

AFVALVERBRANDING BE



Voorwoord

Het boek afval verbranding is bedoeld voor allen die voor het eerst kennis maken met de wondere wereld van de afvalverbranding. Dit kunnen zowel schoolverlaters zijn als werknemers afkomstig uit een andere branche.

De verbranding van afval is een hoog technologisch proces en voor velen, zeker degenen die het voor het eerst meemaken, moeilijk te doorgronden.

Dit boek is dan ook bedoeld als basiskennis en kan goed gebruikt worden in bedrijven waar men bijvoorbeeld met takenboeken werkt om het personeel op te leiden.

Derhalve is de diepgang van de diverse hoofdstukken dan ook beperkt gebleven.

De schrijver houdt zich aanbevolen voor opbouwende kritiek van gebruikers, die de inhoud van het boek kan verbeteren.

Ing. A.J. de Koster.

Mei 2012

Hoofdplaat

Afvalverbranding BE
Adviesbureau de Koster v.o.f.
Dorpsstraat 5
4513 AL Hoofdplaat
Tel: 0117-348223
info@martechopleidingen.nl

www.martechopleidingen.nl

ISBN 978-90-78142-45-4

Eerste druk Juli 2000

Tweede druk Mei 2012

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

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

1.0	Afvalverbranding	5
1.1	Inleiding afvalverbranding	5
1.2	Voorbehandeling	6
1.3	Inleiding Houtverbranding	9
1.3.1	Algemeen	9
1.4	Inleiding pluimveemest verbranding	12
1.5	Inleiding Slibverbranding	14
1.5.1	Algemeen	15
2.0	Fossiele brandstof en afval	17
2.1	Verschil tussen fossiele brandstoffen en afval	18
2.2	De verbranding van afval, algemeen	21
2.3	Extreme situaties	24
2.4	Gevolgen van de verbranding	25
2.5	Nabeschouwing van de verbranding	28
3.0	Het Verbrandingsrooster	30
3.1	Verbrandingsoven met walsrooster	30
3.2	Vuilverbrandingsoven met terugschuifrooster	38
3.3	Het Vooruitschuifrooster	40
4.0	De Vuurhaardwand	42
5.0	De Ketel	46
5.1	Opbouw ketel	46
5.2	Het ontwerp van de ketel	47
5.3	Het binnenwerk van de stoomdrum	50
6.0	Rookgaszijdige reiniging	52
6.1	Roetblazen	52
6.2	Reiniging van de pijpenbundel door middel van een kogelregen	53
6.3	Reiniging door middel van een klopinstallatie	53
6.4	Reiniging met behulp van explosieven	54
6.5	Infrasound reiniging	54
7.0	Brandstof en verbranding	56
7.1	Huishoudelijk afval	56
7.2	Verbranding van huishoudelijk afval	57
7.3	Refuse Derived Fuel (R.D.F.)	60
7.4	Aanstreek / opstookbrander	61
7.5	Luchttoevoer	61
8.0	Bescherming oven	63
8.1	De toepassing van siliciumcarbide als vuurvast materiaal	64
8.2	Stenen	66
8.3	Pijpstiftmassa	66
8.4	Vergelijking tussen SiC massa en SiC stenen	67
8.5	SiC vormtegels	68
8.6	Maatregelen om slakaangroei te beperken	69
8.7	Opstoken en drogen van vuurvaste steen	71
8.8	Vocht en de bemetseling	71
8.9	Isolatiematerialen voor buiten de ketel	74
8.10	Toepassing van isolatiestoffen	75
9.0	Rookgasreiniging	77
9.1	Vaste stof afscheiding	79
9.2	Schadelijke gassen afscheiding	85

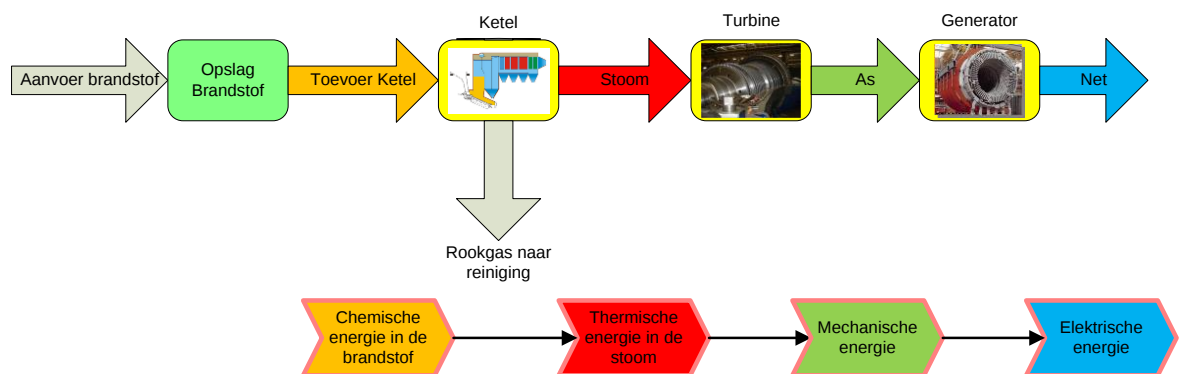
1.0 Afvalverbranding

1.1 Inleiding afvalverbranding

In Nederland wordt per inwoner ongeveer 500 kilogram brandbaar afval per jaar geproduceerd. Dat is anno 2012 circa 8 miljoen ton. Veel van dit afval wordt verstoekt in zogenaamde Afval Verbranding Installaties, afgekort ook wel AVI genoemd. In Nederland staan er meerdere AVI's opgesteld. De verbrandingscapaciteit per AVI varieert van 100.00 ton per jaar tot 1,3 miljoen ton per jaar.

De belangrijkste onderdelen van een AVI zijn:

- Weegbrug
- Stortbordes
- Ontvangst en opslag in de bunker
- De oven waarin de verbranding plaatsvindt
- De ketel waarin warmte uit de rookgassen wordt gebruikt om water om te zetten in stoom
- De rookgasreiniging
- De slakopwerking
- Een turbine



Afbeelding 1. Globaal overzicht van een afvalcentrale.

Normaal wordt het afval per vrachtwagen aangevoerd, in sommige gevallen is dit per trein en zelfs over het water. Deze vrachtwagens worden bij aankomst en vertrek gewogen. Eventueel worden monsters van de lading genomen. Vervolgens wordt het afval naar het ontvangstbordes gebracht en daar in een bunker gestort. Bijzonder afval, zoals verdovende middelen, worden onder politie-escorte verbrand.

Het ontvangstbordes is afsluitbaar. Een stortbordes is weergegeven op afbeelding 2.

De lucht uit de hal wordt afgezogen, zodat er in de hal onderdruk heerst. Dit voorkomt emissies van stof en geur naar de omgeving. De afgezogen lucht wordt meestal gebruikt als verbrandingslucht voor de AVI. Op deze wijze worden de problemen met geur en stof in de afgezogen lucht opgelost. De gesloten ontvangsthal voorkomt gedeeltelijk geluidsoverlast naar de omgeving.



Afbeelding 2. Stortbordes. Bron Twence Afval en Energie.

De stortbunkers zijn afsluitbaar, zodat de kans op overlast klein is. De opslagcapaciteit komt overeen met een verwerkingscapaciteit van ongeveer 3 dagen.

Maatregelen voor de bestrijding van brand, zoals sprinklersystemen, zijn in de ontvangsthal of ontvangstbordes en boven de bunkers aangebracht.

De bodem van de ontvangsthal en de stortbunkers is vloeistofdicht uitgevoerd. Vloeistoffen worden bij calamiteiten opgevangen en gereinigd.

1.2 Voorbehandeling

Bij sommige installaties wordt het afval eerst voorbehandeld, voordat het naar de verbrandingsinstallatie gaat. Grof vuil wordt eerst gesorteerd en verkleind. Slib van Riool Water Zuivering Installaties (RWZI) met een watergehalte van 75 massa% wordt eerst gedroogd tot RWZI-slib met een watergehalte tussen 10 en 50 massa%. Dit om voldoende stookwaarde te krijgen. Gevaarlijk afval, zoals ziekenhuisafval, wordt in kleine vaten verpakt en opgeslagen. Soms wordt ook huishoudelijk afval en hiermee gelijkwaardig bedrijfsafval opgewerkt tot verschillende fracties door drogen, malen en sorteren. Hierbij ontstaat een brandstof, beter bekend als RDF (Refuse Derived Fuel). Dit is dan brandstof met een zeer constante stookwaarde.

Stortbunkers zijn uitgerust met een loopkraan met een grijper. Deze grijpers worden veelal door mensen bediend, er zijn echter ook al volautomatische kranen die automatisch mengen. Met behulp van de grijper wordt het afval van de bunker naar de stortkoker met trechter boven de verbrandingsoven gevoerd.

Op afbeelding 3 is een dergelijke kraan weergegeven.

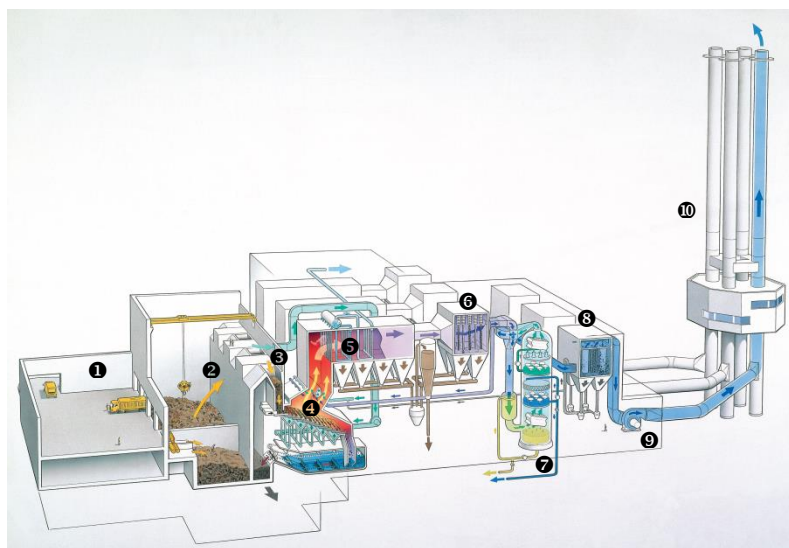


Afbeelding 3. Afvalkraan in de bunker. Bron Twence Afval en Energie.

Ook wordt het afval in de bunker met behulp van de grijper gemengd. Dit mengen leidt tot een homogenisering van de 'brandstof' en zo tot een meer constante kwaliteit van deze brandstof en de verbranding. Mengen van het afval in de bunker staat tegenwoordig beter bekend onder de benaming "bunkermanagement". Het doel hiervan is eigenlijk om ervoor te zorgen dat de stookwaarde van het afval zo constant mogelijk is.

Kleine vaten, zoals bij ziekenhuisafval, kunnen via een sluis in de oven gevoerd worden.

Op afbeelding 4 is een overzicht weergegeven van een complete afvalverbranding.



Afbeelding 4. Afvalverbranding. Bron Attero Moerdijk.

Het afval wordt vanuit de loshal ❶ in de bunker ❷ gestort. Deze bunker heeft een afmeting van 100 meter lang, 20 meter breed en 25 meter diep, dit komt overeen met een inhoud van 50.000 m³ of omgerekend circa 15.000 ton afval.

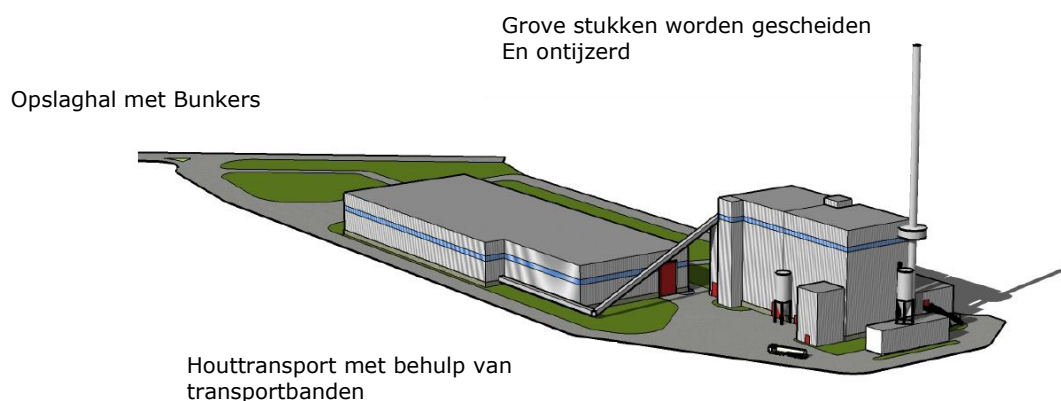
Het afval wordt met behulp van afvalkranen via de vultrechter ❸ aan de oven ❹ gedoseerd. De rooster in de oven pookt het afval en hier wordt er verbrandingslucht aan het afval toegevoerd. Het afval heeft een dusdanige stookwaarde dat het uit zichzelf brand. De temperatuur van het rookgas bedraagt, bij verlaten oven, ongeveer 1050 °C. In de ketel ❺ wordt de warmte uit de rookgassen gebruikt om water om te zetten in hoge druk stoom met een druk van 100 bar en een temperatuur van 400 °C. Deze stoom wordt gebruikt om warmte aan andere bedrijven te leveren en wordt tevens aan een stoomturbine gevoed om elektriciteit te produceren. De onbrandbare deeltjes, vlieggas, die met de rookgassen worden meegevoerd worden voor meer dan 99% afgescheiden in het Elektrisch vlieggasfilter ❻, ook wel E-Filter genoemd. Het vlieggas wordt weer hergebruikt in de asfalt en cementindustrie. In de natte wasser ❼ worden zure componenten zoals zoutzuur, zwaveloxiden en zware metalen afgescheiden. Vervolgens worden er in een filter ❸ dat bedreven wordt met actieve kool giftige stoffen zoals dioxinen en furanen en kwik afgescheiden. Met behulp van een ventilator ❾ worden de gereinigde rookgassen via de schoorsteen ❿ afgevoerd naar de buitenlucht. In de schoorsteen is een meetstation aanwezig dat continue de meetgegevens van de rookgassen meet, verzamelt en registreert, zodat een schone uitstoot altijd gewaarborgd is. Van het afvalwater dat de natte wastrap verlaat kan onder meer gips gemaakt worden, dat weer hergebruikt kan worden.

1.3 Inleiding Houtverbranding

Hout wordt ook als energiebron gebruikt en wordt in houtgestookte centrales, ook wel BEC centrales genoemd, verstoekt.

BEC staat voor Biologische Energie Centrale.

Het hout wordt in wervelbedovens of in roosterovens verbrand. Met de vrijgekomen warmte wordt in een stoomketel stoom opgewekt die op zijn beurt weer door een stoomturbine wordt geleid met het doel elektrische energie op te wekken. Deze elektrische energie is dan ook zogenaamde groene stroom. Op afbeelding 5 is schematisch een houtverbranding weergegeven.



Afbeelding 5. Globaal overzicht van een houtverbranding. Bron AVR Rozenburg.

1.3.1 Algemeen

Het hout dat verbrand wordt, wordt in drie categorieën verdeeld, we kennen hierbij het zogenaamde A-hout, B-hout en het C-hout. Ook de houtverbrandingen vallen onder de BVA.

A-Hout:

Het zogenaamde A-Hout is hout dat of vers gekapt is of gezaagd hout dat niet behandeld is. Met andere woorden dit is vers hout zonder verf of andere verontreinigingen. Meestal wordt dit hout niet verbrand, omdat het hergebruikt kan worden in de papierindustrie of in de spaanplaat industrie. Verder is A-hout nadelig voor de verbranding omdat het veel vocht bevat.

Op afbeelding 6 is een foto van A-Hout weergegeven.



Afbeelding 6. A-Hout.

B-Hout:

Het zogenaamde B-Hout, is hout dat al gebruikt is. Het B-Hout wordt ook wel sloophout genoemd. Dit hout is geleverd en eventueel nog voorzien van hang en sluitwerk. Het hang en sluitwerk kan bestaan uit ferro en non ferro en een deel kunststof. Op afbeelding 7 is een foto van B-Hout weergegeven.



Afbeelding 7. B-Hout.

C-Hout:

Het zogenaamde C-Hout is hout dat geïmpregneerd is met anti rotingsmiddelen. Te denken valt hierbij aan tuinhout voor schuttingen, tafels, stoelen en aan bielzen zoals deze bij de spoorwegen worden gebruikt.

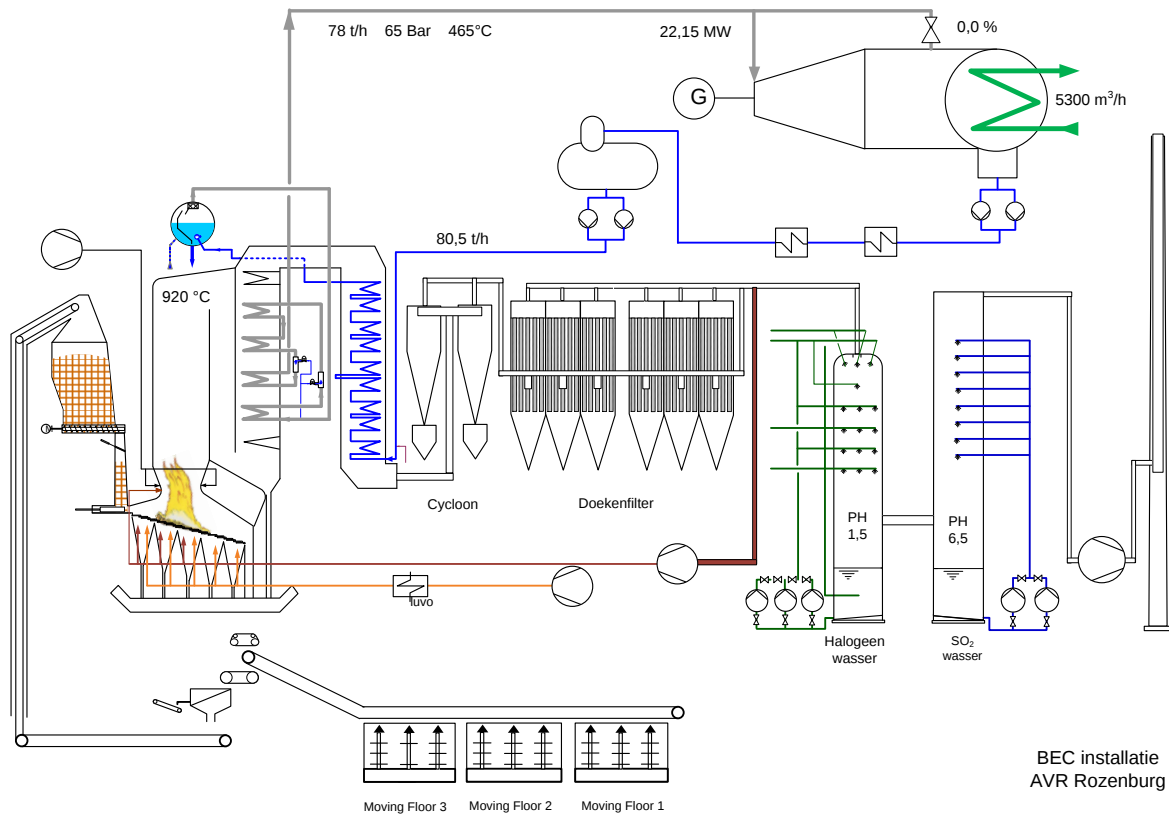
Voor dit hout hebben de meeste houtverbrandingen geen vergunning. Op afbeelding 8 is een foto weergegeven van C-Hout.



Afbeelding 8. C-Hout.

In de houtverbrandingen, de BEC Centrales, wordt dan ook enkel A en B-Hout verbrand.

Op afbeelding 9 is een overzicht van de BEC centrale weergegeven zoals deze bij AVR Rozenburg wordt gebruikt.



Afbeelding 9. Schematische weergave van de BEC centrale zoals deze bij AVR Rozenburg wordt gebruikt.

Het hout wordt vanaf de opslaghal, waarin de zogenaamde moving Floor 1 tot en met 3 staat, met transportbanden naar de oven vervoerd. Het hout wordt via de trechter aan de oven gevoed. In de oven wordt hier het hout op een rooster verbrand. Ook hier geven de hete rookgassen in de ketel hun warmte af om water om te zetten in stoom. De stoom wordt weer gebruikt om een turbine aan te drijven die op zijn beurt een generator aandrijft die stroom aan het elektriciteitsnet levert.

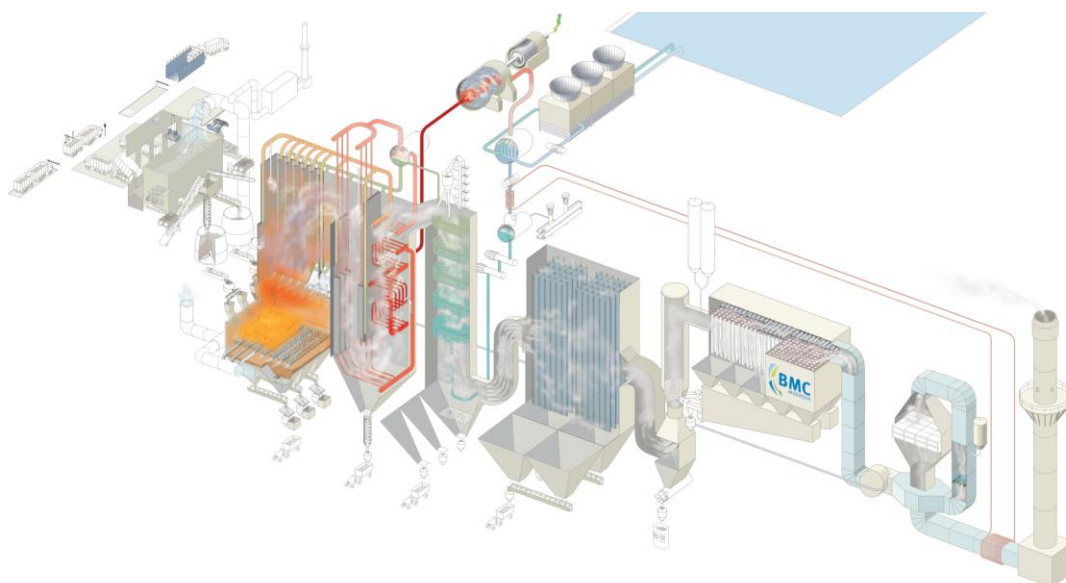
De vliegashouding wordt er met behulp van een cycloon uit gehaald. Zware metalen, dioxinen en furanen en kwik worden in het doekenfilter met behulp van actieve kool verwijderd. Tot slot passeren de rookgassen de natte wastrappen waar zure componenten verwijderd worden.

1.4 Inleiding pluimveemest verbranding

Met recht kan gezegd worden dat een kippenmestverbranding, verder pluimveemestverbranding genoemd, een verantwoorde manier is van de verwijdering van mest. Mest is altijd al een maatschappelijk probleem geweest, er is simpelweg teveel van en er ontstaat ammoniak bij dat op zijn beurt weer verzuring van het milieu veroorzaakt. Om dit probleem nu op te lossen is de techniek voor het verbranden van pluimveemest in het leven geroepen. In de centrale van BMC (Bio Massa Centrale) te Moerdijk wordt jaarlijks 440.000 ton pluimveemest in een wervelbedoven verbrand.

Groene stroom

Deze centrale levert op jaarbasis 270.000 MWh, dit is met recht groene stroom te noemen. De as die na de verbranding overblijft, is voor het grootste gedeelte te gebruiken en wordt gemengd met kunstmest. Een overzicht van de centrale van BMC is weergegeven op afbeelding 10.



Afbeelding 10. Pluimveemest verbranding in een wervelbedoven. Bron BMC Moerdijk.

Pluimveemest wordt met vrachtwagens aangevoerd, gewogen, bemonsterd en in de ontvangtbunker gestort, aansluitend wordt de geledigde truck via een wasstraat gedesinfecteerd en gewogen. Twee automatische bovenloopkranen brengen de mest van de ontvangtbunker naar de opslagbunker. In de opslagbunker wordt de mest grondig gemengd, het doel hiervan is om een zo homogeen mogelijke samenstelling te krijgen, dat de verbranding ten goede komt.

Vanuit de opslagbunker wordt de mest via een transportbandensysteem naar een doseertank in het ketelhuis getransporteerd. Met een doseerschroef wordt de mest vanuit deze tank in de verbrandingsinstallatie gebracht.

Zwevend bed

De verbrandingsinstallatie is een wervelbedoven met nageschakelde stoomketel. In de oven wordt de brandstof op een "zwevend" zandbed ingebracht. Hierdoor treedt een gelijkmatig en zeer gunstig verbrandingsproces op. De vrijgekomen rookgassen worden in de stoomketel afgekoeld. Het water wordt in de ketel omgezet in stoom tot de juiste condities om een stoomturbine aan te drijven.

De stoom van de stoomketel expandeert in de stoomturbine. Hierdoor wordt de warmte omgezet in arbeid. De arbeid wordt in de generator omgezet in ongeveer 36,5 MW elektrische energie. De elektriciteit wordt aan het landelijke netwerk geleverd.

Voordat de rookgassen via de schoorsteen naar de omgeving worden uitgestoten vindt een intensieve reiniging plaats.

De reinigingsstappen zijn:

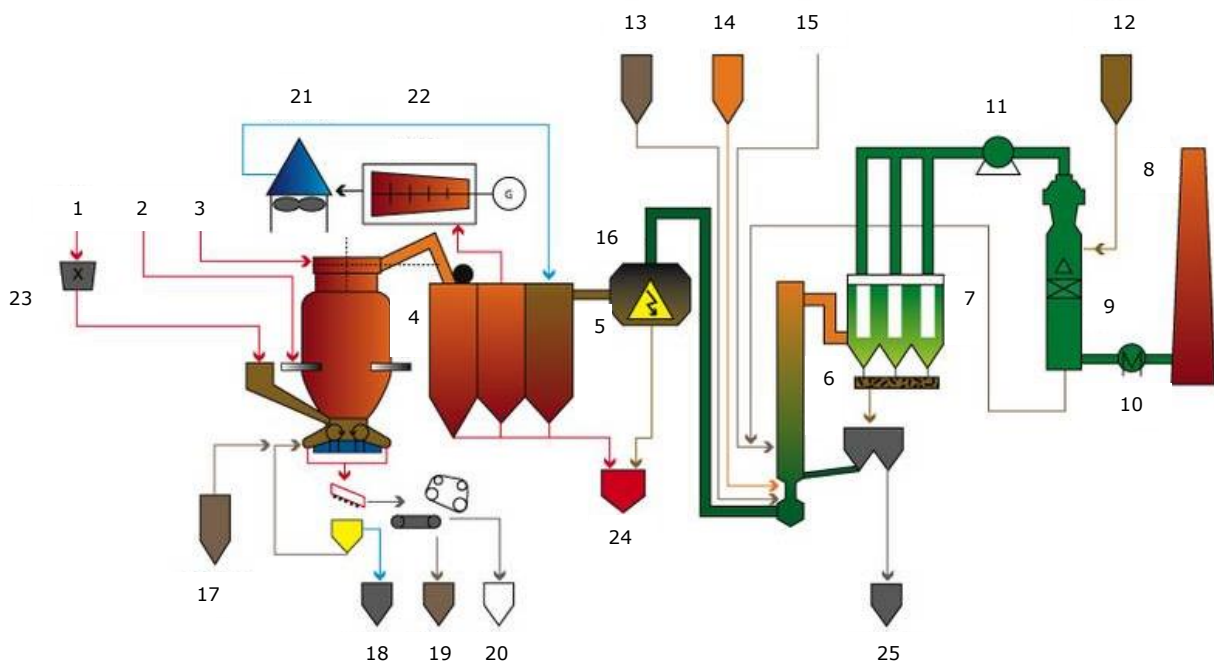
- Elektrostatisch filter voor het afvangen van de vliegias.
- Turbosorpreactor voor het "omzouten" van de zure componenten SO_2 , HCl , HF . Voor het binden van deze componenten wordt kalk, en water gedoseerd.
- Doekenfilterinstallatie, ook wel mouwenfilter genoemd, voor het afvangen van de resterende stof, zware metalen en dioxinen en furanen. Actief kool kan aan hetingangskanaal worden geïnjecteerd. Het grootste deel van de afgevangen stoffen wordt teruggevoerd naar de Turbosorpreactor, hierdoor wordt eveneens een soort zwevend bed gecreëerd waardoor het kalkverbruik aanzienlijk wordt verkleind.
- SCR DeNO_x installatie met een gasbrander, ammonia injectie en een katalysator voor het reduceren van de NO_x-concentratie

De afgevangen vliegias, rijk aan fosfor en kalium, wordt als grondstof gebruikt in de kunstmestindustrie. De nuttige meststoffen uit de pluimveemest blijven daardoor toepasbaar voor de groei van gewassen.

1.5 Inleiding Slibverbranding

Sinds de tijd dat de vuilverbrandingen en de zuiveringsinstallaties in bedrijf zijn, bestaat er behoefte aan de verwerking van het slib dat bij deze installaties ontstaat. Normaal gesproken moet dit slib beschouwd worden als chemisch afval. Als we nu echter in staat zijn dit slib nog verder te verwerken en wel door het te verbranden wordt het probleem van het chemisch afval nog verder verkleind.

Wanneer slib verbrandt wordt blijft er per ton droog slib slechts 3 % asrest over, een gedeelte wordt in de wegenbouw gebruikt in verband met de zeer lange uitloogbaarheid en een gedeelte is filterkoek, dat als chemisch afval dient te worden beschouwd. Het gedeelte dat nu aan filterkoek achterblijft, is in feite verwaarloosbaar ten opzichte van het afval dat in eerste instantie in de AVI wordt verbrand. Op afbeelding 11 is een installatie weergegeven zoals deze bij Indaver gebruikt wordt.

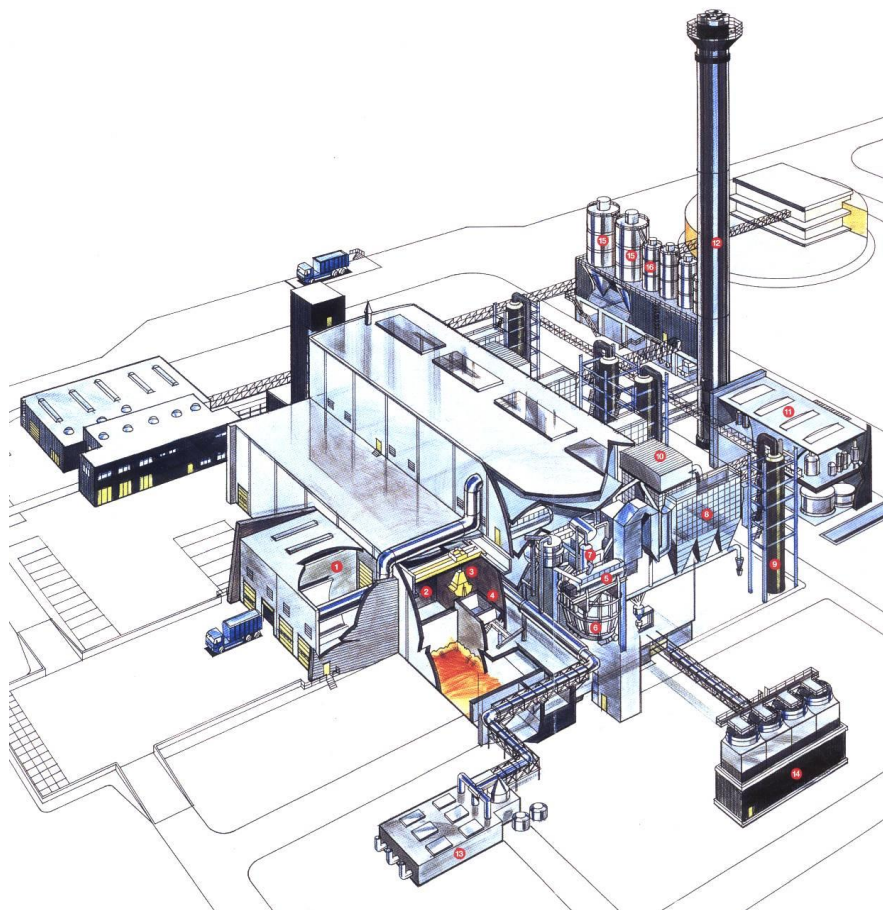


Afbeelding 11. Slibverbranding in een wervelbedoven. Bron Indaver.

