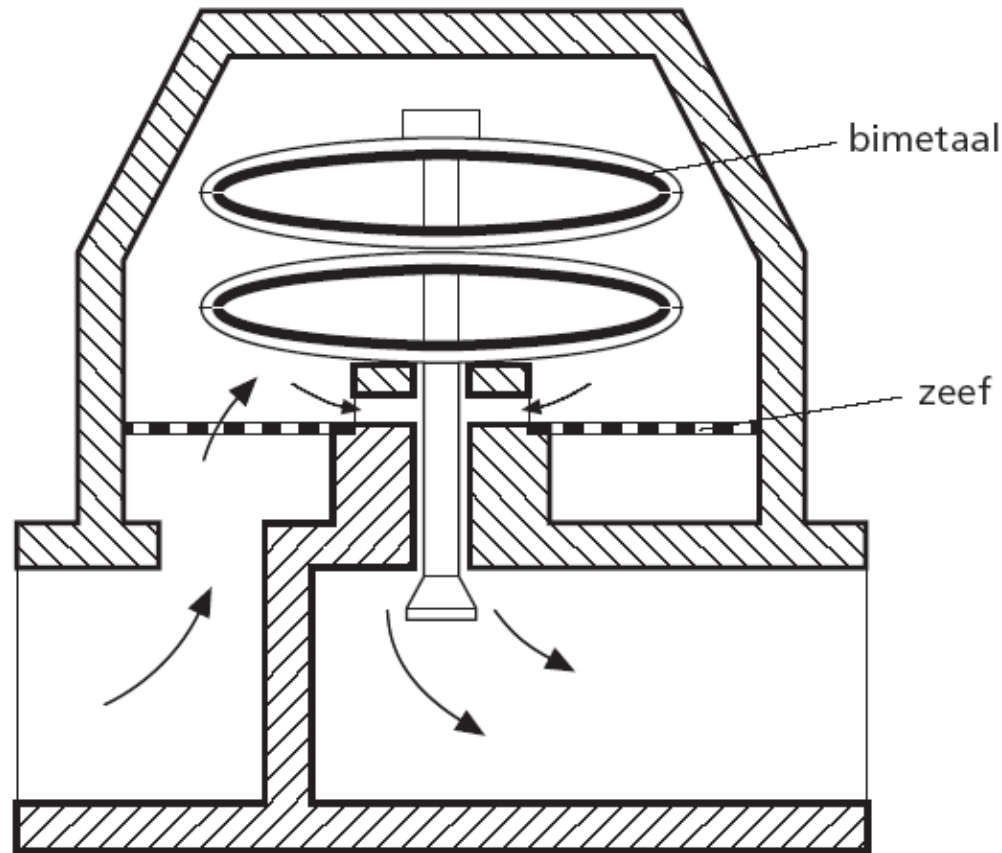


Balgmembraan condenspot



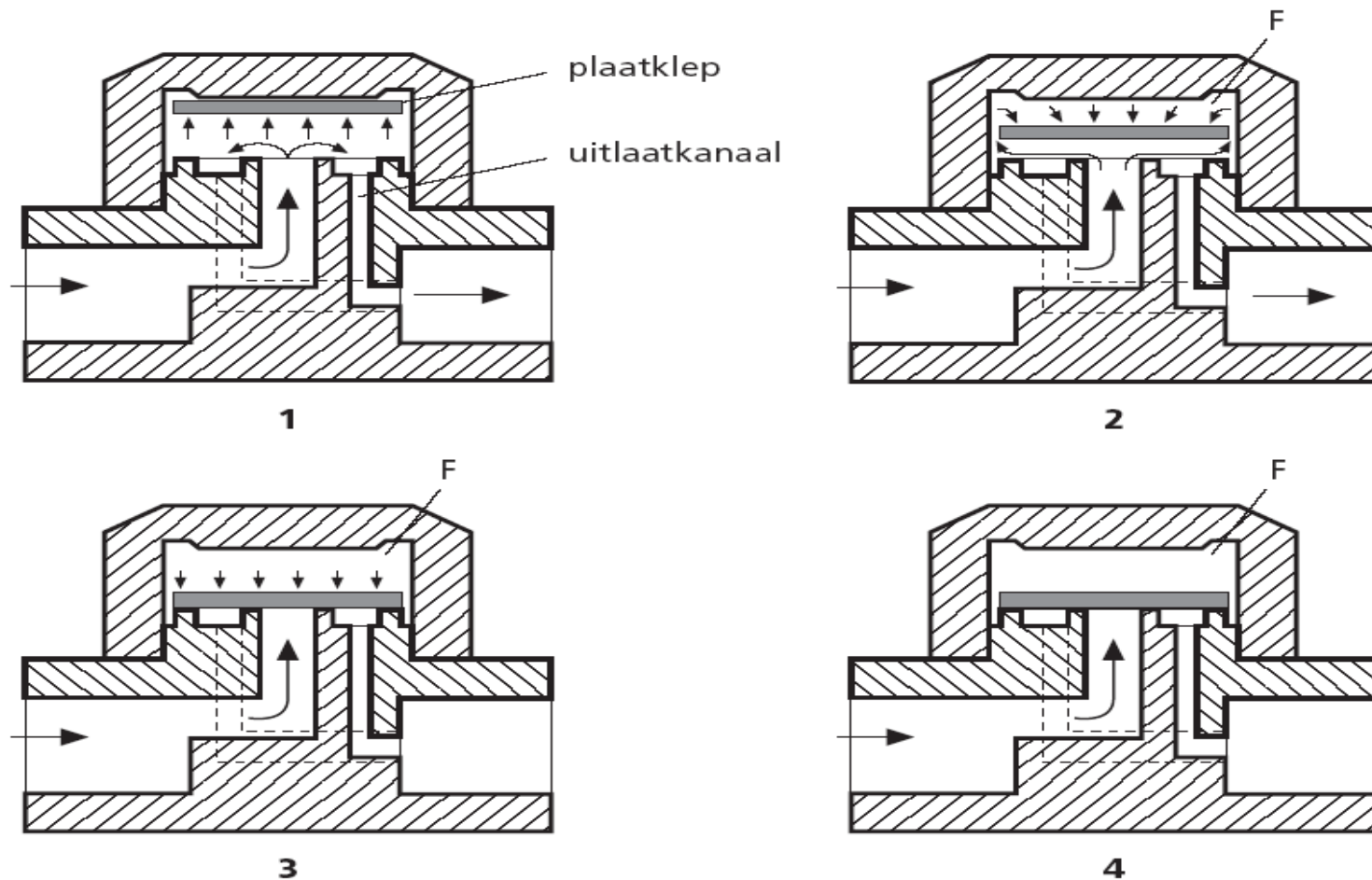
Figuur 12. Balgmembraan condenspot.

