

STOOMKETELS



Voorwoord

De informatie in dit boek is deels algemeen, voor een deel wordt een willekeurige installatie beschreven. Er wordt van uit gegaan dat de gebruiker van het boek bekend is met het gebruik van stoomtabellen en bekend is met de theorie van de stoomtechniek.

Het eerste hoofdstuk in dit boek geeft een korte inleiding weer betreffende de verschillende brandstoffen en verschillende manieren van energieopwekking, terwijl hoofdstuk 2 speciaal bedoeld is voor allen die nog nooit met stoomketels te maken hebben gehad, kortom puur als inleiding.

De andere hoofdstukken beginnen allemaal met een inleidend gedeelte waarna vervolgens, voor zover mogelijk, overgestapt wordt op de installatie zelf.

Ook zijn vele berekeningen en rekenvoorbeelden opgenomen in de daartoe bestemde hoofdstukken. Voor de liefhebbers zijn er ook wat diepgaande rekenvoorbeelden opgenomen.

Tevens is er een gedeelte warmteleer met daarin het verbranding diagram van Professor A.J. Terlinde, met een praktische toepassing. Verder is een beschrijving toegevoegd van een afvalverbranding, een slibverbranding, een houtverbranding en een pluimveemest verbranding.

Ondergetekende ontvangt gaarne opbouwende kritiek die de bruikbaarheid van het boek kan vergroten.

Ing. A.J. de Koster

Hoofdplaat, augustus 2012

Stoomketels
Adviesbureau de Koster v.o.f.
Dorpsstraat 5
4513 AL Hoofdplaat
Tel. 0117-348223

ISBN 978-90-78142-24-9

info@martechopleidingen.nl
www.martechopleidingen.nl

Eerste druk augustus 2012

© Adviesbureau de Koster, Dorpsstraat 5, 4513 AL Hoofdplaat. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Dit is tevens van toepassing op gehele of gedeeltelijke bewerking van deze uitgave.

Hoewel dit boek met veel zorg is samengesteld, aanvaarden wij geen aansprakelijkheid voor schade ontstaan door eventuele fouten en / of onvolkomenheden in dit boek.

Inhoud

1.0	Inleiding	7
1.1	Energiebronnen	7
1.1.1	Fossiele brandstoffen	7
1.1.2	Biobrandstof	8
1.1.3	Windenergie	8
1.1.4	Waterkrachtenergie	8
1.1.5	Zonne-energie	8
1.1.6	Kernenergie	9
1.1.7	Geothermische energie	9
1.1.8	Getijdenenergie	9
1.2	Opwekking in Nederland en Europa	10
1.3	Elektriciteitsproductie	11
2.0	Soorten ketels	12
2.1	Vlampijpketels	12
2.2	Waterpijpketels	13
2.2.1	Ketels met natuurlijke circulatie	13
2.2.2	Ketels met gedwongen circulatie	15
2.2.3	Doorpompketels	18
2.3	Onderdelen van de ketel	21
2.3.1	De drum	21
2.3.2	Verdampergedeelte	27
2.3.3	Oververhitters	28
2.3.4	Voorbeeld stoomkoeler berekening	30
2.3.5	Economizer	32
2.3.6	De manometer	33
2.3.7	Het peilglas	33
2.4	Branders	36
3.0	De werking van een centrale	38
3.1	De werking van het systeem	39
3.2	Warmteoverdracht in de ketel	40
3.3	De rookgas en stroomflow	41
3.4	Rookgasrecirculatie	46
3.4.1	Rookgasrecirculatie met terugvoer beneden in de vuurhaard	46
3.4.2	Rookgastempering	48
4.0	De natuurlijke circulatie in de ketel	52
4.1	Inleiding	52
4.2	Het ontstaan van natuurlijke circulatie	52
4.3	Enige algemene opmerkingen	54
4.4	Zelfverdamping	55
4.5	Verdampingsverhinderende of verdampingsvertraging	55
4.6	Enige algemene beschouwingen betreffende circulatie	55
4.7	Het verloop van de circulatie van opstoken ketel tot werkdruk	55
4.8	Voorbeeld circulatieberekening	57
5.0	De ontgasser	58
5.1	De werking van de ontgasser, algemeen	59
5.2	De Stork voedingwaterontgasser	62
5.3	Gegevens van een willekeurige ontgasser	64
5.4	Wettelijke bepalingen van toepassing op de ontgasser	65
5.5	Theoretische beschouwing van de ontgasser	67
5.6	Rekenvoorbeeld Ontgasser	69

6.0	De benodigde luchthoeveelheden	72
7.0	Verbrandingswaarde en stookwaarde	75
7.1	Verbrandingswaarde	75
7.2	De Stookwaarde	76
8.0	Corrosie	81
8.1	Lage temperatuur corrosie en de beperking van de voedingwater intredetemperatuur bij de eco	81
8.2	Hoge Temperatuurcorrosie, HTC	85
8.2.1	Corrosie aan de oververhitterpijpen	86
8.2.2	Corrosie van 1e schachtpijpen	87
8.2.3	Maatregelen tegen hoge temperatuur corrosie	87
8.2.4	Verdamperbundels	87
8.2.5	Oververhitters	87
8.2.6	Het toevoegen van componenten aan de brandstof	89
8.2.7	Resultaten van de toevoegingen	89
8.2.8	Beschermlagen in hoge temperatuurgebieden	90
8.2.9	Corrosievoorkomende effecten van de beschermstoffen	90
8.3	Loogcorrosie	91
8.4	Chloorcorrosie, specifiek bij AVI	92
8.5	Enkele algemene opmerkingen	94
9.0	Het Ketelrendement	97
9.1	Historie	97
9.2	De verbetering van het rendement	97
9.3	Rendement verbetering	98
9.4	Theoretische beschouwing van het ketelrendement	98
10.0	Inleiding in de warmteoverdracht	107
10.1	Geleiding	107
10.2	Geleiding door een dikwandige pijp	110
10.3	Stroming (Convectie)	112
10.3.1	Afleiding formule convectie	115
10.4	De warmtewisselaar	117
10.5	Berekeningen warmteoverdracht	120
10.6	Straling	122
11.0	Stikstofoxiden	124
11.1	Vlamtemperatuurverlaging	130
11.2	Koolmonoxide	131
12.0	Vuurvaste steen	132
13.0	Het verbrandingsdiagram van Prof. A.J. Terlinde	141
13.1	Verandering van de belasting met constante luchtfactor	143
13.2	Vergroting van de luchtfactor bij 70 % belasting	144
13.3	Verhoging van de luchtfactor bij volle belasting	145
14.0	Demineralisatie	146
14.1	Inleiding	146
14.2	Kation	148
14.3	CO ₂ uitdrijftoren	149
14.4	Anionwisselaar	150
14.5	Regenereren	151
15.0	Ketelwaterbehandeling	152