Legenda behorende bij afbeelding 11.

1. Vaste afvalstoffen	10. Rookgasopwarming	19. Non ferro
2. Slib	11. Zuig/trek ventilator	20. Ferro
3. Ureum	12. Natriumhydroxide	21. Condensor
4. Oven	13. Bruinkool	22. Turbine
5. Stoomketel	14. Kalk	23. Breker
6. Reactor	15. Afvalwater	24. Vliegashoudend
7. Doekenfilter	16. E-filter	25. Rookgasresidu
8. Emissiemeting	17. Zand	
9. Natte water	18. Bodemas	

Op afbeelding 12 is een gehele installatie van een moderne slibverbrandingsinstallatie weergegeven zoals deze is geplaatst bij Slibverwerking Noord Brabant, afgekort SNB. Op deze afbeelding zijn de diverse componenten in de installatie duidelijk te zien.



Afbeelding 12. Lay-out van de slibverbranding van SNB. Bron SNB.

Legenda behorende bij afbeelding 12.

1. Loshal	7. Stoomketel	13. Biofilter
2. Slibbunker	8. E-Filter	14. Koelsysteem
3. Grippers	9. Natte water	15. Assilo
4. Vultrechter	10. Doekenfilter	16. Adsorbenssilo
5. Droger	11. Waterbehandeling	17. Reststoffensilo
6. Wervelbedoven	12. Schoorsteen	

1.5.1 Algemeen

De slibverbrandingsinstallaties die na 1990 gebouwd zijn voldoen aan de richtlijnen zoals deze gesteld zijn in "Verbranden 1989". Deze richtlijnen voor emissies kunnen, op Californië na, als de strengste ter wereld worden beschouwd.

Voor wat betreft deze richtlijnen moeten de installaties minimaal bestaan uit de volgende onderdelen, te weten:

- Opslag van het slib in een "open" bunker.
- Drogen van het slib in een stoomdroger waarbij een droogstof gehalte wordt bereikt van circa 45 %.
- Verwijderen van ammoniak uit de droogdampen.
- Verbranding van het slib in een wervelbedoven.
- Gebruikmaking van SNCR ter bestrijding van de gevormde NO_x.
- Stoomopwekking in een stoomketel met behulp van de ontstane verbrandingsgassen.
- Ontstopping van het rookgas in een E-filter.
- Ontdoen van schadelijke stoffen uit het rookgas in een rookgaswasser.
- Verdere reiniging van het rookgas in het doekenfilter.
- Indamping van het afvalwater afkomstig uit de rookgaswassers.
- Opslag van de in de verdamper gevormde zouten.

2.0 Fossiele brandstof en afval

Tanner

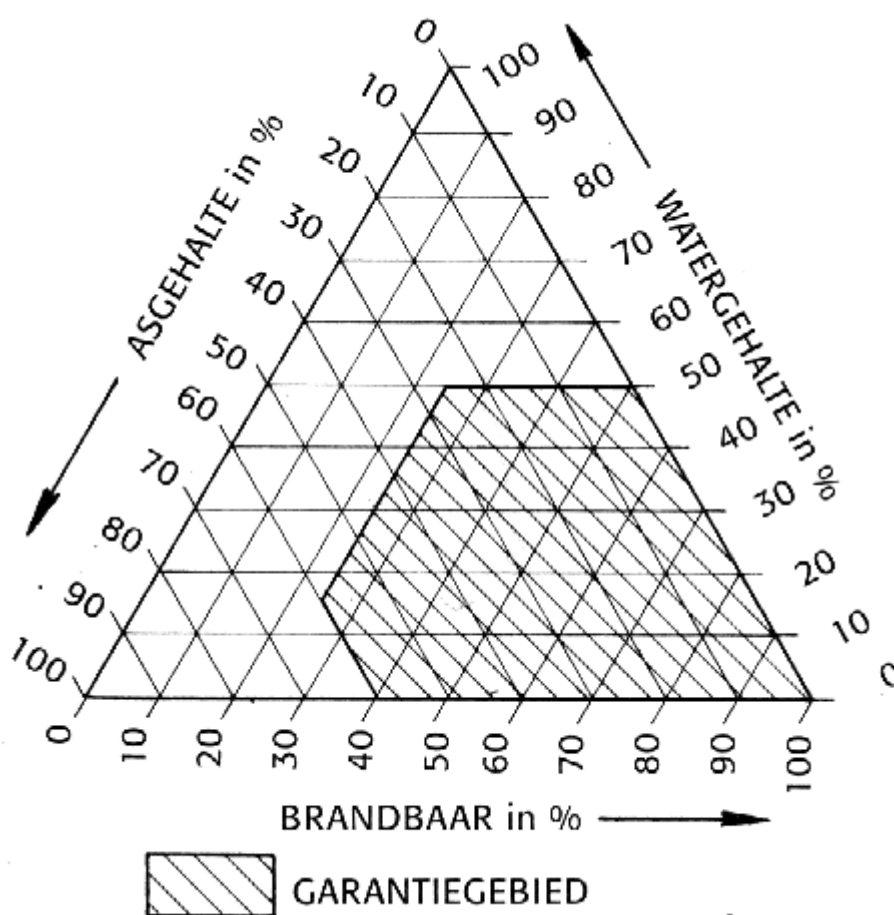
De voorwaarde waaraan huishoudelijk afval moet voldoen om zonder ondersteuningsvuur te branden volgt uit de driehoek van Tanner, zie afbeelding 1.

Het gearceerde gedeelte is het gedeelte waarin het afval die samenstelling heeft waarbij het zonder ondersteuningsvuur kan branden.

Voorbeeld:

Afval bestaat uit: Asgehalte 30 %
Watergehalte 20 %

Conclusie: brandbaar (50%)
zonder ondersteuningsvuur



Afbeelding 1: De verbrandingdriehoek van Tanner

Stookwaarde

Om u een indicatie te geven betreffende de stookwaarde van verschillende soorten afval volgt onderstaande tabel:

Afval stof	Stookwaarde in kJ/kg
Huishoudelijk afval met GFT	7.000
Grof huishoudelijk afval	10.000
GFT	4.000
Industrieel afval	12.000

Calorische

Zoals uit de tabel blijkt kan scheiding van afval leiden tot verhoging van de calorische waarde. Ook mengen kan dit tot resultaat hebben. Mengen doet men echter ook nog om andere redenen, deze zullen besproken worden in de volgende hoofdstukken.

2.1 Verschil tussen fossiele brandstoffen en afval

- De verbranding van een bekende brandstof is een verbranding van kool- waterstoffen en meestal een gedeelte zwavel.
- De verbranding van stedelijk en industrieel afval is een verbranding van koolwaterstoffen en verontreinigingen, zoals chloor, zwavel, fluor, etc..

Chemisch

Zo op het eerste gezicht is er geen verschil tussen de verbranding van een bekende brandstof en afval. Chemisch gezien is er ook geen verschil.

Het verschil zit in de verbrandingstechniek, oftewel de praktische uitvoering van de verbranding.

Afval heeft geen constante samenstelling, er is een grote variatie in het aangeboden afval.

We zullen de verschillen tussen afval en bekende brandstoffen op een rijtje zetten.

- Van een bekende brandstof weten we de samenstelling, deze is bekend via het analyse rapport, zowel bij kolen als olie.
- Van afval weten we ongeveer de samenstelling van de brandbare onderdelen, alleen weten we niet in welke hoeveelheden deze onderdelen aanwezig zijn.
- Een bekende brandstof kan onbrandbare delen bevatten, denk aan steenkool; dit percentage is klein en nagenoeg constant.
- Afval bevat onbrandbare delen. Dit percentage is variabel en kan vrij groot zijn.
- Afval bevat veel meer water dan welke brandstof dan ook. Het percentage water is niet constant, het is niet alleen afhankelijk van de samenstelling, maar ook van het weer.
- Afval heeft een lage calorische waarde.
Stedelijk afval ± 10.000 kJ/kg.
Industrieel afval ± 12.000 kJ/kg.

Grenswaarde

Bij verbranding van afval heeft men globaal te maken met de volgende grenswaarde.

Daalt de calorische waarde onder de 5.000 kJ/kg dan moet de verbranding ondersteund worden, tenminste, bij gebruik van onverwarmde onderwind en indien nodig met ondersteuningsvuur.

Gebruikt men verwarmde onderwind dan kan de calorische waarde dalen tot $\pm 4.100 \text{ kJ/kg}$ voordat ondersteuning nodig is.

Men kan ook zeggen, dat wanneer de hoeveelheid vrijgekomen warmte bij verbranding niet groot genoeg is om het verse afval te verwarmen, te vergassen en over de energiedrempel te tillen, er op één of andere manier een extra hoeveelheid warmte in de vuurhaard gebracht moet worden, om de verbranding in stand te houden.

Dit kan geschieden door bijvoorbeeld oliebranders.

Bij het verbranden van afval komt men de volgende fasen tegen.

- Droog en verwarming zone
In deze zone vindt ook de vergassing en verbranding van de lichte componenten plaats.
- Verbranding zone
- Uitbrandt zone
- Afkoel zone.

Deze zones hebben bij afval geen absolute lengte maar een relatieve lengte. De oorzaak hiervan is, de variabele samenstelling van het afval. Het doel van een goede verbranding is, deze zones goed op elkaar aan te laten sluiten binnen hun relatieve lengtes.

Over de toevoer van de verbrandingslucht het volgende.

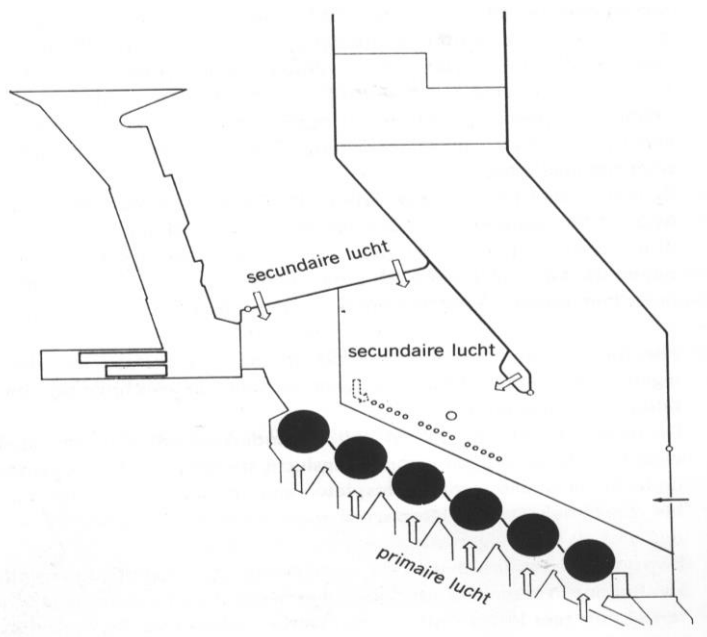
De hoeveelheid onderwind is, buiten de afmetingen en vermogen van de ventilator en de afmetingen en de vorm van luchtkanalen, ook afhankelijk van het drukverschil tussen de pers van de ventilator en de onderdruk in de vuurhaard.

Drukverschil

Dit drukverschil wordt beïnvloed door:

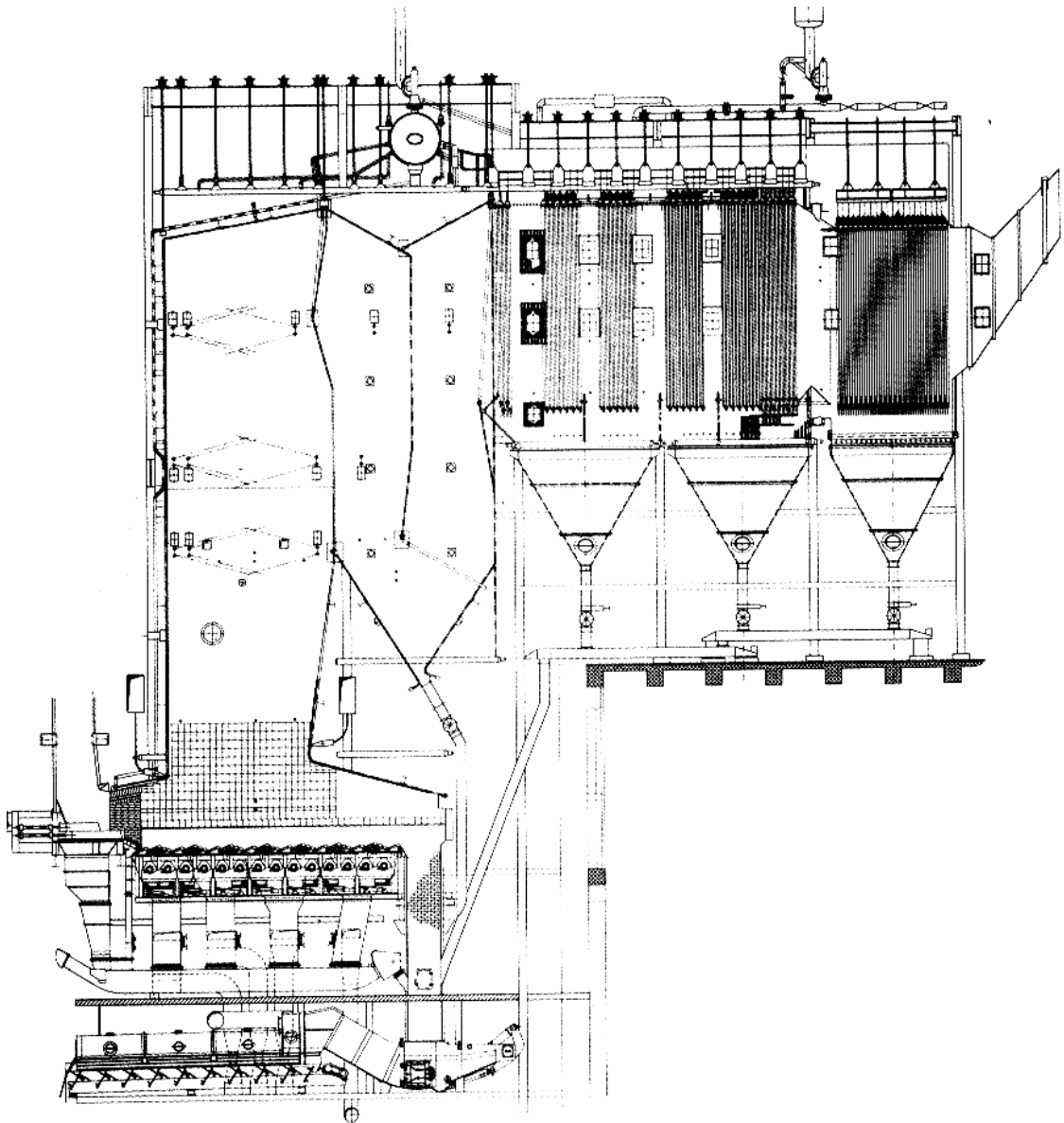
- Stand van de persklep van de onderwindventilator.
- Stand van de luchtklep van de afzonderlijke sectie.
- Dikte van het vuil.
- Weerstand van het rooster.

Onderstaande tekening, afbeelding 2, geeft een principe weer van het walsen-, of rollenrooster, met bijbehorende luchttoevoer.



Afbeelding 2. Het rollen- of walsenrooster.

Op afbeelding 3 is een heel ander type ketel te zien, hier wordt een ketel weergegeven met een vlak verbrandingsrooster, drie verticale trekken en een horizontale vierde trek.



Afbeelding 3. Een ketel met een vlak verbrandingsrooster

2.2 De verbranding van afval, algemeen

- Droog en verwarming zone

Vlampunt	In deze zone wordt het afval gedroogd en verwarmd. Het vlampunt van stedelijk en industrieel afval moet boven de 100 °C liggen. Dit heeft tot gevolg dat in deze zone al het water verdampt moet worden. Verdampen van water kost veel energie, daar het water een hoge verdampingswarmte heeft. Het vlampunt van het afval moet boven de 100 °C liggen, omdat door broei van organische stoffen temperaturen kunnen ontstaan van 70 à 80 °C. Zou het vlampunt van de aangeleverde stoffen in deze buurt liggen, dan gaat het in de bunker al branden en dat kan leiden tot gevaarlijke situaties.
Onderwind	Is de onderwind, ook wel primaire lucht genoemd, niet verwarmd dan zal deze een iets hogere temperatuur hebben dan de buitenlucht temperatuur als deze de vuurhaard bereikt. De verhoging komt door het comprimeren en transporteren van de lucht en de warmte overdracht van het rooster. Doordat deze lucht relatief koud is, moet uitgekeken worden dat de lucht niet teveel warmte wegtrekt die ten goede moet komen aan het drogen en verwarmen van het afval. Een beetje lucht is nodig, om een opwaartse luchtstroom door het vuil te verkrijgen voor het afvoeren van de waterdamp. Weinig lucht in deze zone bevordert het drogen en verwarmen, veel lucht onttrekt zoveel warmte dat het vuil niet gedroogd en verwarmd wordt.
Vuultoevoertrechter	Wordt de onderwind wel verwarmd, dan zal door de warmte die in de onderwind aanwezig is het afval sneller drogen en verwarmd worden. Logische gevolgtrekking zou zijn; veel onderwind geven. Dit is helaas niet helemaal waar, men kan iets meer geven. Geeft men te veel verwarmde onderwind dan wordt de zone te klein, het vuur kruipt omhoog. Dit heeft tot gevolg dat het afval al op de vuultoevoer zou kunnen gaan branden. Brandt het afval op de vuultoevoer dan zou het ook in de vuultoevoertrechter kunnen gaan branden en dat willen we nu juist vermijden. Bij onverwarmde onderwind moet dus uitgekeken worden dat de zone niet te lang wordt en bij verwarmde onderwind dat de zone niet te kort wordt. De snelheid van het rooster beïnvloedt ook de lengte van deze zone. Met de snelheid beïnvloeden we de tijd die het afval krijgt om te drogen en te verwarmen.
Variabel	De ene keer zal het afval natter zijn dan de andere keer, dus de ene keer zal het meer tijd nodig hebben om te drogen dan de andere keer. De snelheid van het rooster en de hoeveelheid onderwind moet zo zijn dat de droog en voorwarm zone binnen zijn relatieve lengte blijft. Absolute lengtes kunnen moeilijk aangegeven worden daar, zoals reeds vermeld, de samenstelling van het afval erg variabel is. Maar de lengtes kunnen niet onbeperkt zijn daar het totale rooster een beperkte lengte heeft.

	- Verbrandingszone In deze zone vindt de verbranding plaats van het afval. De benodigde onderwind moet zodanig ingesteld zijn dat dit ruim genoeg is voor een volledige verbranding. Luchtovermaat Niet een te grote luchtovermaat, daar anders te veel warmte door de overmaat aan lucht weggetrokken wordt. Dit gaat ten koste van het in stand houden van de verbranding. Wordt de verbranding minder, in eerste instantie meer lucht, geeft dit geen effect dan minder lucht. (kijken in de vuurhaard) Vaak is het beter de hoeveelheid onderwind te verminderen, dan te vermeerderen om de boven genoemde reden. Bij gebruik van onverwarmde onderwind moet hier extra goed op gelet worden. Er moet dus opgelet worden dat de aanwezige warmte, bij vermindering van de verbranding, niet afgevoerd wordt door de verbrandingslucht, want dan dooft het vuur. Bij gebruik van verwarmde onderwind heeft men meer speling omdat de verbrandingslucht nu zelf een bepaalde hoeveelheid warmte bezit. Deze speling is maar beperkt omdat de verbrandingsgassen een veel hogere temperatuur hebben dan de verwarmde onderwind. Dus ook verwarmde onderwind kan zoveel warmte afvoeren dat het vuur uitgaat. Exacte hoeveelheden zijn niet te vermelden, daar is de samenstelling van het afval te gevarieerd voor. De snelheid van het rooster moet zo zijn dat het vuil voldoende tijd gegund wordt om volledig te verbranden. Met behulp van de snelheid van het rooster en de juiste hoeveelheid onderwind moet de verbrandingszone binnen zijn relatieve lengte blijven.
Gloeien	- Uitbrandt zone In deze zone vindt de naverbranding plaats. De naverbranding heeft meer de vorm van gloeien, dan een verbranding met vlamverschijnselen. Vlammen komen in deze zone wel voor, maar hebben niet de overhand, het gaat hier meer om het gloeien.
Koude CO	Het gloeiproces geeft minder warmte en heeft minder lucht nodig. Het is dus uitkijken geblazen met de hoeveelheid onderwind in deze zone. Te weinig onderwind belemmert een goede uitbrand. Veel onderwind veroorzaakt een koude luchtstroom in de vuurhaard en vorming van koude CO, die door de verbrandingsgassen verwarmd wordt, terwijl het niet aan een verbranding heeft deelgenomen. Te veel onderwind koelt het afval dusdanig af dat het gloeiproces stopt. Bij verwarmde onderwind geldt hetzelfde als bij de verbrandingszone, ook hier meer speelruimte, als bij onverwarmde onderwind. Ook de snelheid van het rooster moet aangepast worden aan het uitgloeiproces. De afstellingen moeten dus zodanig zijn dat ook deze zone binnen zijn relatieve lengte blijft.
	- Afkoel zone In deze zone behoort het afval uitgebrand te zijn. Het afkoelen bestaat hieruit dat de slak de omgevingstemperatuur aanneemt. Dat is die temperatuur die in dat deel van de vuurhaard heerst, dit is het deel van de vuurhaard met de laagste temperatuur. Het afkoelen heeft als voordeel dat minder warmte afgevoerd moet worden door het ontslakkerwater en dat de maximale hoeveelheid warmte aan de vuurhaard en dus aan de verbranding ten goede komt. In deze zone heeft men bijna geen onderwind nodig. De minimale hoeveelheid die technisch mogelijk is, is al te veel. Zou wel lucht

toegevoerd worden, maakt niet uit of dit onverwarmde of verwarmde onderwind is, bij onverwarmde onderwind is de schade alleen groter, dan heeft dit tot gevolg dat de slak sterk afkoelt.

Dit zou ten opzichte van het ontslakkerwater geen bezwaar wezen, maar wel dat deze hoeveelheid relatief koude lucht in de vuurhaard komt.

Afhankelijk van de ketel (AVR) is koeling van de achterwand nodig. Soms is het nodig wanneer het vuur 'naar beneden' komt juist meer onderwind te geven onder de onderste rollen (laatste).

Deze lucht wordt verwarmd door de verbrandingsgassen, terwijl het zelf niet deelneemt aan de verbranding, dit kost energie en wat erger is, het bevordert door de grotere luchtvermaat de vorming van NO_x .

Ook hier moet de snelheid van het rooster zodanig zijn dat het rooster bedekt blijft.

- Opmerking

De vuiltoevoer en de overgang van de ene zone naar de andere zone moet zodanig zijn dat er geen gaten in het vuilbed komen.

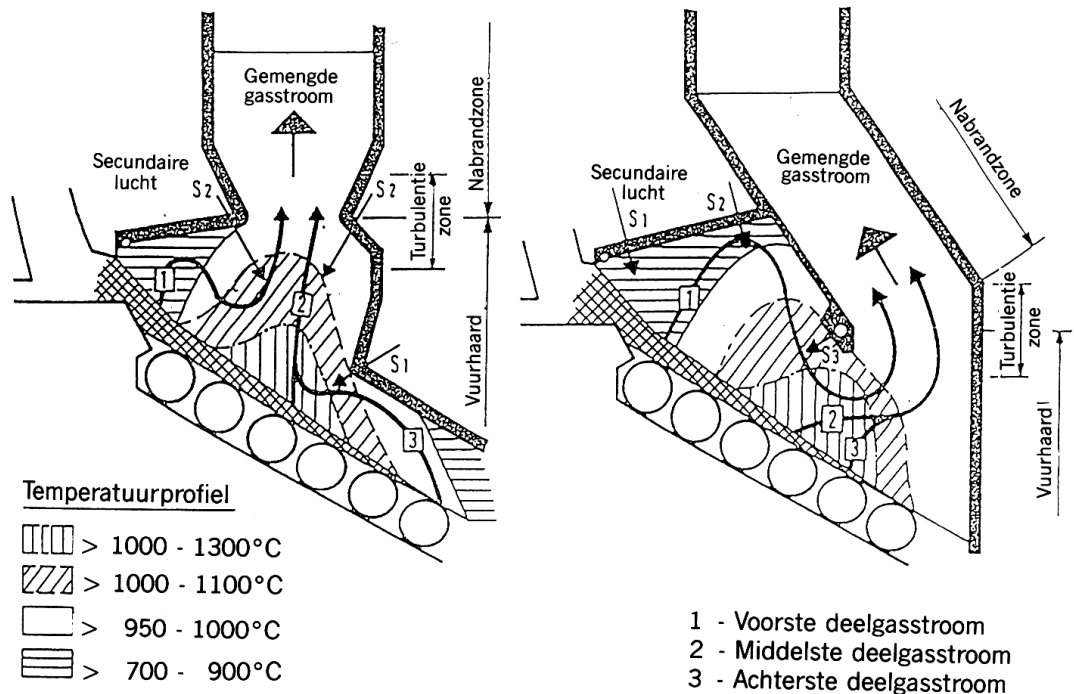
Gaten in het vuilbed vermindert de weerstand die de onderwind ondervindt, dit heeft tot gevolg dat er meer verbrandingslucht in de vuurhaard komt. De luchtvermaat wordt dus groter, met alle nadelige gevolgen van dien.

Tevens moet men er op bedacht zijn dat de luchtklep van de onderwind van een sectie nooit helemaal afsluit.

Als de klep dicht staat zal er altijd een beetje lucht langs stromen. Vandaar dat in de afkoelzone het rooster bedekt moet blijven.

Op afbeelding 4 is een schematisch overzicht gegeven van de lucht en gasmenging bij het rollenrooster.

Weerstand



Middenstroom
Verbranding

Gelijkstroom
Verbranding

Afbeelding 4. Schematische weergave van de lucht- gasmenging bij het rollenrooster.

2.3 Extreme situaties

Bij het verbranden van stedelijk en industrieel afval kunnen de volgende extreme situaties ontstaan.

- Extra nat afval; snoeihout, veel regen.
- Onbrandbaar afval; ijzer en andere metalen.
- Afval met een hoge calorische waarde; plastics.

- Extra nat afval

Wat zijn de consequenties zodra een partij extra nat afval in de oven komt.

Is de partij wel brandbaar, dan zal die in de conditie gebracht moeten worden dat hij branden kan.

De taak is dus het afval te drogen; door de grote hoeveelheid aanwezige water, zal dit veel energie kosten. De vraag is, is deze warmte aanwezig en kan die hiervoor gebruikt worden.

Indien aanwezig dan de luchttemperatuur opvoeren. Gevolg van nat afval is dat de stoomproductie afneemt.

Er moet op gelet worden dat niet alle warmte die in de vuurhaard aanwezig is, gebruikt wordt om dit afval te drogen, want dan is er niets meer over voor de vergassing en om de gassen over de energiedrempel te tillen.

Dooft

Het vuur dooft dan. Dreigt deze situatie te ontstaan dan zal bijtijds extra warmte in de vuurhaard gebracht moeten worden, om het verbrandingsproces niet te laten stoppen, bijvoorbeeld door middel van oliebranders als ondersteuningsvuur.

De tijd van het drogen zal nu ook veel langer zijn, de snelheid van het rooster zal aangepast moeten worden, met andere woorden langzamer om de droog en verwarmingszone niet te lang te maken.

Bij verwarmde onderwind vergroot men in dit geval de hoeveelheid, bij onverwarmde onderwind heeft het niet veel zin om de hoeveelheid te vergroten, daar de energie om het afval te drogen niet uit de onverwarmde onderwind te halen is, maar uitsluitend uit de verbrandingswarmte. Brandt dit afval dan is het probleem opgelost.

- Onbrandbaar afval

Wat te doen als er een partij onbrandbaar afval in de oven komt. Het enige wat men kan doen is deze partij zo snel mogelijk door de oven te transporteren, met zo min mogelijk onderwind, om de vuurhaard niet te sterk af te koelen. Door deze partij ontstaat er in het vuilbed een zwart gat, wat geen warmte afgeeft maar alleen energie kost.

Deze partij wordt altijd verwarmd doordat het in de vuurhaard aanwezig is. Door deze situatie kan er een energietekort ontstaan, waardoor het verbrandingsproces kan stoppen. Dit moet voorkomen worden, er zal dus bijtijds extra energie in de vuurhaard gebracht moeten worden, denk hierbij aan ondersteuningsvuur.

- Afval met een hoge calorische waarde

Komt een partij afval met een hoge calorische waarde in de vuurhaard, dan kan dit verbrandingstechnisch veel problemen opleveren. Het probleem komt als de installatie die de rookgassen moet afkoelen buiten zijn regelgebied komt, E-filter temperatuur te hoog.

Voorkomen moet dus worden dat de installatie voor het afkoelen van de rookgassen buiten zijn regelgebied komt, specifiek de maximumgrens. Dreigt deze situatie ontstaan dan zal het vuur getemperd moeten worden.

Men kan door middel van de toevoer van de verbrandingslucht, de verbrandingssnelheid binnen beperkte grenzen beïnvloeden.

Minder lucht: een langzamere verbranding.

Meer lucht: een snellere verbranding.

In dit gebied vindt nog een volledige verbranding plaats. Komt men buiten dit gebied dan ontstaat of een onvolledige verbranding, vorming van CO, of de luchtvermaat wordt te groot, verlaging van het rendement, kans op lage temperatuurcorrosie, et cetera.

Dreigt de hoeveelheid warmte te groot te worden, dan zal de verbranding getemperd moeten worden. Dit kan door vermindering van de hoeveelheid verbrandingslucht.

Moet de hoeveelheid verbrandingslucht zo ver verminderd worden, dat een onvolledige verbranding ontstaat, is dit te prevaleren boven het uitvallen van de wassers en na quench, circa 75 °C. Bij circa 80 °C bestaat het gevaar dat de wassers verweken.