Thermostatische condenspot

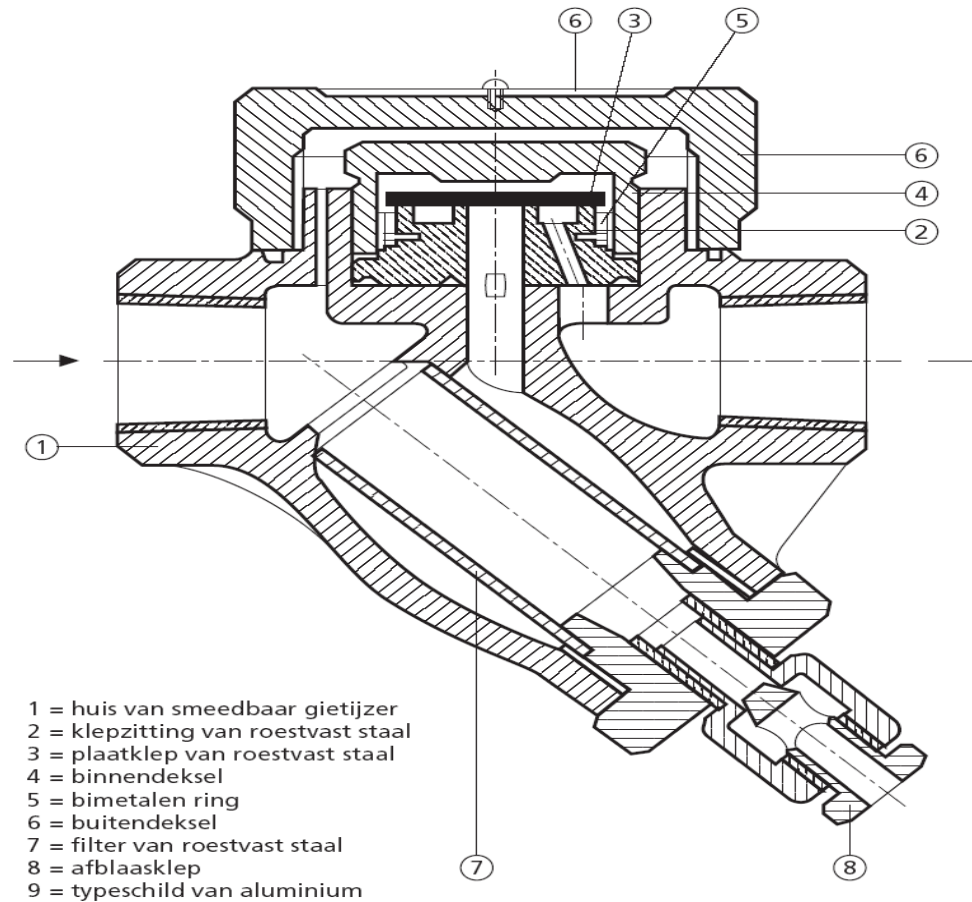


Figuur 13. Bimetaal condenspot.

