4.5 Soorten stoomketels

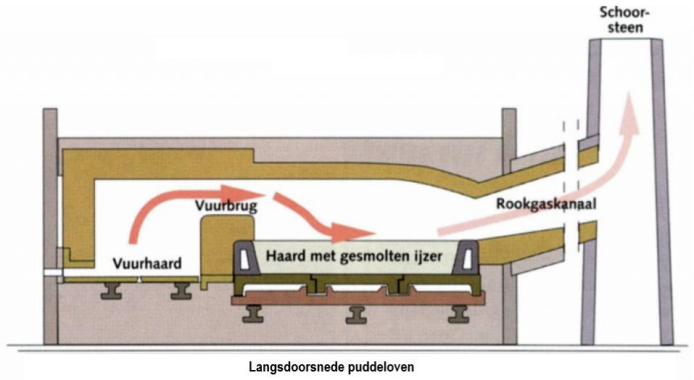
Er bestaat een groot aantal soorten stoomketels Zij onderscheiden zich hoofdzakelijk door de wijze waarop de warmteoverdracht plaatsvindt. Bij de stoominstallaties van polder- en boezemgemalen in Nederland is slechts een beperkt aantal soorten toegepast. De eerste ontwikkeling van de stoomketel heeft in Engeland plaatsgevonden. Een aantal soorten zijn daarom naar de streek genoemd waar de ketel is ontwikkeld en werd toegepast.

4.5.1 Onderscheid

Omstreeks 1725 is men begonnen stoomketels uit ijzeren platen samen te stellen. De stoomketels van voor deze datum waren qua vorm afgeleid van brouwerijketels. De stoomketels werden in de tijd van Newcomen (1663-1729) vaak uit het gemakkelijk te bewerken maar weinig sterke koper samengesteld. In dit soort vaten werd slechts water gekookt en was er nauwelijks sprake van enige stoomdruk zodat er minder makkelijk explosies konden plaatsvinden. Van ijzer dat uit de hoogovens kwam kon men in die tijd, onder andere door ontkolen, de eigenschappen enigszins naar eigen hand zetten. Van staal ,zoals we ijzer tegenwoordig meestal noemen, en zeker van gelegeerde staalsoorten was in die tijd nog geen sprake. Ook ontbrak het aan inzicht dan wel kennis van het krachtenspel dat zich afspeelde in een stoomvat onder druk en de hoge temperatuur van de stoom, Ook ontbrak de kennis wat betreft de eigenschappen van de in de vuurgang verstookte brandstof.

Smeedijzer

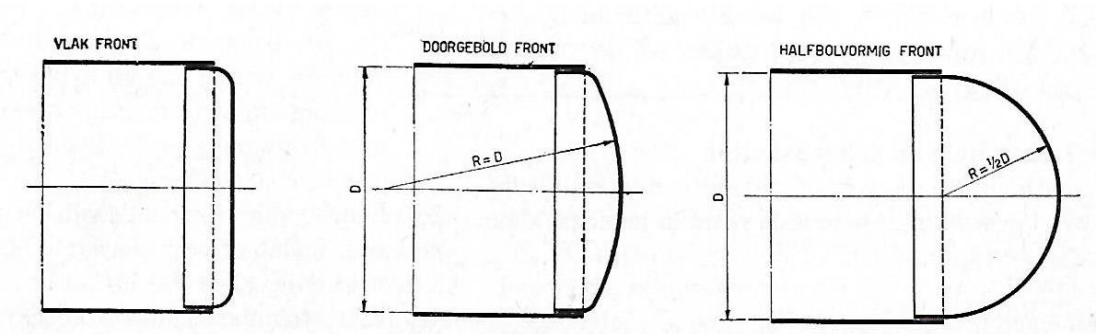
Het oudste verwerkingsproces om van ruwijzer smeedijzer of staal te maken wordt puddelen genoemd, afgeleid van de bewegingen die met een grote haak in de zogenoemde puddeloven gemaakt moeten worden.



Langsdoorsnede puddeloven

Het product dat met dit proces wordt vervaardigd noemt men daarom ook wel puddelijzer. Henry Cort vond in 1784 het dry-puddeling uit waarbij het ruwijzer tijdens het ontkolingsproces in een deegachtige toestand werd gehouden. Later werd in 1839 door Joseph Hall het wet- puddeling-procedé ontwikkeld waarbij het ruwijzer eerst werd gesmolten en vervolgens ontkoold. Bij het natte proces werd aan het ruwijzer ook schroot toegevoegd en later ook hamerslag (ijzerschilfers die vrijkomen bij het walsen en smeden van ijzer). Door deze toevoeging werd het puddelproces heftiger en verliep het sneller en efficiënter. Er kon zodoende meer worden geproduceerd.

Het duurde echter tot einde van de 18e eeuw voor de stoomketel zijn huidige en lang toegepaste gestalte kreeg. Het was de Engelsman Richard Trevithick (1771-1833) uit Cornwall die zich onder andere met het verbeteren van het rendement van de stoommachine bezig hield en streefde naar hogere stoomdrukken. Hij ontwierp hiervoor een lange cilindervormig stoomketel met eivormige fronten.



Soorten ketelfronten

Deze in 1812 (volgens diverse bronnen zelfs al in 1803 of 1806) ontwikkelde stoomketel,) was samengesteld uit smeedijzeren platen en gietijzeren onderdelen. Het vuur van deze stoomketels, waaruit hij later de overbekende Cornisch- of Cornwall-ketel met één vuurgang ontwikkelde, lag onder de ketel. De stoomdruk van deze tot 1844 immens populaire stoomketel bedroeg 4 kg/cm^2. In voornoemd jaar namen Sir William Fairbairn (1789-1878) en John Hetherington uit Manchester een patent op een eveneens cilindrische stoomketel maar dan met twee vuurgangen: de Lancashire-ketel. Van alle stoomketels werd in de 19e en begin 20e eeuw de cilindrische vuurgangketel verreweg het meest toegepast vanwege de robuuste en betrekkelijk simpele constructie en het bedieningsgemak. Omstreeks 1850 waren bijvoorbeeld in de toen al sterk geïndustrialiseerde graafschappen Lancashire en Yorkshire niet minder dan 1.200 van dit type ketels in gebruik. Zowel de Cornwall als de Lancashire stoomketel zijn veel toegepast bij polderbemalingsinstallaties en tot op de dag van vandaag zelfs naast elkaar nog in gebruik, zoals bij het gemaal de Tuut in Appeltern. . Nederlandse fabrikanten van dit type stoomketels waren de Gebr. Stork, Backer & Rueb en Werkspoor respectievelijk gevestigd te Hengelo, Breda en Amsterdam.

Uit de vuurgangketels ontstonden verschillende types met grote kookbuizen, de zogenoemde Galloway buizen, in de vuurhaard met als doel de circulatie en daarmee de stoomproductie te bevorderen. Ketels van dit type werden onder andere bij de firma Edwards in Parijs gemaakt en stonden bekend als 'Franse ketels'. Voor de spoorwegen werd de vlampijpketel met vuurkist ontworpen. De geestelijk vader van de vlampijpketel is de Fransman Marc Seguin (1786 – 1875), De ontwikkeling en de praktische toepassing van deze vinding uit 1827 staat echter op naam van het Engelse duo Henry Booth (1700 - 1845) en George Stephenson (1781 - 1848).

Voor schepen, waar met de ruimte gewoekerd moest worden, ontstond omstreeks 1890 de vuurgang-vlampijpketel met de vlampijpen boven de vuurgang waardoor de rookgassen in de richting van de stoker werden geleid. Deze ketels waren weliswaar voorzien van een isolerende schil maar hadden geen ommetseling meer nodig voor isolatie en het langs de ketelromp leiden van de rookgassen.
Naast deze ketels waar de rookgassen door vuurgangen en vlampijpen werden gevoerd ontstond reeds in 1847 de waterpijpketel. De pionier van dit type ketel, waarbij het water in plaats van de rookgassen door de pijpen stroomt, is de Duitser dr. Ernst Alban (1791-1856).. Voor zijn hogedruk stoommachine ontwierp hij een ketel met hellende waterpijpen en een stoomdruk van maar liefst 40 kg/cm^2.
Er bestaat een scala aan fabrikanten die zelf of in licentie waterpijpketels bouwden, respectievelijk lieten bouwen. Een zeer bekend en in de industrie en de scheepvaat toegepast type en fabricaat was de Babcock & Wilcox sectieketel. Dit door Stork in licentie gebouwde type is bij het Stoomgemaal Halfweg toegepast en daar nog steeds te bewonderen.
Omdat het ondoenlijk is om in het kader van deze leidraad alle soorten en types stoomketels te behandelen zullen de omschrijvingen beperkt blijven tot de in de loop der tijd bij bemalings-installaties toegepaste soorten en types.

Vuurgangketels

Bij vuurgangketels wordt de door middel van verbranding opgewekte energie door de vuurgang en de romp van de ketel aan het water overgedragen. Voor de overdracht van de warmte aan de romp is een ommetseling van de ketelinstallatie nodig. De verbranding van de brandstof bij dit type ketels vindt plaats in het eerste deel van de zogenoemde vuurgang.