Als de wasser zijn maximum waarde bereikt, zal de beveiliging in werking treden, die zorgt dat de gehele verbranding op het minimum gezet wordt met als gevolg dat de ketel tript. De CO vorming is nu maximaal, plus dat het gehele verbrandingsproces ontregeld is, met alle ellende van dien. Bij het normale verminderen van de verbranding zal een deel van het gevormde CO omgezet worden in CO₂, door de secundaire en/of eventuele tertiaire lucht.

De emissie van CO in de verbranding, zal hierdoor verminderd worden. De snelheid van het rooster moet verminderd worden, met als gevolg dat de verbrandingstijd door het temperen van de verbranding aanmerkelijk vergroot wordt.

In deze situatie is het beter dat de verbranding zo ver getemperd wordt, dat CO zou kunnen ontstaan, dan dat de maximale beveiliging van de wasser aanspreekt.

N.B.

Dit is dus een probleem van te veel warmte in de vuurhaard.

2.4 Gevolgen van de verbranding

Het gevolg van een verbranding is, een hoeveelheid hete rookgassen. Om milieu technische gronden is het niet toegestaan, dat deze hete rookgassen in de atmosfeer verdwijnen. Men noemt thermische milieu vervuiling.

Deze hoeveelheid hete rookgassen zal dus op een of andere manier afgekoeld moeten worden tot een milieu aanvaardbare temperatuur. Om dit te bereiken staan de volgende systemen tot onze beschikking.

1. Afkoelen door middel van lucht.
2. Afkoelen door middel van water.
3. Afkoelen door middel van een warmtewisselaar.
4. Door middel van rookgas zelf.

Bij de eerste twee systemen wordt de energie die in de rookgassen aanwezig is, gebruikt om de koellucht te verwarmen of om het water te verdampen. In beide gevallen wordt er niets nuttigs met deze energie gedaan, deze gaat in zijn geheel verloren, het kan ook gebruikt worden om water voor de wasser te koelen, dus condenseert meer rookgas door het koude water.

Het zijn dus geen rendabele manieren, ook, omdat het systeem om de rookgassen af te koelen energie kost.

Van de twee manieren is lucht de minst effectieve. De soortelijke warmte van lucht is 1,00 kJ/kg°C en die van water is 4,187 kJ/kg°C. Om dezelfde hoeveelheid warmte af te voeren heeft men dus 4 maal zoveel massa lucht nodig als massa water. Wordt het uitgedrukt in volume eenheden dan is het verschil nog groter.

Het effect van deze afkoel systemen is het grootst wanneer men om en nabij de 50% van de regeling werkt.

De hoeveelheid rookgassen moet zo groot zijn dat in ieder geval de regeling in zijn regelgebied blijft.

Rookgassen

Wordt de hoeveelheid rookgassen te veel dan zal de maximale beveiliging aanspreken met alle nare gevolgen van dien. Wordt de hoeveelheid rookgassen te weinig dan zullen de rookgassen te ver afgekoeld worden. Bij De-NO_x zit men vast aan de eindtemperatuur. Zij zullen dan hun stijgend vermogen kwijt zijn en zich niet meer in de atmosfeer verspreiden, maar direct na het verlaten van de schoorsteen neerslaan. Bij water koeling komt er nog een gevaar bij, dat niet alle ingespoten water verdampt, met als gevolg eventuele vorming van zwavelzuur, zoutzuur en salpeterzuur.

Door de regeling van de hoeveelheid afval die verbrand wordt en de hoeveelheid verbrandingslucht, moet gezorgd worden dat de hoeveelheid rookgassen zo groot is en in temperatuur zo hoog is, dat de regeling van het afkoel systeem in zijn regelgebied blijft, het liefst om en nabij de 50% van het regelgebied.

Hoeveelheidregeling

Aan de hoeveelheid regeling van het afval zitten enige beperkingen. Aangezien deze beperkingen ook gelden voor het afkoel systeem met een warmtewisselaar, zal dat daar besproken worden.

Bij het derde systeem wordt de warmte die in de rookgassen aanwezig is, afgevoerd door een koelmedium, dat daardoor in temperatuur stijgt. Deze temperatuur stijging heeft tot gevolg dat er bijvoorbeeld heet water of stoom ontstaat. Deze hoeveelheid energie die in het medium zit kan nu gebruikt worden.

Bijvoorbeeld voor het verwarmen van gebouwen of andere verwarming doeleinden of voor het aandrijven van een stoomturbine met generator voor het opwekken van elektriciteit.

Energie

Bij dit systeem wordt een deel van de hoeveelheid energie, die in de rookgassen zit, nuttig gebruikt, ze gaat nu niet in zijn geheel verloren.

Zure regen

Het afkoelen van de rookgassen heeft zijn grenzen, milieu technisch, installatie technisch, denk aan het dauwpunt, indien restanten NO_x en eventueel HCl en SO_x aanwezig zijn kunnen deze neerslaan in de vorm van zure regen.

De mate van afkoeling wordt bepaald door de afmeting van de warmtewisselaar.

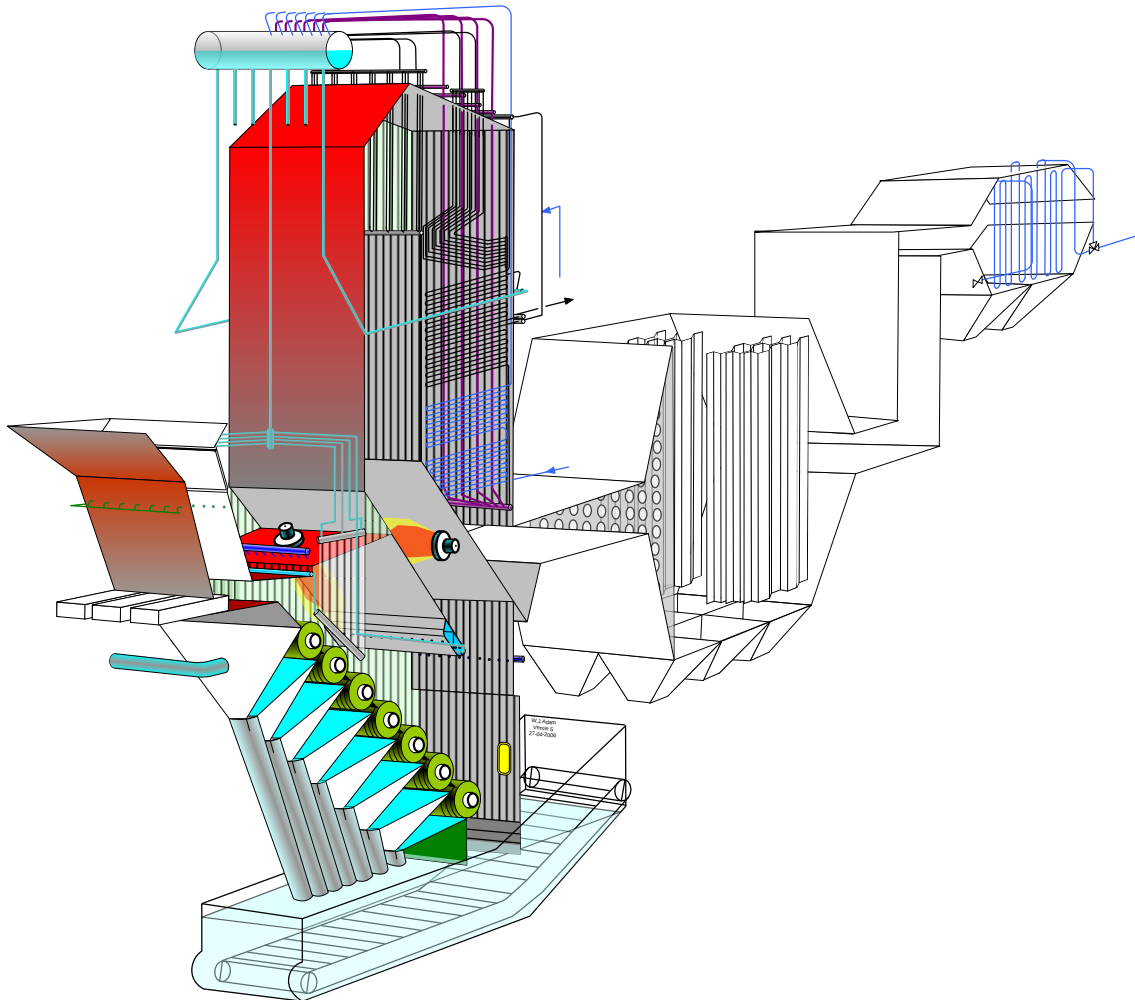
Doordat het medium in de warmtewisselaar zelf een temperatuur heeft, zal tijdens bedrijf de rookgastemperatuur in de schoorsteen nooit onder een bepaalde temperatuur dalen. De warmte overdracht wordt bij een kleine hoeveelheid rookgassen minder en in het uiterste geval kan zelfs helemaal geen warmte overdracht zijn.

Bij een grote hoeveelheid rookgassen zal de rookgastemperatuur in de schoorsteen niet veel stijgen. De warmte overdracht in het convectiegedeelte van de ketel is nu veel groter.

Dit proces geeft een rustig verloop van de temperatuur van de rookgassen in de schoorsteen. De beperking die de installatie heeft, ontstaat door de productie van heet water of stoom. De maximale grens wordt bepaald door de maximale opname capaciteit van warmte in de warmtewisselaar.

Stoom

De productie van heet water of stoom is afhankelijk van de calorische waarde van het afval en de hoeveelheid afval die zich in de vuurhaard bevindt.



Afbeelding 5. Oven met een daarboven nageschakelde stoomketel (warmtewisselaar) Bron AVR Rozenburg.

Omdat de calorische waarde variabel is, zal de stoomproductie ook variabel zijn. Op afbeelding 5 is goed te zien dat deze ketel slechts één lege trek heeft.

Is het gewenst dat deze productie tussen een minimale grens en een maximale grens ligt, dan zal men door de hoeveelheid afval te regelen, moeten trachten binnen deze grenzen te blijven.

Deze maximale en minimale grens hoeft niet de maximale en minimale grens van de warmtewisselaar te wezen. In feite heeft de warmtewisselaar alleen een maximale grens en geen minimale grens.

De maximale grens wordt bepaald door de maximale toegestane druk in de warmtewisselaar.

De gestelde grenzen worden bepaald door de hoeveelheid energie die nodig is om de installatie, die hier van afhankelijk is, met zo'n groot mogelijk rendement te laten werken.

Het regelen van deze hoeveelheid energie kan bij een optimale verbranding alleen geschieden door middel van de hoeveelheid afval, de luchttoevoer en de eventuele rookgasrecirculatie.

Op de calorische waarde van het aangeboden afval hebben we geen enkele invloed. Nu is dit met behulp van scheiding wel mogelijk, dus ook goed mengen.

De moeilijkheid van deze regeling is, dat men aan het vuil niet kan zien wat de calorische waarde is.

Beperkingen

De hoeveelheid te verbranden afval heeft zijn beperkingen. De verblijftijd is beperkt door de verbrandingscapaciteit van het rooster.

- Bij kleine hoeveelheden afval bestaat het gevaar van gaten in het vuilbed, tevens bestaat de kans dat er een energie tekort ontstaat, als er slecht brandbaar afval in de oven komt.
- Bij grote hoeveelheden afval bestaat het gevaar dat het afval in de beschikbare tijd niet volledig verbrandt. Met de slakken wordt nu een niet te aanvaarden hoeveelheid brandbaar afval afgevoerd uit de oven. Dit geeft rendement vermindering en gaat ten koste van de doelstelling van een afval verbranding. Het ontstaan van CO bij grote hoeveelheden afval kan erg groot zijn.

Dit alles is uit milieu oogpunt niet aanvaardbaar.

Het verbranden van afval is dus constant alle mogelijkheden afwegen, om zo goed mogelijk aan de gestelde eisen te voldoen.

2.5 Nabeschouwing van de verbranding

Zou het afval alleen bestaan uit stedelijk afval, dan is de kans groot dat je alleen last kan hebben van nat afval. Als het dagen achtereen geregend heeft, is het stedelijk afval erg nat.

Variaties in de calorische waarde kunnen bij stedelijk afval aardig opgevangen worden, door het aangeboden afval goed te mengen.

Bij industrieel afval komt het voor dat een partij een vrij hoge calorische waarde heeft of dat er een partij is die een heel lage (tot nihil) calorische waarde heeft. Deze groepen komen ook voor in het stedelijk afval, maar nooit in die hoeveelheden als bij industrieel afval. Worden deze groepen niet goed gemengd, of is het niet mogelijk om het goed te mengen, dan kan zo'n partij in zijn geheel in de oven komen met alle problemen die daar bij horen. Door het aanbod van partijen die een ver uit elkaar liggende calorische waarde hebben, zal ook bij goed mengen, de variaties in de calorische waarde groter zijn, dan bij goed gemengd stedelijk afval.

Het mengen heeft zijn beperkingen.

Is het afval nat vanwege de weersomstandigheden, dan is er met mengen weinig goed te maken. Is het één partij die veel water bevat, dan kan met goed mengen dit probleem opgelost worden.

Ten gevolge van scheiding is op diverse plaatsen het probleem van nat afval inmiddels ondervangen.

Door het aangeboden afval goed te mengen kunnen in veel gevallen extreme situaties voorkomen worden. Het gevolg is een rustig verloop van het verbrandingsproces.

Helaas zal dit niet in alle gevallen voorkomen kunnen worden, **maar moet wel het doel blijven**, waarna wij streven.

Gemengd

Scheiding

Het aangeboden afval is seizoen afhankelijk, met andere woorden de kwaliteit en de hoeveelheid worden beïnvloed door de seizoenen.

- Grote schoonmaak, tuinafval, vakantie, schoonmaken van sloten, bomen rooien en snoeien.

De kwaliteit van het aangeboden vuil kan zo slecht zijn dat ondersteuning van het verbrandingsproces nodig is. Ligt het niet aan het mengen, dan zal deze situatie aanvaard moeten worden, hoeveel geld het ook kost.

Het hele verbrandingsproces staat en valt met de kwaliteit van het aangeboden afval, niet alles is brandbaar.

Door middel van selectie en goed mengen zal getracht moeten worden om een homogene hoeveelheid afval te verkrijgen. Als het verbrandingsproces rustig verloopt, kan dit ook makkelijker optimaal geschieden, dus bij zo'n hoog mogelijk rendement. Dit komt ook ten goede aan de ketel.

De uitkomsten van de rookgas analyses van afvalverbranding kunnen niet op dezelfde manier geïnterpreteerd worden als bij het verbranden van brandstof met een bekende samenstelling.

- Voor wat betreft het CO percentage geldt voor afval hetzelfde als voor een bekende brandstof.
- Voor wat betreft het roetcijfer of rookdichtheidscoëfficiënt geldt voor afval hetzelfde als voor een bekende brandstof.
- Voor wat betreft het O₂ percentage of te wel de luchtvermaat gaat die vergelijking niet helemaal meer op. Het verbrandingsproces van afval is gecompliceerder dan een verbrandingsproces van een bekende brandstof. Dit houdt niet in dat het O₂ percentage geen beperkingen heeft, wettelijk minimaal 6 vol %.
Het is terdege beperkt, denk maar eens aan de benodigde hoeveelheid energie om het verbrandingsproces op gang te houden.
- Voor wat betreft het CO₂ % wordt het moeilijker. Van het aangeboden afval weet men niet precies het CO₂ % max. , dus de gemeten CO₂ % geeft niet die indicatie, dan die het geeft bij een bekende brandstof.
Door de variatie in de samenstelling van het afval zal het CO₂ % max. ook variëren.
Aan moment opnamen hebben we dus niets. Wel kan men het gemiddelde CO₂ % max. over een heel jaar of over elk seizoen bepalen. Dit kan een indicatie zijn over het verloop van het verbrandingsproces.

Om de rookgas analyses goed te kunnen interpreteren bij een afval verbranding, moet men wel weten hoe de meting tot stand komt en wat de achtergrond en het doel van de meting is.

Ervaring in het verbranden van afval helpt een stevig handje om de rookgas analyses goed te kunnen interpreteren, om zo'n optimaal mogelijke verbranding te krijgen.

3.0 Het Verbrandingsrooster

Verbrandingsruimte

Zoals bekend is de brandstof (het afval) zeer volumineus en ongelijk van samenstelling.

Hierdoor moet de verbrandingsruimte groot en speciaal gevormd zijn, met daarbij aangepaste roosters om de verbranding optimaal te laten verlopen.

De ongelijkmatige samenstelling betekent een sterk wisselende stookwaarde.

3.1 Verbrandingsoven met walsrooster

Op afbeelding 6 is een walsenrooster weergegeven van een vuilverbrandingsinstallatie zoals die bij de AVR (AVIRA) te Duiven wordt gebruikt.

Via een grijperkraan wordt het gemengde afval uit de bunker in de vulschacht, hier niet afgebeeld, gebracht. Wanneer de ketel in bedrijf is dient de vulschacht geheel gevuld te zijn.

Men krijgt hierdoor niet alleen een continue toevoer naar de ketel maar het dient tevens als afsluiting tussen de vuurhaard en de bunkerruimte. Een doseerinrichting waarvan de snelheid regelbaar is, voert het afval naar het rooster. Op het rooster vinden, zoals nu bekend wordt verondersteld, de verschillende deelprocessen van de verbranding van het afval plaats, te weten:

- Droogzone
- Verbrandingszone
- Uitbrandzone
- Koelzone

Draaisnelheid

Het rooster bestaat uit zes walsen, cilinders van 1.50 m doorsnee met een breedte van 3.60 m.

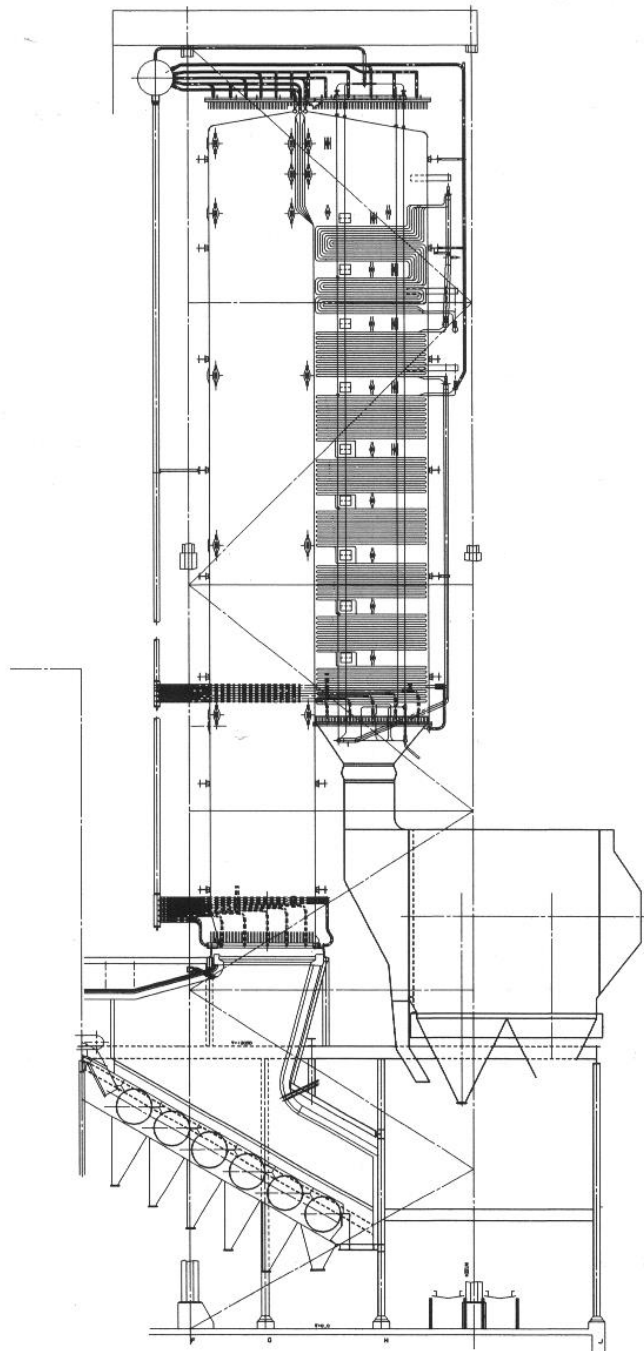
Elke wals heeft een eigen regelbare aandrijving. De draaisnelheid ligt tussen 0,5 en 11 omwentelingen per uur.

Tijdens bedrijf draaien de zes walsen niet met dezelfde snelheid.

Dit heeft te maken met de verschillende deelprocessen bij de verbranding van het afval. De tijd die nodig is om het afval geheel te verbranden, dat wil zeggen gerekend vanaf begin rooster tot eind van de rooster, is afhankelijk van de kwaliteit van het afval. Bij gemiddeld huisvuil duurt dit ca. 1 tot 1½ uur.

Voor de verbranding is zuurstof nodig. De voor de verbranding benodigde luchthoeveelheid wordt boven uit de bunkerruimte met een ventilator aangezogen. Via verbindingsleidingen komt de verbrandingslucht onder de walsen.

Regelkleppen zorgen voor de verdeling van de verbrandingslucht. De verdeling van de luchthoeveelheid moet zijn afgestemd op de diverse deelprocessen waarin de verbranding van het afval zich bevindt.



Afbeelding 6. Afval gestookte ketel met walsenrooster.

Ontslakker

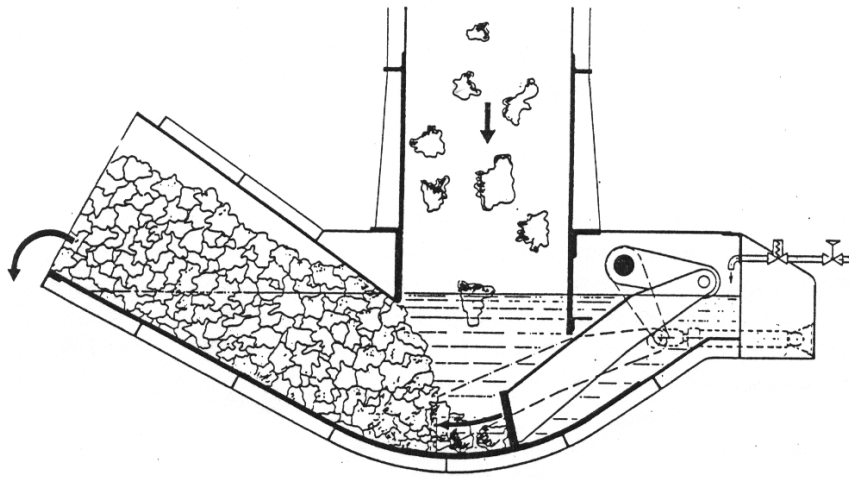
Nadat het vuil op de walsen is verbrand, komt alles wat ervan over is in de ontslakker, hier vindt de zogenaamde ontslakking plaats, terwijl deze tevens dienst doet als waterslot tussen de vuurhaard en de buitenlucht. De temperatuur van de zogenaamde slakken varieert hier van 300 tot 350 °C.

Drieledig

De functie van de ontslakker is drieledig:

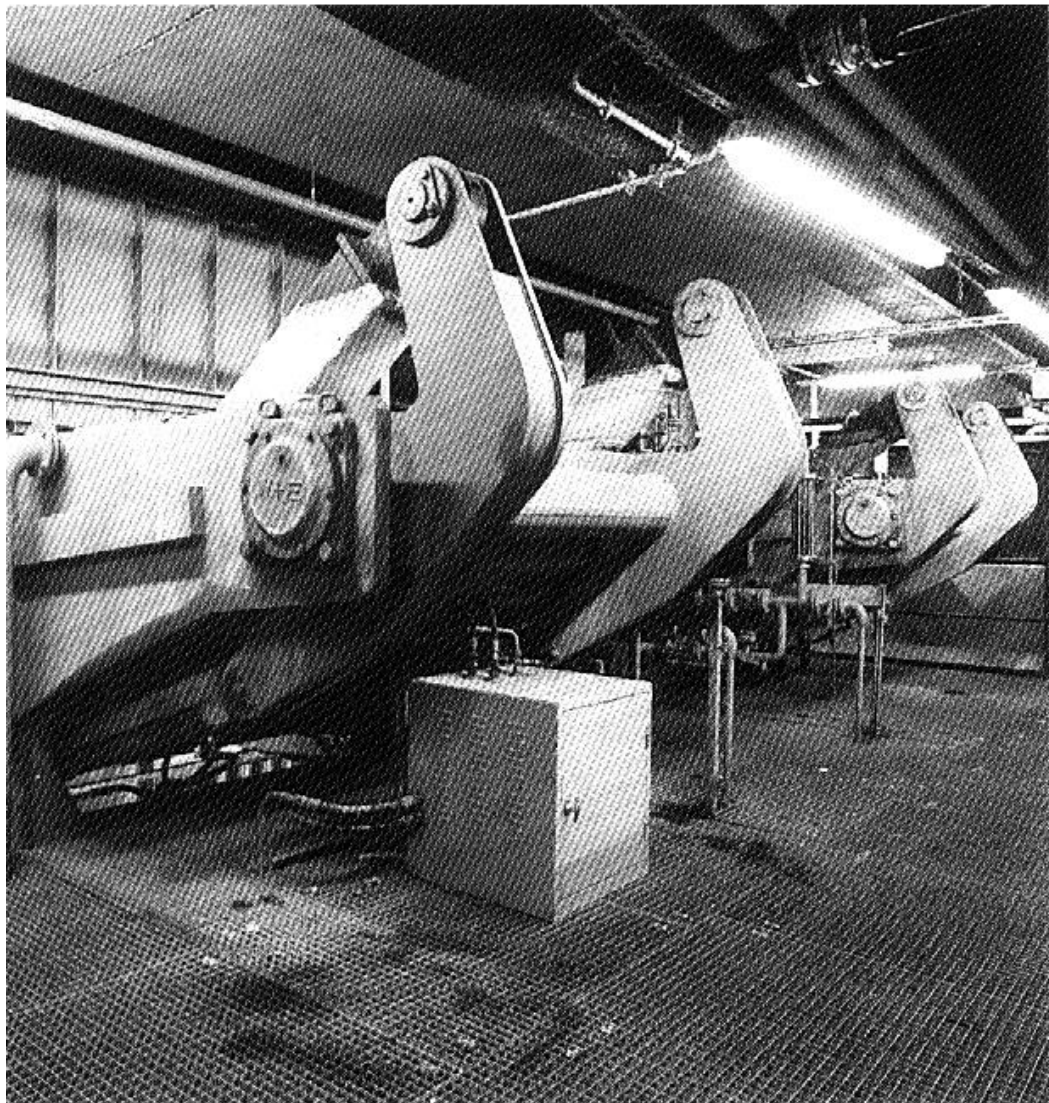
- Het verder koelen van de slak tot omgevingstemperatuur
- Het vormen van een afsluiting tussen de vuurhaard en de buitenlucht, zodat er geen valse trek in de ketel optreedt. Dit zal namelijk resulteren in:
 - Een overmaat aan zuurstof in de oven
 - Ongewenste afkoeling in de vuurhaard
- Het verdere transport van de slak naar de opwerking.

Op afbeelding 7 is een uitvoering van een ontslakker te zien



Afbeelding 7. Een ontslakker.

Op afbeelding 8 is een foto weergegeven van een ontslakker.



Afbeelding 8. Foto van een ontslakker.

Aansteekbrander

Tussen de derde en de vierde wals is nog een aansteekbrander geplaatst. De voornaamste taak van een aansteekbrander of ook wel ondersteuningsbrander genoemd, is, om tijdens de opstartfase de verbrandingsruimte zodanig te verwarmen waardoor het als eerst gekozen lichtbrandbaar afval tot verbranding komt.

Een ander functie van de aansteekbrander is om de vuurhaard op temperatuur te houden en bij te stoken. Wettelijk is het namelijk voorgeschreven dat de temperatuur minimaal 2 seconden op 850 °C of hoger blijft. Bij afval met een lage verbrandingswaarde moet dan extra worden bijgestookt.

De verbranding op het walsrooster

De verbranding van huisvuil op het rooster moet in drie etappes gebeuren:

- het drogen
- het ontgassen
- het vergassen

Eisen

Aan een vuilverbrandingrooster worden de volgende eisen gesteld:

- het rooster moet het vuil regelmatig kunnen verwerken,
- het rooster dient een goede menging van het brandende vuil mogelijk te maken,
- het vuil moet gelijkmatig worden verdeeld en indien er open plaatsen ontstaan moeten deze snel worden opgevuld; hierdoor wordt voorkomen dat onnodig lucht door het rooster wordt geblazen

Het rooster moet het vuil, geheel zonder hulp van buitenaf, namelijk van vuiltoevoer tot slakafvoer, laten doorlopen, lange voorwerpen moeten worden vermeden daar ze op het rooster kunnen blijven steken, waardoor het vuil enige tijd kan worden opgehouden wat gepaard kan gaan met een ongelijkmatige verdeling van het vuur en verlies aan verbrandingslucht.

Het walsrooster

Helling

Het oude type roostervlak heeft een helling van circa 30 graden en de nieuwe typen hebben een helling van circa 20 graden. Het bestaat doorgaans uit zes, trapvormig achter elkaar geplaatste, walsen. De 6 walsen; cilinders van circa 1 meter doorsnee en 3.60 meter breed; worden ieder afzonderlijk door een elektromotor, of hydraulische motor, aangedreven en zijn traploos regelbaar.

Zoals reeds vermeld, heet elk deelproces van de verbranding een ander snelheid nodig.

Snelheid

Een voorbeeld is het verschil in snelheid bij het drogen en het uitbranden van het afval. Het eerstgenoemde heeft een veel lagere snelheid nodig dan het laatstgenoemde.

Onderwind

Onder elke wals is een voorziening aanwezig om primaire lucht, ook wel onderwind genoemd, voor de verbranding toe te voeren. Regelkleppen zorgen ervoor dat de primaire lucht afzonderlijk kan worden geregeld. Tijdens bedrijf wordende roosterstaven door de toegevoerde primaire lucht gekoeld.

Roosterspleten

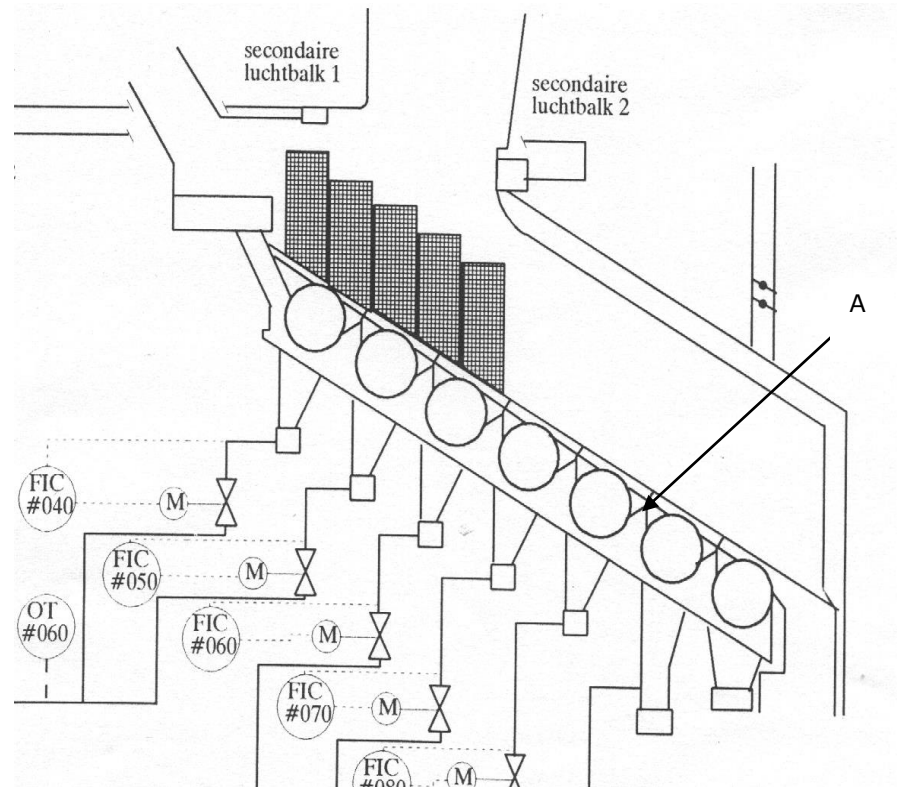
Door de roosterspleten gaat niet alleen de benodigde luchthoeveelheid, maar er kunnen ook vaste deeltjes (resten) door die roosterspleten vallen. Hier dient een opvangtrechter voor het opvangen van deze deeltjes.