Werkwijze thermodynamische condenspot

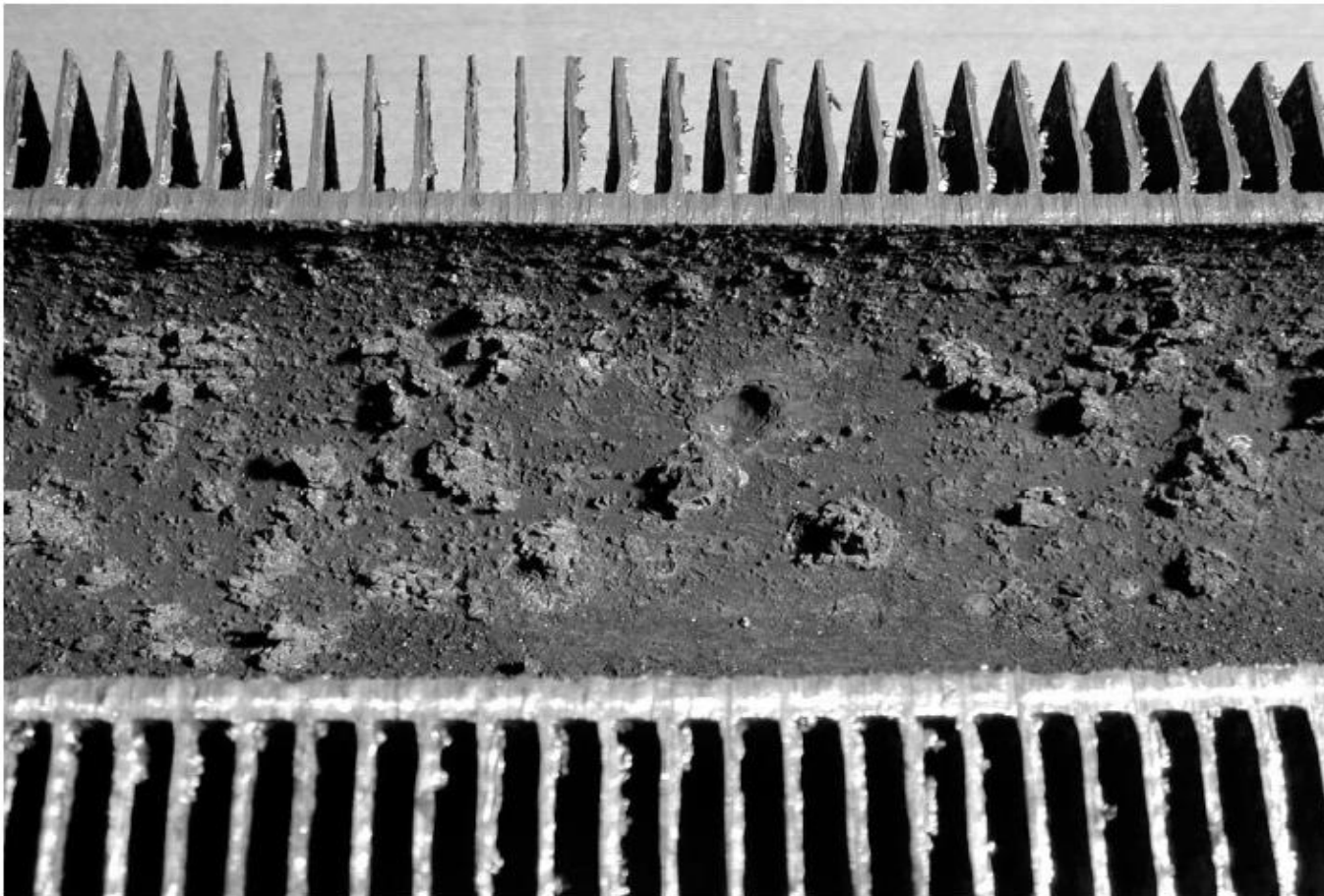


TD-condenspot met isolatiedeksel en ontluchter



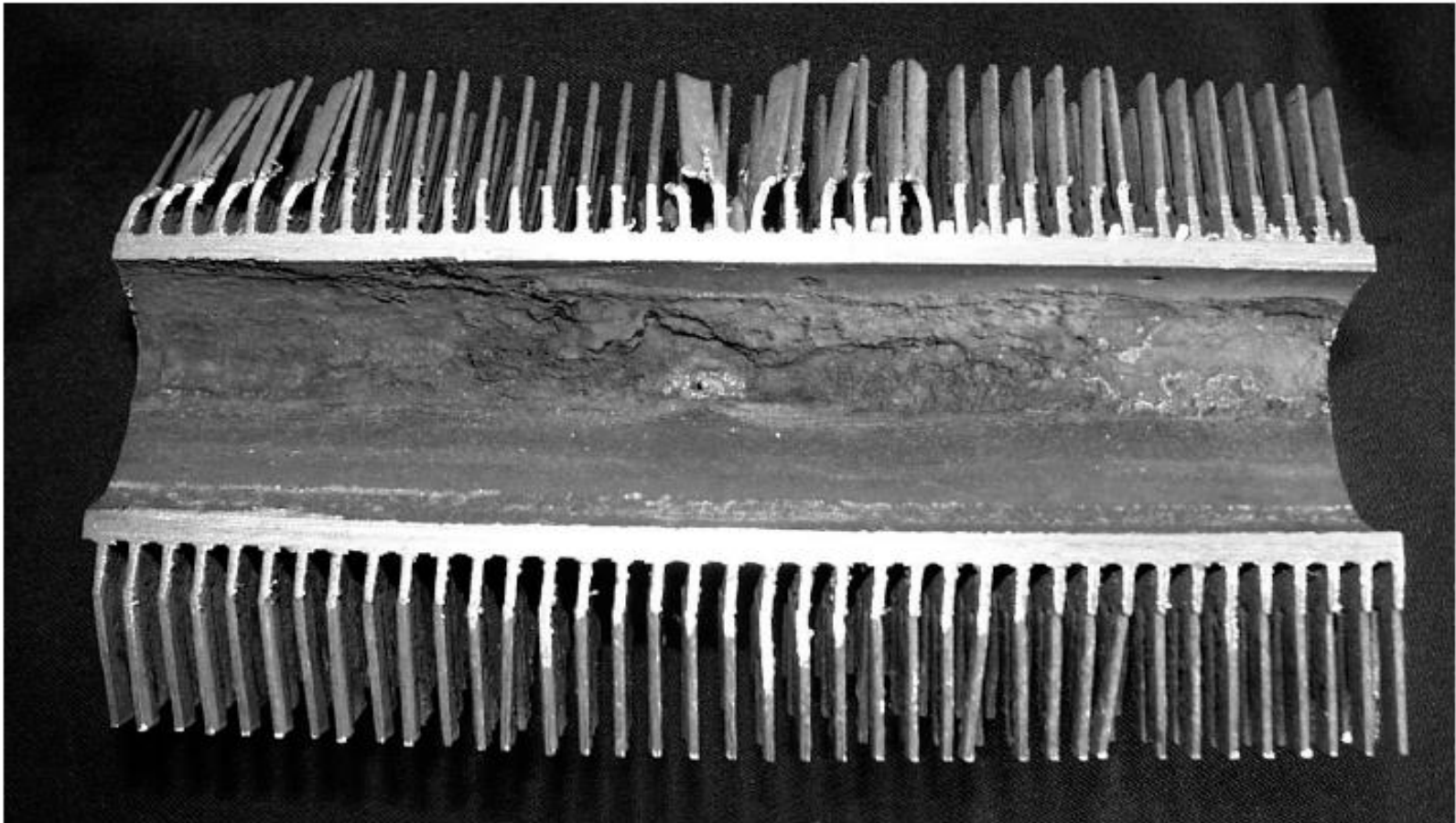
Figuur 19. TD-condenspot met isolatiedeksel en ontluchter.

Corrosie door zuurstof



Figuur 15. Een economiserpijp die tijdens bedrijf is aangetast door zuurstofcorrosie (roestpuukels met daaronder putten). (foto: S. Vrijhoeven; Ondeo Nalco)

Loogcorrosie



Figuur 18. Loogcorrosie in koolstofstalen verdamperpijp. (foto: Kema)