Vuurgang-vlampijpketels

De vuurgang-vlampijpketels maken naast de vuurgang gebruik van vlampijpen om de warmte over te dragen. Deze vlampijpen zijn achter of boven de vuurgang aangebracht. Ook zijn er installaties waar de vlampijpen in een aparte drum zijn aangebracht. Ook bij deze ketels vindt de verbranding plaats in het eerste deel van de vuurgang. De oudere keteltypes zijn meestal nog van een ommetseling voorzien. De relatief jongere keteluitvoeringen hebben een omhulling van plaatstaal met daartussen isolatiemateriaal.

Vuurgang-vlampijp- waterpijpketels

Bij de vuurgang vlampijp- waterpijpketels zijn in de vlamkast een aantal waterpijpen aangebracht met als primair doel de watercirculatie in het achterste deel van de ketel te bevorderen. Dit in het begin van de 20^e eeuw op de markt gebrachte type, meestal als Schotse ketel,(zie 1.5.4) werd uitsluitend van een uit plaatstaal en isolatiemateriaal bestaande omhulling voorzien, dus niet meer ingemetseld. De warmteoverdracht voor de stoomvorming vindt uitsluitend plaats via de vuurgang vlam- en waterpijpen.

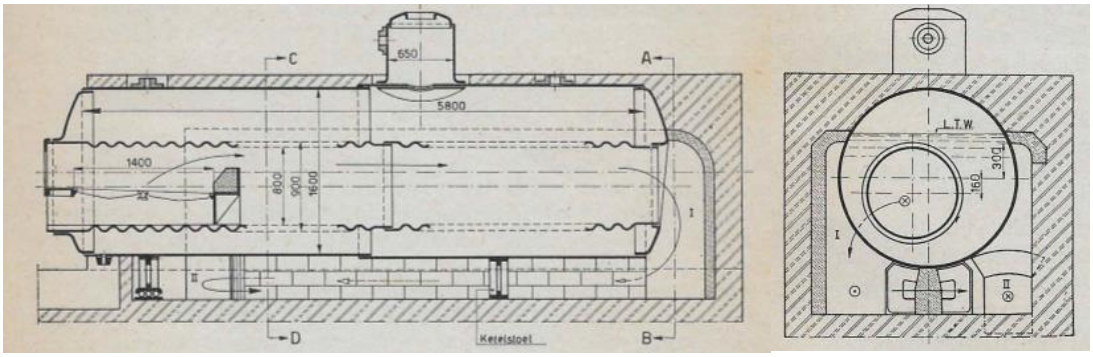
Waterpijpketels

Bij waterpijpketels wordt de door middel van verbranding opgewekte energie door een groot aantal waterpijpen aan het water overgedragen.

Bij waterpijpketels vindt de verbranding plaats in de speciaal daarvoor ingerichte gemetselde vuurhaard. In Nederland kennen we slechts één voorbeeld van een waterpijpketeltoepassing. Dit is bij het stoomgemaal Halfweg waar omstreeks 1932 de Lancashire vuurgangketels, door twee door Stork in licentie gebouwde Babcock & Wilcox sectie- ketels zijn vervangen.

4.5.2 Cornwall-ketel

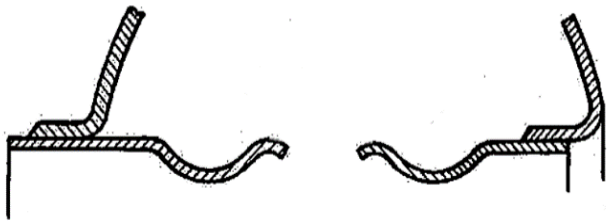
De in het verleden veel toegepaste Cornwall-ketel zoals wij die heden ten dage nog tegenkomen in poldergemalen bestaat uit een horizontale cilindrische romp waarin één vuurgang is geplaatst; aan beide zijden afgesloten met een half-bolvormig front. De asymmetrisch geplaatste vuurgang reikt van het voorfront, de stookplaats, tot het achterfront van deze relatief lange en slanke ketel.



Langs en dwarsdoorsnede Cornwall stoomketel

De grootte van het VO van deze ketels bedraagt tussen de 20 - 80 m^2. De rompdiameter, als de lengte van de ketel er in wordt betrokken, bepaalt de uiteindelijke waterinhoud van de ketel. Deze wordt afgeleid van het VO en bedraagt een kwart van de vierkantswortel uit het verwarmd oppervlak ($D \sim 0{,}25 \sqrt{VO}$) dus tussen de 1,30 - 2,20 m. De romp is 4 tot 8 m lang en bestaat in de regel uit een oneven aantal aan elkaar geklonken ringen. De halfbolle fronten welke aan de uiteinden van de ringen zijn geklonken, hebben een kromtestraal ter grootte van vijf kwart van de rompdiameter ($R=1{,}25\ D$). De kromtestraal van de fronten bij de overgang naar het cilindrische gedeelte mag in verband met scheurvorming, welke kan ontstaan tijdens de fabricage, niet kleiner of gelijk zijn dan één tiende van de rompdiameter ($R \leq 0{,}1\ D$). De kleinste diameter van de aan deze fronten geklonken (gegolfde) vuurgang in de ketel bedraagt ongeveer de helft van de rompdiameter ($d=0{,}5\ D$).

De verbinding met de vuurgang bij geklonken ketels komt tot stand door felsranden die aan het voorfront naar buiten en bij het achterfront naar binnen zijn gebogen. Op deze wijze kan het vuurraam waarop de roosters liggen eenvoudig worden aangebracht, echter de klinknaad ter plaatse kan men maar aan één zijde koken (zie 1.1.14). Verder heeft deze constructiewijze als gevolg dat er een nauwe opening ontstaat waarin zich vuil verzamelt dat daar aantasting van het ketelmateriaal veroorzaakt. Aan deze plek moet daarom bij ketelinspecties extra aandacht worden besteed.



Bevestiging vuurgang aan voorfront en achterfront

Aan deze plek moet daarom bij ketelinspecties extra aandacht worden besteed.

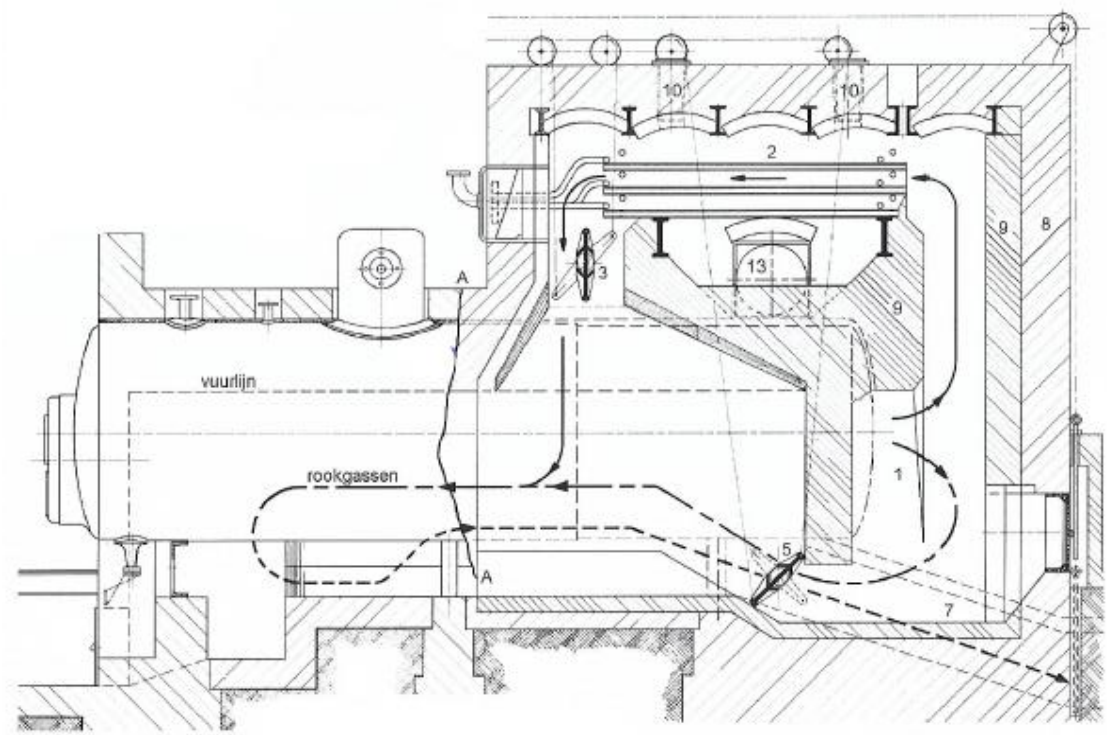
Het midden van de vuurgang bij Cornwall-ketels plaatst men op een afstand van 0,1 D naast en onder de hartlijn van de romp om de circulatie te bevorderen. Het laagste waterpeil in de ketel ligt overeenkomstig het stoombesluit tenminste 10 cm boven het hoogste punt van het verwarmde oppervlak, de vuurgang of de romp. De hoogte van de stoomruimte is maximaal 0,35 D – 10 cm en bedraagt bij de eerder genoemde rompdiameters slechts 35 - 65 cm.