De V-vormige ruimte die wordt gevormd door twee opeenvolgende walsen dwingen het afval, tijdens bedrijfstoestand, een zodanig traject te volgen dat dit een goede menging geeft. Dit geeft een intensieve verbranding waarbij zelfs de kleinste deeltjes goed mee verbranden.

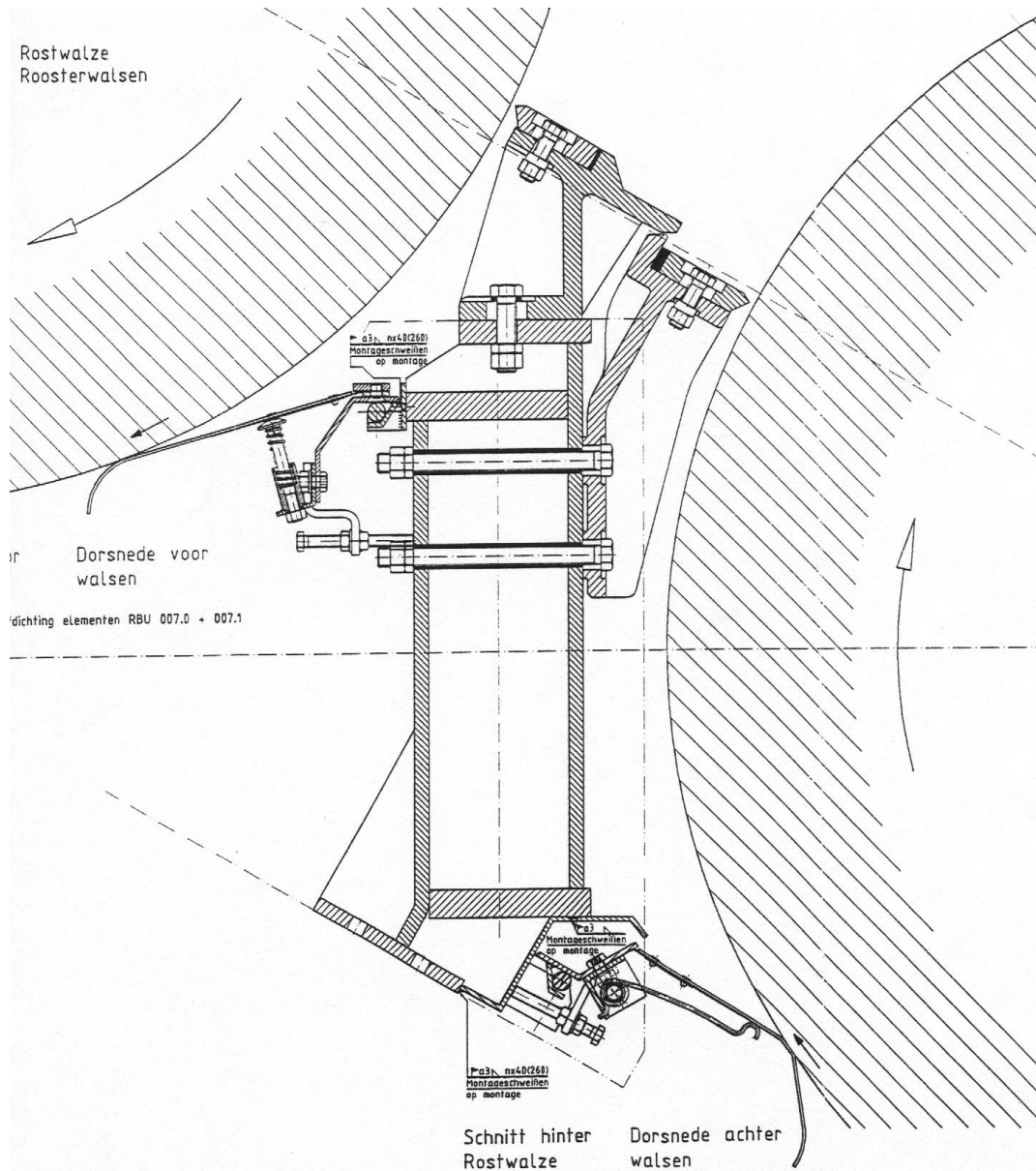
De ruimten waarborgen telkens een gelijkmatige verdeling van de brandstoflagen voor de volgende ruimte tussen weer twee opeenvolgende walsen.

Koudblazen

Op afbeelding 9 is een dergelijk walsenrooster afgebeeld. Tegenwoordig zijn de ruimten tussen de walsen afgedicht, dit is weergegeven op afbeelding 10, detail A op afbeelding 9. Dit wordt overigens gedaan om het zogenaamde "koudblazen" te voorkomen en om overmatige rooster doorval te vermijden.



Afbeelding 9. Het walsenrooster, AVR Rozenburg.



Afbeelding 10. De afdichting tussen de walsen.

De verbrandingsruimte bij het walsrooster

Het vermogen van een vuilverbrandingsinstallatie wordt zowel door de grootte van de verbrandingsruimte als door het roosteroppervlak beïnvloed. Beide dienen op elkaar te zijn afgestemd. Voor een goed verloop van de verbranding is de vorm van de verbrandingsruimte net zo belangrijk als de roosterconstructie.

Het verloop van de verbranding moet zodanig zijn dat elk deelproces (drogen, ontgassen en vergassen) goed wordt doorlopen.

Droogproces

Voor het droogproces is een hoeveelheid warmte nodig en hiertoe wordt lucht als droogmedium via het rooster toegevoerd.

De verbrandingsruimte is aan de voorzijde zo gevormd dat de warmte die nodig is voor het droogproces wordt verkregen door straling vanaf deze wanden.

De snelheid van de wals wordt afgestemd op het aanwezige watergehalte in het huisvuil. In elk geval moet het droogproces, na het passeren van de eerste wals, zijn beëindigd.

Ontgassing

De ontgassingfase omvat het ontgassen van het huisvuil, waarna de verbranding optreedt. In deze fase worden de vluchtige componenten uitgedreven. Daar de ontstekingstemperatuur van deze componenten laag is ontsteekt dit onmiddellijk wanneer lucht wordt toegevoerd. Deze verbranding geschiedt grotendeels direct in de buurt van het vaste stofoppervlak.

Vergassing

Het vergassingsproces omvat het omzeilen van de vaste vorm van de brandbare bestanddelen naar het gasvormige product.

Bij de afvalverbranding wordt in het vergassingsgebied, ter hoogte van de derde en vierde wals, de vuurhaardtemperatuur hoog gehouden. Het vergassingsgebied ligt tussen bepaalde temperatuurgrenzen.

Een temperatuur van 850 °C of hoger, is de temperatuur om het uitbranden van de gasvormige producten zeker te stellen.

Als deze temperatuur lager is bestaat de kans op vervulling van de verschillende keteldelen door onverbrande resten. Deze temperatuur mag overigens niet lager zijn, wettelijk voorschrift.

Als de temperatuur van 1150 °C wordt overschreden zal het smeltpunt van de slak worden bereikt, waardoor verslakking en "aankoeken" van de verbrandingsruimte ontstaat.

3.2 Vuilverbrandingsoven met terugschuifrooster

Afbeelding 11 geeft een vuilverbrandingsoven met een "Martin-terugschuifrooster" en een nageschakelde Stork B & W stoomketel weer.

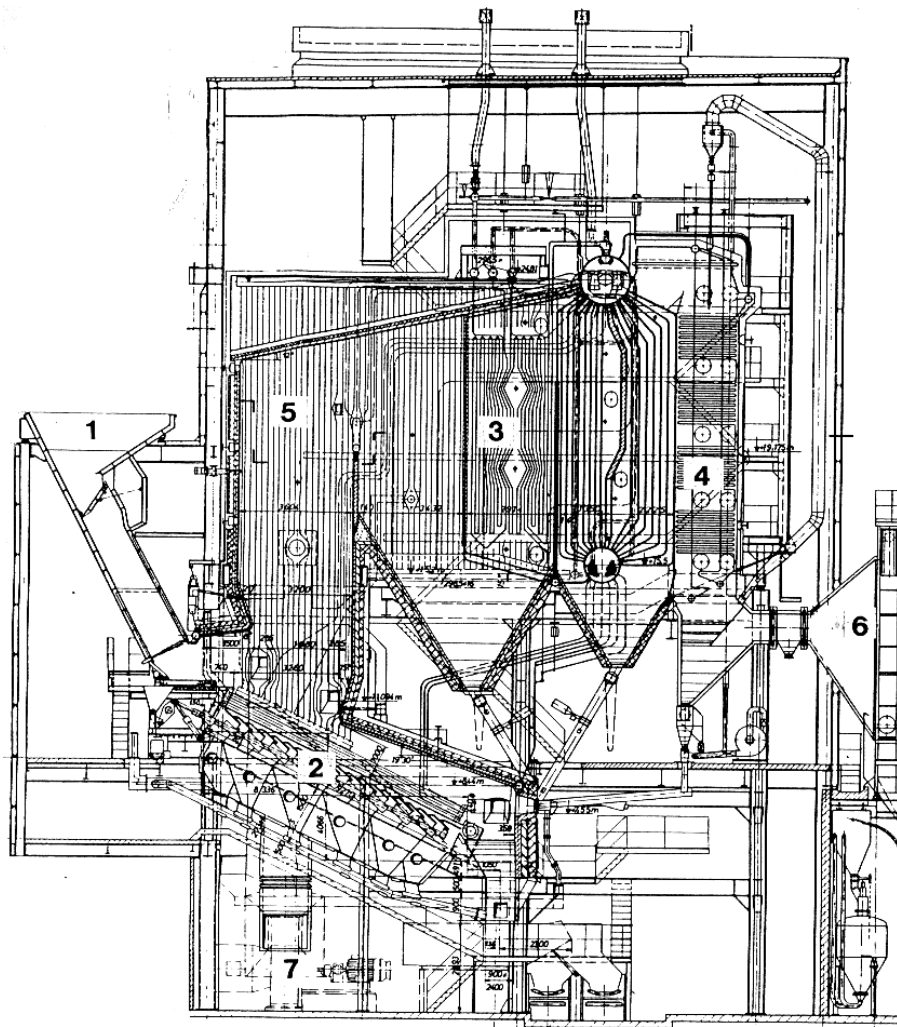
De onder- en de bovendrum van de ketel zijn door middel van verticale pijpen met elkaar verbonden. In de onderdrum is een stoomkoeler geplaatst om de oververhitte stoom te koelen.

De bovendrum is voorzien van cyclonen en zeven om de verzadigde stoom zo droog mogelijk naar de oververhitter te voeren.

De ketel is verder voorzien van een economizer, oververhitter en vuurhaard alsmede zijwand koeling.

Het te verbranden afval valt op een "Martin-terugschuifrooster". Via de onderkant van het rooster wordt primaire lucht toegevoerd.

Cyclonen



Afbeelding 11. Het Martin terugschuif rooster met Stork B&W ketel.

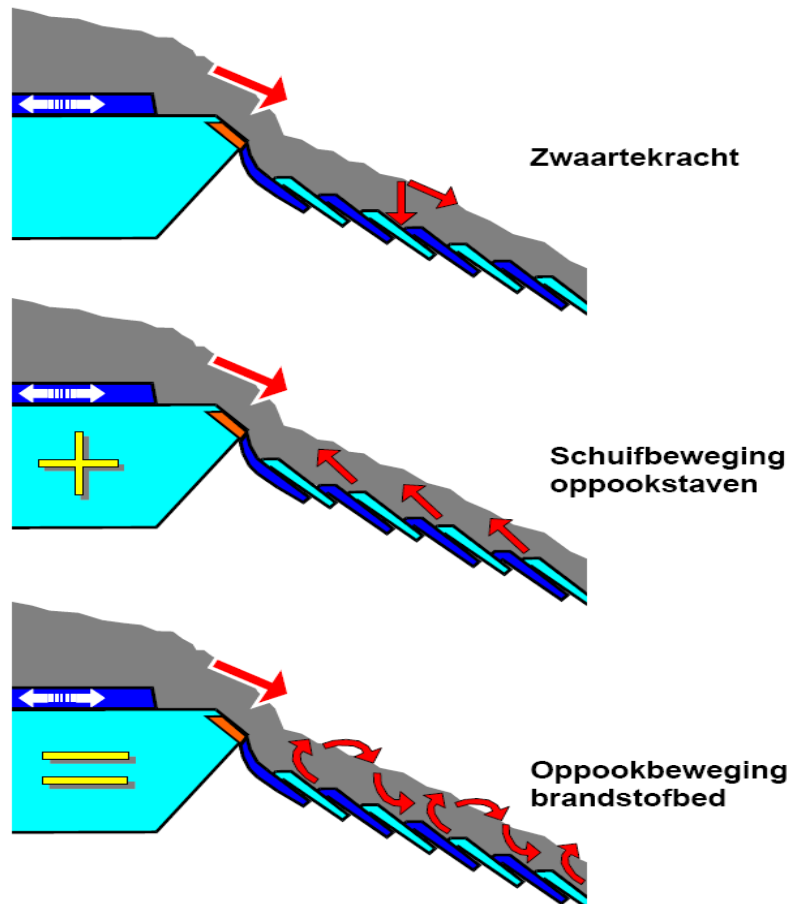
Het Martin terugschuifrooster

Opgepookt

Het Martin terugschuifrooster is een 25° hellend geplaatst rooster met afwisselende vaste en bewegende roostertrappen.

De bewegende roosterstaven maken een opwaartse beweging, zie afbeelding 12, tegen de natuurlijke afschuifrichting in. Hierdoor wordt het afval, welke hoofdzakelijk de gloeiende delen van het ondervuur vormt, naar voren onder het verse vuil geschoven.

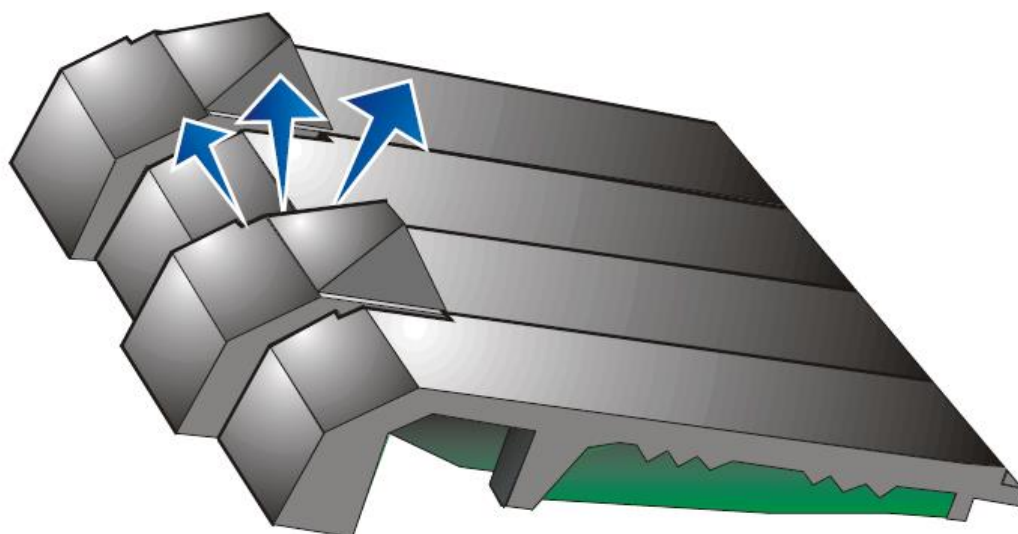
Dit systeem veroorzaakt dat de brandstof niet alleen naar beneden wordt gevoerd maar ook voortdurend wordt opgepookt en tevens door omkeren intensief gemengd.



Afbeelding 12. Schematische weergave van het Martin terugschuif rooster.

De roosterstaaf, een plat stuk slijtvast en vuurbestendig materiaal, is aan de voorzijde voorzien van een opstaande rand. De gemiddelde breedte en lengte variëren respectievelijk tussen de 7 en 10 cm en 30-60 cm.

Er zijn roosterstaven waarbij de primaire lucht via sleuven in de opstaande rand (de kop) wordt toegevoerd en er zijn roosterstaven die aan de zijkanten voorzien zijn van nokken zodat de primaire lucht direct van onder naar boven wordt toegevoerd. Zie hiervoor afbeelding 13.



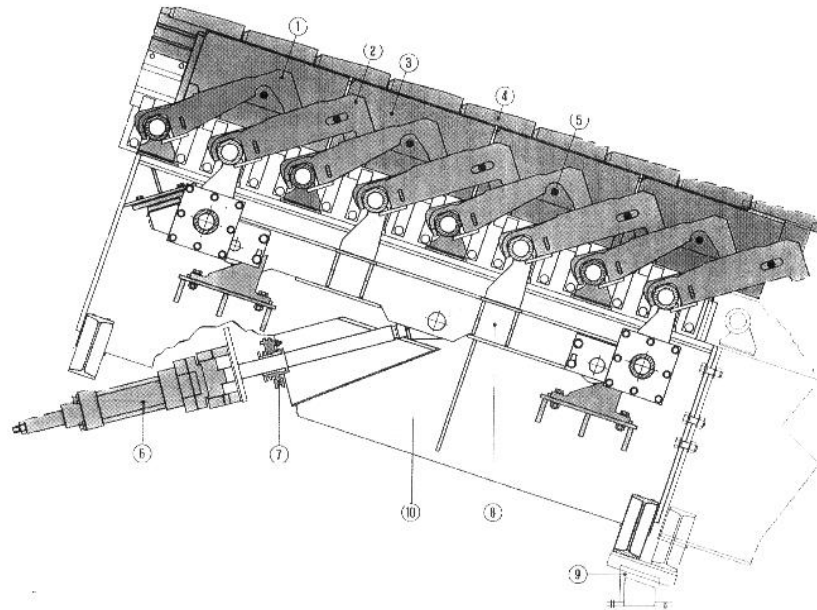
Afbeelding 13. Een roosterstaaf met zijwaartse luchtdosering.

Koeling

Het voordeel van het eerstgenoemde systeem is dat een betere koeling van de roosterstaaf teweeg wordt gebracht en dat verstoppingen, dus waarbij de primaire lucht wordt geblokkeerd, weinig voorkomt. Over de breedte van de oven is het rooster in banen verdeeld. Afhankelijk van het vermogen ligt het aantal banen tussen de 3 à 6. Elke baan is in de breedte voorzien van enkele roosterstaven, terwijl iedere baan een afzonderlijke terugschuif beweging maakt. De samenstelling van het vuil bepaalt in belangrijke mate het aantal opwaartse bewegingen. Elke verandering in de vuilsamenstelling kan de laagdikte doen veranderen. Dit kan worden opgeheven door de roostersnelheid hierop aan te passen. Over het algemeen is de beweging, afhankelijk van de kwaliteit vuil, zo'n 25 à 35 maal per uur.

3.3 Het Vooruitschuifrooster

Het vooruitschuifrooster lijkt heel sterk op het terugschuifrooster, het is opgebouwd uit roosterstaven, die afwisselend vast en beweegbaar zijn. De beweegbare staven worden heen en weer geschoven en, zoals de naam al aangeeft is de beweging met de natuurlijk meegaande beweging van het te verbranden afval mee. Het afval wordt gelijktijdig gepookt en getransporteerd. Dit roostertype kan zowel vlak, ook wel horizontaal genoemd, als onder een hoek van circa 18° worden uitgevoerd. De vlakke uitvoering van dit rooster wordt enkel gebruikt bij ovens met een kleine capaciteit. Op afbeelding 14 is een dergelijk rooster weergegeven.



Afbeelding 14. Schematische voorstelling van het vooruitschuifrooster.

Het rooster kan zijn uitgevoerd als dwarsbalken- en als langs balkenrooster. Het dwarsbalkenrooster wordt het meest toegepast. Hierbij maken alle roosterstaven, die in een rij dwars op de bewegingsrichting van het afval liggen, gelijktijdig een slag. In sommige gevallen is het rooster opgebouwd uit een aantal in hoogte verspringende trappen, die onafhankelijk van elkaar kunnen worden geregeld. Bij hogere stookwaarden wordt het rooster in een vlak, zonder verspringing van de roosterelementen uitgevoerd. Het rooster is opgebouwd uit identieke roosterelementen.

Voordroogrooster

Het eerste roosterelement noemt men het voordroogrooster, daarna volgt het hoofdrooster en vervolgens het uitbrandrooster. De roosterstaven, zowel de vaste als de beweegbare, zijn in de breedte opgedeeld in roosterblokken.

Roosterblokken

Zo bestaat elk roosterelement uit acht rijen roosterblokken met afwisselend een rij vaste en een rij beweegbare blokken. De roosterblokken die beweegbaar zijn, zijn verbonden met een raamwerk. De bewegende rijen roosterstaven worden voor elk roostergedeelte door twee hydraulische cilinders aangedreven. De snelheid is ook hier weer afzonderlijk regelbaar.

Hoofdbrandzone

De roosterblokken in de hoofdbrandzone bewegen vaker dan die in de uitbrandzone. Indien de capaciteit van de oven, dus de hoeveelheid afval per seconde die aan de oven wordt toegevoerd wordt veranderd, wordt ook de frequentie van het gehele rooster gelijkmatig vergroot of verkleind.

Verbrandingslucht

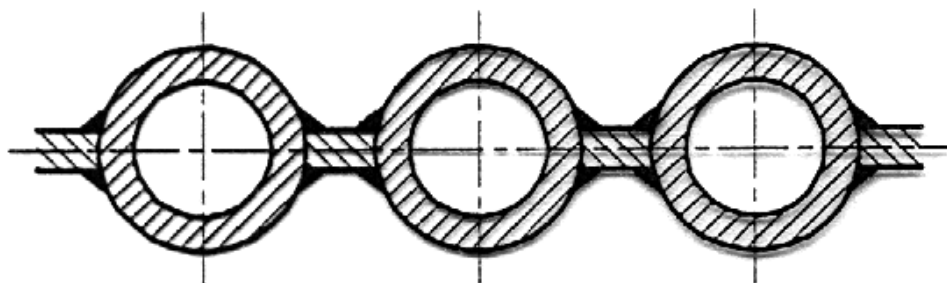
De verbrandingslucht wordt via kanalen in de onderkant van de roosterstaven naar het afvalbed gevoerd. Door de koelende werking van de lucht wordt de temperatuur van de roosterstaven doorgaans niet hoger dan 350°C. De capaciteit per rooster kan oplopen tot 40 ton per uur.

4.0 De Vuurhaardwand

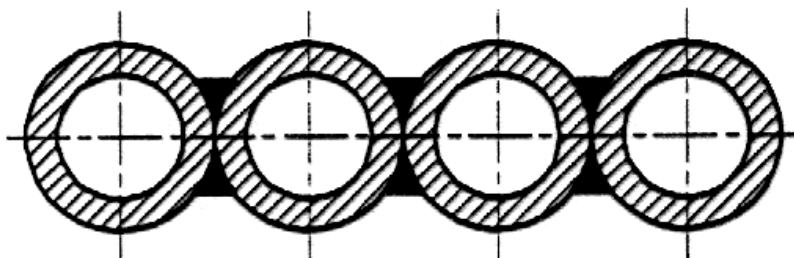
Om het verbrandingsproces op gang te brengen en te onderhouden is warmte nodig. Ter ondersteuning van de verbranding wordt de vuurhaard bemetseld. Ook worden de wanden van de vuurhaard bemetseld om corrosie en oververhitting van de wanden te voorkomen. Over het algemeen is de kwaliteit en uitvoering zodanig dat hierdoor de oventemperatuur ca. 900 °C of hoger bedraagt en de temperatuur van de oven aan de buitenzijde een aanvaardbare waarde heeft van maximaal 60 °C. De oven is aan de buitenzijde ook voorzien van isolatiemateriaal om deze temperatuur te kunnen bereiken.

Membraanwand

De wanden die de oven omgeven worden membraanwanden genoemd, dit zijn pijpen die aan elkaar gelast zijn, de wand wordt op deze manier gasdicht. Een dergelijke uitvoering van een membraanwand is weergegeven op afbeelding 15 en 16.



Afbeelding 15. Membraanwand met tussenliggende strippen.



Afbeelding 16. Membraanwand met direct aan elkaar gelaste pijpen.

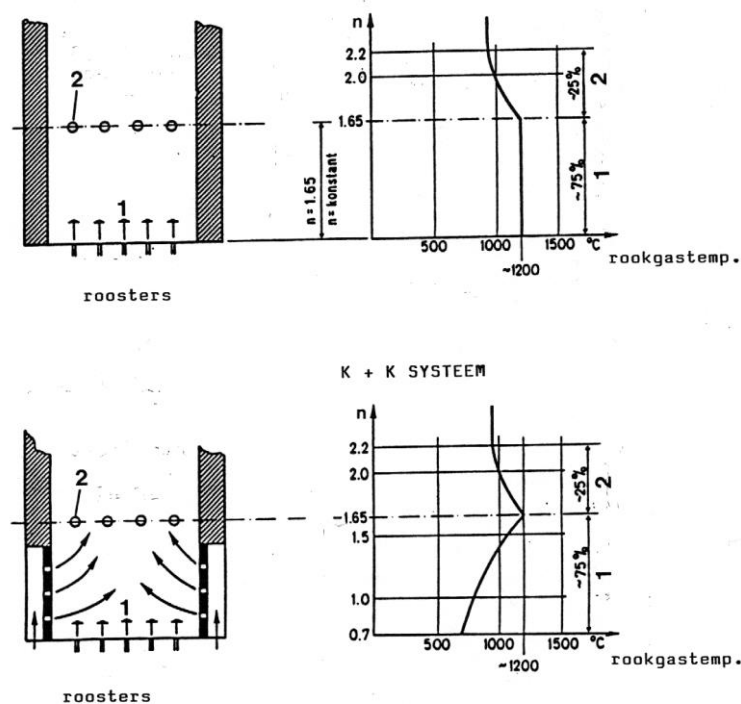
Slakafzetting

Problemen die door de hoge temperaturen in de vuurhaard kunnen optreden bij de verbranding van huisafval is de slakafzetting op deze wanden als gevolg van overschrijding van het asverwekingpunt. Het asverwekingpunt ligt bij huisvuil op gemiddeld 675 °C. Deze slakvorming kan het verbrandingsverloop negatief beïnvloeden.

K + K

Een systeem waarbij slakvorming zoveel mogelijk wordt beperkt, is de toepassing van het: K + K wandsysteem. (Genoemd naar de fabrikanten Koch en Künzler.)

Een prinsipeschema van een K + K wand systeem vergeleken met de conventionele vuilverbrandingsystemen is op afbeelding 17 weergegeven.



Afbeelding 17. Boven een oven zonder zijwandkoeling, onder een oven met zijwandkoeling.

Op afbeelding 17 is te zien dat bij 1 de primaire lucht wordt toegevoerd en bij 2 de secundaire lucht. Op het onderste gedeelte van de afbeelding zijn de gaten in de zijwand te zien, waarlangs zijwand koellucht aangevoerd wordt.

Bij een K + K systeem zijn de zijwanden van hitte bestendig materiaal en voorzien van kleine openingen. Door deze openingen stroomt lucht met geringe snelheid de vuurhaard binnen. Hierdoor ontstaat op het oppervlak een zogenaamde luchtfilm, waarbij de wandtemperatuur onder het as smeltpunt komt te liggen en zo slakvorming op de wanden beperkt.

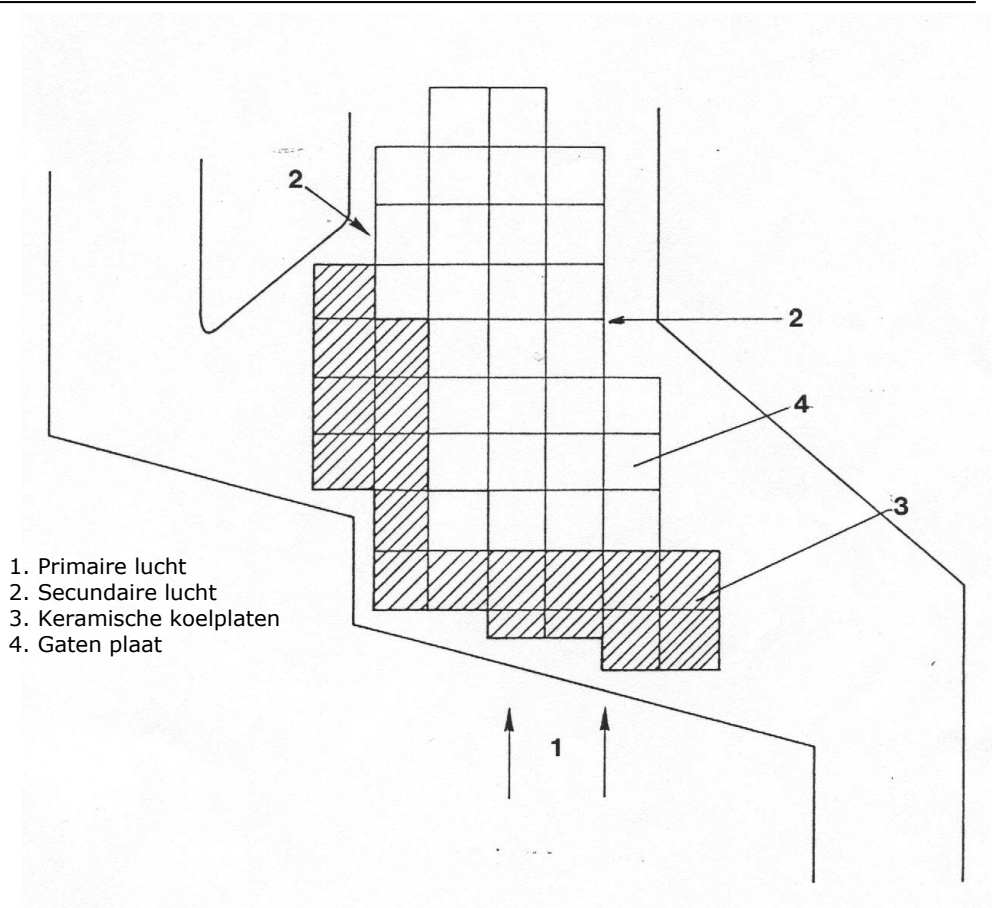
Luchtfilm

De luchtfilm verhindert bovendien dat vlammen uit de verbranding op de wand inslaan. Dit systeem geeft het voordeel dat de onderhoudskosten aan de zijwanden minimaal zijn.

