

**RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIËNE  
BILTHOVEN**

Rapportnr. 773001001

**AFVALVERWERKINGSINRICHTING (AVI)  
VOOR HUISHOUELIJK- EN BEDRIJFSAFVAL**  
Procesbeschrijving

M. Schipper-Zablotskaja

Juli 1994

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Lucht en Energie in het kader van het project "Energie", projectnummer 773001.

**VERZENDLIJST**

- 1        Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Lucht en Energie
- 2        plv. Directeur-Generaal Milieubeheer Dr.Ir. B.C. Zoeteman
- 3        Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Afvalstoffen
- 4        Ir. R. Culenaere (DGM/L)
- 5        ing. H.H. Holtring (DGM/L)
- 6        ing. J.T. Weisscher (DGM/A)
- 7        Ir. J.W. van der Waal (DGM/A)
- 8        Ir. W. v. Arkel (ECN)
- 9        Ir. P. Kroon (ECN)
- 10       Ir. J. Römer (ECN)
- 11       Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
- 12       Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
- 13       Ir. F. Langeweg
- 14       Ir. A.H.M. Bresser
- 15       Ir. K. Visscher
- 16       Drs. J.M. Joosten
- 17       Drs. D. Nagelhout
- 18       Drs. J.P.M. Ros
- 19       Ir. R.A.W. Albers
- 20       Ir. A.W.H.M. Hoogenkamp
- 21       Ir. J. Spakman
- 22       Auteur
- 23       Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
- 24       Bureau Projecten- en Rapportenregistratie
- 25-26   Bibliotheek RIVM
- 27-52   Reserve-exemplaren

**INHOUDSOPGAVE**

Verzendlijst	ii
Inhoudsopgave	iii
Voorwoord	iv
Summary	v
Samenvatting	1
1. Inleiding	2
2. Procesbeschrijving	5
2.1. Fracties van huishoudelijk afval en hun stookwaarde	5
2.2. De opbouw van een afvalverbrandingsinstallatie	7
2.2.1. De afvalbunker	8
2.2.2. Het rooster	9
2.2.3. De vuurhaard	9
2.2.4. De ketel	11
2.2.5. De rookgasreiniging	11
3. Emissiefactoren en emissies	12
3.1. Emissies naar lucht	12
3.2. Emissies naar water	12
3.3. Emissies naar bodem	13
3.4. Reststoffen	13
4. Energifactoren en energiegebruik	15
5. Technische maatregelen voor emissiebeperking	16
5.1. Emissiebeperking	16
5.2. Vermindering van afvalstoffen en hergebruik	18
5.3. Vermindering van energiegebruik	19
5.4. Kostenaspect	20
6. Onderzoek naar schone processen	21
7. Normstelling en vergunnings situatie	22
8. Afkortingen	23
9. Literatuur	24

## VOORWOORD

In het kader van het MAP-milieu project Doelgroepen en Emissies is in 1992 een begin gemaakt met het opstellen van procesbeschrijvingen voor de doelgroep energie. Deze activiteit is in 1993 voortgezet in het MAP-project Energie.

Dit project is uitgevoerd samen met de Unit Beleidsstudies Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN). De beschrijvingen zijn opgesteld volgens hetzelfde stramien als dergelijke infodocumenten van doelgroepen Industrie (SPIN-project), Landbouw, Verkeer en Consumenten (WESP).

De belangrijke doelstellingen van dit project zijn:

- ondersteuning verlenen aan het doelgroepmanagement DGM (Energie) met de belangrijke technische informatie over milieu-aspecten met betrekking tot processen van energieconversie;
- het vastleggen van emissies, emissie- en energiefactoren, maatregelen voor emissiereductie en energiebesparing (zoveel mogelijk met bijbehorende kosten);
- het invullen van het LAE-informatiesysteem RIM+;
- bijdrage leveren bij het opstellen van Milieubalansen en Milieuverkenningen.

De procesbeschrijvingen bevatten de volgende elementen:

- omvang en voorkomen van het proces;
- omschrijving van de wijze van energieomzetting;
- korte technische beschrijving van het proces;
- de bronnen van emissies en emissiefactoren;
- energiefactoren;
- technische mogelijkheden voor emissiereductie, zoveel mogelijk met kosten;
- technische mogelijkheden voor energiebesparing;
- onderzoek naar schone processen;

Getracht wordt de procesbeschrijvingen regelmatig te actualiseren.

## SUMMARY

Environmental policy should be based on good information on the sources of pollution. Such information is essential, not only for an optimum diagnosis of the present situation, but it is also the basis for future scenarios. The standard form for an information document is a "process description". Such process descriptions are made for many economic activities in the Netherlands: industrial processes, agriculture, traffic, energy sector. The process description "Municipal Waste Incineration Plant" has been compiled in a series of descriptions in the framework of the Energy Project on request of the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment.

An integral approach in processes is crucial for the current scheme of the process description. A general flow-diagram of an MSWI plant with an energy recovery boiler, including a flue-gas treatment plant is given. The most efficient parts of the plant (refuse pit, grate, oven, flue-gas cleaning equipment) are described in more detail. An influence of incineration conditions on flue-gas emissions and the quality of residues is focused on. The possibilities of different types of gas cleaning systems are also given. The waste streams from MSWI plants are taken in consideration as well. From the point of view of environmental pollution and energy possible improvements are suggested. A short inventory of currently operating MSWI plants in the Netherlands and plants to be built in the near future is given. Information on the current Dutch emission legislation is presented.

## **SAMENVATTING**

In deze procesbeschrijving in het kader van het project "Energie" is getracht een compleet en toch beknopt beeld te geven van de stand van zaken in de Nederlandse afvalverbranding anno 1993 (basisjaar).

De vorm van "procesbeschrijving" is standaard uitgekozen voor meerdere economische activiteiten van verschillende doelgroepen - Industrie, Landbouw, Verkeer, Consumenten. Zo'n procesbeschrijving dient niet alleen leerzame informatie over een bepaalde aktiviteit te verschaffen, maar geeft ook voldoende cijfermateriaal ten behoeve van de invulling van het Reken- en Informatiemodel RIM+ en kan als een uitgaansbasis fungeren voor de opstelling van een Milieubalans en Milieuverkenningen.

De informatie uit deze procesbeschrijving geeft voldoende kennis over het functioneren van een afvalverbrandingsinstallatie in het algemeen, over verschillende aspecten van afvalinzameling en voorbewerking, rookgasemissies en hun bestrijding en problematiek van rest- en afvalstoffen na verbranding.

Bovendien bevat deze beschrijving kwantitatieve gegevens over afvalhoeveelheden en verbrandingscapaciteit in Nederland in heden en toekomst. Ook individuele informatie van alle in 1993 werkende Nederlandse AVI's is samengevat.