De stoomketel is meestal voorzien van een zogeheten stoomdom waarop de hoofdstoomafsluiter is geplaatst. De afstand tot de waterspiegel wordt hiermee vergroot waardoor er minder makkelijk waterdruppels worden meegesleurd. Omdat de stoomdom een verzwakking van de ketelromp betekent moet deze ter plaatse worden versterkt. Dit is de reden dat jongere versies van dit keteltype van een zogenoemde binnenstoompijp zijn voorzien waardoor, vanwege de kleinere diameter hiervan, de romp minder wordt verzwakt. Deze pijp is aan de bovenzijde van brede zaagsneden voorzien waardoor er minder makkelijk waterdruppels met de stoom kunnen worden meegenomen. In de bovenzijde van de stoomdom wordt ook het mangatdeksel aangebracht. Dit ellipsvormige deksel heeft een voorgeschreven minimale afmeting van 300 x 400 mm en dient om de ketel waterzijdig te kunnen inspecteren. De ellipsvorm van het deksel zorgt er voor dat deze van binnen uit kan worden aangebracht en de stoomdruk het deksel tegen de zitting drukt. Mangat deksels worden uit een vlakke plaat gemaakt of in een gegolfde vorm geperst volgens het patent Mac Neil. Een volgens dit patent vervaardigde deksel is minder zwaar en daardoor makkelijker te hanteren bij (de)montagewerkzaamheden.

De ketel wordt opgelegd op gietijzeren stoelen op een zodanige wijze dat er voldoende doortocht is voor de rookgassen en inspectie werkzaamheden. De uitzetting van de romp wordt opgevangen door de voorste stoelen, dus aan de stookzijde, van rollen te voorzien. De achterzijde van de ketel die verbonden is met de gemetselde rookkanalen blijft bij het uitzetten op zijn plaats waardoor een gasdichte aansluiting is gegarandeerd.

Op het vuurraam in de vuurgang zijn gietijzeren roosters geplaatst Boven het vuur en over een korte afstand daarachter vindt de warmteoverdracht hoofdzakelijk plaats door straling en convectie, in het verdere deel door geleiding, convectie en enige straling.

De verbrandingstemperatuur van de steenkool bedraagt ongeveer 1200 - 1450 ºC. De rookgassen verlaten de vuurgang met een temperatuur van ongeveer 500 - 600 ºC. en gaan vervolgens langs de buitenzijde van de romp en de ommetseling om verder warmte af te geven.
Het eerste rookkanaal, waarin de gassen naar de voorzijde van de ketel stromen ligt aan de zijde waar de vuurgang het dichtst bij de romp ligt. Het water tussen de vuurgang en de romp wordt hier aan twee zijden verwarmd waardoor een krachtige omhoog gerichte stroming ontstaat en er meer warmte per tijdseenheid wordt overgedragen. In het tweede kanaal stromen de rookgassen naar achteren en bereiken via de rookschuif en het gemetselde rookkanaal uiteindelijk de schoorsteen. De rookgassen zijn dan afgekoeld tot een temperatuur van ongeveer 350 - 400 ºC.
Bij de toepassing van een oververhitter wordt het rookkanalenstelsel, naast de reguliere rookschuif naar de schoorsteen, van kleppen voorzien en zodanig ingericht dat de rookgassen geheel of gedeeltelijk via de oververhitter kunnen worden omgeleid. Met de kleppen wordt de temperatuur van de stoom geregeld, maar ook als er geen stoom wordt afgenomen, en er dus onvoldoende koeling plaats vindt van de pijpen, worden deze hiermee behoed tegen oververhiting.

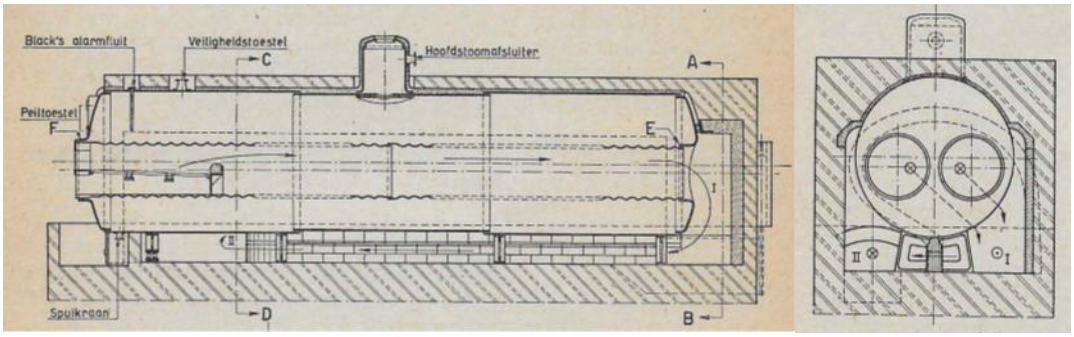


Langsdoorsnede Cornwall-ketel met oververhitter

4.5.3 Lancashire-ketel

De Lancashire-ketel vertoont veel overeenkomsten met de Cornwall-ketel met dien verstande dat dit type ketel in plaats van één, twee vuurgangen heeft.

Met deze twee symmetrisch geplaatste vuurgangen wordt een aanzienlijk groter verwarmd oppervlak gecreëerd en neemt de ketelcapaciteit evenredig toe. Dit laatste betekent dat met een veel kleiner vloeroppervlak en navenant kleiner bouwwerk kan worden volstaan.



Langs en dwarsdoorsnede Lancashire stoomketel

De grootte van het VO van deze ketels bedraagt tussen de 60 - 140 m^2. De rompdiameter bij dit type ketel is D = 0,24 √ VO voor de kleinste tot D = 0,21 √ VO voor de grootste afmetingen dus 1,80 - 2,50 m. De grootste diameter van de vuurgangen is d = 0,5 D - 0,25 m, oftewel 0,65 - 1,15 m. De hartafstand van de vuurgangen ligt op d+ 0,20 m. De horizontale hartlijn van de vuurgangen ligt 0,1 D -70 mm onder de hartlijn van de romp. De ruimte tussen de twee vuurgangen- 20 cm- is te nauw om iemand te laten passeren ten behoeve van bijvoorbeeld inspectie of onderhoud. Het voorfront is daarom aan de onderzijde voorzien van een tweede mangat.

De hoogte van de stoomruimte bedraagt 0,65 - 0,75 m en is daarmee iets groter dan die van de Cornwall-ketel. De in de twee vuurgangen ontwikkelde rookgassen gaan door afzonderlijke kanalen naar de voorkant van de ketel en en komen daar bij elkaar. Vervolgens gaan de rookgasstromen gezamenlijk onder de ketel door via de rookgasschuif naar de schoorsteen. In situaties waar het gemeenschappelijke kanaal niet onder de ketel kan worden aangelegd worden de gasstromen bij het verlaten van de vuurgang direct gebundeld en langs de zijkanten van de ketel geleid. Een bijkomstig voordeel daarbij is dat de kanalen groter en daardoor beter toegankelijk zijn voor inspectie en onderhoud. De doortocht van de kanalen bedraagt 25 - 50 % van het roosteroppervlak (RO).
Evenals bij de Cornwall-ketel moet ook bij de Lancashire-ketel in geval van toepassing van een oververhitter het rookkanalenstelsel hiervoor zijn ingericht en van kleppen zijn voorzien om de temperatuur van de oververhitte stoom te kunnen regelen dan wel het buizenstelsel geheel van de rookgasstroom af te kunnen sluiten om oververhitting te voorkomen.

4.5.4 Vlampijpketels

Als het VO, dat gevormd wordt door cilindrische vlakken met grote diameter zoals de vuurgang en de romp van de ketel, grotendeels vervangen wordt door vlampijpen dan krijgt men:

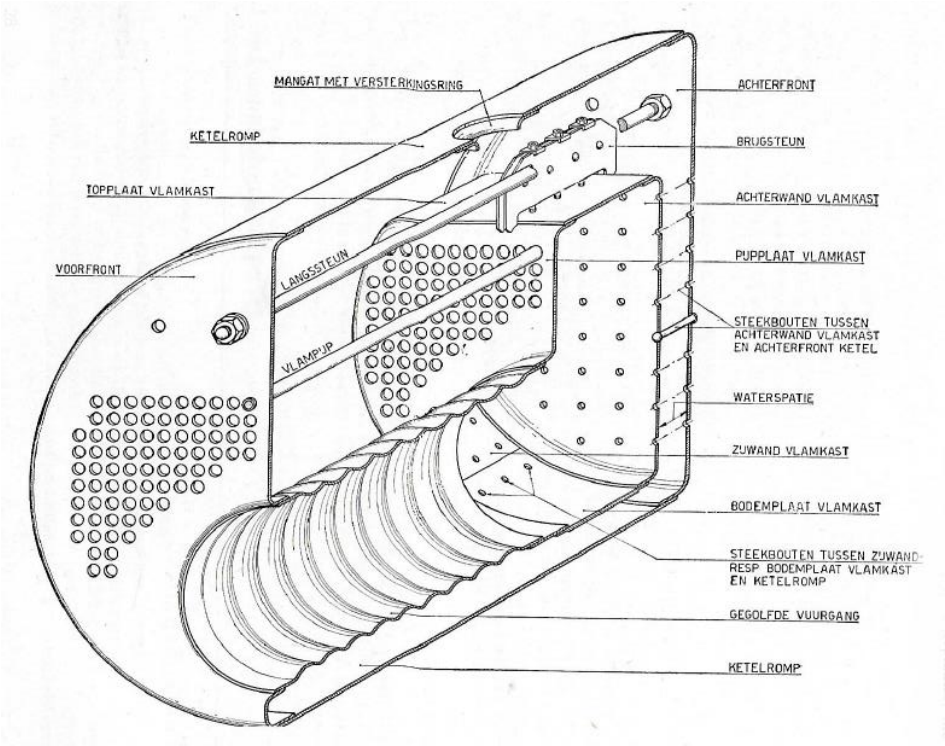
- Een grotere warmteoverdracht per m^2 VO
- Een kleinere ketel omdat het VO gevormd door pijpen aanzienlijk minder ruimte inneemt.