15.1	De kwaliteit van het ketelwater en het belang hiervan voor de stoominstallatie	152
15.2	Afzettingen aan de waterzijde	152
15.2.1	Voorkoming van ketelsteen	154
15.3	Corrosie aan de water- en stoomzijde	155
15.3.1	Zuurstofcorrosie	156
15.3.2	Zuurcorrosie	157
15.3.3	Alkalische corrosie	157
15.3.4	Metaalbroosheid	159
15.3.5	Invloed pH op corrosie	159
15.4	Het begrip "carry-over"	161
15.5	Condensaatsysteem	162
15.6	Suppletiewater	162
15.7	Waterbehandeling	163
15.7.1	Suppletiewater	163
15.7.2	Condensaat	163
15.7.3	Ketelwater	163
15.8	Controle op de waterkwaliteit	163
15.8.1	Suppletiewater controle	164
15.8.2	Controle condensaat	164
15.8.3	Ketelwater controle	164
15.8.4	Maatregelen bij afwijkingen	164
16.0	Inconel 625	166
16.1	Algemeen, veel toegepast bij biomassa centrales	166
16.2	Gebruik en eigenschappen	167
17.0	Veel gebruikte termen en definities	169
18.0	De bedrijfsvoering	173
18.1	Inleiding rookgas en lucht	173
18.1.1	De samenstelling van de brandstof	173
18.1.2	De samenstelling van de lucht	173
18.1.3	De molmassa	174
18.1.4	De hoeveelheid lucht per kilogram brandstof	174
18.1.5	De hoeveelheid rookgas per kilogram brandstof	176
18.1.6	Conclusie	179
18.2	De verbranding	180
18.2.1	Inleiding volledige en onvolledige verbranding	180
18.2.2	Volledige verbranding	180
18.2.3	Onvolledige verbranding	181
18.2.4	Het evenwicht	182
18.3	Stoomsnelheid	183
18.4	Rookgassnelheid in het convectiedeel	185
18.4.1	Erosiesnelheid	186
18.5	Gebruik van luchtverhitters	187
18.6	Roetblazen	187
18.7	Rookgasrecirculatie	188
18.8	Rookgastemperatuur en stoomtemperatuur	189
18.9	Uitgewerkt voorbeeld	191
19.0	De Afvalgestookte Ketel, algemeen	193
19.1	Opbouw ketel	193
19.2	Het ontwerp van de ketel	194
19.3	De stoomdruk en stoom temperatuur	197
19.4	Chloor slecht voor het energetisch rendement	197
19.4.1	Minder rendement	197

19.5	Ontwikkelingen verbrandingsproces	198
20.0	Slibverbranding	199
20.1	Inleiding	199
20.2	Algemeen	200
20.3	De samenstelling van het slib	201
20.4	Opslag van het slib	202
20.5	Droging van het slib	202
20.6	SNCR bij slibverbranding	203
20.7	Verwijdering van SO _x in de oven	204
20.8	Rekenvoorbeeld NO _x	204
21.0	Houtverbranding	206
21.1	Inleiding	206
21.2	Algemeen	206
21.3	De samenstelling van het B-Hout	208
21.4	Opslag van het hout	209
21.5	De stookwaarde van het hout	209
21.6	NO _x en zure componenten bij houtverbrandingen	210
22.0	Pluimveemestverbranding	211
22.1	Inleiding	211
22.2	De samenstelling en stookwaarde van de kippenmest	212
22.3	Het proces	212
22.4	Lage Temperatuur Corrosie	213
22.5	DeNO _x bij pluimveemestverbranding	213
23.0	Formuleblad	214
23.1	Grootheden en eenheden	218

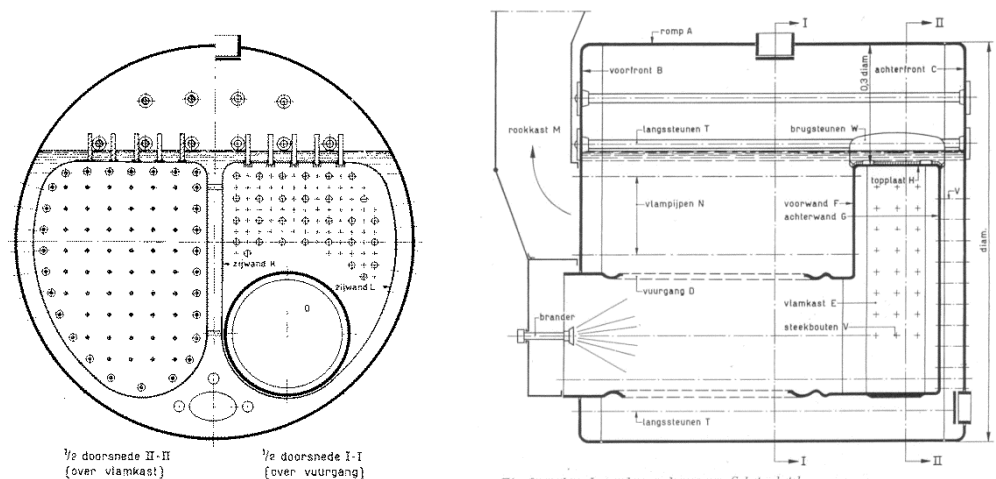
2.0 Soorten ketels

In een stoomketel wordt water met behulp van warme rookgassen verwarmd tot de kooktemperatuur. Daarna verdampt het water tot verzadigde stoom en wordt eventueel oververhit. Stoom wordt gebruikt als energiedrager omdat het per kilogram veel warmte op kan slaan. In principe kennen we twee soorten ketels, namelijk:

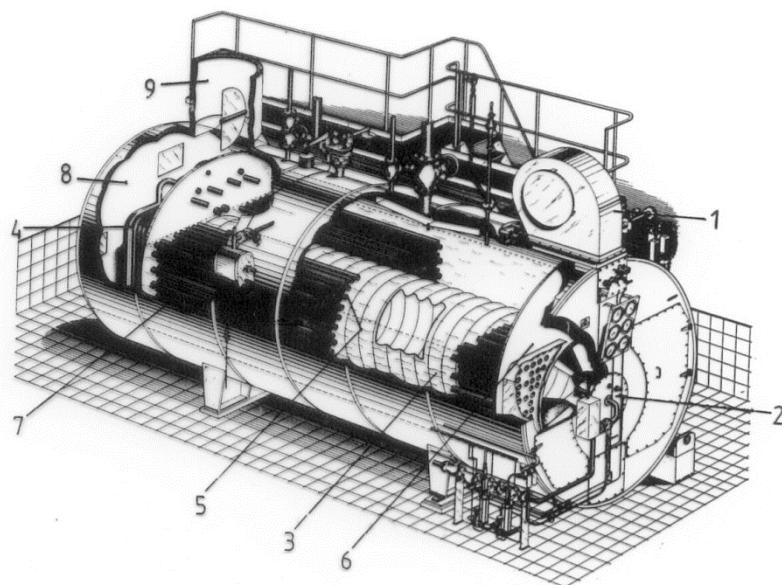
- Vlampijpketels
- Waterpijpketels

2.1 Vlampijpketels

Bij vlampijpketels gaan de rookgassen door de pijpen en staat het water aan de buitenkant van de pijpen. Op afbeelding 1 is een doorsnede weergegeven van een vlampijpketel, dit is nog een oude Schotse ketel met twee vuurgangen. Op afbeelding 2 is een moderne vlampijpketel weergegeven.