Erosiecorrosie



Erosiecorrosie



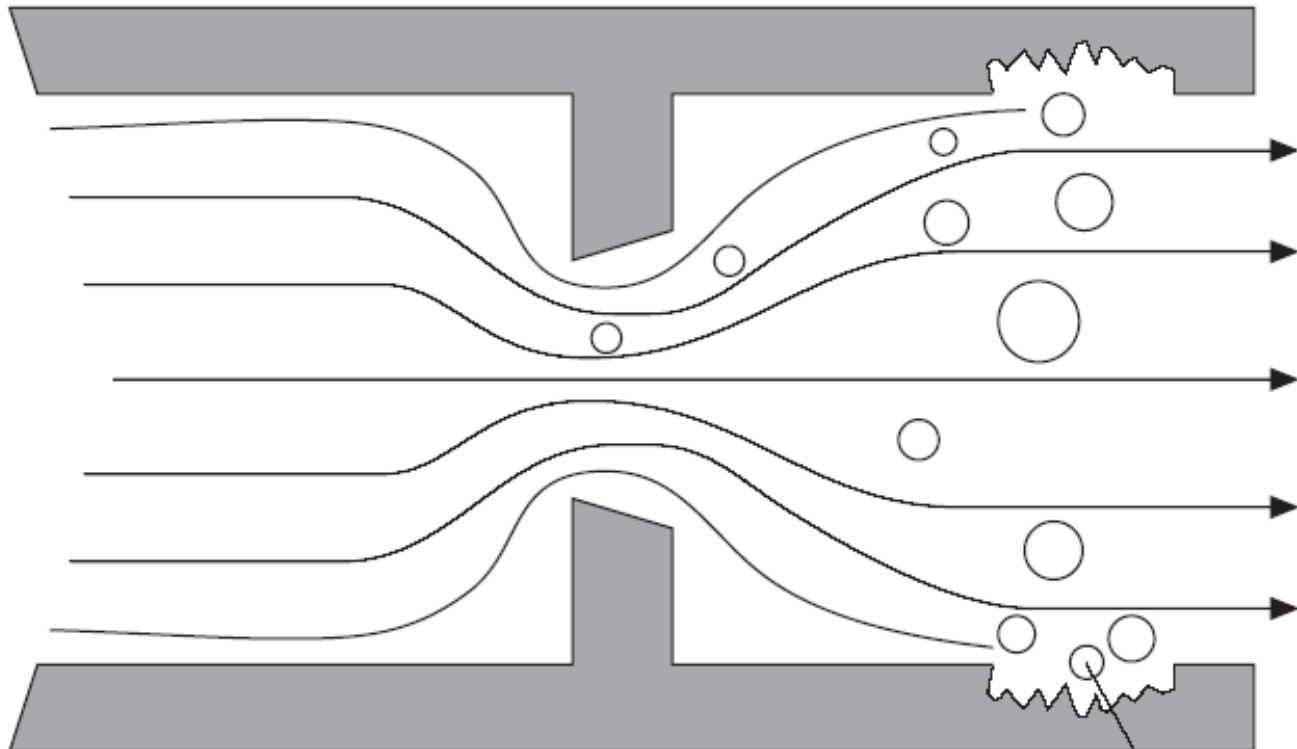
Figuur 3. De stroomsnelheden zijn normaal, maar door het corrosieve karakter van het getransporteerde hoog koolzuurhoudende bronwater is erosiecorrosie opgetreden. (foto: S. Vrijhoeven;

Corrosie door oververhitting



Figuur 21. Staal gaat door oververhitting kruipen en builen met scheurvorming als gevolg. (foto: S.

Cavitatie-erosie



imploderen van dampbellen

Aantasting door cavitatie



Figuur 5. Cavitatie laat een dergelijke aantasting zien. (foto: S. Vrijhoeven; Ondeo Nalco)

Stoom

Bedankt voor de aandacht

Vragen?

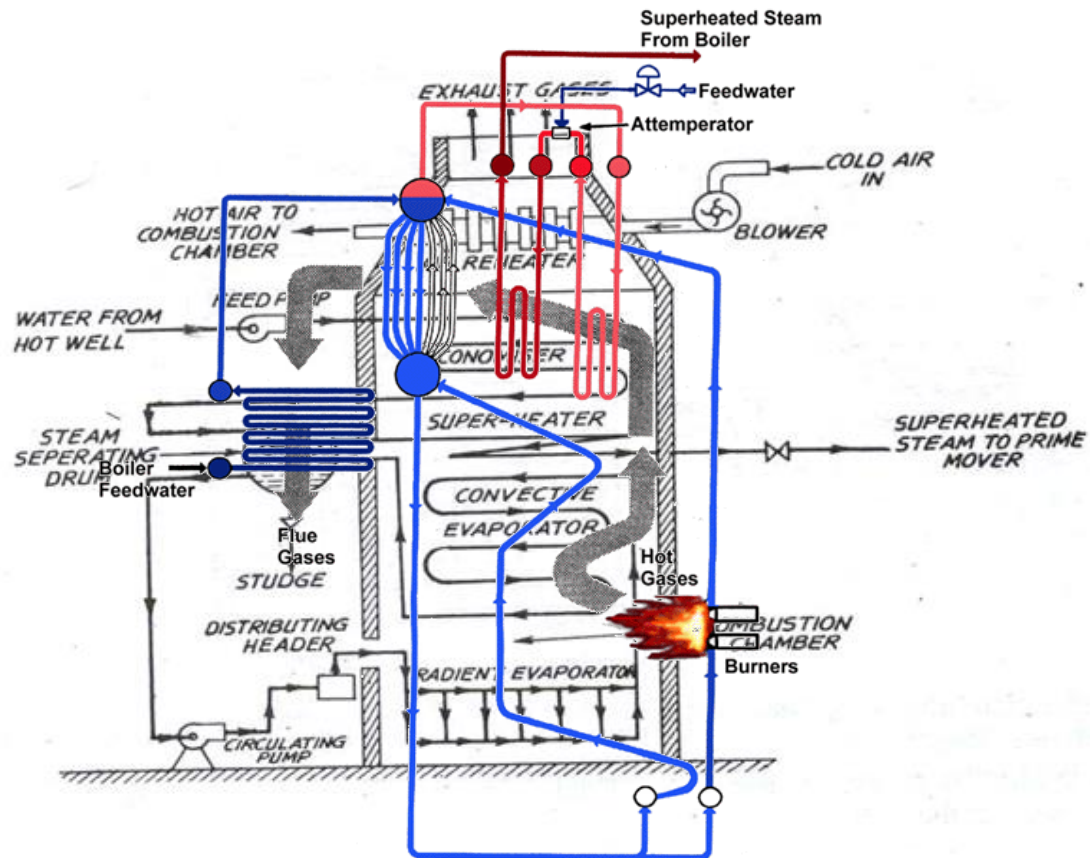
Techniek, kenmerken en voordelen van stoomgeneratoren