Ter illustratie: van een gegolfde vuurgang van 1 m inwendige diameter is het oppervlak per meter lengte 3,6 m^2. (3,14 x 1 x 1,15). In 1 m^3 kan men ongeveer 81 pijpen met een lengte van 1 m en inwendige diameter van 70 mm plaatsen. Deze pijpen vertegenwoordigen een oppervlak van 18 m^2 (3,14 x 0,07 x 1) hetgeen 5 keer zoveel is vergeleken met de gegolfde vuurgang.

- Een lagere eindtemperatuur van de rookgassen waardoor het rendement toeneemt c.q. de brandstofkosten dalen.
- Een ketel zonder gemetselde rookkanalen waardoor de gewichtsbelasting en de plaatsruimte afnemen. Per vierkante meter vloeroppervlak levert een Cornwall ketel ongeveer 25, de Lancashire ketel met zijn twee vuurgangen ongeveer 45 en de vlampijpketel tussen de 80 en de 200 kg stoom
- Een ketel met een goede circulatie hetgeen de tijd van opstoken verkort

Schotse ketels

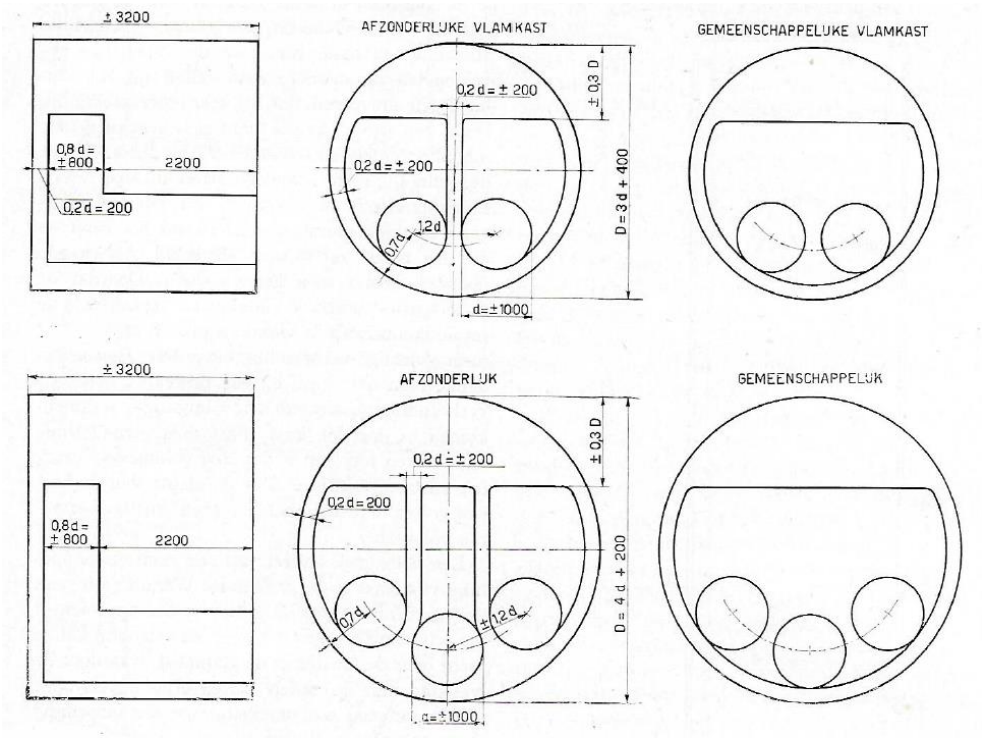
De bezwaren van een groot ruimte beslag, lange opstooktijd en matig rendement die tegen Cornwall- en Lancashire- stoomketels kunnen worden aangevoerd hebben geleid tot de constructie van ketels waarvan een groot deel van het VO bestaat uit vlampijpen. De hete rookgassen worden niet aan de buitenkant van de ketelromp maar door vlampijpen gevoerd. Ketels waar deze vlampijpen boven de vuurgang zijn geplaatst worden met Schotse ketel aangeduid; dit is afgeleid van het patroon waarin de pijpen zijn geplaatst en wat doet denken aan de Schotse ruit van een kilt.



Geklonken Schotse ketel met een vuurgang

In de figuurop de voorgaand bladzijde is een zogenoemde tweetreks Schotse ketel weergegeven met één vuurgang en zonder oververhitter.

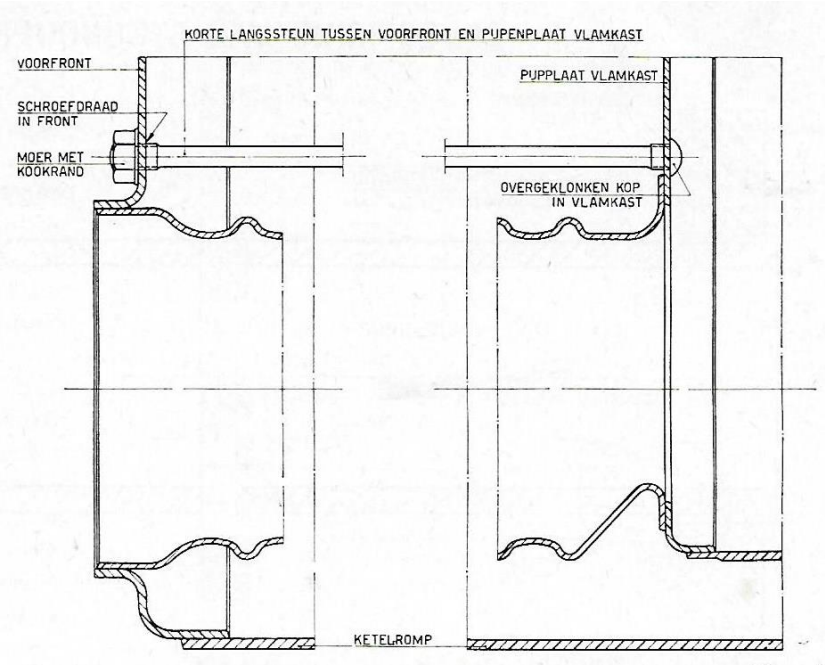
De Schotse ketel is voornamelijk ontwikkeld voor de scheepvaart vanwege de uiterst compacte bouw. Zoals te doen gebruikelijk werden bij bemalingsinstallaties van de goede ervaringen die elders met machines en installaties waren opgedaan gebruik gemaakt, dus ook van dit keteltype. Het in 1920 gestichte ir D.F. Woudagemaal te Lemmer is sinds 1955 uitgerust met vier door Werkspoor geleverde ketels van dit type. De stoomketels van dit gemaal zijn hier indertijd geplaatst ter vervanging van de zes twee drums ketels waarbij de vlampijpen in de bovenste drum zijn geplaatst: de zogenoemde Pied Boef ketels.
De Schotse ketel, waarvan een (groot) aantal varianten bestaan, bestaat uit een betrekkelijk korte romp van grote middellijn met één, twee of voor een nog grotere capaciteit, zelfs drie vuurgangen, elk voorzien van een vlamkast. Boven de vuurgang zijn tussen het voorfront van de stoomketel en de vlamkast de vlampijpen aangebracht.



Schotse ketel met twee of drie vuurgangen en gemeenschappelijke of afzonderlijke vlamkast

De vlamkast heeft een rechthoekige langsdoorsnede en volgt in dwarsdoorsnede de contouren van de waterspiegel, de romp van de ketel of de er naast gelegen vlamkast als er sprake is van meerdere vuurgangen. De vlampijpen vormen ongeveer 80 % van het VO. Zij zijn recht boven elkaar geplaatst met 25 tot 30 mm tussenruimte zodat de grote hoeveelheid op de vuurgang gevormde stoom (ongeveer 120 kg/m^2/h) er tussendoor op kan stijgen. De ruimte tussen twee pijpenbundels en tussen een pijpenbundel en de romp moet groot genoeg zijn om een volwassen persoon te kunnen laten passeren voor inspectie en onderhoudswerkzaamheden.

De vlamkast dient niet alleen als verbindingskanaal tussen de vuurgang en de vlampijpen, maar ook als verbrandingskamer voor de uit de brandstoflaag ontwijkende brandbare gassen. Bij meerdere vuurgangen zijn deze elk met een afzonderlijke of één gemeenschappelijke vlamkast uitgevoerd.
De manier waarop de vuurgang aan het voorfront en aan de vlamkast is bevestigd is in onderstaande figuur aangegeven.