Grote aandacht is besteed aan de milieu-aspecten van afvalverbranding als belangrijke maatschappelijke activiteit: emissiereductie en energiebesparing. Met het oog op het in werking treden van het Besluit Luchtemissies Afvalverbranding zijn emissiefactoren gepresenteerd van belangrijke aandachtstoffen in het jaar 2000 (vergeleken met 1990).

## 1. INLEIDING

Grootschalige verbranding van huishoudelijk afval wordt in Europa vanaf het einde van de vorige eeuw toegepast in speciaal daarvoor ontwikkelde installaties - AfvalVerbrandingsInrichtingen (AVI's). In Nederland werd in 1993 ca. 2,8 Mt huishoudelijk en bedrijfsafval verbrand in 10 AVI's.

Naar verwachting zal de hoeveelheid van het te verbranden afval tot in het jaar 2000 aanzienlijk toenemen. Ook het aandeel te verbranden huishoudelijk afval zal toenemen van 35% in 1986 tot 50% in 2000. [4,19].

De laatste jaren wordt veel aan gescheiden inzameling gedaan (scheiden aan de bron), vooral GFT (Groente-, Fruit- en Tuinafval). Dit heeft een hoog vochtgehalte (ca. 65%) en brandt daardoor slecht. Vanaf 1994 is gescheiden inzameling van GFT verplicht geworden, maar er wordt pas in '95 verwacht, dat 85% van de gemeenten GFT apart zullen inzamelen. Deze vooral uit organische componenten bestaande fractie kan worden gecomposteerd of vergist. Verder wordt veel gedaan aan gescheiden inzameling van glas en papier en zgn. Klein Chemisch Afval (KCA). Niet al het in de samenleving vrijkomende afval kan door een AVI worden geaccepteerd vanwege te grote afmetingen of afwijkende samenstelling (soms gevaarlijk voor de verwerking bij een AVI). Een werkelijk acceptatiebeleid van afvalstoffen (gedifferentieerde tarieven en het weren van sterk verontreinigd afval) wordt op dit moment ontwikkeld [22].

In Tabel 1 zijn gegevens samengebracht over de Nederlandse AVI's. De hoeveelheden verbrand afval, reststoffen en geproduceerde energie in 1993 (basisjaar) zijn afkomstig uit nog niet gepubliceerde enquête van AOO/VVAV/RIVM. In de loop van 1990 werden vier installaties gesloten vanwege te hoge emissies van schadelijke componenten (Alkmaar, Leiden, Zaanstad en Leeuwarden). De VVI Alkmaar is in december 1991 na de bouw van een rookgasreinigingsinstallatie weer in bedrijf gesteld. In 1993 werd een aantal installaties gesloten (VVI den Haag, AVI-Noord Amsterdam, PNEM Eindhoven). Bij sommige AVI's werd een aantal ovens tijdelijk stilgelegd wegens opknopbeurt en aansluiting van rookgasreinigingsinstallaties. In het jaar 2000 zal de totale verwerkingscapaciteit aanzienlijk groter zijn dan nu (ongeveer 5,3 Mt/j in 2000).

Door mechanische scheiding van huishoudelijk, bedrijfs-, bouw- en sloopafval in een scheidingsinstallatie kan een brandbare hoogcalorische (12 - 14 MJ/kg) fractie verkregen worden, de zogenaamde Refuse Derived Fuel (RDF). De rest (puin, onbrandbaar en fijne organische fractie) wordt na verwijdering van ijzer gestort, terwijl hergebruik van puin steeds meer aandacht krijgt. Vooral in de VS zijn afvalverbrandingsinstallaties voor RDF populair. In Nederland zijn alleen de ARN (Nijmegen) en de PNEM-oven (voormalige Philips-oven, Eindhoven) speciaal geconstrueerd voor RDF-verbranding.

Tabel 1. Enkele gegevens over in 1993 werkende Nederlandse AVI's, hoeveelheden daarin verbrand afval, reststoffen en energiegegevens. ESP - Elektrofilter, EDV - elektrodynamische venturi, SCR - selectieve katalytische reductie NOx, SNCR - selectieve niet-katalytische reductie.

AVI, plaats bouwjr.	capaciteit ovens x t/h; verbrand in 1993, kt;	roostertype/ leverancier	opgest.verm. MWe / MWth; afgezet 1993, GWhe/a	leverancier rookgasreïnging, bestaat uit:	deNOx, type, leverancier, reagens/kat., temperatuur	reststoffen: slak/vliegas/schroot/RGR-residu, kt/a in 1993	bijzonderheden: scheidingseinr./gecombin. processen	opmerkingen: sluiting, uitbreiding etc.
AVR Rijnmond 1972	6 x 21,5 t/h 1993: 862	rollenrooster Deutsche Babcock (RDM)	54,7 / 100 1993: 87	SGP-VA, ESP zure wasser alk. wasser akt. cokes	SCR, SGP-VA ammoniak oxyd. kat 185 °C	slak: 180 vliegas: 35 slib: 4 schroot: 17	gedest. water 6500000m <sup>3</sup> /a comp.install. voor GFT (met VAM)	uitbreiding capaciteit met 7-de oven "oven 0"
AVI-Amsterdam 1993	4 x 30 t/h 1993: 702	horiz.tegenl. overschuif Widmer +Ernst	79,6 MWe 1993: 410	K+K Ofenbau sproei-droger ESP wastorens EDV (LAB)	SNCR, K+K Ofenbau, ammonium	slak: 138 vliegas: 8,8 zout: 11,3 schroot: 13,2	relatief groot aandeel bedr.afval verwacht	op volle schaal vanaf 1994
ARN Nijmegen 1987	1 x 9 t/h 15 MJ/kg 1993: 86	horizontaal 2-traps voorschuij K+K	8,5 MWe 1993: 49,9	K+K Ofenbau ESP natte wasser	SCR ammoniak von Roll	slak: 10,4 vliegas: 2,4 RGR-res.: 0,11	RDF-verbranding scheidingsinstallatie stort-terrein	2-e verbrandings lijn per 1995 SO <sub>2</sub> -wasser
ROTEB Rotterdam 1964	4 x 12 t/h 1993: 291	hellend terug-schuijrooster Martin	25,5/126 1993: 101	Steinmüller ESP zure/basische wassers A-cokes filter	SCR ammonium oxyd. kat 220 °C	slak: 70 vliegas: 4,9 schroot: 8 RGR-res.: 0,02	aanvoer deels over water cokes verbr. in cycloon brander	capaciteit turb.-gener. instalf kleiner dan therm. capac. ketels
AVIRA Duiven 1975	3 x 12 t/h 1993: 278	rollenrooster Babcock (RDM)	15,1 / 35 1993: 78	ESP, Ciba-Geigy wassers	SNCR ammonium von Roll,	slak: 63 vliegas: 7 RGR-res.: 2,4	comp.inst. aanbouw	ketel oven 2, oven 4 (1996)
GEVUDO Dordrecht 1972	3 x 7 t/h 1 x 9 t/h 1993: 188	hellend terug-schuij Martin	9,5 / 30 1993: 48	ESP, venturi- en radiaalstroom wasser	SCR korrel-reaktor SHELL (optie)	slak: 42,5 vliegas: 4,5 schroot: 6,2 nonferro: 0,37	2 ovens gekombineerd met slijverbranding	nog 2 ketels (voorlopig opgeschort)
VVI Akmaar 1971/1978	3 x 6 t/h 1993: 100	hellend terug-schuij Martin	rookgaskoeler	BCE-Benelux ESP na koeler kalkinjectie	niet gepland	slak: 23,7 vliegas: 2,4 schroot: 3,9 RGR-res.: 4,7		sluiting in 1995 (opening HVC Noord-Holland)
AVI PNEM voorm. Philips	25 kt/a 1 x 3,6 t/h 1993: 26	horizontaal voorschuij K+K	1 MWe 1993: 7,0	Fläkt ESP, gas-wasser		slak: 3,26 vliegas: 0,6 RGR-res.: 0,09	RDF en bedrijfsafval	uit bedrijf maart 1994
AVI Roosendaal 1978	2 x 4 t/h 1993: 16	hellend Brunn en Sorensen	14 MWth slijdroging	ESP slijdroging: natte wasser		slak: 3,8 vliegas: 0,4 schroot: 0,47	slijdroger draai-trommel	uit bedrijf 1998
VVI den Haag (GEB ZHW) 1967/74	3 x 12,5 t/h 1 x 15 t/h 1993: 289	hellend voorschuij von Roll	23/17	kalkinsputing vuurhaard, ESP				uit bedrijf dec. 1993
AVI-Noord Amsterdam 1969	4 x 17 t/h 1993: 10	hellend terugschuij Martin	41 MWe	kalkinjectie, ESP				uit bedrijf maart 1993