Afbeelding 1. Doorsnede van een oude Schotse ketel.



Afbeelding 2. Tekening van een moderne vlampijpketel.

Legenda behorende bij afbeelding 2.

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1. Luchtventilator | 6. Voorfront |
| 2. Brander | 7. Keerschot |
| 3. Vuurgang | 8. Achterfront |
| 4. Waterpijpen | 9. Rookgasafvoer |
| 5. Vlampijpen | |

Op beide tekeningen is te zien dat de vuurgang omgeven is door water. Verder is op afbeelding 2 te zien dat er achterin de ketel een aantal waterpijpen geplaatst zijn, ondanks het feit dat dit een vlampijpketel genoemd wordt. De waterpijpen zijn geplaatst om een snelle circulatie in de ketel te verkrijgen. Hierdoor is de ketel tevens sneller op te stoken dan wanneer deze geen waterpijpen zou hebben.

Vlampijpketels zijn geschikt tot circa 30 bar.

Vlampijpketels worden veel toegepast voor relatief kleine vermogens, we zien ze veel in de tuinbouw, de kassen en als hulpketels voor verwarmingsdoeleinden. Voor grote vermogens en met name voor grootschalige elektriciteitsopwekking zijn deze ketels ongeschikt en daar stappen we dan over naar de waterpijpketels.

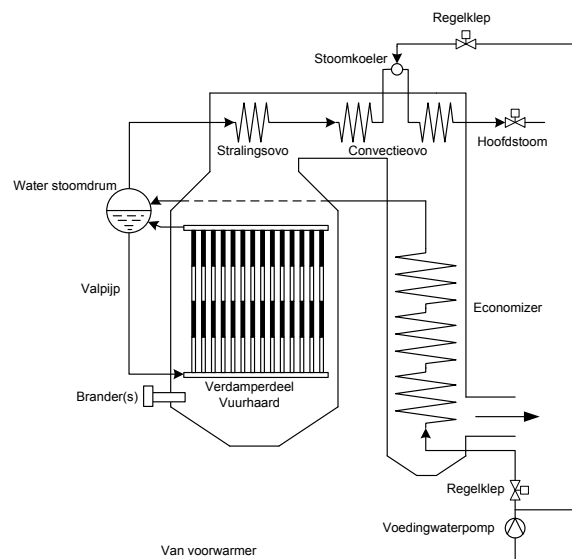
2.2 Waterpijpketels

Bij de waterpijpketels stroomt het water door de binnenzijde van de pijp, de rookgassen stromen aan de buitenzijde van de pijpen. De warmteoverdracht van de rookgassen naar het water in de pijpen gaat dan van buiten naar binnen. Bij de waterpijpketels onderscheiden we vier typen ketels:

- Ketels met natuurlijke circulatie
- Ketels met gedwongen circulatie, wordt ook wel gecontroleerd circulatie genoemd.
- Doorpompetels zoals de Sulzer ketel
- Doorpompetels zoals de Benson ketel

2.2.1 Ketels met natuurlijke circulatie

Op afbeelding 3 is een schematische weergave van een ketel weergegeven die met natuurlijke circulatie werkt.



Afbeelding 3. Ketel met natuurlijke circulatie.

Bij de natuurlijke circulatieketels stijgt het water stoommengsel dat zich in het verdamperdeel bevindt op, het water stoommengsel wordt in de water stoomdrum van elkaar gescheiden en het water wordt daarna met behulp van meerdere onverwarmde valpijpen weer terug naar beneden gevoerd. Onderin de ketel wordt dit water weer aan het verdamperdeel toegevoerd. In het verdampergedeelte vindt warmteoverdracht plaats van de hete rookgassen naar het verdampende water. Het verdampende water bestaat dus uit een deel water en een klein gedeelte stoom, hierdoor is de dichtheid van het water stoommengsel dat zich in het verdampergedeelte bevindt kleiner dan de dichtheid van het water in de valpijpen.

Dit verschil in dichtheid is nu de drijvende kracht achter de natuurlijke circulatie in de ketel.

221,2 bara

In theorie is de natuurlijke circulatie toe te passen tot een druk van 221,2 bara (22,12 MPa) en een bijbehorende kooktemperatuur (verzadigingstemperatuur) van 374,15 °C. Bij deze druk en temperatuur vinden we in de stoomtabel voor de enthalpie van het kokende water en de verzadigde stoom 2107,4 kJ/kg, voor de entropie van het kokende water en de verzadigde stoom 4,4429 kJ/(kg·K) en voor het specifiek volume van het kokende water en de verzadigde stoom 0,00317 m³/kg. Vooral het specifiek volume is hier een belangrijk gegeven want hieruit volgt dat ook de dichtheid (soortelijke massa) van de stoom en het kokende water aan elkaar gelijk zijn. Met andere woorden er is nu geen verschil in dichtheid meer tussen het water in de valpijpen en het water stoommengsel in het verdampergedeelte.

Uit de stoomtechniek is bekend dat het verband tussen de dichtheid ρ en het specifiek volume v gelijk is aan:

$$\rho = \frac{1}{v}$$
$$\rho = \frac{1}{0,00317} = 315,45 \text{ kg / m}^3$$

Aangezien dit voor zowel het water als de stoom is en nu geen verschil meer bestaat in dichtheid is natuurlijke circulatie niet meer mogelijk. In de praktijk wordt natuurlijke circulatie toegepast bij ketels met een drumdruk tot ongeveer 185 bar absoluut. Boven deze druk worden ketels toegepast met gedwongen circulatie.

Voorbeeld:**Gegeven:**

Een ketel met een drumdruk van 160 bara (16 MPa).

Het circulatievoud van de ketel bedraagt 14, dat wil zeggen dat er in de verdamperpijpen onder in de ketel enkel water stroomt, 100% water of 14/14 delen, terwijl bovenin de pijp een water stoommengel aanwezig is dat bestaat uit 13/14 delen (93%) water en 1/14 deel (7%) stoom

We kunnen dan stellen dat bovenin de verdamperpijp het water stoommengsel uit 13 massadelen kokend water en 1 massadeel verzadigde stoom bestaat, samen 14 massadelen.

Gevraagd:

Hoe groot is de dichtheid van het kokende water in de valpijpen en de dichtheid van het water stoommengsel in het verdampergedeelte?