Bevestiging vuurgang aan voorfront en vlamkast

Evenals bij de vuurgangbevestiging van de Cornwall en de Lancashire stoomketel moet bij inspecties en onderhoud zorg worden besteed aan de mogelijke vervuiling, het schoonmaken en de algehele toestand van de slecht bereikbare aansluitingen van de vuurgang aan het front en aan de vlamkast.

De wijze van luchttoevoer (natuurlijk of door kunstmatige trek) is van invloed op de grootte van het rooster en die van het VO bij een bepaalde stoomproductie. Bij natuurlijke trek is de roosterbelasting ongeveer 70 kg/m²RO/ h en is het VO ongeveer 30 keer zo groot als het RO. De roosterbelasting bij kunstmatige trek bedraagt ongeveer 120 kg/m²RO/h en is het VO 42 keer groter dan het RO.
De diameter van de vlampijpen bij Schotse ketels zonder oververhitter en natuurlijke trek bedraagt 3” - 3½”. Bij kunstmatige trek waar de gasweerstand op mechanische wijze wordt overwonnen worden doorgaans pijpen met een diameter van 2½” - 3” toegepast. Ook in de lengte van de pijpen wordt onderscheid gemaakt. Bij natuurlijke trek wordt een pijplengte van 30 keer de vlampijpdiameter aan gehouden dus ongeveer 2,30 - 2,70 m.

Bij kunstmatige trek kiest men voor een pijplengte van 40 keer de vlampijpdiameter en komt men uit op een lengte die varieert tussen de 2,50 - 3,00 m.
Het feit dat men de vlampijpen boven de vuurgang plaatst, is de oorzaak, dat dit type stoomketel een geringe lengte heeft (2,80 - 3,50 m) doch een vrij grote diameter. Daardoor wordt het aantal m^2 VO en ook de stoomproductie per m^2 grondoppervlak aanmerkelijk groter dan van de Cornwall en de Lancashire stoomketels. De waterinhoud van een Schotse ketel is ongeveer 100 kg/m^2 VO. Dit is iets minder dan die van een Lancashire-ketel.

Onderhoud

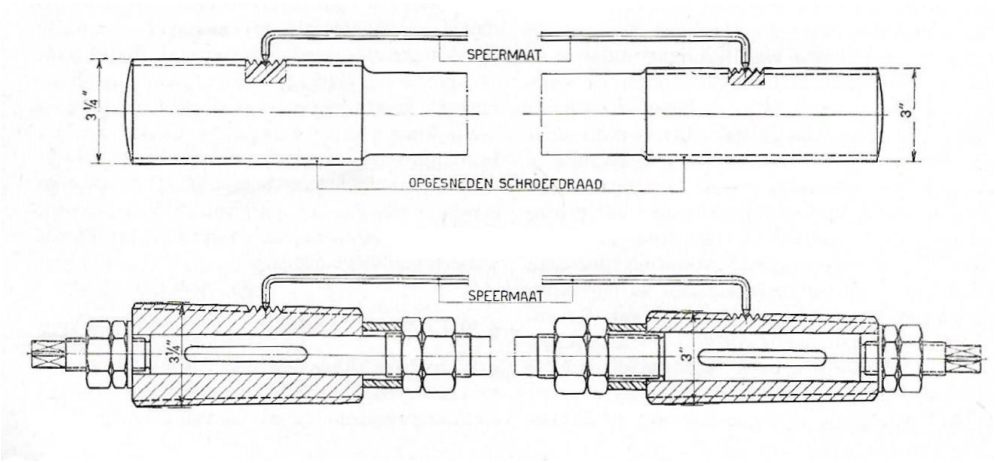
De compact samengestelde Schotse ketel heeft als gevolg dat verschillende onderdelen slecht of in het geheel niet voor reiniging en onderhoud toegankelijk zijn. Waar in het verleden bij bepaalde tankketeltypes het mechanisch verwijderen van ketelsteen (bikken) nog aan de orde was kan dat niet of slechts ten dele bij de relatief modernere Schotse ketels. Dit maakt het noodzakelijk dat de uiterste zorg aan de ketelwaterbehandeling moet worden besteed om de vorming van ketelsteen te voorkomen. Mocht zich onverhoopt toch ketelsteenvorming hebben voorgedaan dan kan dit alleen verwijderd worden door de ketel te zuren. Hierbij wordt de ketel geheel opgevuld met verdund citroen- zwavel- of salpeterzuur. De inhoud wordt met behulp van een speciale pomp net zo lang rond gepompt tot alle ketelsteen door het zuur is opgelost. Na het verwijderen van het zuur met de daarin opgeloste ketelsteen wordt de ketel inwendig met schoon water gespoeld met daaraan toegevoegd een alkali (base) om de achtergebleven zuurresten te neutraliseren.

Steunen

Schotse ketels worden met vlakke ketelfronten uitgerust waardoor zowel de vuurgang als het grote aantal vlampijpen eenvoudiger kunnen worden aangebracht. Door de druk in de ketel willen deze fronten echter bol gaan staan. De vlakke en ook enkele van de cilindrische wanden moeten daarom gesteund worden. Dit geschiedt met de hierna te bespreken steekbouten, langssteunen, steunpijpen, brugsteunen en verdubbelingsplaten.

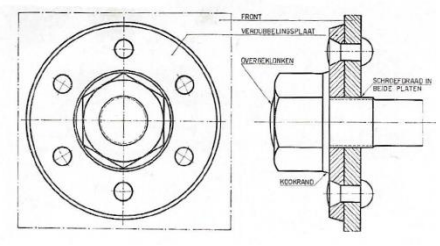
Langssteunen

De fronten, althans het deel dat door de stoomruimte begrensd wordt, worden aan elkaar verbonden door zware stalen stangen die van front tot front lopen evenwijdig aan de lengte-as van de romp. De van schroefdraad voorziene stangen worden bij geklonken ketels vaak in zowel het plaatmateriaal van de fronten als in de bij behorende verdubbelingsplaten geschroefd.

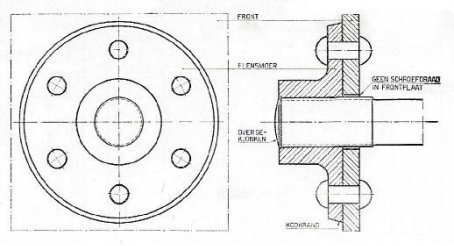


Langssteun en bijbehorende schroefdraadtappen met speermaat.

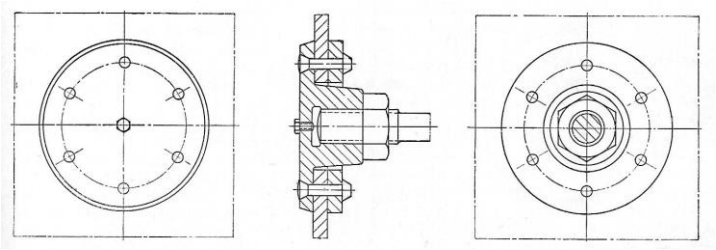
De steunen worden dan eerst van schroefdraad voorzien waarna met een verlengde tap, waarvan de schroefdraad is onderbroken, gelijktijdig de schroefdraad in zowel het voor- als achterfront wordt getapt. De steek van de schroefdraad wordt met behulp van een speermaat van de steun overgenomen en overgebracht op de twee verstelbare tapdelen vóór men de schroefdraad in het front en de verdubbelingsplaat aanbrengt. Bij vervanging van een steun moet men in omgekeerde volgorde te werk gaan danwel ook de verdubbelingsplaat vervangen.
Soms, zoals hier onder is aangegeven, worden de krachten alleen via de schroefdraad in de speciale verdubbelingsplaten op de fronten overgebracht. Ook zijn er ketelfabrikanten die gebruik maken van doorlopende gaten in het front en moeren met een borst die na het bevestigen worden gekookt. Het grote voordeel van deze laatste methode is dat het lastige op de juiste steek tappen van de schroefdraad komt te vervallen en de ruimte tussen de steun en het gat in de frontplaat geheel wordt afgesloten .