Koude CO

Een nadeel van dit systeem is echter dat de kans op vorming van "koude CO" in de oven toeneemt.

Op afbeelding 18 is een gekoelde zijwand te zien van een vuurhaard van een vuilverbrandingsoven. De zijwanden bestaan uit twee delen.



Afbeelding 18. Schematische voorstelling van een zijwandkoeling.

Het gearceerde gedeelte zijn de zogenaamde keramische koel platen, dit wordt over het algemeen de zogenaamde zijwandkoeling genoemd. Deze zijn aangebracht in het gebied waar hoge mechanische belastingen kunnen optreden. Het tweede gedeelte, de zogenaamde gaatjesplaten welke boven de koelplaten zijn geplaatst, zijn aangebracht in een gebied waar grote warmteontwikkeling plaatsvindt. Een voor dit doel aangebrachte luchtventilator voert lucht via een verzamelleiding en regelkleppen achter de zijwanden. Via een verdeelplaat stroomt de lucht naar de gaten in de zijwandconstructie en zo in de vuurhaard. Dit systeem beperkt niet alleen de stralingsverliezen maar de toegevoerde lucht wordt eveneens voorverwarmd.

Secundaire luchttoevoer

Boven de verbrandingsruimte wordt ter voorkoming van onvolledige verbranding extra lucht, de zogenaamde secundaire lucht, onder een bepaalde hoek toegevoerd. De hoek is stromingstechnisch zo bepaald dat er wervelingen ontstaan waardoor een goede menging met de onverbrande bestanddelen tot stand wordt gebracht.

De toegevoerde hoeveelheid lucht bepaald de vlamtemperatuur en dus ook de rookgastemperatuur. Een grote luchtfactor resulteert in een lagere temperatuur.

De luchtfactor.

Dit is het getal dat aangeeft hoeveel maal meer lucht aan de ketel wordt toegevoerd, dan theoretisch noodzakelijk is voor een volledige verbranding.

Luchtfactor

Uitbrandruimte

Vuilverbrandingsinstallaties hebben een nageschakelde uitbrandruimte nodig.

Zoals de naam al zegt, dient deze ruimte zoveel mogelijk vliegstof te verbranden. Van belang is hier de verblijftijd van de vliegstof die nodig is om uit te branden.

De temperatuur moet minimaal op 850 °C worden gehouden om dit proces van uitbranden mogelijk te maken. Dit is overigens een wettelijk voorschrift.

Gemiddeld is hier de rookgastemperatuur 900 à 950 °C.

De warmte uit de rookgassen wordt eerst nog benut in een nageschakelde ketel, voordat deze via het Elektro-filter en de nageschakelde rookgasreiniging naar de schoorsteen wordt afgevoerd.

5.0 De Ketel

Het doel van de ketel is de warmte die tijdens de verbranding vrijkomt over te dragen aan het water, dat verdere benutting van die warmte mogelijk maakt. Reeds aan het eind van de vorige eeuw werd aangetoond dat afvalverbranding met energierugwinning mogelijk was. Door de stijging van de energieprijzen ontstond tijdens de overgang van de vijftiger naar de zestigerjaren druk op de ontwerpers en bouwers van AVI's om de opwekking van zoveel mogelijk energie tegen een zo laag mogelijke prijs te realiseren. De technische problemen werden helaas vaak onderschat. Het ketelontwerp werd afgeleid uit de industriële ketel bouw.

In de praktijk bleek echter dat het ontwerp van een ketel van een afvalverbrandingsinstallatie aan andere specifieke eisen moet voldoen. Zo moet bijvoorbeeld rekening worden gehouden met de samenstelling van de rookgassen.

Energiewinning

Bij AVI's kunnen stoom- of warmwaterketels worden toegepast, afhankelijk van de gewenste vorm van energierugwinning. Wanneer de terugwinbare warmte wordt gebruikt voor verwarmingsdoeleinden, worden warmwaterketels en lagedruk stoomketels toegepast. Als voor elektriciteitsopwekking of voor levering van processtoom aan de industrie wordt gekozen, zal vanuit thermodynamisch oogpunt worden gestreefd naar hoge stoomdrukken en de daarbij behorende hogere temperaturen.

40 bar

In Nederland wordt bij stoomketels voor afvalverbranding meestal gebruik gemaakt van stoomdrukken van ongeveer 40 bar en stoomtemperaturen van ongeveer 400 °C.

120 bar

In de Verenigde Staten en Duitsland wordt ook wel gewerkt met stoomdrukken tot 120 bar en temperaturen tot 510 °C. In deze twee landen wordt ook gewerkt met oververhitters in de vorm van gas- of oliebranders die buiten de ketel zijn geplaatst. Door het buiten de ketel plaatsen van een oververhitter wordt de kans op hoge temperatuur corrosie beperkt en treedt nagenoeg geen vervuiling van de ketelpijpen op. De temperatuur van de oververhitte stoom kan op deze wijze aanzienlijk worden opgevoerd, waardoor de elektriciteitsproductie aanzienlijk stijgt.

Gasturbine

In Nederland wordt door AZN stoom geleverd aan een gasturbine installatie. AZN werkt ook met hogere stoomdrukken.

5.1 Opbouw ketel

De opbouw van een ketel van een AVI bestaat uit twee hoofddelen, te weten:

- Het straling gedeelte
- Het convectiegedeelte

In het stralingsdeel worden de rookgassen uit de vuurhaard afgekoeld van circa 1050 °C tot circa 620 °C.

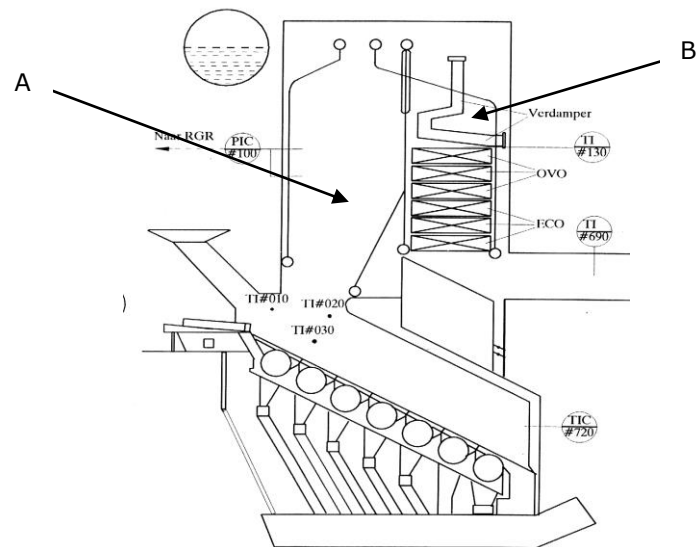
650 °C

Let op, de temperatuur bij intrede van het convectiegedeelte is bepalend voor de standtijd van de ketel. Als deze temperatuur in de buurt van de 650 °C of daarboven komt, zal ernstige vervuiling van het convectiegedeelte het gevolg zijn. Ook neemt de kans op hoge temperatuur corrosie aanmerkelijk toe. De reden hiervoor is, dat wanneer huishoudelijk afval wordt verstookt, de gemiddelde verweking temperatuur van het vlieggas in de buurt van de 675 °C ligt.

Verweking	Met de verwekingtemperatuur wordt bedoeld, dat bij deze temperatuur een gedeelte van het vliegashetzij plastisch dan wel vloeibaar is.
	De afkoeling van de rookgassen in het straling gedeelte vindt plaats zonder dat er sprake is van direct contact tussen de rookgasstroom en de verwarmde oppervlakken, ofwel de membraan wanden, van de ketel, dit in verband met de corrosieve eigenschappen van de rookgassen en het mogelijk aanbakken van vliegashetdelen in dit temperatuurtraject.
Convectie	In het convectiedeel vindt een verdere koeling plaats tot circa 200 °C door middel van direct contact tussen rookgassen en het warmte overdragend oppervlak. Dit oppervlak is in het convectiedeel rechtstreeks in de rookgasstroom geplaatst in de vorm van pijpbundels.

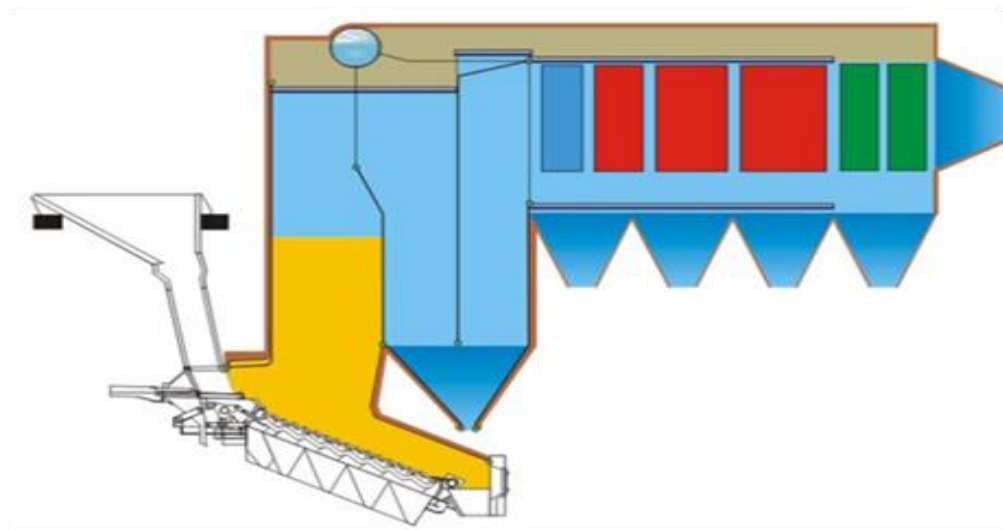
5.2 Het ontwerp van de ketel

Hoofdvormen	Bij het ontwerp van de ketel kunnen twee hoofdvormen worden onderscheiden, te weten: - ketels met verticale trekken, ofwel verticale ketels - ketels met een verticale trek in combinatie met horizontale trek(ken), ofwel horizontale ketels De verontreiniging van een ketel, die wordt veroorzaakt door het vliegashet in de rookgassen, speelt een belangrijke rol in het ontwerp van een ketel. Om deze verontreiniging te beperken is in de zeventiger jaren naast de reeds bestaande verticale ketel een tweede vorm ontstaan, de zogenaamde horizontale ketel. Bij ketels van dit type is het convectiegedeelte uitgevoerd als hangende pijpenbundels, die in horizontale richting door de rookgassen worden aangestroomd. Een dergelijke opbouw vertoont een relatief geringe neiging tot vervuilen en de ketelreiniging kan met mechanische klopinrichtingen worden uitgevoerd. Over de optimale bouwvorm zijn de meningen verdeeld. Volgens de ontwerpers van de horizontale ketel worden de standtijd en de beschikbaarheid van de installaties belangrijk verbeterd. Het vliegashet valt namelijk makkelijker van een verticale pijp, op horizontale pijpen is de kans groot dat een gedeelte van het vliegashet op de pijpen blijft liggen.
Trek	Een "trek" bij een ketel is een ander woord voor rookgaskanaal met bijbehorend verwarmd oppervlak. Op afbeelding 19 is een ketel met twee "trekken" te zien. Bij deze ketel zijn er dus twee verticale trekken aanwezig. Het eerste gedeelte A is het straling gedeelte en het tweede gedeelte, deel B, het convectiegedeelte.



Afbeelding 19. Ketel met twee verticale "trekken".

Op afbeelding 20 is schematisch een vier "treks" ketel weergegeven. Let hierbij op het gegeven dat er drie verticale trekken zijn, de eerste, tweede en derde trek, en één horizontale trek, ofwel de vierde trek. De verticale trekken zijn leeg, in de vierde trek zijn de warmtewisselaars gesitueerd.



Afbeelding 20. Vier treks ketel, de eerste drie trekken zijn verticale trekken, de vierde trek is een horizontale trek.

1. Vultrechter
2. Doseertafel
3. Verbrandingsruimte
4. Verbrandingsrooster
5. Stoomketel
6. Ontslakker
7. Rooster doorval regeling
8. Ketel as transporteur
9. Primaire luchttoevoer
10. Secundaire luchttoevoer

Waarom nu meerdere lege trekken?

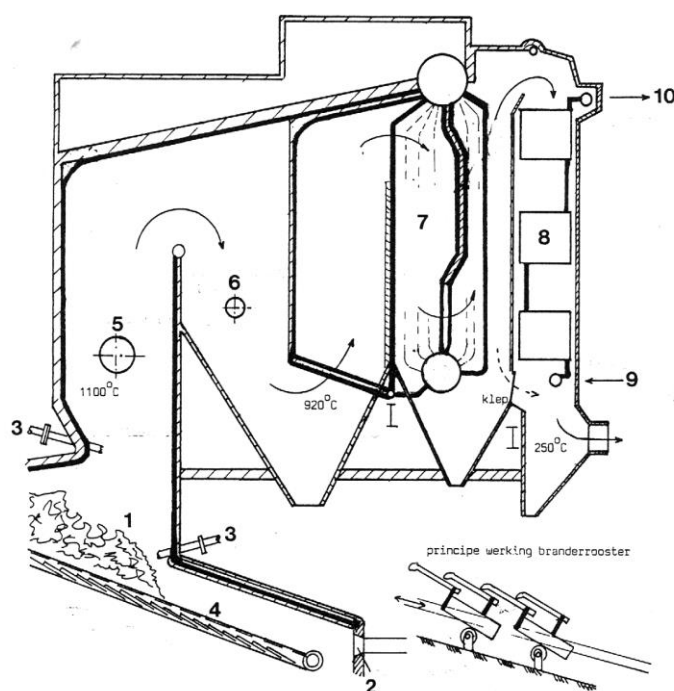
Door het opnemen van meerdere lege trekken voor het convectiegedeelte wordt een langere verblijftijd voor de rookgassen gerealiseerd waardoor de corrosie in het convectiedeel vermindert ten opzichte van de twee treks ketel. Als gevolg van de langere verblijftijd zullen de rookgassen beter uitbranden en zal de temperatuur bij intrede convectiegedeelte verder gedaald zijn dan bij een twee treks ketel. Denk hierbij aan de temperatuur van circa 620 °C. Dit wordt ook wel de vuurhaard temperatuur genoemd.

Vuurhaard temperatuur

De vuurhaard temperatuur.

Onder de vuurhaard temperatuur wordt de temperatuur verstaan van de rookgassen bij intrede convectiegedeelte.

Op afbeelding 21 is een schematische voorstelling van een zes treks ketel weergegeven. Ook hier is duidelijk te zien dat er drie lege trekken zijn, in de vierde en vijfde trek bevinden zich de verdamperpijpen en in de zesde trek de economizer.



Afbeelding 21. Een zes treks ketel.

- | | |
|----|-------------------------------------|
| 1 | Huisvuil |
| 2 | aansteekbrander |
| 3 | Luchttoevoer, primair en secundair |
| 4 | Verbrandingsrooster |
| 5 | Vermogensbrander |
| 6 | Ondersteuningsbrander |
| 7 | Verdamperpijpen |
| 8 | Economizer (voedingwatervoorwarmer) |
| 9 | Inlaat economizer |
| 10 | Uitlaat economizer. |

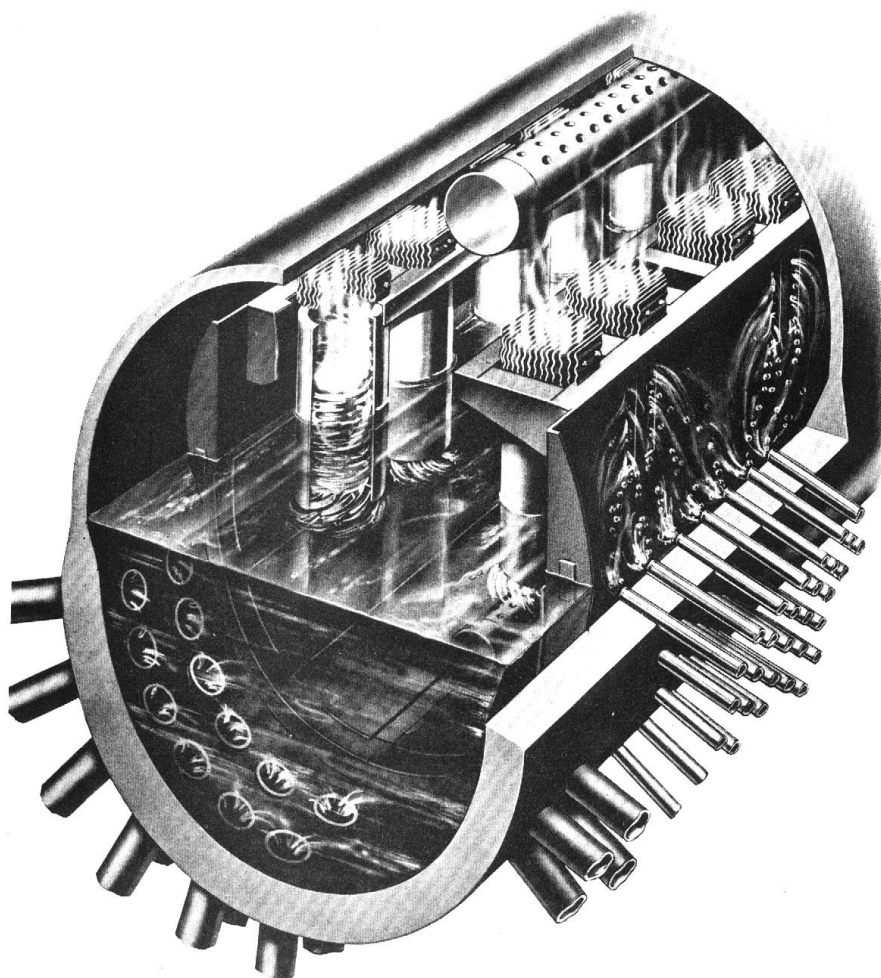
5.3 Het binnenwerk van de stoomdrum

Het is de bedoeling dat in de stoomdrum, ook wel water-stoom houder 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 zo droog mogelijk zijn, met andere woorden, deze mag geen water meer bevatten. Reden temeer om in de drum een voorziening te treffen waar afdoende scheiding van water en stoom plaatsvindt.

Trog

Het water stoom mengsel dat via de membraanwanden en verdamper bundels 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 water scheiding. Daarna is hetzij een binnenstoompijp of een stoomzeef gemonteerd, deze dienen als tweede stoom water scheiding. Op afbeelding 22 is een dergelijke uitvoering te zien van een stoomdrum met trog, cyclonen en binnenstoompijp.

Cyclonen

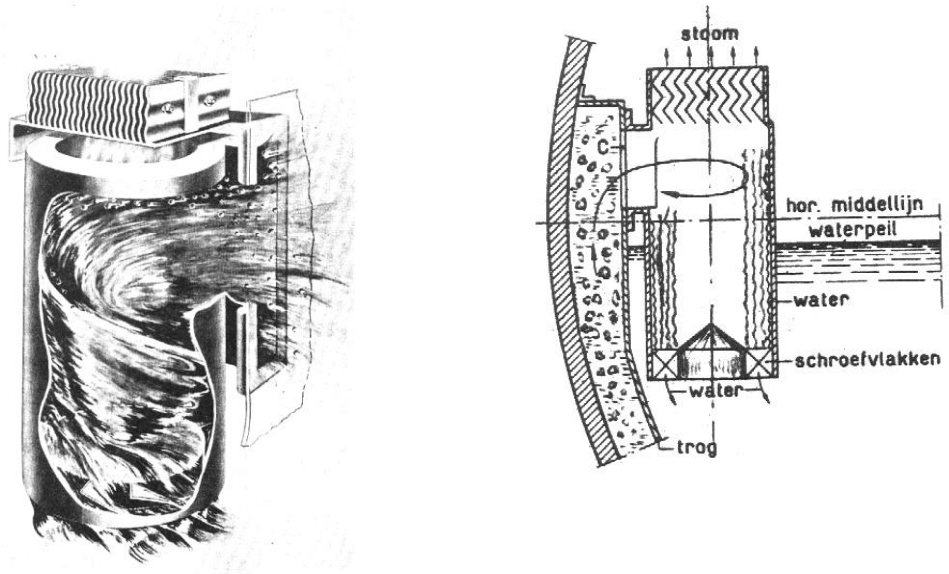


Afbeelding 22. Stoomhouder met trog, cyclonen en binnenstoompijp.

Chevrons

De dunne pijpen dienen voor de aanvoer van het water stoom mengsel, 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.

Op afbeelding 23 is apart een cycloon te zien, de gegolfde plaatjes boven op de cycloon zijn de chevrons.



Afbeelding 23. Een cycloon met opgebouwde chevrons.

6.0 Rookgaszijdige reiniging

Warmte overdracht

Ook bij een goede verbranding raken afhankelijk van het soort afval, de pijpenbundels meer of minder vervuild. Het vuil kan zich op de pijpen afzetten en belemmert niet alleen de goede warmteoverdracht maar er kunnen ook corrosieve bestanddelen aanwezig zijn die de pijpen kunnen aantasten. Het gaszijdig reinigen van de pijpenbundels is dan een noodzaak geworden.

Bij vuilverbrandingsinstallaties, voorzien van een straling- of convectiepijpenbundel, worden de volgende systemen toegepast:

- Roetblazen door middel van stoom of lucht reiniging.
- Reiniging door middel van een kogelregen.
- Reiniging door middel van een klop (of tril) installatie.
- Reiniging met behulp van explosieven.
- Infrasound reiniging

6.1 Roetblazen

Roetblazen van de pijpenbundels kan met stoom of lucht gebeuren. Stoom roetblazers worden gebruikt daar waar de ketelinstallatie voorzien is van een oververhitter. De stoomdruk ligt over het algemeen tussen de 10 en 40 bar.

Zowel bij de stoom- als de lucht roetblazers wordt roet geblazen in de stromingsrichting van de rookgassen.

Roetblazers worden verdeeld in:

- intrekbare roetblazers
- draaibare vast opgestelde roetblazers
- vast opgestelde roetblazers.

Temperatuurgebied

De keuze van één van deze drie soorten roetblazer is afhankelijk van het temperatuurgebied waarin ze zijn opgesteld. Op afbeelding 24 is een principe schema van een vast opgestelde en in één richting blazende roetblazer weergegeven, enkel de lans en de pijpen zijn te zien.

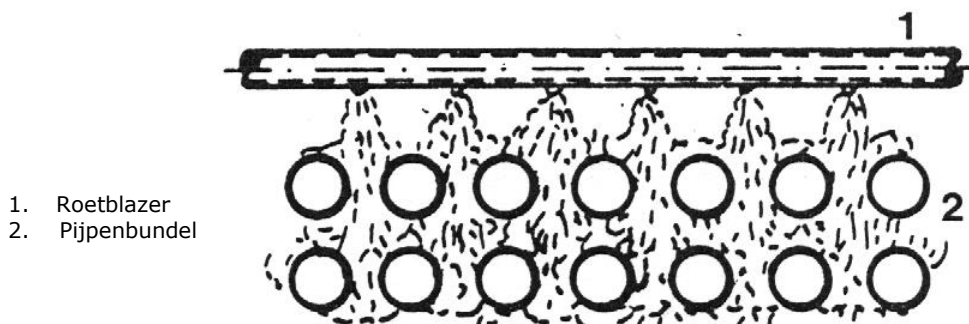
Lucht roetblazers worden toegepast daar waar de ketelinstallatie alleen verzadigde stoom of heetwater produceert.

Bij dit systeem is een aparte luchtcompressor nodig.

De werkdruk is ca. 7 bar, terwijl de lucht droog moet zijn.

Ontwaterd

Het voordeel ten opzichte van de stoom roetblazers is dat voor het gebruik de leidingen niet behoeven te worden ontwaterd. Het nadeel is de dure compressorinstallatie.



Afbeelding 24. Principe schema van een vast opgestelde roetblazer.

Dioxine

Ondanks het feit dat roetblazers een zeer goede reiniging tot gevolg hebben, worden ze steeds minder toegepast in afvalverbrandingsinstallaties, laboratorium onderzoek heeft namelijk aangetoond dat er tijdens het roetblazen ongeveer 30 maal zoveel dioxine vrijkomt als bij bijvoorbeeld een klopinstallatie.

6.2 Reiniging van de pijpenbundel door middel van een kogelregen

Dit systeem wordt toegepast daar waar de pijpen zonder ruimte naast elkaar zijn opgesteld en ook daar waar de rookgasstroming dwars ten opzichte van de pijpenbundels staat.

Stalen kogels

Over het algemeen hebben de stalen kogeltjes een onregelmatige afmeting van 3 tot 6 mm.

De stalen kogeltjes worden boven in de ketel over een strooibak verdeeld, waarna de kogeltjes door de zwaartekracht naar beneden vallen.

Onderin vindt afscheiding plaats tussen het vuil en de kogeltjes. De kogeltjes worden wederom door middel van lucht naar boven getransporteerd.

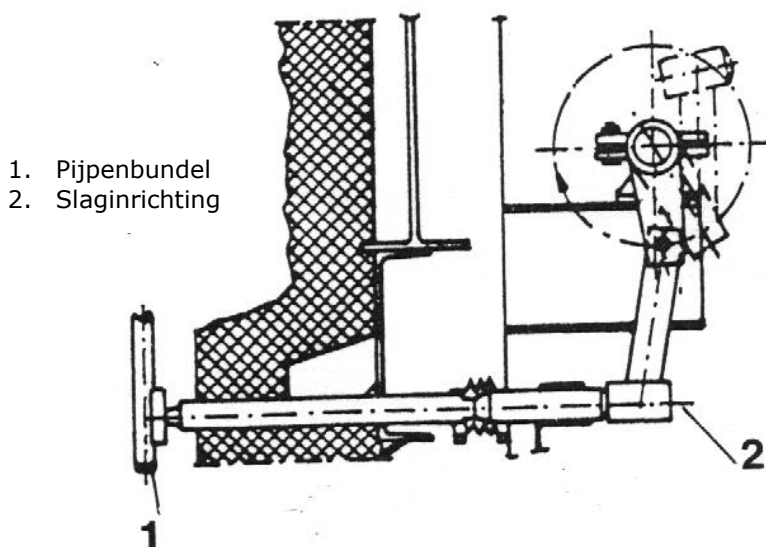
6.3 Reiniging door middel van een klopinstallatie

Bij dit systeem worden trillingen opgewekt waardoor het op de pijpen aanwezige vuil los zal raken en naar beneden valt.

Schudstelsysteem

Bij deze manier van reiniging moet onderscheid worden gemaakt tussen een schud- en klopsysteem.

Op afbeelding 25 is een klopinstallatie weergegeven.



Afbeelding 25. Een klopinstallatie.

6.4 Reiniging met behulp van explosieven

Vanuit de USA is deze "grove" techniek overgewaaid naar Nederland. Het explosief reinigen kan zowel on-line als of-line worden toegepast. Waarbij men bij of-line reinigen wel een zekere onderdruk moet kunnen realiseren in de installatie om stofoverlast te voorkomen. Bij nieuwe installaties is dit vaak niet mogelijk omdat er geen bypassbedrijf mogelijk is en men dan ook de rookgas reiniging installatie in bedrijf moet houden.

Vergunningen

Voor het explosief reinigen heeft men ook een aantal vergunningen nodig en zijn er specifieke regels aan gebonden met betrekking tot de veiligheid.

Het reinigen zelf gebeurt door zeer lokaal geringe hoeveelheden explosieven tot ontploffen te brengen. Deze worden met behulp van lange lansen in de ketel gebracht. Hierdoor wordt de lokale aangroei weggeblazen zo werkt men dan een hele sectie af. Afhankelijk van de ketelafmetingen neemt 1 sessie gemiddeld 5 uur in beslag. Gedurende deze reinigingssessie neemt men de belasting van de ketel terug en wordt de onderdruk in de installatie nog verder verlaagd om stofoverlast naar het ketelhuis te voorkomen. Het effect van het reinigen laat in eerste instantie hetzelfde beeld zien dan bij een normale reguliere wasbeurt.

Echter de vervuiling ontwikkelt zich veel sneller dan voorheen waardoor men al weer naar een aantal weken genoodzaakt is om weer te "ploffen".

Lekke pijpen

Ook bestaat er het vermoeden dat door het explosief reinigen een aantal lekke pijpen zijn ontstaan. Het is niet ondenkbaar dat bij reeds aangetaste pijpen het proces versneld wordt omdat er toch wel grote temperatuur veranderingen optreden.

6.5 Infrasonid reiniging

Trillingsfrequentie

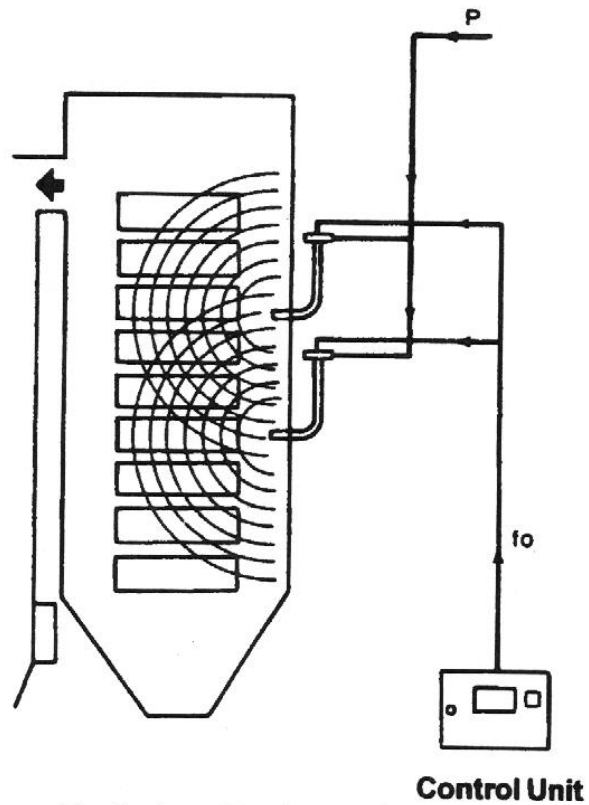
Infrasonid reiniging is ook een veelvuldig gebruikte techniek bij afvalverbranding installaties. De ervaringen van de diverse vuilverbranders zijn erg divers, oor zover bekend zijn er in Nederland enkele proeven uitgevoerd met een zogenaamde "Schallhorn" maar is men (nog) nergens, anno 2000, overgegaan tot een vaste opstelling. De techniek is vrij simpel en erg betrouwbaar, er wordt met behulp van normaal aanwezige werklucht van ongeveer 6 bar een trillingsfrequentie in de ketel gegenereerd welke de as van de pijpen los trilt. Er zijn in principe twee typen op de markt, één met een frequentie van 230 Hz en tegenwoordig gebruikt men steeds meer de uitvoering met een frequentie van ongeveer 17 Hz. Het voordeel van deze laatste uitvoering is dat deze frequentie nauwelijks hoorbaar is en dus ook geen problemen geeft met betrekking tot gehoor beschadiging. Men heeft in Duitsland proeven gedaan met infrasonid reinigen en dit vergeleken met een kogelregeninstallatie. Het veelvuldig gebruik van de kogelregen installatie resulteert in een zeer snelle degradatie van de aanwezige pijpen in de trek.