Oplossing:

Voor de dichtheid van het kokende water vinden we in de stoomtabel bij een druk van 160 bara een specifiek volume van $0,0017103 \text{ m}^3/\text{kg}$ en voor de verzadigde stoom vinden we een specifiek volume van $0,009308 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Voor de dichtheid van het kokende water in de valpijpen volgt dan:

$$\rho_w = \frac{1}{v_w}$$

$$\rho_w = \frac{1}{0,0017103} = 584,69 \text{ kg / m}^3$$

Voor de dichtheid van de verzadigde stoom geldt nu:

$$\rho_{vs} = \frac{1}{v_{vs}}$$

$$\rho_{vs} = \frac{1}{0,009308} = 107,43 \text{ kg / m}^3$$

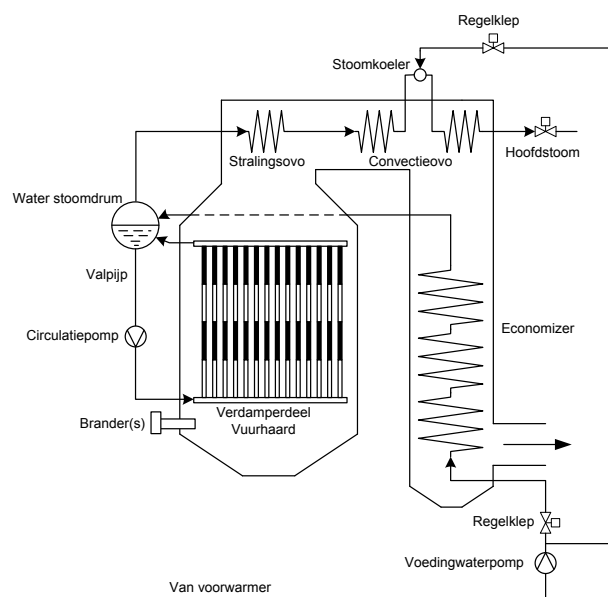
Voor de dichtheid van het water stoommengsel in het verdampergedeelte vinden we nu:

$$\rho_{\text{mengsel}} = \frac{13 \cdot \rho_w + 1 \cdot \rho_{vs}}{14} = \frac{13 \cdot 584,69 + 1 \cdot 107,43}{14} = 550,5 \text{ kg / m}^3$$

Uit deze berekening volgt dat er een verschil is tussen de dichtheid van het water stoommengsel in de verdamperpijpen en de dichtheid van het water in de valpijpen. Dit is de drijvende kracht achter de circulatie.

2.2.2 Ketels met gedwongen circulatie

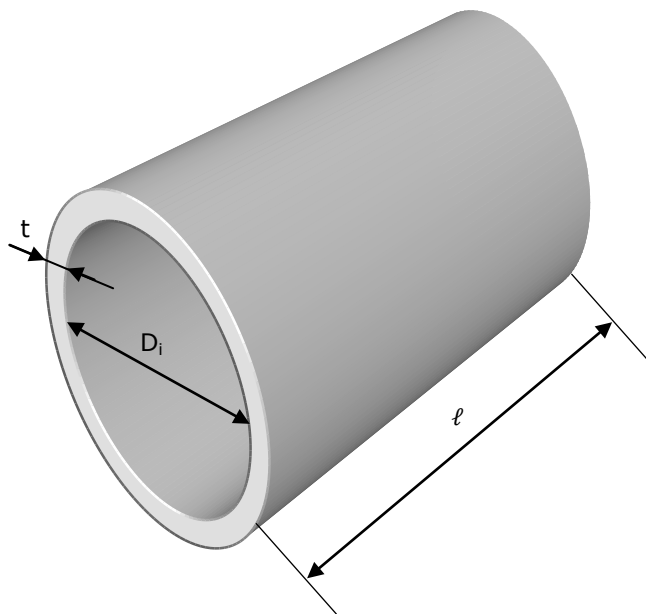
Op afbeelding 4 is een schematische weergave van een ketel weergegeven die met gedwongen circulatie werkt. Dit wordt ook wel geforceerde circulatie of gecontroleerde circulatie genoemd.



Afbeelding 4. Ketel met gedwongen circulatie.

In de onverwarmde valpijp(en) is nu een circulatiepomp opgenomen die het water vanuit de drum naar en door het verdamper gedeelte pompt. Het grote voordeel hiervan is dat de ketel nu met hogere drukken kan werken en dat de circulatie altijd gewaarborgd is. Omdat het verdampergedeelte nu altijd doorstroomd wordt, dus gekoeld wordt, kan deze ketel ook sneller opgestookt worden. Verder kunnen we in dit soort ketels dunnere verdamperpijpen toepassen dan in ketels met natuurlijke circulatie. Dunnere verdamperpijpen maken de totale ketel lichter in gewicht, omdat tevens de wanddikte dan dunner kan zijn. Een dunnere verdamperpijp heeft normaal meer stromingsweerstand, bij natuurlijke circulatie kan dit problemen opleveren, een circulatiepomp zoals hier wordt toegepast heft dit probleem op.

Op afbeelding 5 is een stuk pijp weergegeven.



Afbeelding 5. Schematische voorstelling van een pijp.

Waarin:

D_i = Inwendige diameter in meter

t = Wanddikte materiaal in meter

l = Pijplengte in meter

σ = Materiaalspanning in N/m^2

p_w = Werkdruk (overdruk of manometrische druk) in N/m^2

De kracht (F) die op de pijp in langsrichting naar boven en naar beneden werkt is gelijk aan de werkdruk (p_w) vermenigvuldigd met het geprojecteerd oppervlak, ofwel:

$$F = p_w \cdot D_i \cdot l \quad [\text{N}]$$

Deze kracht wordt in evenwicht gehouden door de spanning in het wandmateriaal. De doorsnede (A) van het wandmateriaal die weerstand biedt is gelijk aan twee maal de wanddikte (t) maal de lengte, ofwel:

$$A = 2 \cdot t \cdot \ell \quad [m^2]$$

De spanning (σ) die loodrecht op deze materiaalsoorsnede werkt is gelijk aan:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{p_w \cdot D_i \cdot \ell}{2 \cdot t \cdot \ell} = \frac{p_w \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad [N / m^2]$$

Voorbeeld:

Gegeven:

Een membraanwand bestaat uit pijpen die een inwendige diameter hebben van 50 mm en een wanddikte van 4,8 mm. De werkdruk van de ketel bedraagt 80 barg.

$$\begin{aligned} p_w &= 80 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \\ D_i &= 0,05 \text{ m} \\ t &= 0,0048 \text{ m} \end{aligned}$$

Gevraagd:

- Bereken de optredende materiaalspanning in de wand van deze pijp.
- Hoe groot wordt de wanddikte als de pijpdiameter 40 mm wordt en de materiaalspanning gelijk moet blijven.