Een aantal AVI's moet nog worden gebouwd en een aantal installaties zal worden uitgebreid. Een opsomming van deze installaties is gegeven in Tabel 2, volgens [27].

Tabel 2. In Nederland geplande vóór 2000 nieuw te bouwen AVI's en hun voorgenomen verwerkingscapaciteit (kt/a) en aangevraagde uitbreidingscapaciteit bestaande AVI's (kt/a).

installatie, plaats	provincie	jaar	capaciteit
OLAF, Leeuwarden (gesloten in 1990)	Friesland	1994	65
GAVI-Wijster	Drenthe	1996	370
AVI-Twente, Boeldershoek	Overijssel	1997	230
HVC-Alkmaar	Noord-Holland	1995	385
AVI-Moerdijk	Noord-Brabant	1996	600
AVI-Z-O-Neder- land, Buggenum	Noord-Brabant	1998	600
AVR, Rozenburg (roosteroven "0")	Zuid-Holland	1995	190
AVIRA, Duiven uitbreiding	Gelderland	1996	165
ARN, Nijmegen uitbreiding	Gelderland	1996	165

## 2. PROCESBESCHRIJVING

### 2.1. Fracties van huishoudelijk afval en hun stookwaarde

Het primaire doel van afvalverbranding is het op milieuhygiënische wijze verantwoord verwerken van afval. Dat houdt reductie van het afvalvolume (tot 90%) in, waarbij de afvalstoffen ook in hygiënische zin onschadelijk gemaakt worden. Het gaat bijna altijd gepaard met terugwinning van energie en materialen (schroot, slakken, vlieggas).

De mogelijkheden voor verbranding van afvalstoffen worden bepaald door een aantal verbrandingstechnische en milieuhygiënische parameters. De voorwaarden waaronder afvalstoffen, zonder ondersteuning met hulpbrandstof kunnen worden verbrand, volgen uit de driehoek van Tanner (Fig.1).

De stookwaarde van afvalstoffen, die de hoeveelheid terugwinbare energie beïnvloedt, is afhankelijk van de samenstelling die onder andere seizoenafhankelijk is (betreft watergehalte).

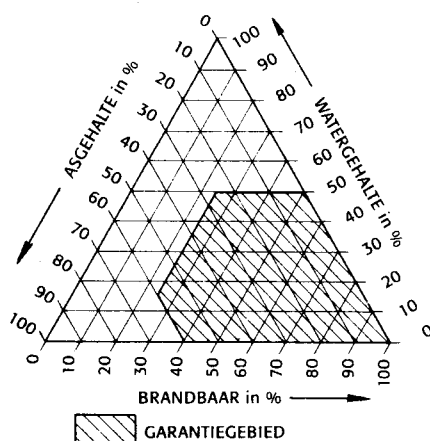


Fig. 1. Driehoek van Tanner.

De gemiddelde stookwaarden van afvalstoffen zijn als volgt (Handboek Kwaliteitsbeheersing bij Afvalverbranding [1]):

Tabel 3. Gemiddelde stookwaarden van afvalstoffen.

Type afval	Gemiddelde stookw. (MJ/kg)
GFT	4
Huishoudelijk afval	6 - 7
Grof afval	10
Bedrijfsafval	12
RDF (opgewerkte rest fractie)	12 - 14
Gemiddeld	8 - 9

Bij het ontwerpen van een verbrandingsinstallatie moet rekening gehouden worden met een zeer heterogene en lastig te definiëren samenstelling van huishoudelijk en bedrijfsafval. De stookwaarde van het afval, die wordt medebepaald door het gehalte aan brandbaar en onbrandbaar materiaal en het vochtgehalte, is van invloed op de benodigde hoeveelheid lucht. Stukgrootte en stukgrootteverdeling van het afval zijn eveneens medebepalende factoren. In de praktijk wordt een luchtvermaatfactor van 1,8 - 2 toegepast, maar om energetische redenen dient naar een lagere luchtvermaat gestreefd te worden, bijvoorbeeld 1,6 [8,10].

## 2.2. De opbouw van een afvalverbrandingsinstallatie

Een moderne verbrandingsinstallatie werkt in continu bedrijf en bestaat uit de volgende belangrijke onderdelen:

- afvalbunker met afvaldoseersysteem;
- oven met verbrandingsrooster;
- ketel met aangekoppelde turbine-generatorinstallatie;
- rookgasreinigingsinstallatie.

Een recente AVI (bouwjaar 1987) is in Figuur 2 afgebeeld (ARN - Nijmegen).