Voordelen

Er zijn echter wel twee grote voordelen ten opzichte van het roetblazen welke het toepassen van een infrasonid inrichting erg vereenvoudigen.

- Ten eerste wordt er in tegenstelling tot het roetblazen geen medium in de ketel geblazen die de pijpen eventueel kunnen beschadigen.
- Ten tweede is een infrasonid inrichting zonder veel constructieve aanpassingen eenvoudig in een bestaande installatie in te passen.

Op afbeelding 26 is een principe tekening weergegeven van een infrasond reiniging installatie.



Afbeelding 26. Installatie met infrasond reiniging.

7.0 Brandstof en verbranding

De brandstoffen welke worden gebruikt zijn te onderscheiden in vaste, vloeibare en gasvormige brandstoffen.

Als vaste brandstoffen worden veelal gebruikt: turf, steenkool, cokes, hout en in ons geval huishoudelijk afval.

Als vloeibare brandstof komt hoofdzakelijk minerale olie in aanmerking.

Als gasvormige brandstof wordt over het algemeen aardgas, biogas, cokes ovengas en raffinaderijgas gebruikt.

Koolstof, waterstof De belangrijkste warmteleverende bestanddelen van de brandstof zijn koolstof en waterstof.

7.1 Huishoudelijk afval

Bij vaste brandstoffen wordt veelal aan hout of steenkool gedacht. Tegenwoordig worden echter ook veel afvalstoffen verstoekt. Een van deze afvalstoffen is het huishoudelijk afval.

Het verstoken van huisvuil vereist een grotere vaardigheid dan het verstoken van een gasvormige of vloeibare brandstof. De kwaliteit van het te verbranden huisvuil is zeer verschillend. Men moet rekening houden met aanzienlijke variatie in vochtgehalte, asgehalte, stookwaarde, asverwekingspunt en dergelijke.

Het niet op de juiste wijze reageren op deze veranderingen betekent dat het verbrandingsproces slecht verloopt waardoor naast een verlaging van het thermisch rendement van de installatie ook de uitworp van milieu schadelijke componenten zal toenemen.

Wetten Wetten verplichten dat zo'n installatie voorzien moet zijn van een rookgasreinigingssysteem en een degelijke afvoer en opvang van het residu.

Huisvuil kan men enigszins vergelijken met steenkool. Het is echter zwavel- en chloorrijk en is als brandstof wat losser. Het heeft een lagere stookwaarde en bezit een hoog as- en watergehalte.

Chloor en zwavelhoudende stoffen komen veel voor in papier, kunststoffen, rubber, leer, textiel en keukenafval.

Smelttemperaturen Sommige stoffen in huisvuil hebben zulke lage smelttemperaturen dat ze kunnen aanbakken op de vuurhaardwanden. Speciale technieken voorkomen het aanbakken van slak op de vuurhaardwanden.

Hieronder volgen enkele stoffen met hun gemiddelde stookwaarde:

Materiaal	Stookwaarde in kJ/kg
Hoogwaardig steenkool	32.000
Hout (Luchtdroog)	15.700
Pakpapier	16.700
Groenten	4.200
Leer, rubber	19.000
PVC	18.800
Textiel	15.500
Glas, keramiek enz.	193
Tuinafval	4.000
Grof huishoudelijk afval	10.000

Huisvuil is een mengproduct van verschillende materialen en door een hoog as- en watergehalte is de gemiddelde stookwaarde van huisvuil ongeveer 8000 – 10.000 kJ/kg.

7.2 Verbranding van huishoudelijk afval

Verbranding is een chemisch proces waarin, bij een doorgaans verhoogde temperatuur, de brandbare stof reageert met zuurstof. Enige kenmerken van dit proces zijn:

- er komt energie vrij in de vorm van warmte
- de oorspronkelijke brandbare stof wordt vernietigd
- er ontstaan verschillende reactie producten.

Eigenschappen

Het verloop van het verbrandingsproces wordt sterk beïnvloed door de eigenschappen van het aangeboden afval. We noemen de belangrijkste.

- **De homogeniteit.**
De ongelijksoortigheid van het afval is in vergelijking met de traditioneel gebruikte brandstof het meest opvallende. Het afval kan plaatselijk een sterk variërende stofsamenstelling hebben. Ook de grootte van de afvaldelen en de verdeling van het afval is tijdens de verbranding wisselend. Als gevolg hiervan is het moeilijk een goede en een gelijkmatige verbranding te verkrijgen. Daarom moet er bijzondere aandacht worden geschonken aan het stoken hiervan.
- **Specifiek oppervlak en warmtegeleidingcoëfficiënt**
Het specifiek oppervlak en de warmtegeleidingcoëfficiënt van de brandstof beïnvloeden de snelheid van het verbrandingsproces.
- **De ontstekingstemperatuur**
De ontstekingstemperatuur wordt bepaald door de aanwezige vluchtige brandbare stoffen. De ontstekingstemperatuur van huisafval ligt boven de 400 °C.
Ter vergelijking met andere vaste brandstoffen: bij bruinkool ligt de ontstekingstemperatuur rond de 100 °C en bij cokes en antraciet boven de 400 °C. De hoge ontstekingstemperatuur is een voordeel voor het opslaan van het afval.

- **De verbrandingswarmte**
De verbrandingswarmte wordt bepaald door de volgende factoren: watergehalte, asgehalte en de hoeveelheid brandbare stoffen.
Voor huisvuil ligt dit over het algemeen tussen de 8000 – 10.000 kJ/kg, dat wil zeggen ruim een vierde deel van de verbrandingswarmte van een hoogwaardige steenkool (32.000 kJ/kg).
- **Smelttemperatuur van de as**
De lage smelttemperatuur van sommige bestanddelen uit de brandstoffen veroorzaken aanbakkingen op de vuurhaardwanden.
Dit verhoogt de reparatie- en onderhoudskosten van de verbrandingsruimte. Door toepassing van verbeterde constructie systemen is dit te voorkomen.

Bijkomende, maar zeker belangrijke, factoren die een goede en juiste verbranding mede bepalen zijn:

- vorm van de verbrandingsruimte (vuurhaard)
- temperatuur in de vuurhaard
- de menging van brandstof en lucht (primaire en secundaire lucht)
- de verblijftijd in de vuurhaard.

Deelprocessen

De verbranding van huisvuil (als vaste brandstof) verloopt via een aantal deelprocessen die gepaard gaan met gecompliceerde en gecombineerde warmte- en stofoverdracht mechanismen.

Bij de verbranding hiervan kunnen een viertal deelprocessen worden onderscheiden. Deze deelprocessen zijn:

- A. Het drogen van het huisvuil
- B. Het ontgassen ervan
- C. Het vergassen, d.w.z. de verbranding in de gasfase.
- D. Het uitbranden van het huisvuil

A. Drogen

Het in de stoffen aanwezige water verdampt.

De temperatuur ligt iets boven de 1000 °C. Dit wordt veroorzaakt door de straling vanaf de wanden en tevens door de convectie warmte van de onderwind uit het rooster. Bij een walsrooster moet de snelheid van de wals voldoende laag zijn. Bij een terugschuifrooster moet de verdeling van de lucht in de eerste zone voldoende zijn. De voor het drogen benodigde warmte hangt dus af van het watergehalte dat zich in het huisvuil bevindt.

Over het algemeen wordt op de eerste wals bij een walsrooster en de eerste zone bij een terugschuifrooster het afval gedroogd.

B. Ontgassen

In deze fase worden vluchtige componenten uitgedreven.

Afgezien van de reeds in het uitgangsmateriaal aanwezige vluchtige componenten, worden deze componenten bij verhoogde temperatuur gevormd.

Grote koolwaterstofmoleculen (hoog kookpunt) breken hierbij in kleinere brokstukken (laag kookpunt), die verdampen. Aldus ontstaat,

afhankelijk van de stof, een grote reeks organische verbindingen in de gasfase.

Het ontgassen vindt over het algemeen plaats op de tweede wals bij een walsrooster en de tweede zone bij een terugschuifrooster.

Het ontgassen van de brandstof vindt plaats bij doorgaans relatief lage temperatuur.

Men kan stellen dat bij zo'n 400 °C het ontgassingproces voor 75% is voltooid en bij ongeveer 700 °C is het ontgassingproces afgelopen.

Deze relatief lage temperaturen worden reeds aan het begin van een rooster bereikt. Er ontstaat dus aan het begin van het rooster een grotere luchtbehoefte dan aan het eind van het rooster

C. Verbranding in de gasfase

De bij de ontgassing uitgedreven vluchtige componenten verbranden boven de ontstekings temperatuur via een complexe reactie met zuurstof. Bij afvalverbranding wordt in het vergassingsgebied de vuurhaardtemperaturen tussen

850 - 1150 °C gehouden. De temperatuur van 850 °C is de minimale temperatuur die nodig is om de gasvormige producten zeker te doen verbranden. De temperatuur van 1150 °C mag zeker niet worden overschreden daar anders het smeltpunt van het as wordt bereikt. De fase voor het smelten is de meest belangrijke, daar de slak eerst week wordt (verwekingspunt), waardoor de werking van de installatie kan worden belemmerd. Wanneer een van de grenzen wordt onder- of overschreden, is enerzijds vervuiling van de keteldelen (te lage temperatuur) en anderzijds verslakking in de vuurhaard (te hoge temperatuur) te verwachten.

Het vergassingsproces speelt zich af op de derde en vierde wals bij een walsrooster en de derde en vierde zone bij een terugschuifrooster.

Zoals reeds vermeld kunnen bij de afvalstoffen met een relatief hoog watergehalte storingen in het verbrandingsproces ontstaan. Dit komt omdat de vlamtemperatuur te laag is en daardoor het eerste deelproces van het verbrandingsproces, namelijk het drogen, niet voldoende ver kan worden doorgevoerd. De vlamtemperatuur wordt, naast de verbrandingswarmte, de samenstelling van de afvalstoffen en de ingestelde luchtvermaat, mede bepaald door de constructie van de vuurhaard waarin de vlam zich bevindt. Het gehalte van vluchtige bestanddelen is bij huisvuil in het algemeen hoger dan bij steenkool waardoor verschuiving optreedt van de verbranding op het rooster naar verbranding in de uitbrandruimte boven het rooster.

D. Uitbranden

Dit vindt plaats op de vijfde en zesde wals bij een walsrooster en de vijfde zone bij een terugschuifrooster.

Er moet voor worden gezorgd dat huisvuil zodanig over het rooster wordt verdeeld en in een zodanige dikte dat op dit traject uitbranding plaatsvindt.

In het algemeen treedt bij huisvuil eerder slakvorming op (overschrijding asverwekingspunt) dan bij steenkool. Hierdoor kan, als men niet oppast, verstopping van het rooster optreden.

Tijdens verbranding van huisvuil verbranden niet alle stoffen even gemakkelijk.

Om enigszins redelijk te kunnen verbranden moet aan het volgende worden voldaan:

- watergehalte < 50%
- het gehalte aan brandbaar > 25%
- het asgehalte < 60%.

Watergehalte

Slakvorming

7.3 Refuse Derived Fuel (R.D.F.)

Het verbranden van afval is in vele gevallen kostbaar en levert vaak problemen op ten aanzien van het te verbranden materiaal. Deze nadelen kunnen soms worden ondervangen door er via mechanische bewerkingen een homogene brandstof van te maken, die beter te bewaren en te verkopen is. Er komt nog bij dat het onbewerkte afval vaak een lage stookwaarde heeft, die wordt veroorzaakt door een hoog as- en vochtgehalte.

De laatste jaren echter komt in Europa de productie van R.D.F. meer in de belangstelling. In Duitsland wordt de benaming **BRAM** (Brennstoff aus MÜLL) gebruikt, terwijl de Engelsen over **W.D.F.** (Waste Derived Fuel) spreken.

In Nederland is de Amerikaanse benaming **R.D.F.** (Refuse Derived Fuel) van toepassing.

R.D.F. kan worden geproduceerd uit gemengde afvalfen zoals huishoudelijk- en bedrijfsafval. Over het algemeen wordt dit uit huishoudelijk afval gemaakt. Het begrip R.D.F. heeft een zeer ruime betekenis. Het verbeteren van de brandstofeigenschappen kan bij huishoudelijk afval variëren van ontijzeren en afzeven tot en met een gecompliceerd proces, bestaande uit meerdere maal-, zeef-, zift- en ontijzerstappen, eventueel gevolgd door drogen en samenpersen van de brandstoffractie. Een gevolg hiervan is dat R.D.F. in vele vormen en samenstellingen kan voorkomen.

Vorm van R.D.F.

Fluff

R.D.F. kan voorkomen in de vorm van **fluff** (los materiaal) en is duidelijk te herkennen aan de vellen plasticfolie en papier, die volumetrisch gezien het belangrijkste deel van de fractie uitmaakt. Deze fluff-R.D.F. is beperkt houdbaar en heeft een indringende geur. De samenstelling hiervan is heterogeen en is slechts met speciale technieken te doseren en te voeden. Het stortgewicht varieert, afhankelijk van de laagdikte, tussen de 125 - 250 kg/m³.

R.D.F. kan ook in de vorm van ongedroogde pellets voorkomen. R.D.F. pellets zijn samengeperste cilindrische stukken met een grijs/bruinachtige kleur. De gebruikelijke diameter van de pellets is 8-16 mm, terwijl de lengte ca 30 mm bedraagt. De houdbaarheid van de pellets is sterk afhankelijk van de luchtvochtigheid tijdens het opslaan. Onder normale omstandigheden kan dit ruim een jaar zijn. De R.D.F. pellets zijn eenvoudig te transporteren en op te slaan. Het toevoeren naar de verbrandingsruimte is mogelijk door middel van eenvoudige hulpmiddelen. Het stortgewicht van pellets varieert tussen de 500 - 600 kg/m³.

Samenstelling van R.D.F.

Uit huishoudelijk afval wordt globaal na diverse mechanische bewerkingen, ca.30 tot 50% als R.D.F. afgescheiden. De gemiddelde samenstelling van de R.D.F. is:

- papier
- karton
- plasticfolie
- hard plastic
- diversen.

De chemische samenstelling van de R.D.F. is bepalend voor zowel de verbrandingseigenschappen als de milieuhygiënische eigenschappen.

Stookwaarde

Voor het bepalen van de stookwaarde bevat R.D.F. als brandstof gemiddeld de volgende componenten:

Gemiddelde samenstelling R.D.F.	
Koolstof	47 %
Waterstof	6,8 %
Stikstof	0,6 %
Zuurstof	32,2 %
Zwavel	0,2 %

De stookwaarde van R.D.F. kan variëren tussen de 19 en 21 MJ/kg. De stookwaarde daalt bij toenemend as- en vochtgehalte. Het gemiddelde vocht en asgehalte bedraagt respectievelijk 3,8% en 12,8%.

Uit ervaringen in de praktijk blijkt dat R.D.F. maximaal 35% vocht en 20% as op droge stofbasis kan bezitten.

Corrosie

Voor het bij de verbranding optredende corrosieprobleem is de aanwezigheid van de stoffen chloor, fluor en zwavel van belang.

7.4 Aanstek / opstookbrander

De voornaamste taak van een aansteekbrander of ook wel ondersteunbrander genoemd, bij een vuilverbrandingsoven is, om tijdens de opstartfase de verbrandingsruimte zodanig te verwarmen waardoor het als eerst gekozen licht brandbaar afval tot verbranding komt. Een andere functie van de aansteekbrander is die van bijstoken.

7.5 Luchttoevoer

Onderwind

Voor het verbranden van brandstof is zuurstof nodig. Deze is in de lucht voor ca. 21% aanwezig en deze lucht moet op de een of andere manier aan de installatie worden toegevoerd. Bij een vuilverbrandingsoven gebeurt dit via de onderwind ventilator.

In onderstaande tabel wordt de theoretisch benodigde lucht in m³ per kg brandstof aangegeven. Voor aardgas is dit per m³ gas.

Stookolie	10,79	m ³	lucht per kg brandstof
Gronings aardgas	8,5	m ³	lucht per m ³ gas
Huisvuil	2,9	m ³	lucht per kg huisvuil

Men ziet hieruit dat voor de verbranding van huisvuil ca 3 maal minder lucht nodig is dan voor het verstoken van olie.

Luchtovermaat

Om in de praktijk verzekerd te zijn van een volledige verbranding zal altijd meer lucht moeten worden toegevoerd dan theoretisch voor de verbranding nodig is. De extra toegevoerde lucht wordt luchtovermaat genoemd en dit wordt uitgedrukt in procenten.

Stellen we de theoretische benodigde luchthoeveelheid op 100% dan bedraagt bij een luchtovermaat van b.v. 40%, de werkelijk toegevoerde hoeveelheid lucht 140%.

Luchtfactor

De verhouding tussen de werkelijke en de theoretische hoeveelheid lucht noemen we, de **luchtfactor λ** .

Bij een luchtovermaat van 40% bedraagt de luchtfactor:

$$\lambda = \frac{100 + 40}{100} = 1,4$$

8.0 Bescherming oven

Oververhitting Zoals bekend, worden de verdamperpijpen om de oven heen beschermd door middel van vuurvast materiaal om corrosie en oververhitting van de wanden tegen te gaan. Men heeft veel geëxperimenteerd met vuurvaste materialen om te ontdekken welke nu de meest goede bescherming opleverden. Alvorens een vergelijking van de verschillende materialen te geven, allereerst een vergelijking van de vuurhaard van bijvoorbeeld een olie gestookte ketel en die van een afvalketel.

Olie gestookt:	Afval stoken
Samenstelling brandstof constant	Samenstelling afval wisselend
Samenstelling rookgas constant	Samenstelling rookgas wisselend
Vuurhaardtemperatuur constant	Vuurhaardtemperatuur variabel
Slakafzetting is nagenoeg bekend	Slakafzetting afhankelijk van afvalsa-menstelling
Geen kans op mechanische beschadiging ten gevolge van brandstof	Kans op mechanische beschadiging door harde stukken afval

In de praktijk blijkt dat het vuurvaste materiaal bij afvalketels meer onderhevig is aan invloeden van buitenaf, in dit geval de brandstof, dan bij oliegestookte ketels. Reden te meer om te zeggen dat dit materiaal aan hoge eisen moet voldoen.

Eisen

Eisen waaraan vuurvast materiaal moet voldoen:

- Hoge temperatuur bestendig;
- Bestand tegen temperatuurschommelingen;
- Zuurbestendig;
- Ongevoelig voor zuurstofaantasting.

Nu zult u waarschijnlijk denken, dat valt wel mee, want de stand der techniek is zodanig dat dit wel op te lossen is, met andere woorden aan de gestelde eisen kan gemakkelijk voldaan worden. Niets is echter minder waar.

Het blijkt namelijk dat de halogeen waterstofzuren zeer goed in staat zijn in het vuurvaste materiaal te dringen, waardoor in feite nieuwe verbindingen gevormd worden, welke een andere uitzettingscoëfficiënt hebben dan het materiaal zelf. Gevolg hiervan is scheurvorming en afbrokkelen van de laag, waardoor de pijpen na verloop van tijd niet meer beschermd zullen zijn met alle nare gevolgen van dien.

Vuurvast

Vuurvaste steen bestaat voornamelijk uit aluminiumoxide (Al_2O_3) en siliciumoxide (SiO_2). Deze materialen zijn zeer vuurvast. Aangezien Al_2O_3 vuurvaster is dan SiO_2 zou het een logisch gevolg zijn om dit gehalte te verhogen, bezwaar hiervan is echter dat de gevoeligheid van het materiaal door inwerking van andere stoffen groter wordt.

Slakaangroei

Ook moet het materiaal een zekere treksterkte hebben, denk hierbij aan slakaangroei, welke aan de bemetseling 'trekt'.

Een ander toegepast materiaal is silicium carbide (SiC), dit materiaal is zeer vuurvast en heeft een goede warmtegeleiding, waardoor de slak snel afkoelt en afbrokkelt. Het nadeel van SiC is echter dat het gevoelig is voor zuurstof inwerking, waardoor de laag als het ware groeit af kan breken en scheuren.

Plastisch

De stenen zijn grijskleurig en worden steeds meer toegepast ondanks het genoemde nadeel.
Ook wordt gebruik gemaakt van plastisch materiaal, zoals chroomerts, dit kan tussen de pijpen gestopt worden en kenmerkt zich door de hoge vuurvastheid en goede corrosievastheid.
Een nieuwere soort is het zogenaamde zirkonium aluminium silicaat, wat bovendien een hoge bestendigheid heeft tegen inwerking van de halogeen waterstofzuren.

8.1 De toepassing van siliciumcarbide als vuurvast materiaal

Synthetisch

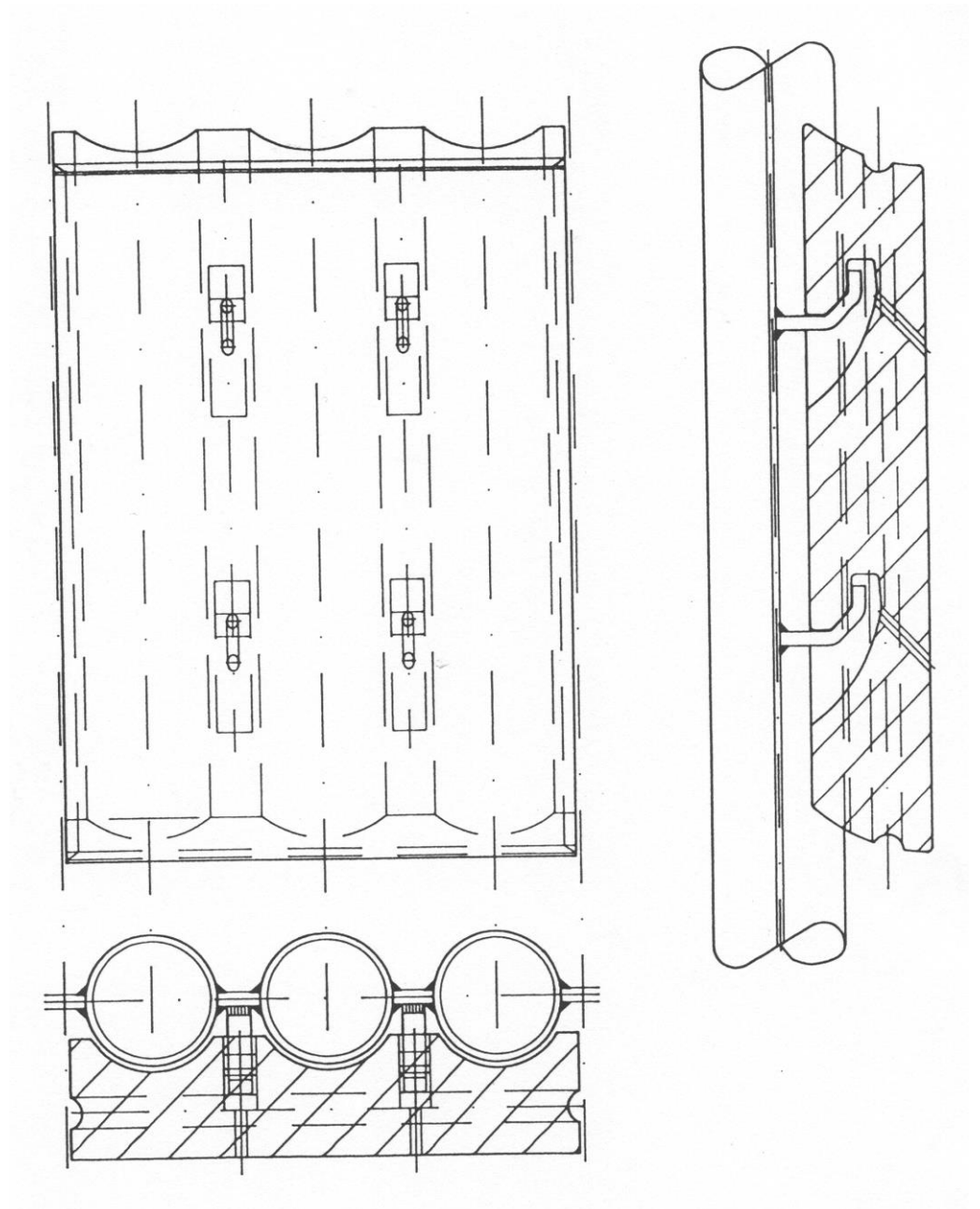
Silicium carbide (SiC) behoort tot de "niet-oxidische" vuurvaste materialen en heeft daarom eigenschappen die belangrijk afwijken van de gebruikelijke uit oxides opgebouwde vuurvaste materialen. Het is een synthetisch product dat bij een zeer hoge temperatuur (circa 2300 °C) geproduceerd wordt.

Enkele belangrijke eigenschappen van siliciumcarbide zijn:

- Een zeer goede bestendigheid tegen chemicaliën.
- Een hoge warmtegeleidingcoëfficiënt.
Als gevolg hiervan is de warmteoverdracht via een bekleding van siliciumcarbide groot.
- Een hoge slijtvastheid.
(Hardheid: 9,5 mohs; Ter vergelijking met diamant: 10 mohs).
- Bestand tegen temperatuurschommelingen.
De hoge warmtegeleidingcoëfficiënt en de geringe uitzetting dragen hiertoe in belangrijke mate bij. Geringe aanhechting van oxiden, met andere woorden vlieggas uit rookgassystemen laat zich met geringe kracht (hun eigen gewicht) gemakkelijk verwijderen.

Geleiding

In vuilverbrandingsinstallaties wordt siliciumcarbide gewaardeerd vanwege de hoge warmtegeleiding en de geringe aanhechting van vlieggas.
Een voorbeeld van een vuurvaste steen met bijbehorende bevestiging is te zien op afbeelding 27.



Afbeelding 27. Een willekeurige soort steen met bijbehorende bevestiging.

8.2 Stenen

Oxidatie

De belangrijkste slijtageoorzaak is de oxidatie door waterdamp bij hoge temperaturen. Ten gevolge van deze oxidatie wordt siliciumcarbide omgezet in siliciumoxide dat een beduidend groter volume inneemt.

Om die reden zijn voor dit soort toepassingen bindingen ontwikkeld die tot hoge temperaturen het siliciumcarbide beschermen tegen oxidatie door waterdamp.

Glasgebonden:

- De binding bestaat uit een vuurvast glas dat de siliciumcarbidekorrels tegen waterdamp beschermt. Deze kwaliteiten zijn bestand tegen oppervlaktetemperaturen tot 950 °C bij hoge relatieve vochtigheid.

Nitridegebonden:

- Het bindmiddel bestaat uit siliciumnitride dat tijdens het bakproces gevormd wordt uit stikstof en siliciummetaal. Deze kwaliteit is bestand tegen een oppervlaktetemperatuur van 1050 °C bij hoge relatieve vochtigheid.

Beide bindingtypes laten toe dat het eindproduct tot 90% SiC kan bevatten, waardoor een warmtegeleidingcoëfficiënt van 15 W/mK wordt bereikt.

Keramisch

Daarnaast bestaan SiC-stenen met een keramische binding waarbij, indien een gehalte van 70% SiC wordt toegepast, een vergelijkbare oxidatiebestendigheid wordt bereikt als bij de nitridegebonden SiC. De warmtegeleidingcoëfficiënt is in dit geval circa 8 W/mK.

De hoge warmtegeleiding van de bovengenoemde soorten heeft een positief effect op de slijtage indien de wand met water, of via geforceerde luchtkoeling wordt gekoeld. Immers de oppervlaktetemperatuur kan dan beduidend lager zijn dan de rookgastemperatuur in de oven.

8.3 Pijpstiftmassa

Ketels worden ook vaak met zogenaamde pijpstiftmassa's bestreken. De verankering vindt dan via de opgelaste metalen pijpstiften plaats.

Deze materialen bestaan eveneens voor een belangrijk deel uit SiC. Gehaltes van 30, 50, 70 en 90% zijn gangbaar.

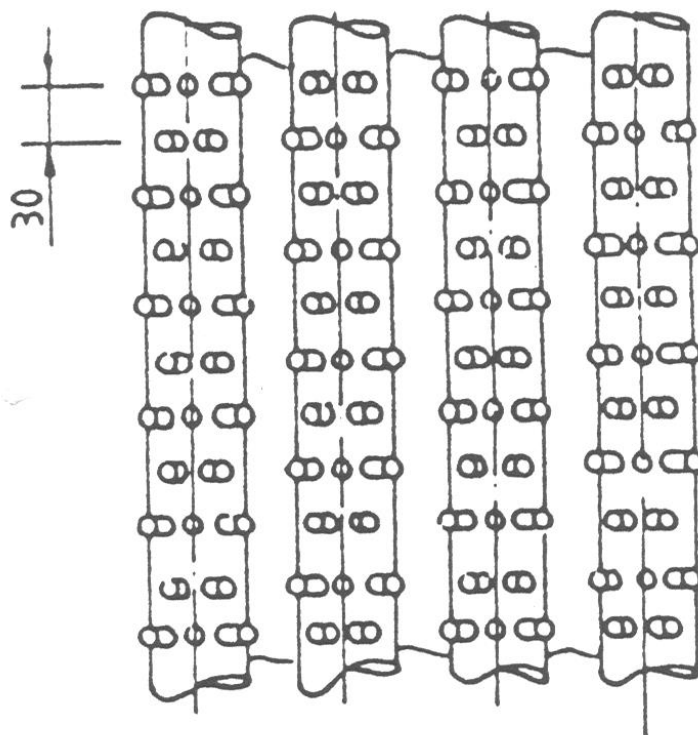
De massa's met 30% SiC worden echter nauwelijks toegepast omdat de voordelen ten opzichte van oxidisch vuurvast materiaal zeer gering zijn.

De variant met 90% SiC laat zich moeilijk verwerken en brengt verder een risico van vroegtijdige oxidatie met zich mee. De meest aantrekkelijke variant is daarom de massa met circa 70% SiC, omdat het risico van oxidatie gering is en een vrij hoge warmtegeleiding gehandhaafd wordt.

Chemisch

Deze materialen hebben een chemische binding die onder invloed van een harder uitharden en in een later stadium onder invloed van de temperatuur hun uiteindelijke sterkte bereiken.

Een voorbeeld van een ketel bestifting is weergegeven op afbeelding 28.



Afbeelding 28. Bestifting op een membraanwand.

8.4 Vergelijking tussen SiC massa en SiC stenen

Silicium Carbide (SiC) materiaal wordt op ketelpijpen gemonteerd om de pijpen te beschermen tegen erosie en corrosie van vliegashoudende stoffen. Het SiC-materiaal heeft een goede warmte geleidbaarheid waardoor de warmte afgifte van de vuurhaard op de ketelpijpen optimaal is. Tevens is het materiaal slakbestendig en belemmert het de slakaangroei.

Onderstaand de voor- en nadelen van het SiC materiaal in de uitvoering smeermassa en vormtegels.

SiC-Massa

Het materiaal wordt tot ca. 25-30 mm op de pijpen gemonteerd en wordt door middel van ketelstiften aan de pijpen verankerd ca. 850 - 1350 stuks/m².

Om de stiften te beschermen tegen oxidatie kunnen de stiften worden voorzien van SiC-hoedjes ca. 500 stuks/m².

Voordeel:

- Onafhankelijk van maatvoering, flexibele montage.