Door Hermen Bollemaat (TKT)

Inhoud

- Werking stoomgenerator
- Eigenschappen
- Aanvullende apparatuur
- Werking tussenvorm
- Vergelijking

Stoomgenerator



Stoomgenerator



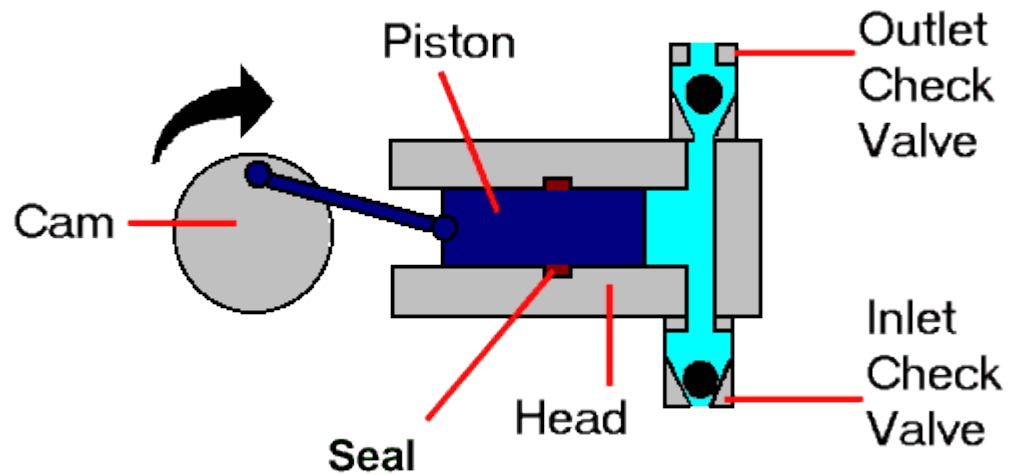
Eigenschappen

- **Geen stoombuffer**
- **Directe water toevoer nodig**
- **Korte opstart-tijd**
- **Flexibel**
- **Kleine hoeveelheden**

Geen stoombuffer

- **In tegenstelling tot stoomketel**
- **Stoomgenerator moet direct aanslaan bij stoomvraag**
- **Stoom eruit betekent: water erin!**
- **Niet direct stoom beschikbaar**

Water-toevoer



Opstart-tijd

- **Kort;**
- **Enkele minuten (4-5 min);**
- **Voordeel voor het begin van de dag;**

Flexibel

- **Wisselen tussen geen en maximale stoomvraag**
- **Economisch bij wisselende stoomvraag**