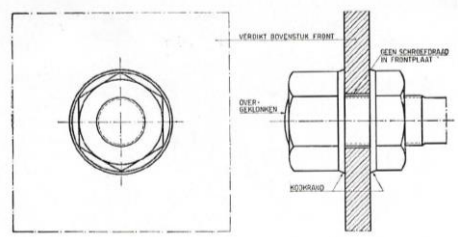
Schroefdraad in front- en verdubbelingsplaat



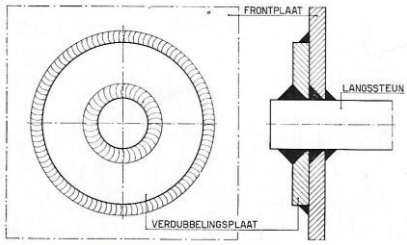
Alleen schroefdraad in verdubbelingsplaat



Verbinding met blind gat en schroefdraad in verdubbelingsplaat



Zonder verdubbelingsplaat en schroefdraad

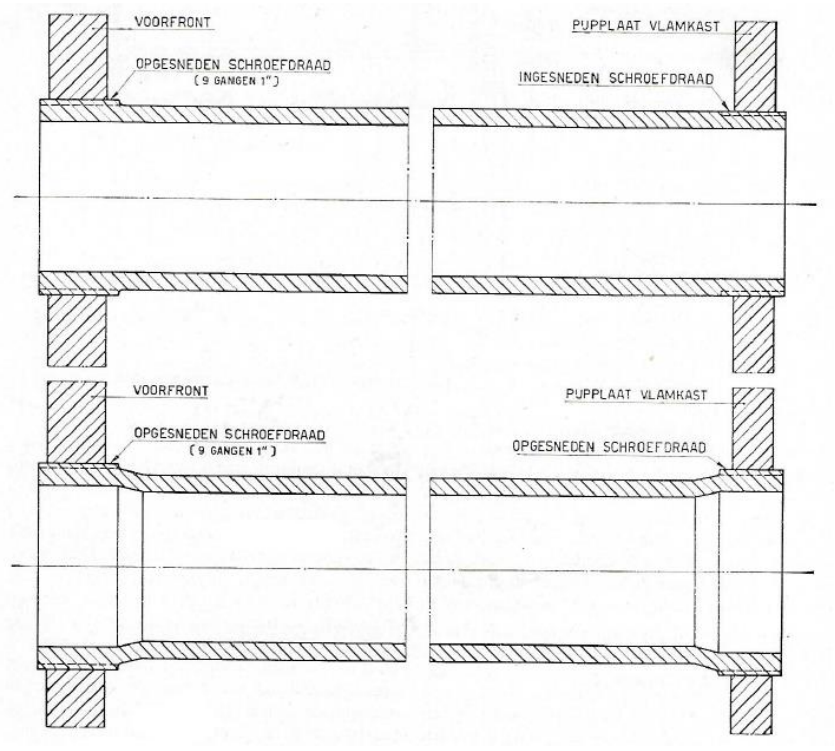


Gelaste verbinding met verdubbelingsplaat

Bij gelaste ketels past men een verdubbelingsplaat toe die met de steun en het front door middel van lasnaden is verbonden, een en ander zoals in de bovenstaande afbeelding is aangegeven. Bij vervanging van de steun moet zowel de verdubbelingsplaat als de langssteun zelf door middel van slijpen en of gutsen worden weggenomen.

Steunpijpen

Het vlakke voorfront en de pijpplaat van de vlamkast worden eveneens gesteund door deze onderling te verbinden. Alhoewel het vlak waarop de keteldruk wordt uitgeoefend door het grote aantal vlampijpen verkleind wordt is het afsteunen noodzakelijk omdat de gerolde vlampijpen bij de hoge temperatuur en druk in bedrijfstoestand, niet voldoende zijn om de krachten tussen de vlamkast en het voorfront op te nemen. Men doet dit door middel van zogenoemde steunpijpen.

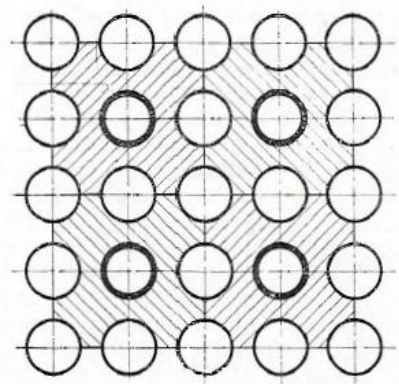


Steunpijpen met op- en ingesneden schroefdraad

Deze steunpijpen zoals in bovenstaande figuur zijn aangegeven hebben een grotere wanddikte dan de normale vlampijpen en zijn ter plaatse van het voorfront al of niet getrompt en van op- of ingesneden schroefdraad voorzien.

De uitwendige diameter van de pijp ter plaatse van de vlamkast is kleiner dan die bij het voorfront van de ketel. Het aanbrengen is daardoor eenvoudiger , want de pijp wordt vanaf het voorfront door het grootste gat geschoven en daarna gelijktijdig in de beide platen geschroefd.

Na het inschroeven van de pijpen worden ze gerold zodat er aan beide zijden van de front- en de vlamkastplaat een borst wordt gevormd. Door het uitrollen wordt een stoomdichte verbinding verkregen en wordt voorkomen dat in belaste toestand de pijp uit de plaat wordt getrokken.

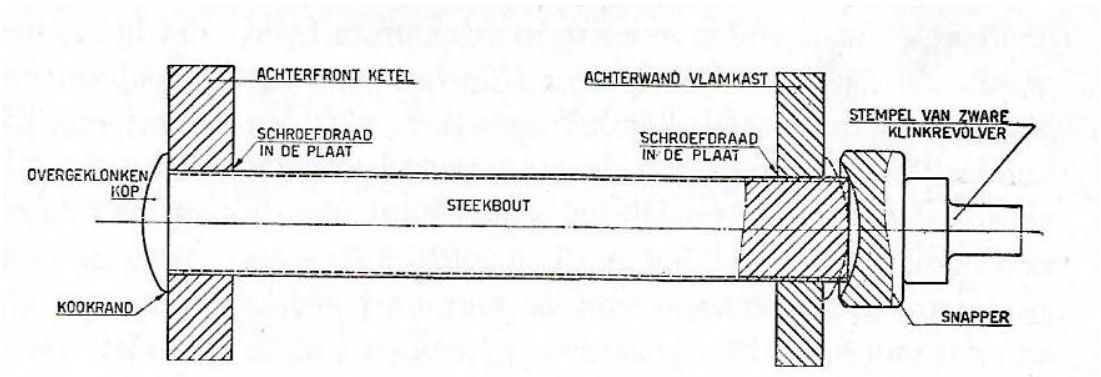


In de figuur hiernaast wordt doormiddel van de arcering aangegeven welk deel van de pijpplaat door één steunpijp gesteund wordt. Verder zien we dat, om de andere pijp een steunpijp wordt geplaatst, waardoor het aantal steunpijpen ongeveer 1/3 is van het totaal aantal toegepaste pijpen.

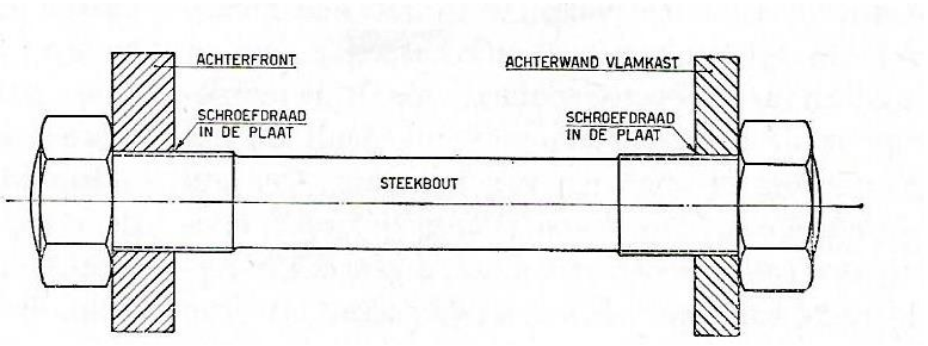
Pijppatroon met steunpijpen

Steekbouten

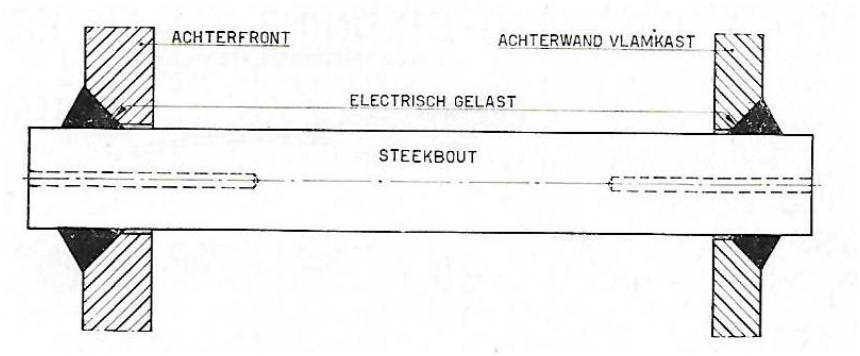
Als de afstand tussen twee af te steunen platen betrekkelijk gering is en niet toegankelijk, zoals tussen de achterwand van de vlamkast en het achterfront van de ketel, de zijwanden van de vlamkasten en de vlamkast en de ketelromp dan worden zogenoemde steekbouten toegepast. Steekbouten worden altijd met schroefdraad in de beide platen bevestigd. De gaten worden in beide platen gelijk geboord en van een lange tap met een relatief fijne schroefdraad voorzien. Hieronder zijn enige gebruikelijke voorbeelden gegeven van deze steekbouten.