Oplossing:

Voor de materiaalspanning geldt:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{p_w \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad [N / m^2] \\ \sigma &= \frac{80 \cdot 10^5 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,0048} = 41.666.666 \quad [N / m^2] \\ \sigma &= 41,6 \text{ MN} / m^2 \end{aligned}$$

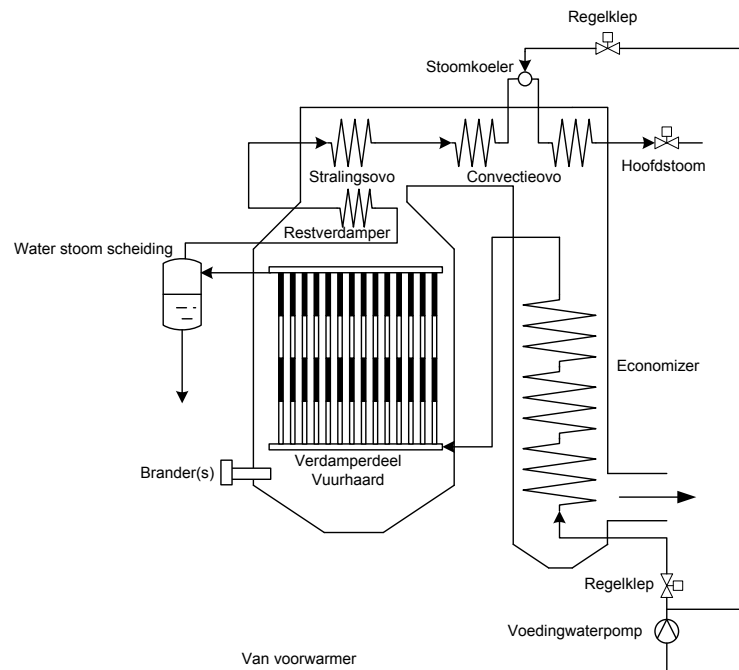
Als de pijpdiameter 40 mm wordt en de materiaalspanning gelijk blijft, dan geldt voor de wanddikte:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{p_w \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad [N / m^2] \\ 41.666.666 &= \frac{80 \cdot 10^5 \cdot 0,04}{2 \cdot t} \quad [N / m^2] \\ t &= \frac{80 \cdot 10^5 \cdot 0,04}{2 \cdot 41.666.666} = 0,00384 \text{ m} \quad [3,84 \text{ mm}] \end{aligned}$$

We zien dat bij kleinere pijpdiameters en bij gelijkblijvende materiaalspanning de wanddikte kleiner kan worden.

2.2.3 Doorpompketels

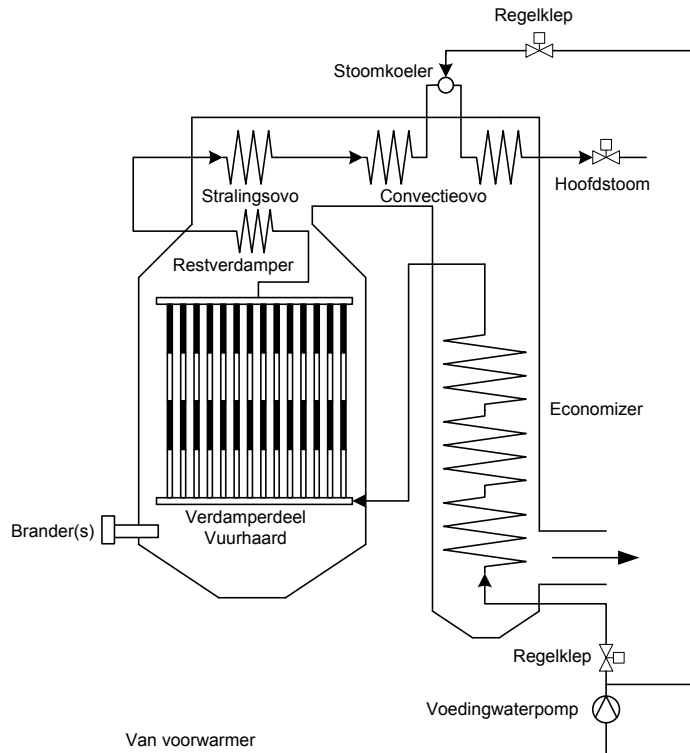
Op afbeelding 6 is een tekening weergegeven van een Sulzer doorpompketel. Op afbeelding 7 is een zogenaamde Benson ketel weergegeven.



Afbeelding 6. Sulzer doorpompketel.

Bij beide ketels valt op dat er geen stoom waterhouder meer in is opgenomen. Bij dit soort ketels is de stoomdruk in principe "onbeperkt", er zijn inmiddels ketels die met een druk van 280 bara en een temperatuur van 640 °C werken. Dit noemen we superkritische ketels. De druk ligt namelijk boven de kritische druk van 221,2 bara (22,12 MPa).

Bij deze ketels wordt het voedingwater dat via de economizer binnenkomt rechtstreeks in het verdampergedeelte gepompt. Bij de kritische druk en daarboven bestaat het zogenaamde koken niet meer, het water gaat bij een druk van 221,2 bara en een temperatuur van 374,15 °C spontaan over in stoom. Bij de Benson ketel ligt dit eindpunt ergens op het einde van de verdamperpijpen, bij de Sulzer ketel is er op het eind van de verdamper een waterafscheider in het systeem opgenomen, hier valt dan het verdampereindpunt samen met de plaats van de waterafscheider.



Afbeelding 7. Benson doorpompketel.

Bij onderkritische ketels, subkritisch, een druk lager dan 221,2 bara bereikt het water op een bepaald punt in de ketel zijn kookpunt en begint te verdampen. Als al het water verdampt is, wordt het in een oververhitter verder opgewarmd tot oververhitte stoom. Bij de onderkritische ketels is er niet direct sprake van een begin en eindpunt van het verdampen. Het eindpunt ligt in ieder geval in de stoom waterhouder waar het water van de stoom wordt gescheiden. Deze ketels worden bij subkritische drukken en bij superkritische drukken gebruikt.

Superkritische druk

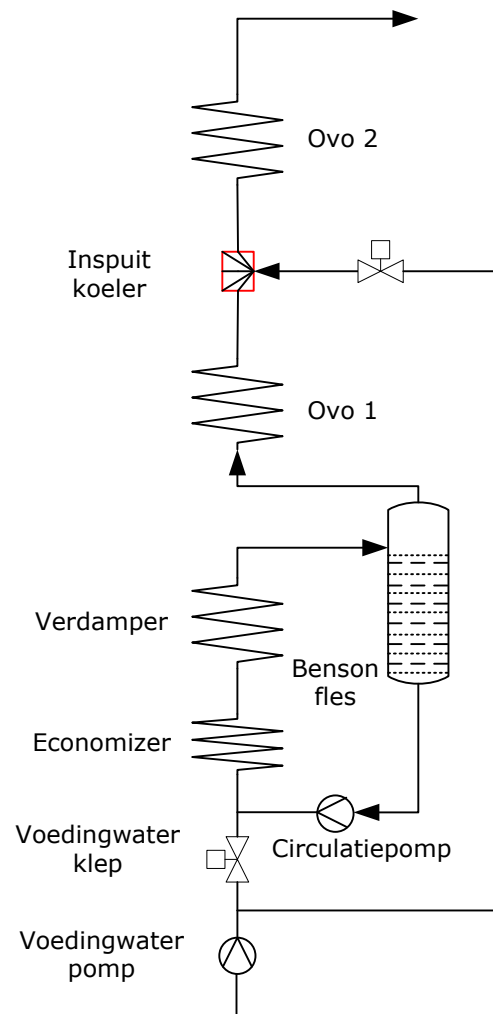
Bij de superkritische ketels wordt het voedingwater via de economizer rechtstreeks de verdamer ingepompt. Op het einde van de verdamer is al het water verdampt en verdwijnt als stoom naar de oververhitter waar het verder wordt opgewarmd tot oververhitte stoom.