Nadelen:

- Reparatie gevoelig.
- Lassen van stiften op drukdelen.
- Lange reparatietijd:
 - wegstralen van materiaal tussen de stiften.
 - nieuwe stiften (holkop) op de bestaande stiften monteren.
- Kostbaar bij nieuwbouw materiaal en montage.
- Zeer kostbaar in onderhoud door
 - arbeidsintensief. Slopen, stralen, monteren.
 - minder rendement van de installatie door een langere reparatietijd van de bemetseling.

8.5 SiC vormtegels

De vormtegels worden op de steekmaat van de pijpen gefabriceerd. De tegels worden gebrand tot ca. 1200 °C. De tegels worden door middel van haak- of schroefverbinding aan de pijpenwand bevestigd. De tegels moeten ruimschoots met SiC-specie worden voorzien waarna deze kunnen worden gemonteerd. Om de tegels zonder luchtinsluiting te monteren moeten deze met vibratieplaten of door middel van terugslaghamers worden gemonteerd. Een voorbeeld hiervan is weergegeven op afbeelding 27.

Voordelen:

- Eenvoudige montage van verankering slechts 30 stuks/m²
- Eenvoudige bevestiging van de tegels.
- Snelle montage.
- Door een nitride binding van de SiC toe te passen is een nog betere slakafstoting mogelijk.
- Eenvoudige vervanging van platen en verankering.
- Prijsgunstig bij nieuwbouw en reparatie.
- Betere kwaliteit door fabrieksmatige productie.
- Korte reparatietijd, waardoor hogere beschikbaarheid van de installatie.
- Minder slijtage, waardoor minder onderhoud.
- Er hoeft niet op drukdelen te worden gelast.

Nadelen:

- Voorraad aanleggen om klein onderhoud uit te voeren.
- Maatgebonden door de pijpdiameter en steekmaat.
- Montage moet door speciaal opgeleide vakmensen worden uitgevoerd.
- Speciaal montage gereedschap is noodzakelijk.

8.6 Maatregelen om slakaangroei te beperken

Vroeger werden vuilverbrandingsovens gebouwd met een gemetselde verbrandingszone / oven en daarboven de ketelinstallatie. Door de lage calorische waarde van het vuil werd de straling van de bemetseling gebruikt voor de verbranding.

Calorische waarde

Met de toename van de calorische waarde van het afval zijn de verbrandingstemperaturen toegenomen.

De temperatuurbelasting van de bemetseling is steeds groter geworden, dit heeft in het verleden bij bestaande ketels tot grote schade geleid.

Aangezien in aanwezige installaties de sterkte van de bemetseling niet kan worden veranderd, bestaat de mogelijkheid om de kwaliteit van de bemetseling te veranderen of andere bemetselingstechnieken te gebruiken.

Door de hoge warmteontwikkeling tijdens het verbrandingsproces zetten vliegaskdelen zich aan de bemetseling vast. Daaropvolgend smelten deze vliegaskdelen en veroorzaken aanzienlijke aangroei.

Luchtgekoeld

Om grotere slakaangroei tegen te gaan bestaat de mogelijkheid met luchtgekoelde nitridegebonden SiC systemen dit probleem op te lossen. SiC materialen zijn Oxidatiegevoelig. Oxidatie ontstaat door waterdamp, samen met temperaturen of bij temperaturen boven 1150°C van nitridegebonden SiC-kwaliteiten.

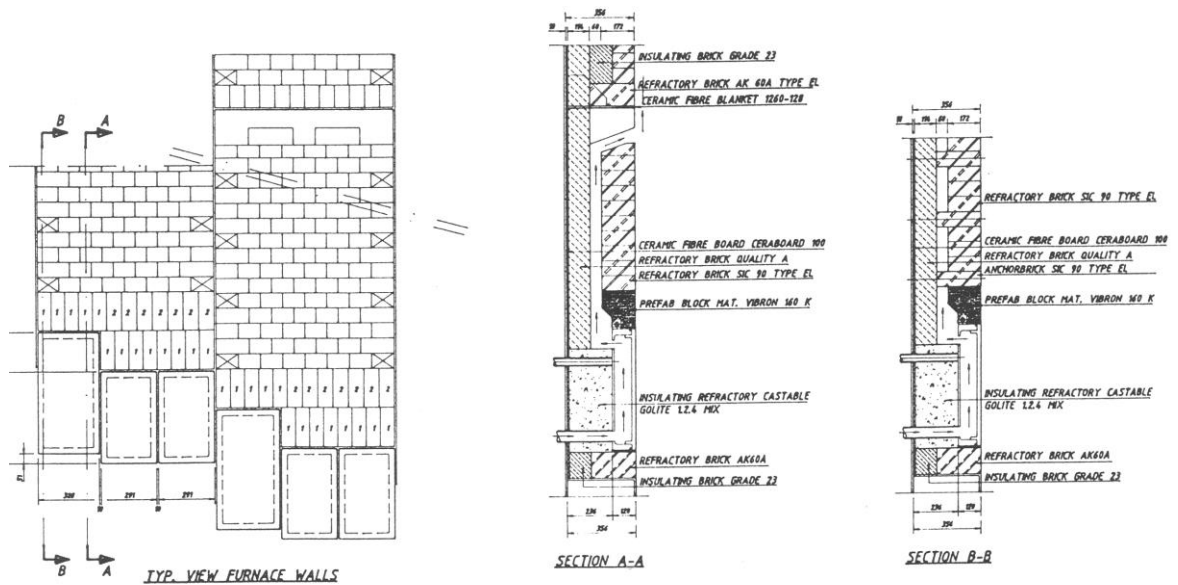
Om de oxidatie tegen te gaan, moeten de oppervlakte-temperaturen van SiC-stenen snel worden afgevoerd.

Om dit mogelijk te maken, wordt met lucht de warmte uit de steen gezogen en afgevoerd. Deze lucht kan in de oven worden geleid als verbrandingslucht.

SiC heeft een groot warmtegeleidingsvermogen, dit heeft tot gevolg dat de warmte snel door de steen wordt geleid en door de lucht wordt opgenomen.

Dit systeem behoeft alleen te worden toegepast in gebieden waar men slakaangroei verwacht. In andere gebieden zijn stenen met 60% Al_2O_3 toereikend.

Een voorbeeld van een dergelijke luchtgekoelde steen (wand) is te zien op afbeelding 29.



Afbeelding 29. Luchtgekoelde steen, wand, om slak aangroei te beperken.

8.7 Opstoken en drogen van vuurvaste steen

Rendement	In moderne afval verbranding installaties is de bemetseling minder in oppervlakte en dunner in uitvoering geworden doordat de ketelpijpen onder andere als membraanwanden tot dicht op het rooster zijn doorgetrokken. Hierdoor wordt het rendement van de warmtecapaciteit van de verbrandingsinstallatie optimaal benut
	De bemetseling van de ketelwanden wordt bepaald door de volgende uitgangsgegevens: - Optimale warmteoverdracht door de bemetseling aan de ketelpijpen. - Slak mag niet aanbakken aan de steen. - Bescherming van de pijpen tegen erosie en corrosie. - Het vasthouden van de rookgastemperatuur boven 850 °C gedurende twee seconden. Dit is overigens wettelijk voorgeschreven. - Temperaturen tot 1200 °C kunnen weerstaan - Snel kunnen worden op- en afgestookt. 50 - 100 °C /uur. Aan de hand van deze uitgangspunten wordt de soort, kwaliteit, dikte en samenstelling van de bemetseling bepaald.
Corrosie	Zoals reeds bekend heeft de bemetseling van de membraanwand het doel corrosie en erosie van deze wand te voorkomen. Deze bemetseling bestaat voor een deel uit SiC-materiaal uitgevoerd in voorgevormde platen, stenen, en plastische massa of beton op basis van Aluminiumoxide (Al_2O_3). De bemetseling van de gehele verbrandingsinstallatie dient door de verschillende opbouw en thermische belasting met de nodige voorzichtigheid te worden behandeld.
Uitdrogen	Uitdrogen van de bemetseling is in de meeste gevallen bij nieuwbouw geen probleem, daar in een vroeg stadium meestal bekend is dat dit dient te gebeuren overeenkomstig de door de materiaalleverancier te verstrekken uitdroog en opstookkromme. De problemen komen pas na reparaties aan bemetselingen, door een gebrek aan tijd, of de mogelijkheid het uitdrogen volgens de richtlijn uit te voeren.

8.8 Vocht en de bemetseling

Tijdens de montage van bemetseling komt vocht in de bemetseling door het gebruik van water voor het aanmaken van mortel, plastische massa en beton. Ook kan materiaal nat worden door regenwater. De bemetseling kan ook, wanneer deze gereed is of na in gebruik te zijn geweest, worden bevochtigd bij het reinigen van de wanden met water of door lekkage van de ketelpijpen.

SiC-materiaal, zowel voorgevormde als ongevormde producten, zijn niet geschikt om verzadigd te worden door water. Het water lost zouten en andere schadelijke en corrosieve stoffen op die zich in een dunne laag op de bemetseling hebben afgezet. Water transporteert deze stoffen door de poriën richting membraanwand. Tijdens stilstand en opstoken van de installatie kan er ook corrosie ontstaan aan de membraanwand die zich achter de bemetseling bevindt. Verder tast het water dat zich in het SiC-materiaal bevindt tijdens verhitting de SiC-korrel aan die vervolgens begint te oxideren. Oxidatie van SiC-korrels gaat gepaard met uitzetting van het materiaal. Dit houdt in dat het SiC-materiaal in alle richtingen groter wordt, en uiteindelijk het materiaal zich zelf kapot drukt of trekt.

Verankering

Bij een constante aanvoer van water of stoom gaat het SiC-materiaal zeer snel groeien wat zichtbaar wordt door vervorming van de steen of wand.

Omdat de bemetseling door speciale stalen verankeringsystemen aan de membraanwand wordt vastgehouden is het noodzakelijk te vermijden dat in water opgeloste zouten en andere schadelijke stoffen tot aan de stalen verankering kunnen komen. Tijdens dauwpunt onderscheiding kan dit leiden tot corrosie aan het verankeringsysteem. Indien door omstandigheden de bemetseling nat wordt dient deze zo snel mogelijk te worden gedroogd.

Bij het drogen, ook wel uitdrogen genoemd, van de bemetseling door middel van branders of andere warmtebronnen waarbij de warmtestroom van de vuurzijde naar de achterzijde van de bemetseling loopt wordt een deel van het water richting ketelwand gedreven wat kan leiden tot extra schade aan de verankering. Ook kan een snelle verwarming op deze manier leiden tot stoomexplosie in of achter de bemetseling.

Verwarmen

De veiligste manier is door de ketel met water of stoom te verwarmen tot 100 -160 °C, waarbij de warmtestroom van de achterzijde naar de vuurzijde van de bemetseling loopt, en dit te handhaven volgens het schema in tabel 1.

Uitdroogtijden van nat geworden bemetseling	
SiC stenen, SiC massa en SiC beton	
Water / stoom temperatuur in °C	Uitdroogtijd per 10 mm bemetseling dikte in uren
100	5
120	4,5
140	4
160	3
Vibron en Spuitsbeton vanaf 50 % Al₂O₃	
Water / stoom temperatuur in °C	Uitdroogtijd per 10 mm bemetseling dikte in uren
100	8
120	7
140	6
160	4

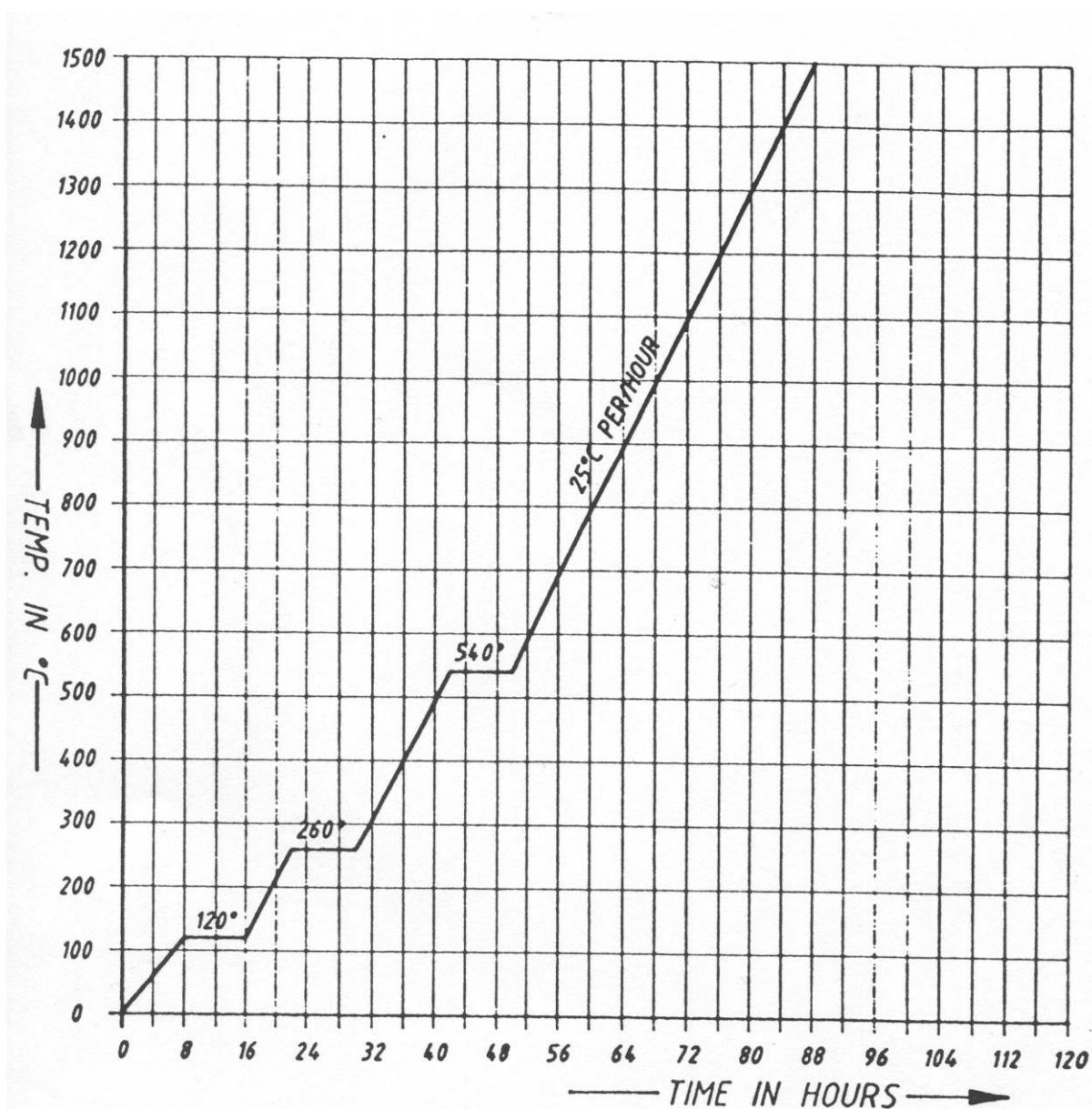
Tabel 1. Droogtijden voor nat geworden vuurvaste steen. Bron Gouda Vuurvast.

Corrosie

Indien de bemetseling nat is geweest kan corrosie nooit worden voorkomen. Wel verloopt het schade beeld bij uitdrogen met de ketel trager omdat een groot deel van de agressieve elementen als oplossing in het water richting vuurhaardzijde verdwijnt.

Op de volgende pagina is een opstookdiagram weergegeven voor een willekeurige ketel.

Op afbeelding 30 is een diagram weergegeven die de opstooktijd weergeeft voor een willekeurige oven waaraan reparaties verricht zijn.



Afbeelding 30. Opstookdiagram voor een oven waaraan reparaties verricht zijn
Bron Gouda Vuurvast.

8.9 Isolatiematerialen voor buiten de ketel

Isolatiematerialen die buiten de ketel of de oven worden toegepast onderscheidt men in:

- isolatiematerialen vervaardigd uit stoffen van plantaardige oorsprong
- isolatiematerialen vervaardigd uit stoffen van minerale oorsprong
- isolatiematerialen vervaardigd uit kunststoffen.

Een bekend isolatiemateriaal van plantaardige oorsprong is kurk. Dit heeft een lage werktemperatuur en blijft daarom in dit verband buiten beschouwing.

Mineraal

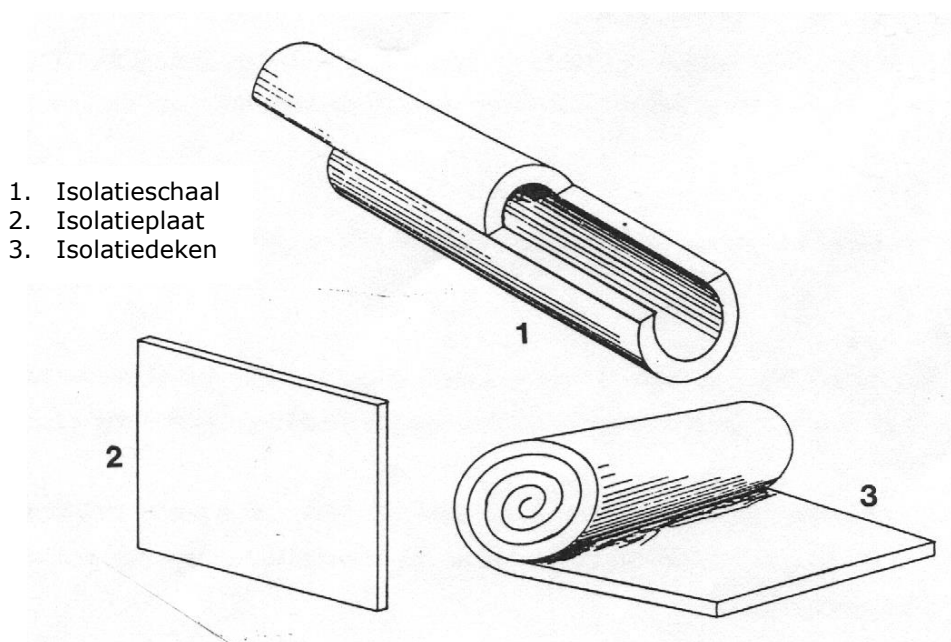
Enige isolatiestoffen van minerale oorsprong zijn: asbest, vermiculiet, kiezelgoer, calciumsilicaat en de minerale wolsoorten waaronder steenwol, slakkenwol en glaswol.

De minerale wolsoorten hebben een vrij hoge gebruikstemperatuur en worden daarom in de isolatietechniek veel toegepast.

Kunststoffen

De isolatiematerialen vervaardigd uit kunststoffen hebben een geringe temperatuur en chemische bestendigheid en worden daarom hier niet verder behandeld.

Naast los vulmateriaal zoals korrels en dergelijke komen isolatiematerialen voor in dekens of matten, platen en schalen, op afbeelding 31 zijn deze afgebeeld.



Afbeelding 31. Diverse isolatiematerialen.

Met uitzondering van dekens of matten, wordt in deze eindproducten een kunsthars toegepast als bindmiddel. De bovenste werkbare grens van de minerale wol wordt bepaald door het gebruikte bindmiddel. De minerale wolvezels zelf hebben een aanzienlijk hogere temperatuurgrens.

Chemische reactie	Bij de keuze van het isolatiemateriaal is het noodzakelijk na te gaan in hoeverre er een chemische reactie kan plaatsvinden tussen het isolatiemateriaal en het te isoleren object.
Vocht	Aanwezigheid van vocht in het isolatiemateriaal kan aanleiding zijn tot ernstige corrosie van metalen. Dit is in het algemeen een gevolg van een alkalische reactie welke sommige anorganische isolatiematerialen in waterige oplossing vertonen. Tevens kunnen kleine bijmengsels van agressieve stoffen, zoals zwavelverbindingen en chloriden, van grote invloed zijn. Een ruwe maat voor de corrosiviteit van een isolatiemateriaal is de pH van een waterige suspensie van isolatiemateriaal.
PH	Een pH kleiner dan 8 wordt als corrosief aangemerkt.

8.10 Toepassing van isolatiestoffen

Over het algemeen isoleert men die delen van het systeem waarvan warmteafgifte aan de omgeving moet worden tegengegaan. Hierbij moet men rekening houden met de constructie en ondersteuning van het onderdeel.

Warmteverliezen	De constructie vormt in vele gevallen de oorsprong van de zogenaamde warmtebruggen, waardoor extra warmteverliezen ontstaan. In ieder geval moet het materiaaloppervlak dat buiten de isolatie uitsteekt zo klein mogelijk worden gehouden. Gedeelten van het systeem waaraan regelmatig onderhoudswerk moet worden verricht kunnen om praktische redenen beter niet of afzonderlijk van de rest van het systeem worden geïsoleerd. Afsluiters en flenzen kunnen bijvoorbeeld beter afzonderlijk worden geïsoleerd, daar anders de isolatie van de leidingen kan worden beschadigd. Het warmteverlies van een ongeïsoleerde afsluiter komt overeen met 2 meter ongeïsoleerde leiding van dezelfde diameter als de afsluiter. Flenzen van leidingen waar een gevaarlijk gas doorheen stroomt kan men beter niet isoleren in verband met lekkage. Hierbij is het van belang te bedenken dat het warmteverlies van twee ongeïsoleerde flenzen gelijk staat met het warmteverlies van één meter ongeïsoleerde leiding.
Dekens	Voor technische isolatie gebruikt men hoofdzakelijk op gaas gestikte dekens. De gewenste dichtheid wordt verkregen door het aantrekken, dat wil zeggen persen van de dekens tijdens het aanbrengen. De dichtheid beïnvloedt overigens de warmte geleidbaarheid. Het materiaal isoleert beter naarmate de dichtheid kleiner is.
Schaalisolatie	Wat de schaalisolatie betreft kan worden opgemerkt dat de temperatuur bestendigheid van de schalen afhankelijk is van: - de temperatuurbestendigheid van het isolatiemateriaal waaruit de schaal is vervaardigd - de temperatuurbestendigheid van het gebruikte bindmiddel.
Beschermplaat	In het algemeen worden de geïsoleerde onderdelen nog omgeven door een beschermplaat. Deze beschermplaat heeft als doel: - het binnendringen van water te voorkomen - het isolatiemateriaal te beschermen tegen beschadiging - de uitstralingsverliezen te verkleinen.

Een veel gebruikte beschermplaat voor zowel binnen- als buitenliggende leidingen en dergelijke is de aluminiumplaat.

Kostprijs

Een andere methode is die waarbij kunststofbuizen uit PVC om de isolatie van leidingen worden aangebracht. In plaats van een verzinkte beschermplaat, welke slechts geschikt is voor binnen liggende leidingen en dergelijke, worden vanwege de kostprijs de geïsoleerde leidingen ook wel met een soort verband omwikkeld, waarna men deze afsmeert met gips. Hierbij treedt echter vrij snel vervuiling en beschadiging op.

9.0 Rookgasreiniging

Milieu

Zowel tijdens als na de verbranding van huisvuil ontstaan reststoffen die, als er niets wordt gedaan, het milieu zullen belasten.

Slak, as en roet zijn residu's in vaste vorm die na een verbranding ontstaan. Dit wordt opgevangen en voor een gedeelte toepasbaar gemaakt, voor verwerking in bijvoorbeeld de wegenbouw.

Rookgassen, ontstaan uit de verbranding van huisafval met zuurstof uit de lucht, bevatten stoffen die, als ze niet worden gereinigd, het milieu extra zullen belasten.

De rookgassen bevatten zowel gasvormige als ook vaste schadelijke stoffen. Om de luchtverontreiniging door zwavelzuur, zwavelwaterstof, zwaveldioxide, aerosolen, zware metalen en micro organische schadelijke stoffen tot een minimum te beperken worden rookgasreiniginginstallaties toegepast.

Er kunnen verschillende reinigingssystemen worden onderscheiden.

Naast de kosten van een reinigingsinstallatie zijn er nog de bijkomende kosten ontstaan door corrosieproblemen, de noodzakelijke herverwarming van de rookgassen en het toepassen van een waterbehandeling systeem.

De toepassing van een reinigingssysteem berust op het volgende:

- afscheiding van vaste stoffen
- afscheiding van de schadelijke gassen.

Elektro filter

De gemiddelde samenstelling van enkele stoffen in een afvalverbranding installatie, gemeten voor het Elektro filter, zijn in tabel 1 weergegeven.

	Gemiddelde waarden in mg/Nm ³	Piekwaarden in mg/Nm ³ (als 1 uurs -gem.)
Stof	3000	6000
Zuurvormende gassen		
HCl	750	2000
HF	5	50
SO ₂	300	1500
NO _x	350	500
NH ₃	5 mg/kg	p.m.
Zware metalen		
Hg	0,25	0,70
Cd	1,00	2,00
Sb+Pb+Cr+Cu+Mn+V+Co+Ni+Se+Te	35	70
Onvolledig verbrande koolstofverbindingen		
CO	25	50
C _x H _y (gasvormig)	5	10
PAK	10 µg/Nm ³	100 µg/Nm ³
PCB	0,8 µg/Nm ³	8 µg/Nm ³
PCDD/PCDF's als TEQ	500 ng/Nm ³	5000 ng/Nm ³

Tabel 1. Globale samenstelling van de ongereinigde rookgassen.

11 volume % O₂

In tabel 2 zijn de emissie eisen weergegeven.

Deze emissie eisen zijn gebaseerd op 11 volume procenten zuurstof in het rookgas.

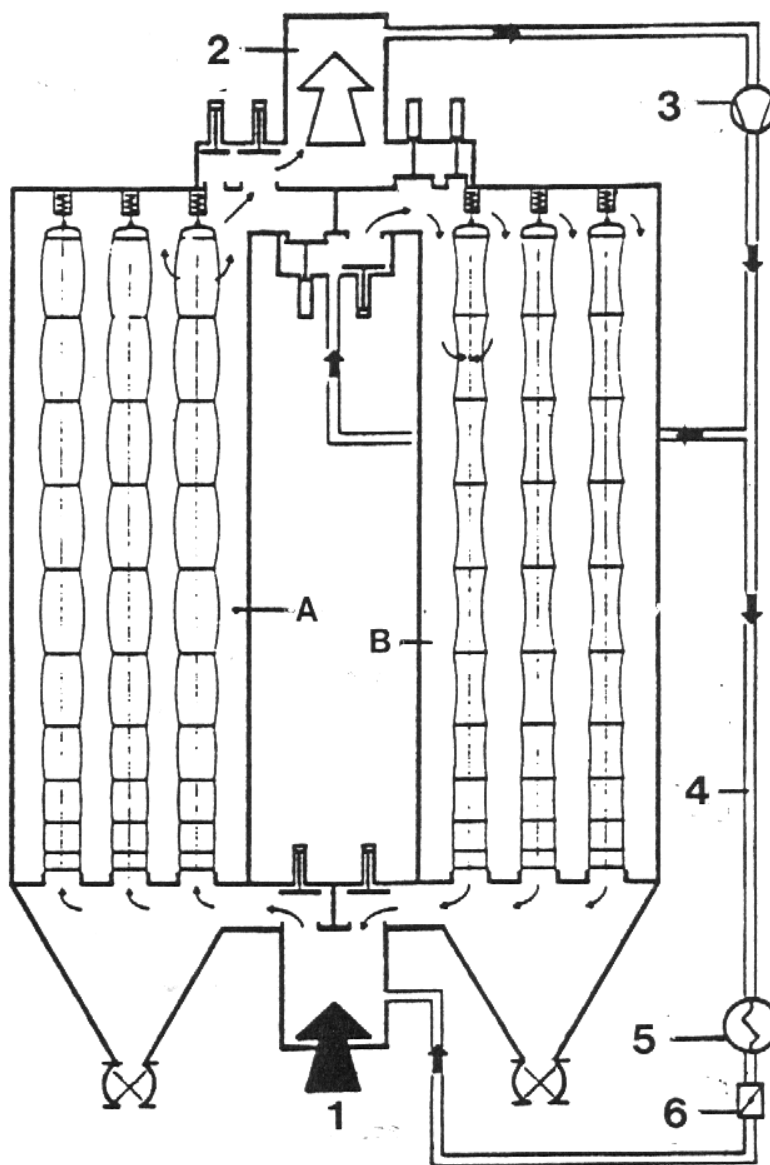
Component	Max. emissiewaarde in mg/m ³ ₀ *
Stof	5
Zure componenten	
HCl	10
HF	1
SO _x	40
NO _x	70
Zware metalen	
Cd	0,05
Hg	0,05
Sb+Pb+Cr+Cu+Mn+V+	
Sn+Co+As+Ni+Se+Te	1
Dioxinen/Furanen	
PCDD's en PCDF's	0,1 ng T.E.Q/m ³ ₀
CO	50
Org. C.	10

Tabel 2. Emissie eisen, gebaseerd op 11 volume procenten zuurstof in de rookgassen.

9.1 Vaste stof afscheiding

Het doekenfilter

Een doekenfilter bestaat uit een luchtdichte omkasting, voorzien van een filterdoek die een scheiding maakt tussen een schoon en een vuil gedeelte, zie hiervoor afbeelding 32.



1. Rookgastoevoer
2. Rookgasafvoer
3. Terugspoel ventilator
4. Omloopleiding
5. Lucht voorwarmer
6. Afsluitklep

- A. Filterfase
- B. Spoelfase

Afbeelding 32. Schematische voorstelling van een doekenfilter.

De omkasting dient niet alleen luchtdicht te zijn uitgevoerd maar moet ook een bepaalde onderdruk kunnen weerstaan als er een zuigtrek ventilator achter de filter is geplaatst.

In de meeste gevallen wordt de filterinstallatie toegepast als nageschakelde techniek. In België worden doekenfilters ook wel direct na de ketel geplaatst..

Voorkomen moet worden dat vonken het filterdoek bereiken daar deze deeltjes door hun aanwezige warmte-inhoud gaatjes in het doek kunnen veroorzaken.

De doekenfilters kunnen worden onderverdeeld naar de methode van reiniging van het filtermateriaal. De meest gangbare reinigingsprincipes zijn:

- klopreiniging
- terugstroomreiniging
- persluchtreiniging

Standtijd

Het filtermateriaal van een doekfilter is onderhevig aan slijtage waardoor het periodiek moet worden vervangen. De standtijd van het filter varieert met de materiaalkeuze, de reinigingsmethode en de filterdoekbelasting. Daarnaast is het ook nog sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering van de installatie. Ten aanzien van de bedrijfsvoering is het van belang dat het dauwpunt niet wordt overschreden. Bij koude start kan condensatie optreden in het filterhuis. Om deze redenen zit er heel vaak een recirculatieleiding voorzien van een voorwarmer, om het filter voor te warmen.

Doekbelasting

De restemissie is bij doekfilters afhankelijk van de filterdoekbelasting, deeltjesgrootte, stofbelasting en het filtermateriaal.

Bij een hoge filterdoekbelasting is de aanstroom snelheid hoger en zullen de deeltjes dieper tussen de vezels van het filtermateriaal binnendringen.

De kans op doorslag is dan groter.

De drukverschilmeting over de filter is een belangrijk gegeven.