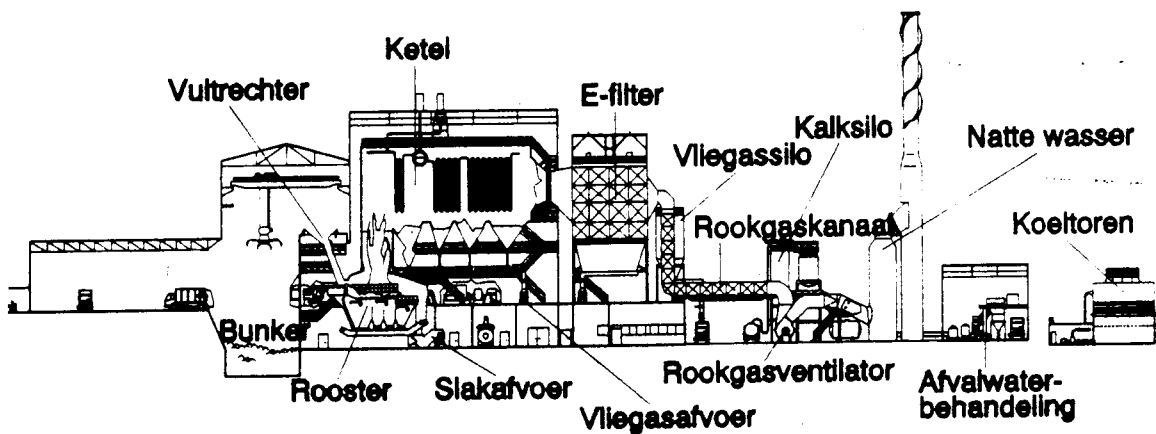


Fig. 2. Een doorsnee van de AVI-Nijmegen.

Een vereenvoudigd proces-schema in genormaliseerde symbolen is in Figuur 3 afgebeeld.

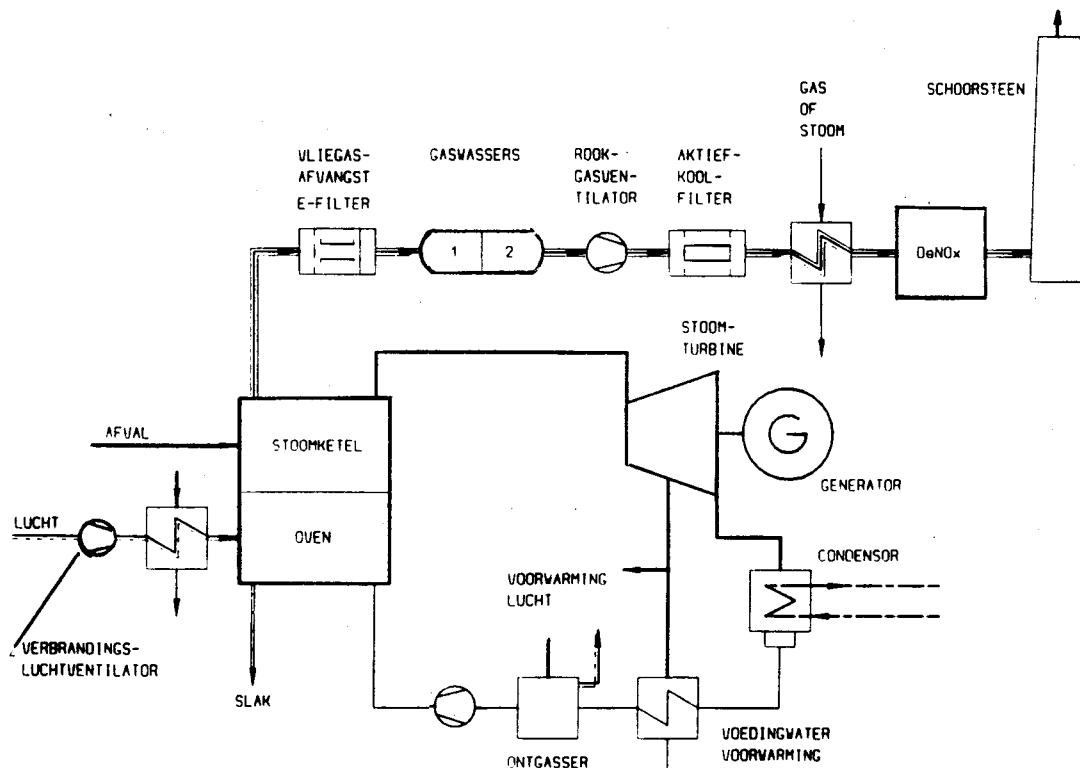


Fig. 3. Proces-schema van een AVI

### 2.2.1. De afvalbunker

Afvalstoffen worden meestal met wagens aangevoerd. Soms is ook aanvoer over water (Roteb, AVR) of per spoor. Alle aangeboden afvalstoffen worden bij de ingang gewogen (één weegbrug voor binnenkomend verkeer en één voor uitgaand verkeer). Via het voorrijbordes wordt het afval getransporteerd naar een diepe (soms 25 m) betonnen bunker. Boven de bunker rijdt een kraanbrug bestaande uit een horizontale balk met daarop een kar ("kat") met poliepgrijper. Door een kraanmachinist wordt het afval via een watergekoelde vulschacht en een doseersysteem op het bewegende rooster gebracht. De toevoersnelheid wordt doorgaans geregeld met een stookautomaat op een bepaalde stoomproductie. Voor een volledige en kwalitatieve verbranding moet het afval gehomogeniseerd worden bijvoorbeeld door stapeling (zie AVR-rapport [6]). Daarom mag de bunker niet te vol zijn. Een overschot aan afvalstoffen in de bunker kan het opereren met de kraan bemoeilijken. De bunker moet voorzien zijn van een sproei-installatie (tegen stof) en een brandblusser. Huisvuil van grote afmetingen (grof huisafval), drijfhout, grof- en plantsoenafval moet in een breker of met een speciale schaar apart verkleind worden.

### 2.2.2. Het rooster

Het type oven dat het meest aangewend wordt voor de verbranding van vaste afvalstoffen, is de **roosteroven**. De roosteroven (het prototype daarvan was een kolenrooster) is sinds het begin van deze eeuw gebruikt voor de verwerking van stedelijk afval.

Het verbrandingsrooster is het "hart" van elke installatie. Het rooster zorgt voor het transport van de afvalstoffen, hun vermenging tijdens de verbranding en het contact met de verbrandingslucht. De algemene, globale voorwaarden voor een AVI-rooster zijn [7] :

- warmtebelasting                    - 2,2 - 4,0 GJ/m<sup>2</sup>h
- gewichtsbelasting                - 260 - 480 kg/m<sup>2</sup>h
- verbrandingstemperatuur       - 900 - 1000 °C

De lengte van het rooster is medebepalend voor de kwaliteit van de uitbrand.