Bij de superkritische doorpompketel gaat het water dus slechts één maal door de verdamer, terwijl dit bij natuurlijke circulatieketels, subkritisch, meerdere keren is. Dit geldt voor vollastbedrijf.

Om de ketel ook geschikt te maken om lagere belastingen te draaien is de ketel voorzien van een zogenaamde Bensonfles, hier vindt scheiding van water en stoom plaats. De stoom verlaat de ketel via de oververhitters als oververhitte stoom.

Op afbeelding 8 is een schema weergegeven van economizer, verdamer, bensonfles en oververhitter.

Bensonfles



Afbeelding 8. De Bensonfles bij een doorpomp ketel.

Bij belastingen lager dan ongeveer 30% van vollast wordt de hoeveelheid water die door de verdamper stroomt te laag voor een goede koeling, dan bestaat nu de mogelijkheid om water vanuit de Bensonfles door de economizer en verdamper te pompen, nu wordt de hoeveelheid water die door de verdamperpijpen stroomt groter dan de stoomproductie. Bij belastingen van 60% en hoger werken deze ketels volledig als doorpompetel.

2.3 Onderdelen van de ketel

Een ketel bestaat uit de volgende onderdelen:

- Drum met inhoud
- Verdampergedeelte
- Economizer
- Oververhitter en eventueel herverhitter
- Branders

2.3.1 De drum

Bij natuurlijke circulatieketels en gedwongen circulatieketels is er een water stoomdrum aanwezig, hierin zijn een aantal componenten opgenomen, dit kunnen zijn:

- Binnenstoompijp
- Binnenvoedingpijp
- Binnenspuipijp (enkel bij vlampijpketels)
- Chemicaliënleiding
- Stoomtrog
- Cyclonen met chevrons
- Belemmeringsplaten (geperforeerde platen)

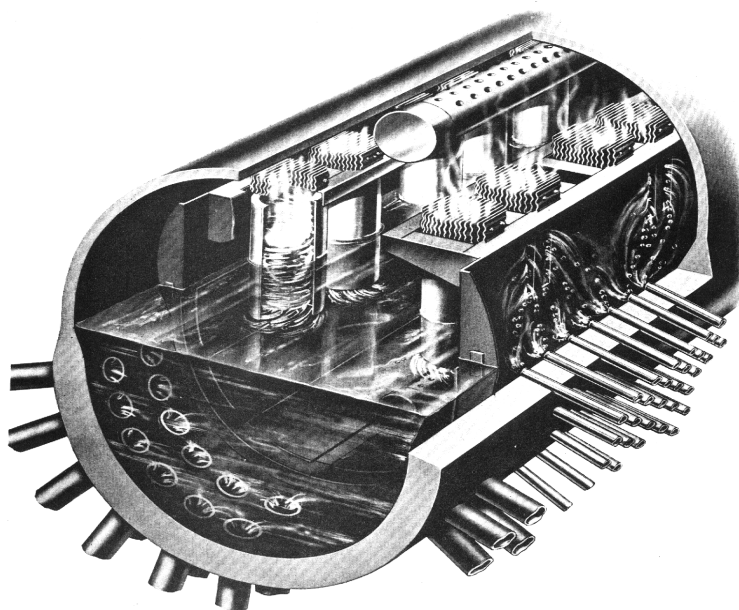
Het is de bedoeling dat in de stoomdrum, ook wel water stoomhouder genoemd, de verzadigde stoom van het water gescheiden wordt. Op de drum zitten leidingen die de verzadigde stoom naar de oververhitter voeren, de stoom die naar de oververhitter gaat moet droog zijn, met andere woorden, deze mag geen water meer bevatten. Reden temeer om in de drum een voorziening te treffen waar een goede scheiding van water en stoom plaatsvindt.

Trog

Het water stoommengsel dat via de membraanwanden en verdamperbundels naar de drum gevoerd wordt, komt uit op de trog. Op de trog staan in de regel cyclonen gemonteerd, deze dienen voor de eerste stoom waterscheiding. Daarna is hetzij een binnenstoompijp of een stoomzeef gemonteerd, deze dienen als tweede stoom waterscheiding.

Cyclonen

Op afbeelding 9 is een dergelijke uitvoering te zien van een stoomdrum met trog, cyclonen en binnenstoompijp.

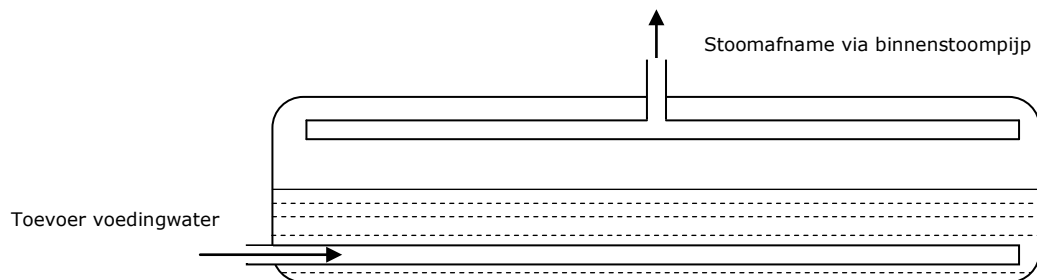


Afbeelding 9. Stoomhouder met trog, cyclonen en binnenstoompijp.

De dunne pijpen dienen voor de aanvoer van het water stoommengsel, de dikke pijpen aan de voorzijde zijn de zogenaamde valpijpen. De valpijpen zorgen ervoor dat het water naar beneden wordt gevoerd om zo de membraanwanden weer van water te voorzien en dat de circulatie in de ketel gewaarborgd blijft.