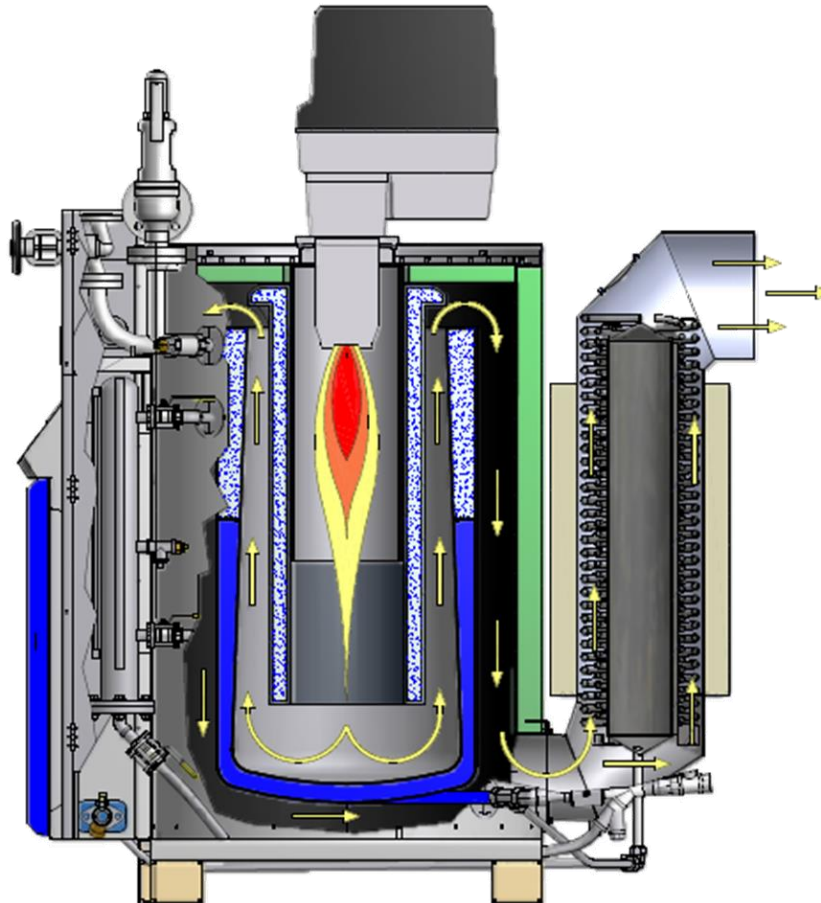
Kleine hoeveelheden

- **Grote hoeveelheden zijn ook mogelijk**
- **Bij kleine hoeveelheden ook economisch**
- **Voornamelijk goed bij fluctuerende stoomvraag**

Aanvullende apparatuur

- **Ontgasser**
- **Ontharder**
- **Voedingswatertank**
- **Pomp**

Tussenvorm van Jumag



Tussenvorm van Jumag

Eigenschappen:

- **Kleine stoombuffer**
- **Korte opstart-tijd**
- **Flexibel**
- **Cascade**

Waterkwaliteit

Van belang bij alle methoden,
maar vooral bij generator en de tussenvorm!

Reden:

- Dunnere leidingen

Afweging

- Stoomvraag:
 - Maximale (piek) vraag
 - Fluctuatie in stoomvraag
- Beschikbare ruimte
- Bestaande situatie
- Investeringsmogelijkheden

Vergelijking

Stoomketel	Tussenvorm	Stoomgenerator
Grote, constante stoomproductie (boven 1500 kg/ uur en minder dan 20% fluctuatie)	Kleine, flexibele stoomproductie, mogelijkheid tot cascade	Kleine, flexibele stoomproductie
Stoombuffer aanwezig	Kleine stoombuffer	Geen stoombuffer aanwezig
Direct stoom beschikbaar	Direct stoom beschikbaar	Niet direct stoom beschikbaar
Gevoelig voor waterkwaliteit	Zeer gevoelig voor waterkwaliteit	Zeer gevoelig voor waterkwaliteit
Lange opstarttijd (± 45 min)	Korte opstarttijd ($\pm 4-5$ min)	Korte opstarttijd ($\pm 4-5$ min)
Weinig flexibel stoomaanbod	Flexibel stoomaanbod	Flexibel stoomaanbod
Robuust	Gevoelig	Gevoeliger
Groot	Compact	Compact
Energie efficiënt bij grote en constante stoomvraag	Energie efficiënt bij wisselende stoomvraag	Energie efficiënt bij wisselende stoomvraag

Overzicht energiebesparingen op stoom en een korte toelichting regelgeving

Best practices voor stoomgebruik in de stomerij

Door Hermen Bollemaat (TKT)

Inhoud

- Best practices
- Aandachtspunten

Stoomproject

TKT project in 2007

- Uitgevoerd bij textielservice bedrijven
- Doel:
 - Optimalisatie stoomgebruik
 - Efficiëntie
 - Problemen oplossen
 - opstellen van best practices voor stoomgebruik
- Vertaling naar stomerijen

Best practices

- Corrosie
- Afvoer opgeloste/niet-opgeloste stoffen
- Inspectie
- Zelf controleren

Energiebesparingen

- Warmtewisselaars
- Verhoging ketelrendement
- Isolatie
- Keteltrek
- Condenspotten
- Loze leidingen
- Stoomdrukverlaging
- Aanzuiging verbrandingslucht

Aandachtspunten

- Per bedrijf verschillend
- Het gaat om grote hoeveelheden energie
- Lage percentages besparing kunnen nog steeds significant zijn



Best Practices

Corrosie

Verlaging zuurstofgehalte door: $M + O_2 \rightarrow MO_2 = \text{Roest}$

- Juiste operatie ontgasser (ontluchten!)
- Afvoer condensaat
- Zuurstofbindende chemicaliën

pH controle:

- 9-9,5 \rightarrow voorkomen CO_2 corrosie

Afvoer opgeloste/niet-opgeloste stoffen

Elke verontreiniging kost energie:

- Aanslag → verminderde energie-overdracht (1 mm kalk = 15% rendementverlies)
- Kookpuntverhoging

Opgeloste stoffen verwijderen door:

- Niet-opgeloste stoffen verwijderen door een bodemspui in de ketel. Fabrikant kan optimale instellingen aangeven.