Belangrijke roostersystemen, die toegepast worden bij grootschalige afvalverbranding zijn achtereenvolgens: rollenrooster ("Walzenrost"), voorschuifrooster, terugschuifrooster en tegenloopoverschuifrooster. Doorgaans is het rooster hellend. Rollenroosters hebben een hellingshoek tot 30 graden, bij schuifroosters is dat wat minder. Vroeger zijn er zogenaamde valmuren toegepast (het afval keerde zich om tijdens het vallen), nu worden er meestal continu-verlopende roosters geproduceerd. De nieuwe AVI-Amsterdam heeft een vlak vierkant rooster (Widmer und Ernst).

Het rooster kan schematisch in drie zones verdeeld worden:

- een droogzone, waarin het afval met lucht vermengd wordt (door onderwind of zijwand ventilator); soms wordt de lucht voorverwarmd in een LUVVO - luchtvoorwarmer;
- een verbrandingszone, waarin de ontgassing van het afval plaatsvindt en gasvormige componenten verbranden met afgifte van warmte;
- een uitbrandzone, waarin de verbranding van de brandbare rest (grotendeels koolstof) plaatsvindt.

Het rooster is uit roosterstaven opgebouwd. De roosterstaven worden gekoeld met lucht, die ingeblazen wordt door speciale spleten en die ook als verbrandingslucht fungeert. Alleen bij rollenroosters komt nog extra afkoeling aan de onderzijde door het draaien. De snelheid van individuele rollen of segmenten kan individueel ingesteld worden ten behoeve van betere verbranding. Ook de verbrandingslucht wordt ook individueel gedistribueerd via aparte luchtkompartimenten onder het rooster.

### 2.2.3. De vuurhaard

Een optimale verbranding (hoog uitbrandpercentage, lage emissies) wordt door "3 t's" bepaald: temperatuur, tijd, turbulentie. De laatste wordt gecreëerd door de vormgeving van de vuurhaard (aanbrengen van een insnoering ("keel") of een baffle (een stromingsschot), en ook door het inblazen van secundaire verbrandingslucht onder een bepaalde hoek. De

secundaire luchtnozzles bevinden zich op een balk, die in de keel van de oven is bevestigd. Soms wordt nog tertiaire lucht ingeblazen voor een vollediger verbranding. De verhouding tussen de hoeveelheden primaire en secundaire lucht kan variëren afhankelijk van het ovenontwerp.

Er worden qua vorm drie typen vuurhaarden onderscheiden: gelijkstroom-, tegenstroom- en middenstroomhaard (Fig. 4). Dat wil zeggen, dat de rookgassen stromen in dezelfde richting als het afval zich op het rooster beweegt (1), in tegenovergestelde richting (2) of een combinatie van beide (3).

Ieder model heeft eigen voor- en nadelen. De optimale vuurhaardvorm moet met behulp van een stromingsonderzoek in een 3-D model gevonden worden.

Voor de dimensionering van de vuurhaard zijn de volgende factoren van belang:

- de capaciteit (eigenlijk doorzet) in ton afval per uur (tot 50 t/h);
- het stookwaardebereik; het product van de capaciteit en de maximale stookwaarde levert de zgn. maximale bruto warmtebelasting.
- de nagestreefde uitbrandkwaliteit (volgens de bij garantiemetingen gehanteerde norm moet een slakkenresidu maximaal 0,3 gew. % aan organische stoffen of 5% onverbrand materiaal bevatten (meestal vrije koolstof).

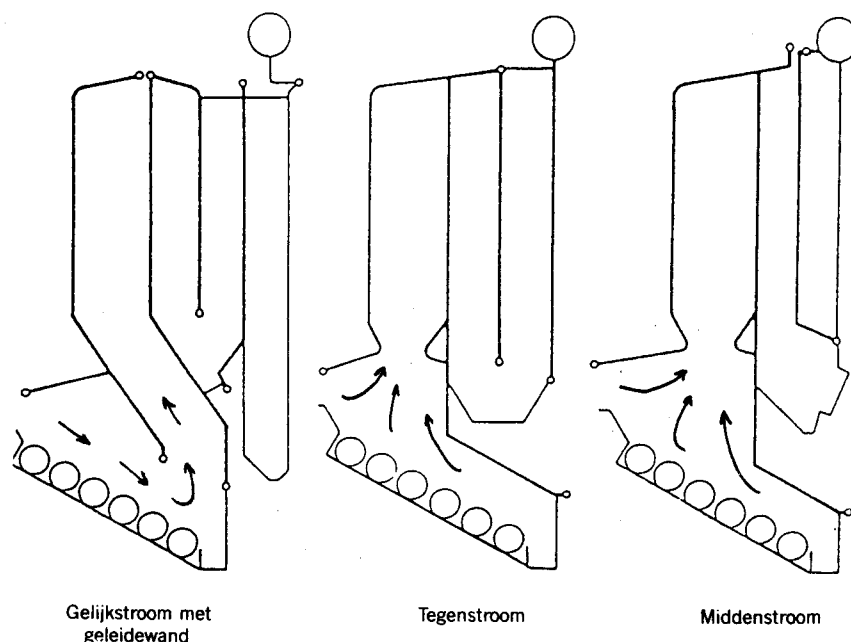


Fig. 3. Verschillende typen van vuurhaarden

#### **2.2.4. De ketel**

In het geval van warmtebenutting (die bij bijna alle AVI's in Nederland plaats vindt) gaan de rookgassen eerst door het stralingsgedeelte van een waterpijpketel met membraanwanden en dan naar het convectiegedeelte met pijpenbundels - "verwarmd oppervlak".

Er zijn heetwater- en stoomketels. Het laatste type bevat een oververhitter (OVO) en een drum. Hogedrukstoom gaat naar een turbinegeneratorinstallatie voor elektriciteitsopwekking.

#### **2.2.5. De rookgasreiniging**

In alle moderne AVI's moeten de rookgassen een rookgasreinigingsinstallatie passeren voordat ze via een zuigtrekventilator en de schoorsteen de AVI verlaten (zie 5). Bij moderne AVI's zijn de kosten van een rookgasreinigingsinstallatie vergelijkbaar met de kosten van het verbrandingsgedeelte. Om een voorbeeld te noemen: de totale investeringskosten van de RGR voor 7 lijnen inclusief de nieuwe schoorsteen bij de AVR bedragen ongeveer 400 mln gulden [23].

Slakken (ook soms bodemas genoemd) worden door een slakkenband afgevoerd (al of niet watergekoeld) en vervolgens ontijzerd.