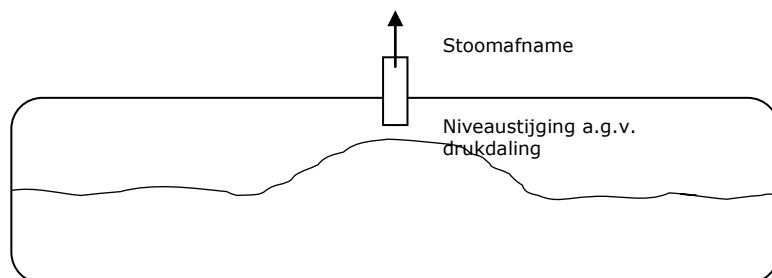
Binnenstoompijp:

De binnenstoompijp is over de gehele lengte van de drum aangebracht, zie afbeelding 10.



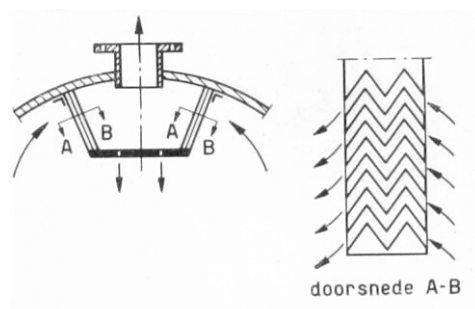
Afbeelding 10. Binnenstoompijp.

In de pijp zijn gaatjes of zaagsnedes aangebracht. De bedoeling is dat er over de gehele lengte van de drum stoom afgenomen wordt. Als dit namelijk slechts op één plaats zou zijn, zou er op deze plaats een lokale drukval kunnen optreden. De keteldrum is namelijk erg lang en als er dan op slechts één plaats stoom afgenomen wordt, dan wordt de druk daar ter plaatse lager dan op een andere plaats in de drum. Bij deze lagere druk hoort een lagere kooktemperatuur en daardoor gaat het water hier ter plaatse heftig koken waardoor plaatselijk ook het niveau stijgt, zie de schets op afbeelding 11.



Afbeelding 11. Drum zonder binnenstoompijp.

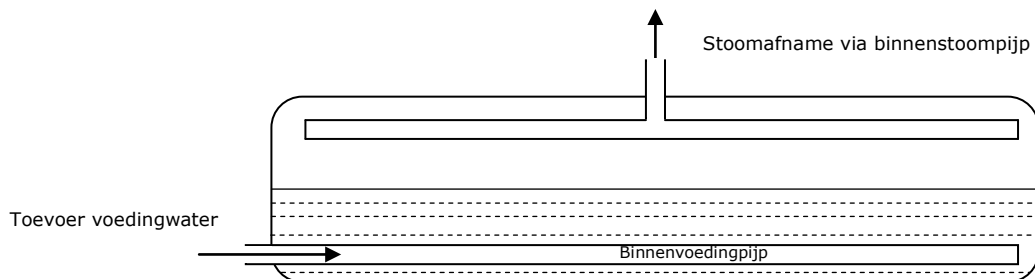
In plaats van een binnenstoompijp wordt ook wel een stoomzeef toegepast, dit is weergegeven op afbeelding 12.



Afbeelding 12. Schematische voorstelling van een stoomzeef.

Binnenvoedingpijp:

De binnenvoedingpijp lijkt erg op de binnenstoompijp, ook dit is een geperforeerde pijp die over de gehele drum ligt, dit is weergegeven op afbeelding 13.

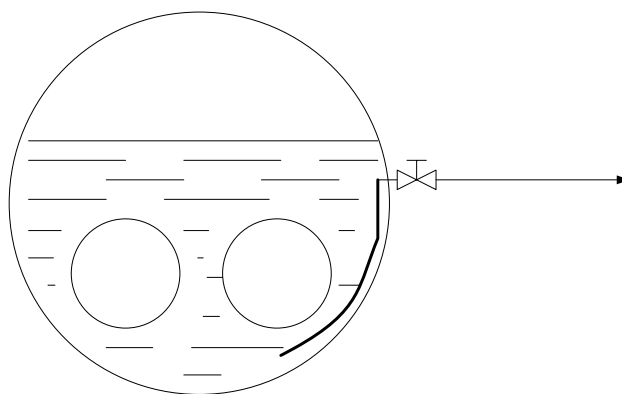


Afbeelding 13. Binnenvoedingpijp.

Als er geen gebruik wordt gemaakt van een dergelijke voorziening, dan wordt het voedingwater, dat altijd kouder is dan het water in de ketel zelf, aan één kant de drum in gevoerd. Het gevolg is dan, dat plaatselijk het water in de drum niet meer op kooktemperatuur is, hierdoor zal het niveau van het water ter plaatse van de voedingwatertoevoer lager staan dan elders in de ketel. Omdat het water kouder is, bevinden zich in het water geen dampbellen meer, dit is de reden dat het niveau dan lager staat dan elders in de drum. Tevens krijgen we in dit geval warmtespanningen in de drum. Dus de binnenvoedingpijp voorkomt warmtespanningen in de drum.

Binnenspuipijp: enkel bij vlampijpketels.

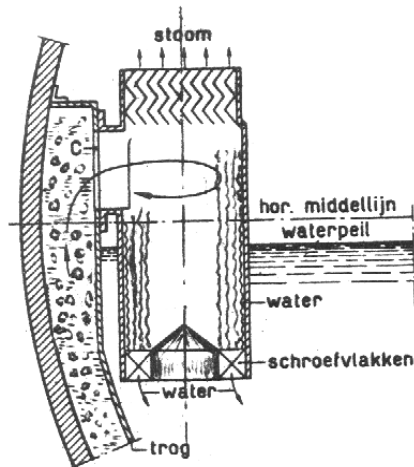
Bij vlampijpketels, tankketels, komt de binnenspuipijp nog voor, dit is niets anders dan een leiding die op ongeveer de halve hoogte binnenkomt en via de binnenzijde van de ketel naar onderen loopt. Dit is schematisch weergegeven op afbeelding 14. In vlampijpketels is een slechte circulatie van het water, hierdoor kunnen vuildelen zich ophopen onderin de ketel, de binnenspuipijp kan nu het vuil wegspuien.



Afbeelding 14. Binnenspuipijp.

Stoomtrog met cyclonen en chevrons:

Op afbeelding 15 is een stoomtrog weergegeven met daarop een cycloon gebouwd. Bovenop de cycloon zit een chevron gemonteerd. Op de afbeelding is een verticale cycloon weergegeven, deze zijn er ook in horizontale uitvoeringen.

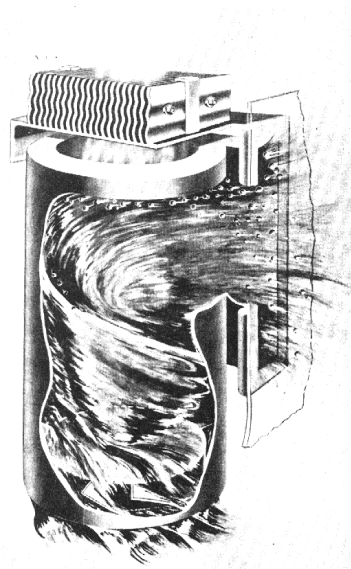


Afbeelding 15. Een trog met cycloon en opgebouwde chevrons.