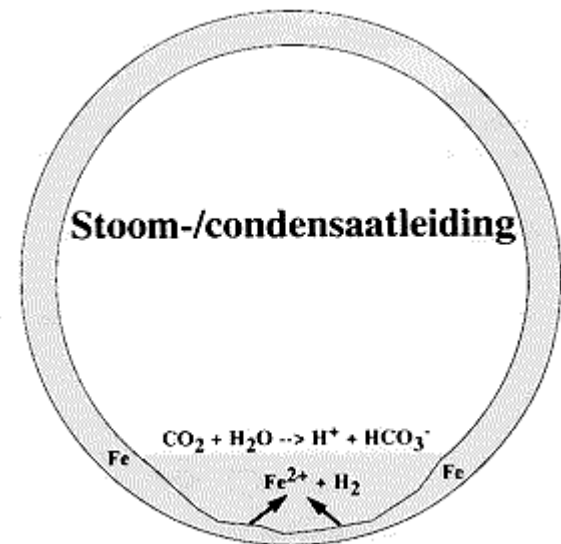
Kookpunt Water	Kookpunt Water met veel zout
100°C	108°C



Inspectie

- Binnenkant ontgasser en/of condensstank

Voorkomt: lekkages, gevaarlijke situaties



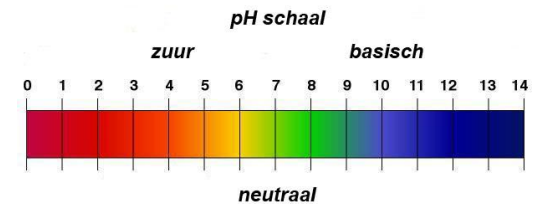
Zelf controleren

- Kwaliteit van suppletiewater
- Kwaliteit van keteltoevoerwater
- Kwaliteit van ketelwater
- Kwaliteit van condensaat



Te meten grootheden:

- Ph-meting (verkleuringsstrips)
- Zuurstofgehalte (electronisch of chemisch)
- Geleidbaarheid (electronisch)



Energiebesparingen

Warmte terugwinning

- Rookgas-economiser
 - Levert 4 - 7 % energiebesparing op
- Spuiwater
- Condensaat



Warmtewisselaars

Warmtebronnen:

- Rookgas
- Water uit de bodemspui

Besparingen tot 10%



Verhoging ketelrendement

- Door verminderd stoomverbruik daalt het rendement van de ketel.
- Wellicht mogelijkheden tot aanpassingen brander en ketel (in overleg met leverancier)
- Afweging Ketel/Generator/Tussenvorm

Isolatie

- Stoomleidingen
- Condensaatleidingen
- Afsluiters
- Ketel



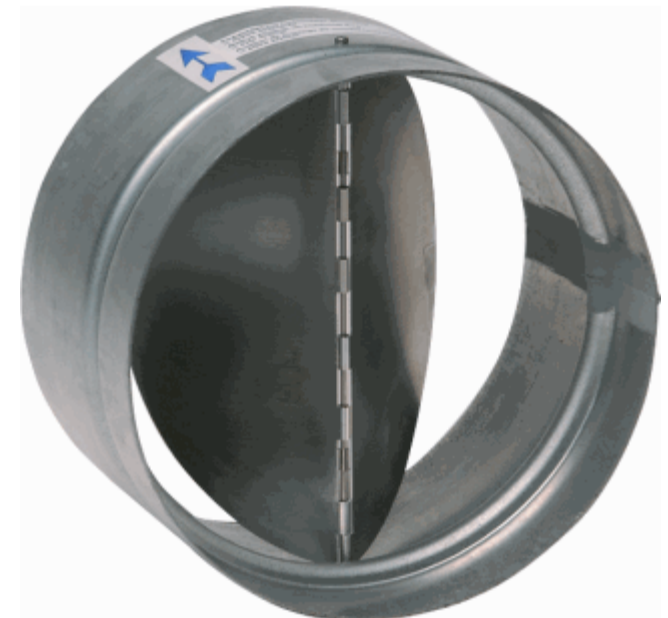
Wat je niet verliest,
hoef je niet op te wekken.

Keteltrek

Temperatuur verschil buitenlucht ↔ binnenkant ketel

→ Luchtstroom van warme lucht naar buiten
= energieverlies

Oplossing: Terugslagklep



Loze leidingen

Leiden tot extra energieverlies: verwijderen



Stoomdrukverlaging

- Drukverlaging van 10 naar 9 bar: 0,3% besparing.
- Afhankelijk van ketel en minimaal benodigde druk/temperatuur
- Afstemming met fabrikant

Aanzuiging verbrandingslucht

- Hoog aanzuigen

Want: warme lucht stijgt op!



Conclusie

- Eenvoudige maatregelen
- Toepassingen specifiek per bedrijf

Wetgeving

- Richtlijn drukapparatuur:
 - Meer dan 0,5 bar → CE-keuring
 - Volume x Druk > 200 → keuring voor in gebruikneming en periodiek herkeuren
- Wet milieubeheer stookinstallaties:
 - Gas: > 100 kW → eenmaal per vier jaar keuring
- Wet milieubeheer: Emissiemetingen:
 - Bij in gebruikname: emissie-metingen



Vragen en discussie



Bedankt voor uw aandacht!