De schoorsteen heeft een hoogte van 90-100 m. Om de witte pluim te voorkomen, worden de rookgassen van 60 tot 120 °C opgewarmd via warmtewisselaars. (Zie 5 - technische maatregelen ten behoeve van emissiebestrijding).



### 3. EMISSIEFACTOREN EN EMISSIES

#### 3.1. Emissies naar lucht

Na afvalverbranding ontstaat er een omvangrijke rookgasstroom (ca. 7,4 kg rookgas per kg afval [2]), die als hoofdcomponenten 10 - 18 vol. % waterdamp, 6 - 12 vol. % CO<sub>2</sub> en 7 - 14 vol. % zuurstof bevat. De rest is stikstof. Rookgassen van AVI's bevatten hiernaast verschillende verontreinigingen, waaronder vliegias (wordt opgevangen) en vliegstof (allerkleinste deeltjes die de schoorsteen ingaan), verzurende componenten als HCl, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, zware metalen en polychloordibenzodioxinen- en dibenzofuranen (PCDD en PCDF).

Emissies kunnen worden weergegeven per eenheid verbrand afval (emissiefactor) of als concentratie in milligram per normaal kubieke meter rookgas (betreft droge rookgassen bij temperatuur 273 K en druk 101,3 kPa). Als standaard wordt een zuurstofconcentratie van 11 vol. % in het rookgas aangenomen. Minder vaak wordt volumeconcentratie gebruikt in ppmv.

Stofconcentratie in de rookgassen voor het E-filter varieert per AVI en hangt onder andere van het type afval af (2 - 15 gram per kubieke meter rookgas).

Tabel 4 geeft een overzicht van emissiefactoren van aandachtstoffen in de gezuiverde rookgassen van afvalverbranding (basisjaren 1990 en 2000).

#### 3.2. Emissies naar water

Emissies naar water (indien de lozing toegestaan is) vinden plaats in de vorm van:

- afvalwater bij natte rookgasreiniging (per ton verbrand afval ontstaat na reiniging 0,2 - 0,6 m<sup>3</sup> afvalwater);
- spuiwater bij ketelwaterbereiding;
- percolaat van slakkenopslag;
- water van ontslakkers;
- spuiwater condensor koeling;
- schrobwater gebouwen.

Afhankelijk van de concrete situatie kan dit water na reiniging worden geloosd op oppervlaktewater of op de riolering. Bij ontbreken van een lozingsvergunning voor Afvalwaterbehandelingsinstallatie (ABI) moet het afvalwater dat neutralisatiezouten bevat, ingedampt worden (bijvoorbeeld bij AVI-Amsterdam).

### 3.3. Emissies naar bodem

Er worden bepaalde maatregelen genomen om emissies van schadelijke stoffen naar de bodem onder de AVI te voorkomen.

Volgens de voorschriften, moeten alle terreinen waar verkeer en activiteiten plaatsvinden vloeiend dicht verhard zijn. De buiten-slakkenopslag moet voorzien worden van een dubbele bodemafdichting. Verontreinigd regenwater afkomstig van de slakkenopslag moet behandeld worden op de ABI van de rookgasreinigingsinstallatie. Verlading van vlieggas en rookgasreinigingsresidu moet in een overdekte straat plaatsvinden.

### 3.4. Reststoffen

Tot de vaste reststoffen van AVI's behoren slakken (bodemas), vlieggas, schroot uit de slakken en residuen van rookgasreiniging. Afgewerkt waswater uit natte wassers wordt behandeld in ABI, waarbij zware metalen voor zo ver mogelijk als slib worden verwijderd. Ontwaterde slib van ABI en in een sproeidroger ingedampde zouten worden op eigen terrein onder IBC criteria (Isoleren, Beheersen, Controleren) of C-2 deponie opgeslagen. Katalysatorafval van selectieve katalytische reductie wordt eens per zoveel jaren vervangen. Afgewerkte aktiefkool uit een vast-bed filter (ca. 0.1 - 1 kg per ton afval) kan in principe verbrand worden op eigen rooster, maar geeft wel veel doorval. Daarom wordt het in een speciale oven verbrand (Roteb, AVR).

Per ton verbrand afval blijft ongeveer 225 - 280 kg slakken, 16 - 30 kg vlieggas en 23 - 30 kg schroot over. De hoeveelheid slakken hangt af van de samenstelling van het afval (hoge concentratie onbrandbaar materiaal geeft meer verbrandingsresten). De hoeveelheid vlieggas is sterk afhankelijk van het type installatie. Ook de hoeveelheid rookgasreinigingsresidu hangt sterk van het type RGR af: een droog- of semi-droog type geeft ongeveer 20 kg residu per ton afval en natte wassing na ontwatering filterkoek 2 - 8 kg [1,15].

Tabel 4. Gewogen gemiddelde emissiefactoren van aandachtscomponenten naar lucht in grammen per ton verbrand afval in 1990 en verwachte maximale emissiefactoren in het jaar 2000, uitgerekend op basis van BLA-grenswaarden [13]. PCDD/PCDF- emissie wordt in TEQ uitgedrukt.

Component	1990	2000
CO <sub>2</sub>	800 000	1 400 000
CO	790	125
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	34	25
NO <sub>x</sub>	1 700	250
SO <sub>2</sub>	1 100	200
Chloor	2 200	40
Fluor	13	2,5
Broom	14	2,5
Arseen	0,024	0,0012
Cadmium	0,23	0,014
Lood	5,2	0,28
Zink	12	0,60
Kwik	0,55	0,11
Antimoon	0,22	0,011
Chroom	0,18	0,009
Koper	0,56	0,028
Mangaan	0,15	0,0075
Vanadium	0,0050	0,00025
Telluur	0,00038	0,000019
Tin	0,091	0,0046
Cobalt	0,018	0,0009
Nikkel	0,45	0,023
Seleen	0,0065	0,00033
Beryllium	0,00067	0,000034
Cl-fenolen	0,022	0,0011
PCDD/F	0,00015	0,0000005