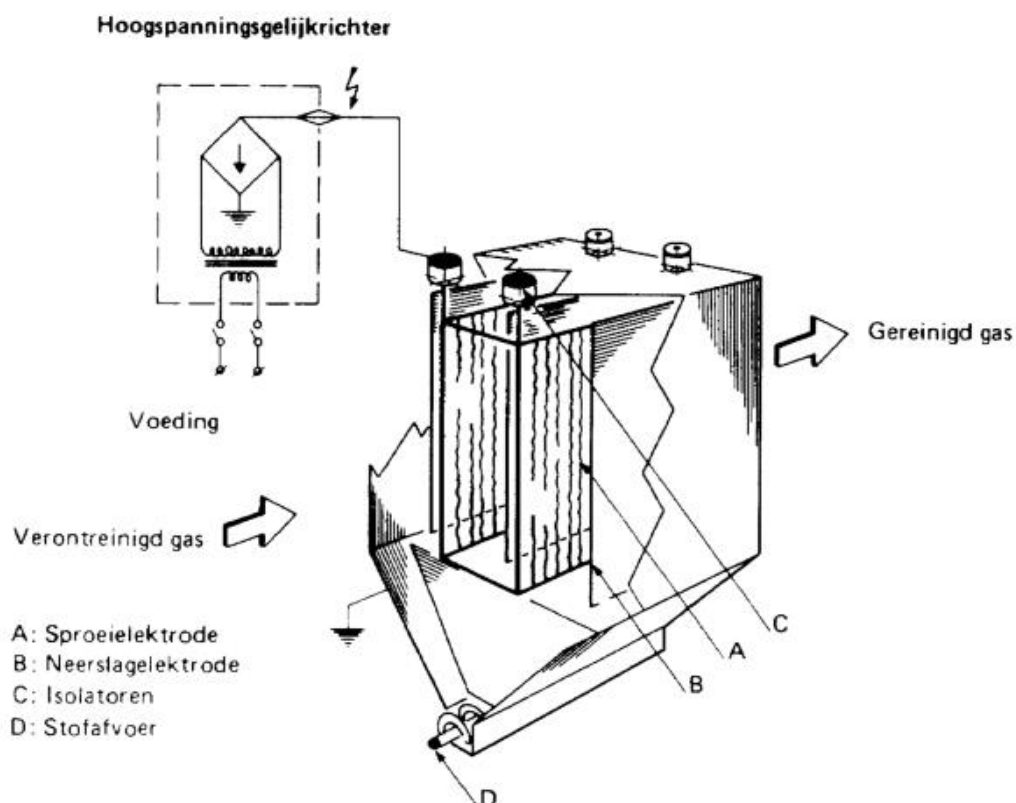
Drukval

De drukval over het filterdoek neemt toe met de dikte van de stoflaag die op de doeken zit..

Via een tijdschakeling of bij een bepaald drukverschil kan een reinigingsmechanisme worden ingeschakeld, zodat de stoflaag kan worden verwijderd. Tegenwoordig wordt ook vaak de stofconcentratie na het filter gemeten, dit om het opsporen van lekkages te vergemakkelijken.

Elektrostatische filters

Sinds vele jaren zijn Elektro filters veel toegepaste apparaten om vaste deeltjes af te scheiden uit grote gasstromen. Een principetekening hiervan is weergegeven op afbeelding 33.



Afbeelding 33. Principeschema droog E-filter.

Ze worden niet alleen toegepast bij de elektriciteit opwekking, maar dit filter vindt ook toepassing bij de vuilverbranding installaties.

De E-filters verminderen de uitstoot van de zich in de rookgassen bevindende roet en zware metalen. Geschakeld voor een natte rookgasreiniger betekent dit dat het grootste gedeelte van het stof niet in het natte wasgedeelte in oplossing kan komen, wat een groot voordeel biedt.

De toegepaste E-filters hebben over het algemeen een werkt temperatuur welke is uitgelegd voor 180 tot 250 °C.

180 – 250 °C

De werking van het Elektrofilter

Sproei-elektroden

Een E-filter gebruikt elektrische krachten om vlieggas uit het rookgas te verwijderen. Hierbij worden de deeltjes elektrisch geladen en bewegen zij, onder invloed van een elektrisch veld, naar de neerslagoppervlakken, ook wel collectorplaat of neerslagelektrode genoemd. Het elektro filter is in principe opgebouwd uit parallel geplaatste neerslagelektroden met daartussen geplaatst de staaf of draadvormige sproei-elektroden.

Bij de tegenwoordig gebruikelijke plaatafstand van 200 tot 300 mm bedraagt de tussen de elektroden aangelegde gelijkspanning ongeveer 30 tot 100 kV.

In de onmiddellijke omgeving van de negatieve sproei-elektrode is de veldsterkte zeer hoog. Boven een bepaalde spanning worden elektronen vrijgemaakt die op hun beurt moleculen ioniseren; er ontstaat een corona.

Neerslagelektrode

De gasmoleculen kunnen bij botsing hun lading op de vliegasideeltjes overdragen. De geladen stofdeeltjes zetten zich af op de neerslagelektroden.

Deze worden periodiek geklopt, waardoor het stof naar beneden valt in een trechter. Het voorkomen dat afgeklopt stof weer in de rookgasstroom wordt opgenomen vereist een zorgvuldige constructie.

Constructie

Een E-filter bestaat uit één of meer kamers waarover het rookgas wordt verdeeld. Een goede distributie van het rookgas middels een rookgas verdeelscherm moet een gelijkmatige verdeling van het stof in de verschillende kamers bewerkstelligen.

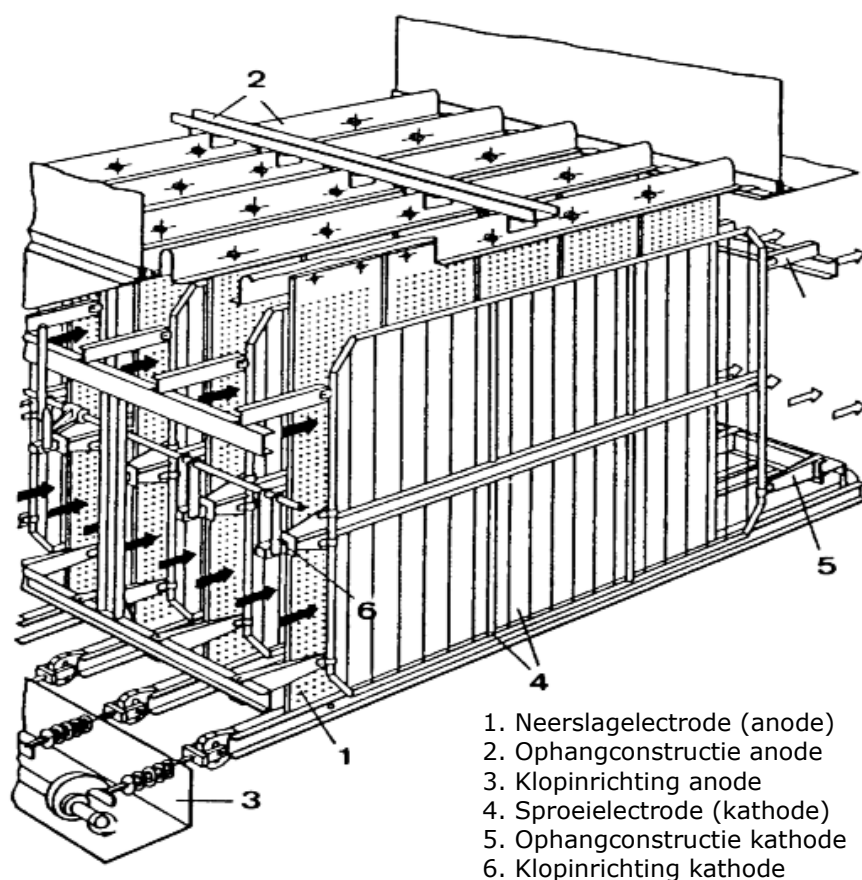
Velden

Loze ruimtes dienen zo klein mogelijk te zijn om doorlekken van ongereinigd rookgas te voorkomen. Naast deze parallelle indeling is een E-filter opgebouwd uit een aantal in serie geplaatste velden, Deze velden werken onafhankelijk van elkaar.

Het eerste veld verwijderd de bulk van het stof, terwijl de laatste velden nauwelijks nog enige stof vangen, maar wel noodzakelijk zijn om de rest emissie laag te houden bij vangen van de moeilijke vliegase.

Een aantal onafhankelijke regelbare velden verdient de voorkeur uit oogpunt van rest emissie en bedrijfszekerheid. Deze velden worden ieder met een eigen astrechter uitgevoerd.

Een ander belangrijk constructief aspect is de manier waarop de elektroden worden gereinigd. Men kan kloppen in het vlak van de elektrode of loodrecht op dit vlak. Deze laatste methode heeft nu het nadeel dat de afgescheiden vliegase weer in de gasstroom terechtkomt. De eerste methode wordt uitgevoerd door met een hamer op de rand van de plaat te kloppen. Het stof laat dan in brokken tegelijk los en glijdt als het ware langs de elektrode naar beneden naar de astrechter. Een E-filter met klopmechanisme is weergegeven op afbeelding 34.



Afbeelding 34. E-filter met klopmechanisme.

Indien er te veel platen tegelijk worden gereinigd zal de rest emissie tijdelijk hoger zijn. Het is dus gunstig het aantal simultaan geklopte elektroden te beperken.

Verder dienen de platen met een zekere regelmaat te worden geklopt. Indien er te weinig wordt geklopt, zal de vliegasaag te dik worden, waardoor het rendement van het filter afneemt.

Als er te vaak wordt geklopt, zal de vliegasaag niet voldoende een compacte massa vormen, waardoor deze laag in stukken breekt en zal worden meegenomen in de rookgasstroom.

De opstelling en afmetingen van de platen zijn in dit verband belangrijk, dat wil zeggen de hoogte / breedte verhouding van de platen en de rookgassnelheid spelen hierbij een rol.

Het elektrodesysteem bestaat dus uit neerslagelektroden en sproeielektroden.

Damwand profiel

De neerslagelektroden zijn vervaardigd uit gewalste strip, men kan dit vergelijken met een damwand profiel. De vorm is ontwikkeld op grond van stroming- en trillingstechnieken en houdt rekening met de bijzondere eisen van het elektronische veld.

De neerslagelektroden hangen vertikaal in rijen in de gasrichting achter elkaar.

De sproeielektroden zijn uitgevoerd als bandvormige elektroden, voorzien van sproeispijzen, zodat een hoge veldsterkte wordt gecombineerd met een laag stroomverbruik.

Isolatoren

Het stijve geraamte van de sproei-elektrode hangt aan het dak van het E-filter, daarvan gescheiden door isolatoren.
De sproei-elektrode staat onder een hoge negatieve gelijkspanning.

Als kortsluiting optreedt, dan wordt de spanning in het betreffende compartiment zover teruggebracht dat de ontstane vlamboog automatisch dooft.

Het compartiment werkt nu nauwelijks nog mee aan de stof afvangst. De elektrische spanning moet nu weer zo snel mogelijk omhoog worden gebracht om een goed rendement te behalen.
De werking van een E-filter hangt sterk af van de specifieke elektrische weerstand van de vliegash.

Weerstand

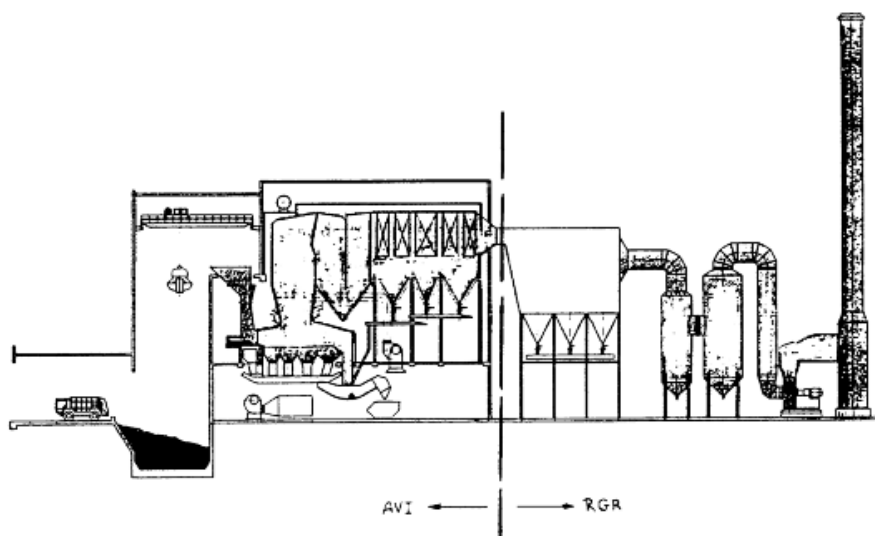
De weerstand van de vliegash wordt voor een deel bepaald door de eigenschappen van de vliegash zelf. De chemische samenstelling bepaalt in grote mate de specifieke weerstand.
De snelheid van het rookgas door het E-filter bepaalt de verblijftijd van het gas in het filter bij een specifiek neerslagoppervlak.
In de praktijk past men gassnelheden toe van 0,5 tot 2 m/s. De drukval over een E-filter is laag.

Bij een E-filter zijn de belangrijkste bedrijfsstoringen het breken van een sproei-elektrode en het blokkeren van de asafvoer.

In beide gevallen is kortsluiting het gevolg, waardoor het betreffende veld niet meer meewerkt aan de vliegashvangst.

Bij grote E-filters is dit meestal geen probleem, maar bij industriële installaties leidt het uitvallen van een veld, gezien het beperkte aantal velden, tot een sterke verhoging van de vliegashemissie.
Een E-filter ondervindt in het algemeen weinig schade van temperatuuroverschrijding en is daarnaast minder gevoelig voor chemische aantasting.

In sommige gevallen kan dauwpunt overschrijding, in samenhang met corrosie verschijnselen, leiden tot de aanhechting van stof, dat door het reinigingsmechanisme niet goed meer kan worden verwijderd. Overigens kan het verschijnsel dat de neerslagelektroden langzaam vervuilen ook optreden als gevolg van veelvuldige belastingsvariëaties van het filter.
Op afbeelding 35 is de plaats van een E-filter in een installatie weergegeven.



Afbeelding 35. Een AVI met nageschakelde rookgasreiniging.

9.2 Schadelijke gassen afscheiding

In rookgassen van verbrandingsinstallaties kunnen de volgende gasvormige schadelijke stoffen voorkomen:

- *chloorverbindingen*
- *fluorverbindingen*
- *zwavelverbindingen*
- *stikstofverbindingen*
- *organische verbindingen*
- *koolmonoxide.*

Voor de koolwaterstoffen, CO en NO_x, verbindingen is het emissieniveau te beïnvloeden door de stookmethode.

De uitworp van zwavelverbindingen (SO_x), chloorverbindingen (HCl) fluorverbindingen (HF) en zware metalen hangt hoofdzakelijk af van de afvalsamenstelling.

Het aandeel van HCl in de rookgassen is het grootst, hierna in volgorde gevolgd door NO_x, SO_x, CO en de overige stoffen.

Afscheiding van de schadelijke gassen geschiedt in nageschakelde rookgasreiniginginstallaties.

Bij de afvalverbranding kunnen de gasvormige verontreinigingen op de volgende manieren worden verwijderd:

- door condensatie van de rookgassen
- door oxidatie(verbranding) of reductie van de gassen, eventueel met behulp van katalysatoren
- door middel van absorptie / adsorptie.

Voor de absorptie / adsorptiesystemen worden veel toegepast.

Dit zijn systemen waarbij ervoor wordt gezorgd dat de gassen of dampen aan een ander medium worden gebonden. Als media worden dan stoffen gekozen die een chemische reactie aangaan met de op te nemen stoffen, b.v. kalk, natronloog of soda.

Absorptie / adsorptie

Bij de absorptie / adsorptiesystemen onderscheidt men de volgende mogelijkheden, n.l.:

- natte systemen
- droge systemen
- nat droge systemen.

De natte reinigingsmethode

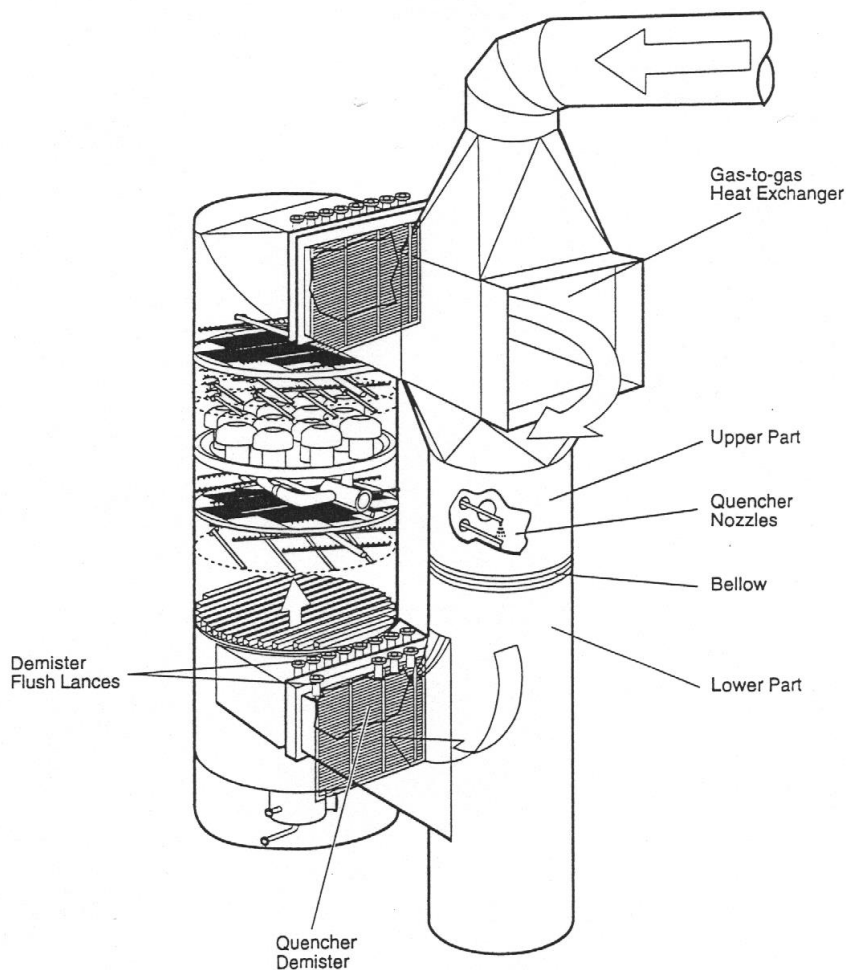
Bij de natte wassing worden de te verwijderen gassen en dampen door een wasvloeistof opgenomen. De wasvloeistof is voorzien van een absorbent die met de te verwijderen stoffen chemisch binden.

De wasvloeistof dient na de absorptie behandeld te worden ter afscheiding van de geabsorbeerde vaste stoffen.

De rookgassen hebben na het passeren van een dergelijk systeem een zodanige conditie dat ze verhit moeten worden om voldoende droog door de schoorsteen af te kunnen voeren.

Wasvloeistof

Op afbeelding 36 is een tweetraps wassysteem afgebeeld.



Afbeelding 36. Tweetraps wassysteem, rechts de zure trap, links de basische trap.

PH

Bij een tweetraps systeem wordt in de eerste trap veelal HCl en HF uitgevangen, deze trap heeft een pH dat lager is dan 1. Er is dan geen voorbehandeld water nodig.

In de tweede trap wordt het SO_x afgevangen, het water moet dan licht zuur zijn, pH 6 tot 6,2

Het voordeel van dit systeem is dat het een probleemloze afscheiding geeft van de stoffen als HCl, HF en SO_x en verder een goede afscheiding van zware metalen.

Het nadeel bij dit systeem is de noodzakelijke behandeling van het spuiwater.

Het natte systeem wordt hoofdzakelijk toegepast, het heeft namelijk het hoogste rendement.

Verder volgen er nog twee systemen die slechts heel kort zullen worden toegelicht daar deze nagenoeg niet meer worden toegepast.

De droge inblaas-absorptiemethode

De droge inblaas absorptiemethode is een methode die met geringe bedrijfskosten aan de strenge eisen, die gesteld worden aan verbrandingsinstallaties, kan voldoen.

Hier komt nog bij dat dit systeem watervrij is en derhalve zal er geen corrosie optreden. Het droge eindproduct dat hiervan afkomstig is, kan gemakkelijk worden opgeslagen.

Bij een droog absorptiesysteem wordt een absorbent voor de E-filters, goed verdeeld, in de rookgassenstroom geblazen.

De gas- en dampvormige verontreinigingen worden in vaste vorm gebonden aan het absorbent en hierna in de filters tezamen met de vliegafval uittevangen.

Uit milieu hygiënisch oogpunt is de verwijdering van zware metalen uit de rookgassen van groot belang.

Het droge reinigingssysteem is eenvoudiger van opzet dan het natte rookgasreinigingssysteem en heeft de volgende voordelen:

- geen waterzuivering nodig
- geen waterig effluent met daarin opgeloste zouten
- niet corrosiegevoelig
- relatief goedkope installatie.

De schijnbaar droge rookgasreinigingsmethode

Bij dit systeem wordt een neutralisatiemiddel in een reactieketel gesproeid.

Het neutralisatiemiddel kan bijvoorbeeld calciumhydroxide of natriumhydroxide zijn.

Dit reageert met de zure bestanddelen als HCl, HF, SO_x en de ongewenst CO₂ in de rookgassen.

Het neutralisatiemiddel wordt met lucht, onder een druk van 3 à 4 bar in de reactieketel geblazen.

Hierbij is de richting van inblazing gelijk aan de rookgasstroming.

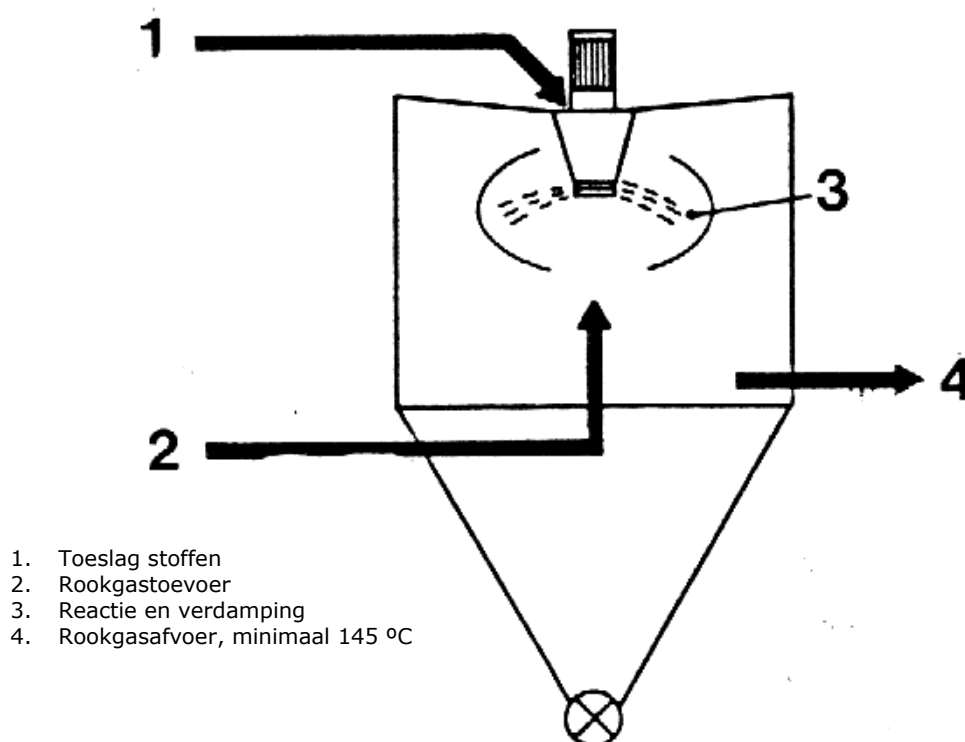
De concentratie van de oplossing is zo bemeten dat dit enerzijds door de beschikbaar latente rookgaswarmte volledig verdampt en anderzijds de vereiste afscheidingsgraad van de schadelijke stoffen bevordert.

Door de reactie van de schadelijke stoffen met het neutralisatiemiddel worden zouten gevormd die deels onder de reactieketel worden afgevoerd en deels als fijne stofdeeltjes te samen met het vliegafval in een na geschakeld stoffilter worden uittevangen.

De rookgassen verlaten de reactieketel met een temperatuur van 145 – 180 °C.

Op afbeelding 37 is een dergelijke installatie weergegeven.

Zouten



Afbeelding 37. De schijnbaar droge methode.

9.3 Verwijdering van stikstof oxiden

Voor de verwijdering van stikstofoxiden kennen we twee systemen, te weten:

- Het SNCR systeem.
- Het SCR systeem.

Om aan de emissie-eisen van stikstofoxiden te voldoen, is een verdere behandeling van de rookgassen noodzakelijk. NO_x is een belangrijke verzurende component. Daarnaast staat het bekend als broeikasgas. Van het element stikstof (N_2) bestaan meerdere oxiden. De bekendste die een rol spelen bij verbrandingsprocessen zijn stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2). Ze worden meestal gezamenlijk aangeduid met de formule NO_x .

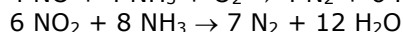
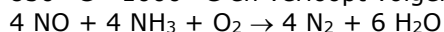
Er bestaan verschillende vormingsmechanismen voor NO_x .

NO_x staat voor NO en NO_2 .

Het SNCR-systeem (Selectief Niet Katalytische Reductie)

Dit is een proces, waarbij ammonia als reactiemiddel in de rookgasstroom wordt ingespoten om de stikstofoxiden (NO_x) te reduceren tot moleculaire stikstof en waterdamp. Tegenwoordig wordt geëxperimenteerd met inspuiting van verschillende derivaten van ammoniak (bijvoorbeeld organische amines) in de vuurhaard om het temperatuurvenster te verruimen. Dierlijke mest bevat ammoniak en organische verbindingen en kan in principe na enige bewerking een goede vervanger zijn van een ammoniakoplossing.

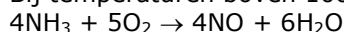
De reductie vindt plaats in een temperatuurgebied van 850 °C - 1000 °C en verloopt volgens de volgende reacties:



Het mechanisme van deze reactie is gebaseerd op nitrosering / nitrering, hetgeen een specifieke reactie van NO_x is. Als bijproduct kan een kleine hoeveelheid lachgas N_2O ontstaan.

Bij SNCR-De NO_x vindt bovengenoemde reactie plaats in een vrij nauw begreind temperatuurgebied van circa 850-950 °C. Bij hogere temperaturen wordt de ingespoten NH_3 omgezet ("verbrand") tot NO_x .

Bij temperaturen boven 1000 °C is de vergelijking:



Bij lagere temperaturen neemt de reactiesnelheid van de De NO_x -reactie zodanig af, dat het effect verloren gaat. Alleen bij toepassing van een katalysator zijn lagere reactietemperaturen mogelijk (SCR-systemen). Bij het aangegeven temperatuurgebied is voor het bereiken van voldoende effect toepassing van een overmaat van NH_3 nodig.

De ammonia wordt over het algemeen in de vorm van een 25% oplossing in de oven gespoten. Om een dekking van een groot oppervlak te bereiken worden links en rechts in de vuurhaard sproeiers ingebouwd.

25 %

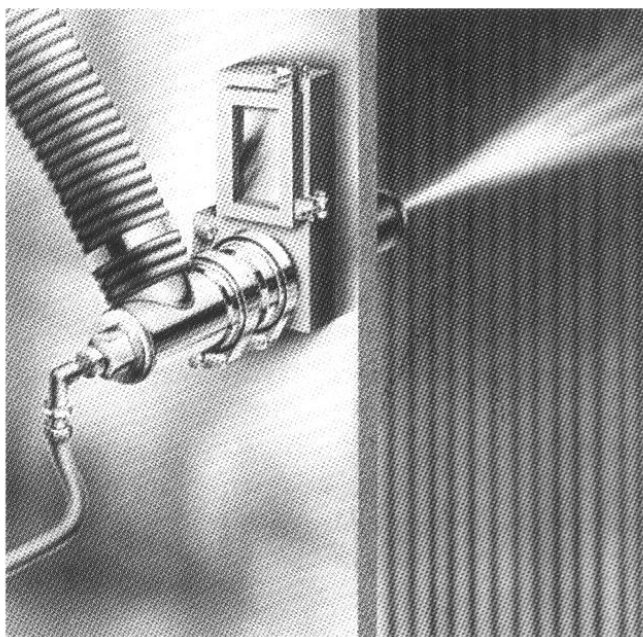
De voorraadtank voor de 25% ammonia wordt drukloos uitgevoerd.

Een regelbare doseerpomp pompt de ammonia naar een stoominjector, waarmee het stoom- NH_3 -mengsel wordt toegevoegd.

Er kan alleen een hoge NO_x afscheidingsgraad worden bereikt wanneer de hoeveelheid NH_3 boven de stoichiometrische waarde wordt toegevoegd. Het grootste gedeelte van het NH_3 overschot komt als moleculaire ammoniak in een wastrap, waar het wordt uitgewassen. In het zure waswater gaat de ammoniak meteen over in NH_4^+ . Een gedeelte van het quenchwater dat in het circuit wordt gepompt, wordt continu afgezogen en in de ammoniak terugwinning gevoerd.

De rest van de ammoniak verbindt zich reeds in de rookgassen tot ammoniumsulfaat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Deze verbindingen komen als fijne aerosolen voor.

Een voorbeeld van Ammonia injectie is op afbeelding 38 te zien.



Afbeelding 38. Ammonia injectie met behulp van een nozzle.

Het SCR systeem (Selectief Katalytische Reductie)

De SCR-methode is een katalytische methode die werkzaam is bij een temperatuur tussen 200 en 350 °C. De NO_x wordt in de katalysator omgezet naar moleculair stikstof en waterdamp, volgens dezelfde reacties als bij niet-selectieve reductie. De katalysator verlaagt de activeringsenergie (energiebarrière) door tijdelijke ruil van atomen met de reagerende moleculen (actiefcomplex), maar verandert zelf niet in chemische zin. Er wordt geëxperimenteerd bij temperaturen van circa 180 °C, de bevindingen zijn bevredigend. De plaats van het SCR-systeem in de rookgasreiniging is van belang voor het functioneren van de katalysator. Deze kan, door stof, SO_x en met name arseen worden 'vergiftigd' of verstopt, zodat deze niet goed meer werkzaam is voor de omzetting van NO_x en de levensduur aanzienlijk achteruit gaat.

Katalysator

De katalysator bestaat over het algemeen uit metaaloxiden zoals vanadiumpentoxide V₂O₅, titaniumdioxide (TiO₂), of wolframtrioxide (WO₃) en heeft een gemiddelde levensduur van ongeveer zeven jaar.

Positie van de katalysator

De katalysator kan op diverse posities in het systeem worden ingezet. Indien de SCR in de ketel wordt ingebouwd, voor economizer en E-filter, alwaar het rookgas de gewenste temperatuur van 300 - 400 °C heeft, wordt gesproken van "high dust" SCR. De katalysator kan ook geplaatst worden na een hoge temperatuur E-filter, voor de economizer (temperatuur tot 260 °C, afhankelijk van E-filter): "low dust" SCR.

Tenslotte kan de katalysator als laatste component in de RGR worden gesitueerd, waarbij het rookgas ontdaan is van alle vervuilende componenten (met uitzondering van NO_x): "tail end" SCR.