De stijgpipen, dit zijn de pijpen waarin het water stoommengsel uit het verdampergedeelte van de ketel naar boven wordt gevoerd, zitten op de trog aangesloten. Vanuit de trog wordt het waterstoommengsel door de cycloon gedrukt. In de cycloon krijgt het water stoommengsel een draaiende beweging. Als gevolg van de centrifugaalkracht wordt het water naar de buitenzijde geslingerd en zakt naar beneden. De stoom verlaat dan via de chevrons de cyclonen.

Chevrons

Op afbeelding 16 is apart een cycloon te zien, de gegolfde plaatjes boven op de cycloon zijn de chevrons.

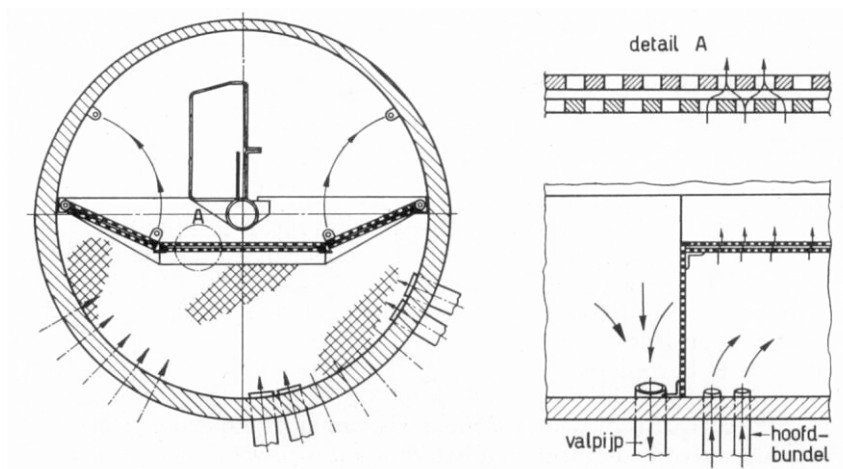


Afbeelding 16. Cycloon met chevron.

De stoom die door de chevrons stroomt, wisselt constant van richting, water wordt hier nogmaals van de stoom gescheiden en zakt naar beneden.

Belemmeringsplaten:

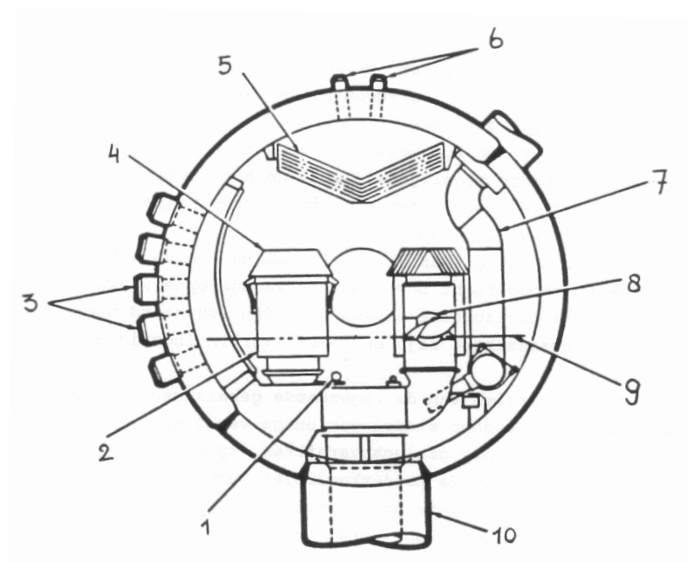
Een andere manier van stoom waterscheiding bij ketels die met lage belastingen werken en vooral afvalgestookte ketels is met behulp van zogenaamde belemmeringsplaten in plaats van een trog met cyclonen.



Afbeelding 17. Belemmeringsplaten.

De platen beletten een sterke beweging van het wateroppervlak. In de afbeelding is aangegeven dat de zijstukken omhooggeklapt kunnen worden ten behoeve van het reinigen van de ketel etc. Op de plaats waar de valpijpen gemonteerd zijn is een apart geperforeerd scherm geplaatst, dit om te voorkomen dat er stoombellen in de valpijpen getrokken worden.

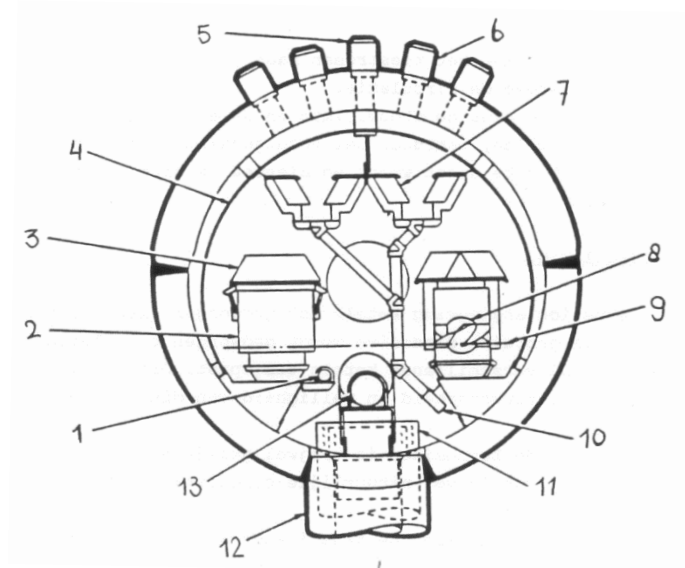
Op afbeelding 18 en 19 zijn twee verschillende uitvoeringen van een drum weergegeven. Bij de drum van de ketel van afbeelding 19, zien we een dubbele wand in de drum, dit is een plaatstalen wand, hierdoor ontstaat een tussenruimte, de drum kan hierdoor bij optarten enzovoorts, beter gelijkmatig verwarmd worden.



Afbeelding 18. Drum van een ketel met trog.

Legenda bij afbeelding 18.

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Continu spui | 6. Naar oververhitters |
| 2. Eerste stoomscheiding | 7. Voedingwatertoevoer |
| 3. Stijgpijpen | 8. Schoepen in cycloon |
| 4. Tweede stoomscheiding | 9. Normaal waterpeil |
| 5. Stoomzeef | 10. Valpijp |



Afbeelding 19. Drum van een ketel met trog en dubbele wand.

Legenda bij afbeelding 19.

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Continu spui | 8. Schoep in cycloon |
| 2. Eerste stoomscheiding | 9. Normaal water peil |
| 3. Tweede stoomscheiding | 10. Aftap |
| 4. Scherm | 11. Geperforeerde waterkast |
| 5. Naar oververhitter | 12. Valpijp |
| 6. Stijgpijpen | 13. Voedingwaterleiding |
| 7. Stoomzeef of droger | |