Steekbout met over de volle lengte schroefdraad en omgeklonken steel



Steekbout met verjongde steel en moer

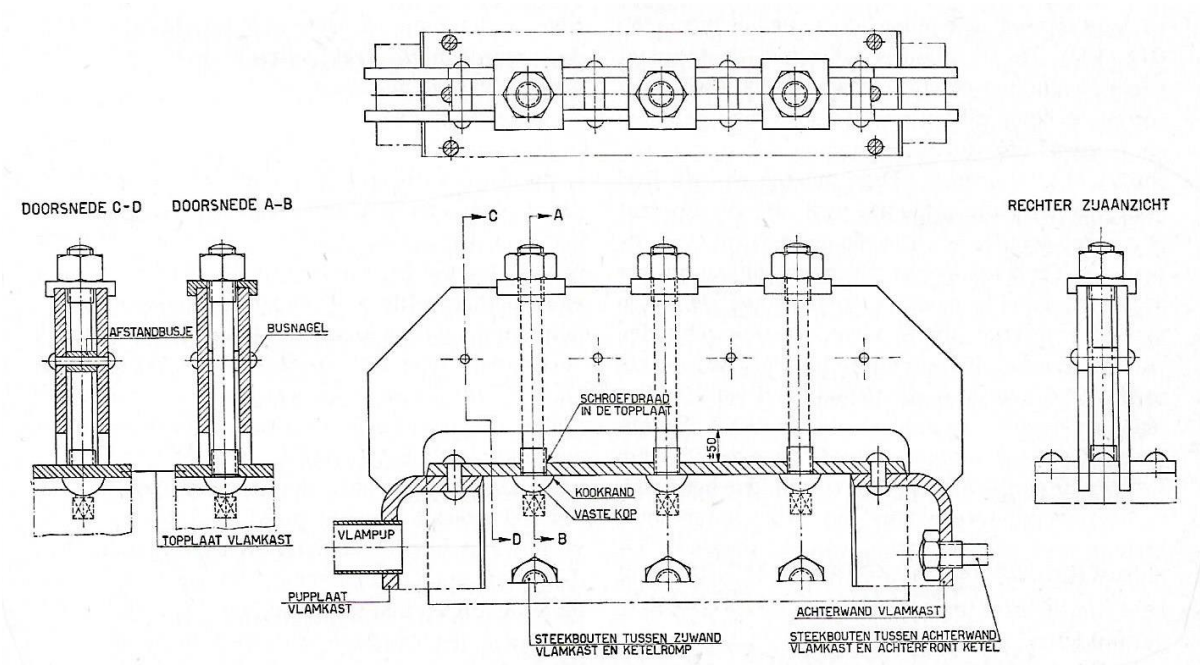


Gelaste steekbout

De uiteinden van de steekbouten kan men voorzien van een opgeschroefde moer of omklinken. De eerste methode heeft de voorkeur omdat de opgelegde kracht niet alleen door de schroefdraad in de plaat maar ook gedeeltelijk door de moer wordt opgenomen. Ook is het door de moer gesteunde vlak groter. Een nadeel vormen de uitstekende moeren die makkelijker zullen wegbranden.
De gelaste steekbouten bestaan uit gladde staven die met enige speling in de gaten van de platen passen en daarmee met een zogenoemde kelklas worden verbonden. Deze steekbouten zijn aan beide zijden ingeboord zodat breuk of ernstige intering, door lekkage direct merkbaar wordt.

Brugsteunen

Brugsteunen worden op de top van de vlamkast geplaatst om de topplaat tegen indrukking te beschermen. Een en ander voor geklonken ketels samengesteld zoals hieronder is aangegeven.

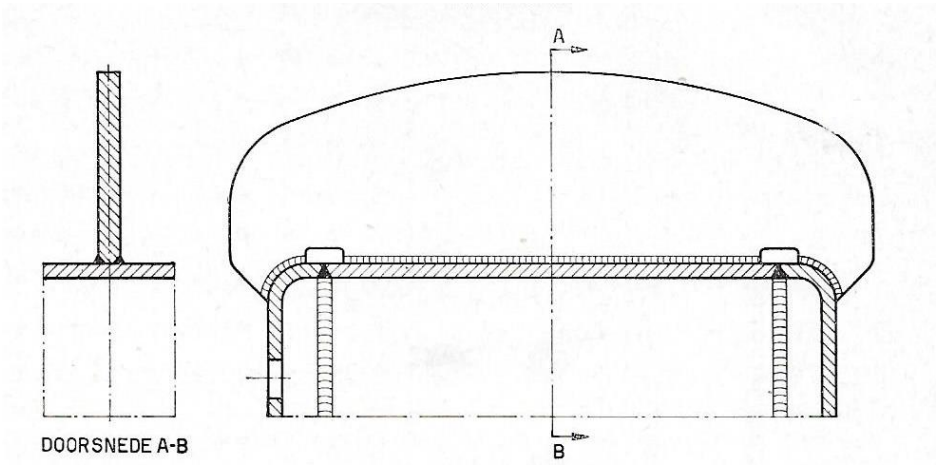


Constructiedetails samengestelde brugsteun

Een opgebouwde brugsteun bestaat uit twee platen van ongeveer 20 mm dik, verbonden en op afstand gehouden door enige zogenoemde bus nagels. De steekbouten , die door de topplaat van de vlamkast geschroefd worden kunnen juist tussen de beide platen van de steun passeren en worden aan de boven- zijde voorzien van een dikke sluitplaat en een moer. Deze moeren worden licht vastgezet om te voorkomen dat de topplaat wordt doorgezet. De moeren worden na het aanzetten iets omgeklonken om losdraaien te voorkomen. De poten van de steunen die zo klein als mogelijk zijn gehouden om oververhitting te voorkomen, rusten alleen op de afronding van de pijpplaat en de achterwand van de vlamkast. De onderkant van de brugsteun blijft ongeveer 50 mm vrij van de topplaat van de vlamkast om er zeker van te zijn dat het ketelwater onder de steun kan doorstromen ter voorkoming van oververhitting.

Bij een eventueel watergebrek in de stoomketel komt de topplaat van de vlamkast het eerst droog te staan waardoor deze inclusief de bouten oververhit raakt. Dit is de reden dat de steekbouten van de brugsteun in de topplaat van een vaste bolle kop zijn voorzien en niet van een moer die bij oververhitting snel afstroopt waardoor de topplaat onvoldoende of in het geheel niet meer wordt afgesteund. Het gevaar van oververhitting speelt bij de steekbouten in de zij- en achterwand een kleinere rol vandaar dat deze wel van een moer zijn voorzien. De in de figuur gestippelde vierkantjes onderaan de vaste kop worden er bij het aanbrengen van de steekbouten afgedraaid.

Bij gelaste ketels van dit type stoomketel worden de brugsteunen aan de topplaat gelast. Om zogenoemde spanningssprongen te voorkomen worden bij elkaar kruisende lasnaden de steunen onderbroken. De onderstaande afbeelding laat deze opmerkelijk eenvoudige constructie zien.



Opgelaste brugsteun

De geleiding via de steunen brengt veel warmte van de topplaat op het ketelwater over, zodat er geen gevaar van plaatselijke oververhitting ontstaat.

4.5.5 Waterpijpketels

Algemeen

Bij een waterpijpketel bevindt het water zich in de pijpen en stromen de hete gassen daar omheen. Deze ketels bestaan uit een of meer hellend geplaatste bundels pijpen die verbonden zijn met één of meer water- en stoomhouders. De pijpen zijn boven en bij de latere uitvoeringen ook rondom de vuurhaard geplaatst.

Een aantal typische kenmerken van een waterpijpketel zijn:

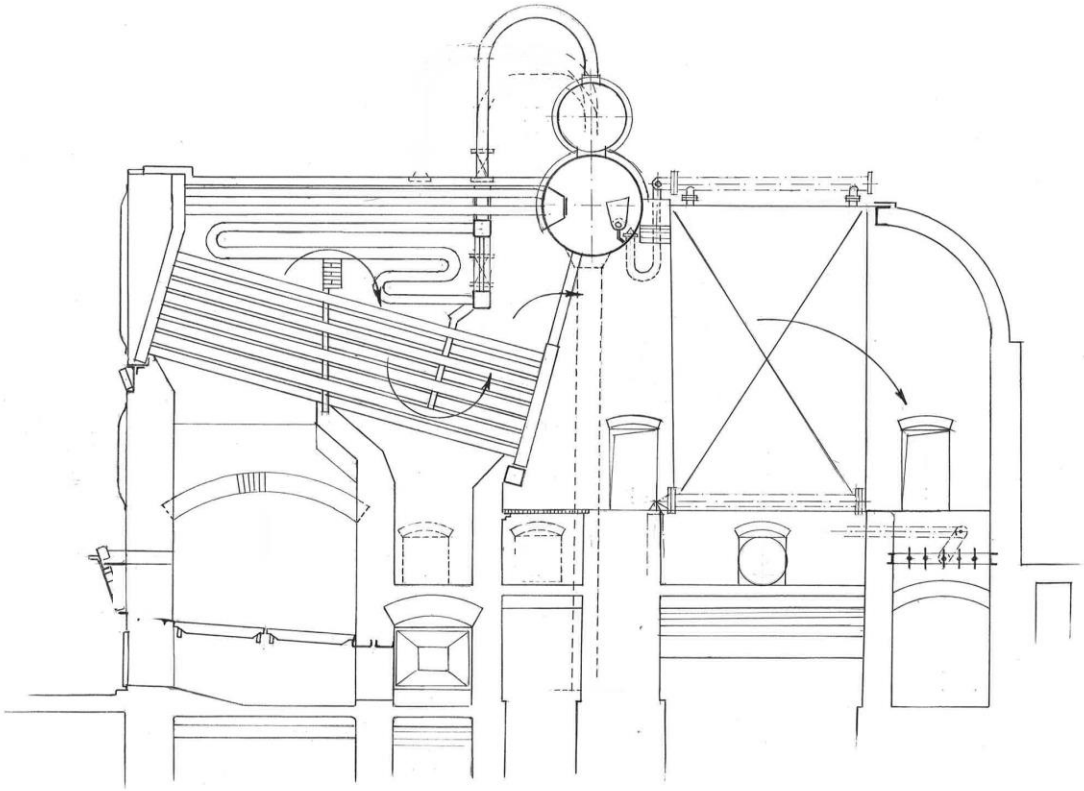
- Alle delen onder druk hebben een relatief kleine doorsnede zodat hoge stoomdrukken kunnen worden toegepast.
- De onderdelen die warmte opnemen, de waterpijpen, hebben een geringe wanddikte zodat er geen overmatige materiaalspanningen kunnen optreden. De min of meer flexibele constructie voorkomt bovenmatige spanningen in de verbindingen bij het opstoken en bij belastings-schommelingen
- Waterpijpketels zijn samengesteld uit delen van betrekkelijk geringe afmetingen en gewicht, zodat het mogelijk is met de in de fabriek gemaakte onderdelen de ketel op locatie op te bouwen
- Het gewicht aan stoom dat per uur geleverd kan worden wordt in de eerste plaats bepaald door het roosteroppervlak. Bij met de hand gestookte stoomketels is deze beperkt omdat steenkool niet over een lengte groter dan 2 m handmatig kan worden opgeworpen. Op het grondoppervlak nodig voor de op deze wijze gestookte waterpijpketels kan dus niet bespaard worden. Wel kan de roosterbelasting , het aantal kg steenkool dat per m^2 RO/h verstookt kan worden, opgevoerd worden naar 150 kg/m^2 RO/h. Hierdoor kan toch met een ketel met een kleiner grondoppervlak worden volstaan
- De waterpijpketel heeft ten opzichte van de capaciteit een kleine waterinhoud. Enerzijds maakt dat de ketel gevoelig voor drukschommelingen als gevolg van veranderingen in de

stoomafname, anderzijds kunnen belastingschommelingen snel gevolgd worden omdat er een kleinere hoeveelheid water opgewarmd hoeft te worden

4.5.6 Babcock & Wilcox sectieketel

Voor zover bekend is voor de mechanische bemaling in Nederland alleen bij het Stoomgemaal Halfweg een met steenkolen gestookte waterpijpketel toegepast. Dit was een zogenoemde B & W-sectieketel vervaardigd door de firma Stork uit Hengelo. De typische kenmerken van deze stoomketel bestaan hieruit dat het VO is opgebouwd uit zogenoemde secties, elk bestaande uit een aantal recht onder elkaar geplaatste pijpen die aan beiden einden in gegolfde smeedijzeren kasten van vierkante doorsnede zijn gerold. Deze pijpen maken een hoek van 15º met de horizontaal en zorgen voor een hoge stroomsnelheid en daardoor een snelle circulatie c.q. warmteoverdracht. De sectiekasten worden vanuit de bovenketel- ook wel drum genoemd- van water voorzien. De vervolgens in de hellende pijpen gevormde stoom wordt per sectiekast met een pijp naar dezelfde bovenketel afgevoerd.

Van dit type ketel bestaan drie hoofdtypes die worden aangeduid met W.I.F.-type (Wrought Iron Fittings) waarmee de smeedijzeren sectiekasten worden bedoeld, Cross-type omdat hier de bovenketel in tegenstelling tot het W.I.F.-type niet in lengterichting maar haaks op de waterpijpen is geplaatst en het Series-type die zo wordt genoemd omdat de oververhitter, de economiser en de luchtverhitter in serie zijn geplaatst. Ook bij dit type ligt de bovenketel haaks op de bundels waterpijpen. Verder kent men nog een aantal door verschillende fabrikanten bedachte specifieke constructiedetails. Bij de stoomketel van het gemaal Halfweg is dat de cilindervormige en liggende stoomdom boven op de stoomdrum. Ook de latere toepassing van verticale koelpijpen rondom de vuurhaard is een voorbeeld van een afwijking op de basisconstructie. Deze aanvulling op de met vaste brandstof gestookte basisuitvoering is overigens pas mogelijk geworden na de invoering van het verstoken van vloeibare brandstoffen.



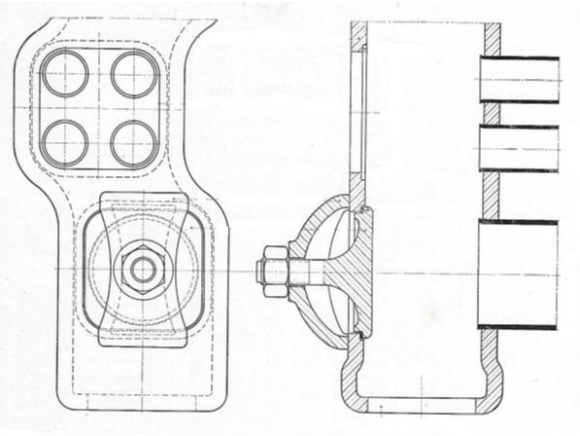
B & W crossdrumsectieketel met OV en ECO (Gemaal Halfweg)

B & W sectieketel Cross-type

Zoals hiervoor opgemerkt ligt de stoomdrum bij dit type haaks op de waterpijpen. Het voordeel hiervan is dat men bij de toepassing van een groot aantal secties kan volstaan met één stoomdrum. De eigenlijke ketel bestaat uit een aantal secties, elk samengesteld uit twee gegolfde waterkasten met daar tussen verspringend geplaatste 4” pijpen. De voorste sectiekasten voeren het water-stoommengsel met circulatiepijpen af naar de bovenketel. De achterste sectiekasten ,dus aan lage zijde, zijn eveneens door pijpen verbonden met de stoomdrum en zorgen voor de watertoevoer naar de hellende waterpijpen waarin de stoom wordt gevormd. Onder deze secties is een zogenoemde slikkast aangebracht. Op deze slikkast is een afsluiter aangebracht om regelmatig dan wel continue de ketel te spuien. In de rookgasstroom tussen de waterpijpen zijn schotten aangebracht die er voor zorgen dat de gasstroom in een drievoudige golfbeweging, trekken genoemd, de pijpen- bundels passeert en de warmte aan de pijpen en het hierin aanwezige water- stoommengsel afstaat. Tussen de eerste en tweede trek is in de rookgasstroom de oververhitter geplaatst. Dit is de plaats waar de rookgassen nog een voldoende hoge temperatuur hebben om de in de ketel gevormde verzadigde stoom tot de gewenste oververhittingstemperatuur te verhitten.

Constructie details

Een in het oog springend constructiedetail maar tevens ook een onderhouds- gevoelig onderdeel van de B & W waterpijpketels zijn de gegolfde kasten met de handgatdekseltjes die de secties vormen en waarin de waterpijpen zijn gerold. De gegolfde vorm van de vierkante smeedstalen kasten met een inwendige diameter van 150 x 150 mm heeft ten doel de waterpijpen in een zig-zag patroon boven elkaar te kunnen plaatsen waardoor de warmteoverdracht groter is dan bij plaatsing in een rechte lijn. In de waterkasten zit tegenover elke waterpijp een, bij vroege uitvoeringen ovaal en bij latere uitvoeringen vierkant gat. Deze gaten zijn aan de binnenzijde, dus waterzijdig, van een mechanisch bewerkte rand voorzien waarop met behulp van een pakkingring en de zogenoemde handgatdeksel het gat wordt afgedicht. De gaten zijn noodzakelijk voor het bij nieuwbouw kunnen aanbrengen of eventueel later vervangen van de waterpijpen alsmede inspectie en onderhoud. Bij inspectie en onderhoud zoals het mechanisch verwijderen van ketelsteen moeten de dekseltjes stuk voor stuk worden verwijderd en na de verrichte handelingen opnieuw weer worden aangebracht. In de B&W waterpijpketels van het gemaal Halfweg zijn alleen al in de secties 160 handgatdeksels aangebracht, het spreekt dan ook voor zich dat dit een zeer tijdrovende bezigheid is die bovendien met de nodige zorgvuldigheid en vakmanschap dient te worden uitgevoerd.



Handgatdeksels

Ontsnappende stoom heeft een snijdende werking. Een eenmaal ontstane beschadiging van het afdichtingsvlak, meestal zichtbaar in de vorm van een scherpe snede, kan niet worden hersteld. Een handgat deksel kan in dat geval nog worden vervangen een beschadiging van een dichtingsvlak op enige plaats van de sectiekast betekent het afkeuren van deze kast en een uitgebreide en kostbare reparatie. Lekkage openbaart zich in de vorm van een hoog ketelwaterverbruik tijdens bedrijf. Bij inspectie is ter plaatse van de lekkage een witte verkleuring waar te nemen. Deze verkleuring wordt veroorzaakt door de in het ketelwater aanwezige en met behulp van chemicaliën neergeslagen ketelsteenvormers Calcium en Magnesium.