#### 4. ENERGIEFACTOREN EN ENERGIEGEBRUIK

Benutting van de verbrandingswarmte van het afval kan plaatsvinden met behulp van een water- of water/stoom kringloop. De rookgassen dienen zowiezo afgekoeld te worden, omdat het E-filter bij te hoge temperaturen niet kan functioneren. In de jaren '90 wordt naar een sterke toename van energiewinning uit afvalverbranding gestreefd (Nota Energiebesparing [9]). Binnen de elektriciteitsvoorzieningsbranche worden de afvalverbrandingsinstallaties als belangrijke zelfopwekkers aangemerkt (ook wel decentraal vermogen genoemd). Hoewel bij de gezamenlijke AVI's slechts 7% van het decentraal vermogen is opgesteld, hebben zij een aandeel van ruim 31% in de teruglevering van elektriciteit. De totale omvang van het opgesteld vermogen bij de AVI's in Nederland bedraagt 173,4 MW elektrisch vermogen en 178 MW thermisch vermogen [21]. Bruto elektriciteitsproductie per ton afval bedraagt ongeveer 350 kWh, waarvan 300 kWh wordt afgezet. Naast elektriciteitsopwekking wordt warmte benut voor stadsverwarming (AVIRA te Duiven). Warmtebenutting vindt ook plaats in de vorm van kassenverwarming (AVI Roosendaal), de productie van gedestilleerd water (AVR) en slibdroging (GEVUDO). In 1990 werd ongeveer 270 kWh per ton afval benut als warmte. Door de energiebenutting bij afvalverbranding wordt bespaard op de inzet van primaire brandstoffen. Hierdoor worden tevens de hiermee samenhangende emissies teruggedrongen. Na aftrek van de emissies door de AVI wordt per saldo de uitstoot van kooldioxyde en in mindere mate NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> beperkt [22]. De hoeveelheid door AVI's bespaarde fossiele energie is ongeveer 7,5 PJ in 1990. Het doel van de overheid is om een besparing van 37,5 PJ aan fossiele energie in het jaar 2000 te bereiken [10]. Rookgaskoeling zonder energiebenutting door middel van waterspuiting vindt alleen maar plaats bij twee installaties (VVI Alkmaar en 2e oven AVIRA). Binnen enkele jaren wordt de installatie in Alkmaar gesloten en de 2e oven van de AVIRA van een stoomketel voorzien.

Het eigen energiegebruik van een AVI zonder RGR (vooral pompen en ventilatoren) bedraagt ongeveer 3% van het totale opgewekte vermogen.

Het netto elektrisch rendement van een AVI bedraagt ongeveer 22% (om te vergelijken, het rendement van een kolengestookte centrale is rond de 40%). Dat komt door een grotere luchtvermaat, hogere rookgasuittredetemperatuur (gevaar van dauwpuntsonderschreiding), groter elektrisch eigen verbruik. Ook gematigde stoomcondities bij AVI's geven een minder hoog kringlooperendement van stoom-water kringloop. Warmteverliezen via slak bij een AVI zijn ook aanzienlijk (30% bij een AVI en 10% bij een elektriciteitscentrale).

## 5. TECHNISCHE MAATREGELEN VOOR EMISSIEBEPERKING EN ENERGIEBESPARING

### 5.1. Emissiebeperking

Vijftien jaar geleden nog achtte men het voldoende om de rookgassen van AVI's van stof te reinigen met behulp van een elektrostatisch filter (tot een niveau onder de  $150 \text{ mg/m}_0^3$ ). Alle Nederlandse AVI's moeten op termijn aan de emissienormen van de Richtlijn Verbranden'89 voldoen (die zijn inmiddels vastgelegd in BLA) - zie hoofdstuk 7. Op dit moment worden bij de meeste bestaande installaties nieuwe of aanvullende rookgasreinigingssystemen gebouwd. Nieuwe installaties (AVI Amsterdam, 1993) voldoen aan de emissie-eisen met de uitzondering van PCDD/F-emissie [29]. Aan de andere kant, retrofit-RGR-installaties bij de Roteb en de AVR kunnen de PCDD/F-emissies tot ruim onder de grenswaarde beperken.

Er bestaan diverse rookgasreinigingssystemen, op verschillende manieren geschakeld uit min of meer standaardelementen. Tot nu toe, met minder strenge emissie-eisen (RV'85), kon er met droge of semi-droge kalkinspuiting in de hete rookgassen aan de emissienormen voldaan worden.

Bij het droge systeem wordt een grote overmaat aan fijn gemalen kalk  $\text{CaO}$  of kalkhydraat  $\text{Ca(OH)}_2$  in een van de keteltrekken of in een speciale reaktor ingespoten en met rookgassen vermengd, waarna het residu met een E-filter of doekfilters wordt afgevangen. Een dergelijk systeem wordt momenteel op de binnenkort te sluiten VVI Alkmaar toegepast, waarmee een reductie van zoutzuurgas (gasvormig  $\text{HCl}$ ) met 50 à 80% bereikt kan worden. Deze techniek leidt echter niet altijd tot een gewenste resultaat: een optimaal stromingspatroon is nodig voor een goede menging. Bij sommige AVI's heeft kalkinspuiting een zeer gering rendement (10%  $\text{HCl}$ -reductie) getoond.

Bij het semi-droog systeem wordt kalkmelk ingespoten in een speciale reaktor en direct na het E-filter vermengd met rookgassen. De rookgassen worden daarmee gekoeld tot ongeveer  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Op dit moment kunnen deze systemen niet meer voldoen aan de nieuwe eisen, hetgeen aanvullende systemen voor sommige componenten noodzakelijk maakt.

Iedere verontreiniging die in emissienormen vermeld is, kan op een specifieke wijze bestreden worden.

#### CO (koolmonoxyde)

Koolmonoxyde ontstaat als een resultaat van onvolledige verbranding (plaatselijk tekort aan zuurstof wegens slechte vermenging of een te lage verbrandingstemperatuur wegens een te grote luchtvermaat). CO-vorming kan worden geminimaliseerd met een goed

ovenontwerp, een juiste verdeling van verbrandingslucht, vermindering van zgn. "valse lucht", die op onvoorspelbare plaatsen de oven binnenstroomt, enzovoort.

### **Stof, zware metalen**

De bestrijding van beide verloopt grotendeels gelijktijdig (uitgezonderd vluchtige metalen als lood, cadmium en in het bijzonder kwik, die in aanzienlijke hoeveelheden in de dampfase voorkomen). Voor stofafscheiding worden elektrostatische- (afgekort "E-filter" of ESP) en doekfilters gebruikt. Het rendement van een cycloon-filter is onvoldoende, maar hij kan als een voorreiniger gebruikt worden. Met een E-filter kan een stofconcentratie tot onder de  $50 \text{ mg/m}_0^3$  bereikt worden. Meerdere elektrostatische velden, achter elkaar geplaatst, verhogen het rendement.

Doekfilters hebben in de regel een hoger ontstoffingsrendement, maar het filtermateriaal kan soms een hoge temperatuur niet verdragen. Teflondoek en kwartswol kunnen soms uitkomst bieden.

### **Polychlooribenzodioxinen en dibenzofuranen (PCDD/PCDF)**

Door een relatief lange verblijftijd in het E-filter (enkele seconden), kunnen bij de heersende temperaturen (rond  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ) met vliegias als katalysator PCDD en PCDF ontstaan in de zogeheten de novo synthese. Om dat te voorkomen, probeert men de ontstoffing of bij veel hogere ( $400\text{-}500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) of bij lagere temperatuur (onder  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ) te realiseren. De beproefde methode van dioxinenbestrijding is aktiefkool- of cokesinspuiting in combinatie met een doekfilter of een vast-bed filter (zie **Akiefkool/cokes-filter**). Ook katalysator bij DeNO<sub>x</sub> SCR-installaties kan bijdrage leveren tot een volledige oxidatie van PCDD/F (de eerste katalysatorlaag vóór ammoniakinspuiting).

### **Zure emissies**

HCl, SO<sub>2</sub> en HF worden gevormd tijdens verbranding van o.a. PVC, andere kunststoffen, eiwitten en kunnen het best uitgewassen worden in een natte wasser (droge en semi-droge systemen hebben onvoldoende rendement). In principe kunnen al die componenten samen in één basische wasser uitgewassen worden. Om de afvalstromen gescheiden te houden, wordt voor HCl en HF een aparte zure wasser gebruikt waar ook de vluchtige zware metalen in op kunnen lossen.

Er bestaat een enorme diversiteit aan rookgaswassers: radiaalstroomwassers, venturiwassers, kolommen met vullichamen "egels" enz. Maar er zit min of meer dezelfde volgorde van handelingen in:

- de quench, waarin de rookgassen tot verzadigingstemperatuur gekoeld worden;
- zure wasser (pH = 1 - 2,5);
- via een druppelvanger om de rookgassen van het zure water te ontdoen naar een basische wasser (pH = 5 - 8);
- een druppelvanger.

Bij AVI-Amsterdam maakt een elektrodynamische venturi (EDV) deel uit van de RGR. Het werkingsprincipe is gebaseerd op drukfluctuaties na de versnelling in de venturi's (ongeveer 20 stuks). Drukfluctuaties veroorzaken condensatie van vloeistof op vaste deeltjes. In de keel van de venturi's bevindt zich een kathode met hoge spanning, waardoor de deeltjes negatief geladen raken. Onderin de venturi wordt een positief geladen waternevel ingespoten. Deze trekt de negatief geladen vaste deeltjes aan. De opgevangen deeltjes worden door centrifugaalkracht van de schone rookgassen afgescheiden.

### **Aktiefkool/cokes-filter**

Wordt toegepast voor eventuele afscheiding van resten van vluchtige zware metalen (Hg,Cd) en dioxinen. Er bestaan verschillende doseersystemen en reaktoren voor actiefkool (cokes). Uitgewerkte actiefkool wordt als chemisch afval beschouwd en liefst verbrand in een speciale oven (bij de ROTEB is een cycloon-brander voor dit doel geïnstalleerd).

### **DeNOx (SCR en SNCR)**

De RV'89 norm voor NOx - 70 mg/m<sub>0</sub><sup>3</sup> is gebaseerd op de prestaties van de "best available technique". De technische haalbaarheid van deze waarde is al lang in het buitenland bewezen (Oostenrijk, Zwitserland, Japan). Recent hebben er nieuwe ontwikkelingen in Nederland op het gebied van Selectieve Katalytische Reductie (SCR) en Selectieve Non-katalytische Reductie (SNCR) plaatsgevonden. Katalysatoren voor SCR zijn duurzamer geworden en raken minder snel vergiftigd. Ze kunnen bij een lagere temperatuur werken, wat de reactie energetisch voordelig maakt. Bij de AVR en ROTEB worden SCR-systemen geïnstalleerd, die bij 180 resp. 220 °C kunnen functioneren, waarbij de grenswaarde wordt gehaald. SNCR-techniek wordt momenteel bij AVI-Amsterdam en bij AVIRA getest. Ondanks enkele "groei-problemen" wordt de grenswaarde voor NOx gehaald [30].

## **5.2. Vermindering van afvalstoffen en hergebruik**

De vermindering van het volume van afvalstoffen is de hoofddoelstelling van vuilverbranding. De reductie van de hoeveelheid uiteindelijk te storten afval kan gerealiseerd worden door nuttige toepassing van verbrandingsreststoffen. Reststoffen van AVI's worden nu vaak hergebruikt. Slakken (bodemas) worden na zeven, breken en ontijzeren hergebruikt voor bijv. wegophoging, in waterbouw en in gebonden toepassing. Daarvoor zijn civiel-technische- en milieu-eisen ontworpen (CROW en IPO/VROM richtlijn van resp. 1988 en 1986) [1,14,15]. In verband met in werking treden van Bouwstoffenbesluit in 1997 moeten steeds hogere eisen gesteld worden aan uitloogkwaliteit van slakken. Versnelde veroude-

ring en geforceerde uitloging (uitwassing) behoort tot de mogelijkheden. Thermische behandeling voor slakken (sinteren of smelten) wordt in Nederland op dit moment niet toepasbaar geacht in verband met te hoge kosten. Verglazing van slakken wordt wel in Japan toegepast. Dit proces vergt ongeveer 25% van de uit het afval gewonnen energie [24].

De enige geaccepteerde vorm van hergebruik van vlieggas is toepassing als mengcomponent in asfaltmengsels (ongeveer 25% van de totale vlieggas hoeveelheid). In het buitenland wordt vlieggas in laagwaardig beton toegepast. Op dit moment wordt het niet toepasbare deel van vlieggas in Nederland op IBC-stortplaatsen gestort, soms met aanvullende maatregelen (waterdichte "big-bags").

Wat regelgeving betreft, vallen AVI-vlieggas en RGR-residuen onder het Besluit aanwijzing gevaarlijke stoffen (BAGA, 1994) [1,15]. Om het hergebruik van vlieggas te bevorderen, door uitloging te beperken, zijn verschillende immobilisatietechnieken (koude immobilisatie of smelten) ontwikkeld. Bovendien is vanaf 1996 het storten van ongebonden vlieggas niet meer toegestaan.

RGR-residuen vinden nog geen nuttige toepassingen in Nederland en worden in ongebonden vorm gestort. Indien lozing van ABI-water niet toegestaan is en het moet ingedampt worden, zijn de gekristalliseerde zouten in principe afzetbaar in chemische industrie. De mogelijkheden tot een nuttige toepassing worden momenteel onderzocht.

### 5.3. Vermindering van energiegebruik

De mogelijkheid voor warmtelevering wordt in sterke mate bepaald door de omgeving (stadsverwarming of industriële toepassingen). Voor elektrische energie is het hele jaar afzet mogelijk, terwijl warmtebenutting seizoenafhankelijk kan zijn. Verbetering van de energiebenutting is in principe te realiseren door het verbeteren van het rendement van de elektriciteitsopwekking (door technische maatregelen) en door het vergroten van de restwarmte-afzet. Het huidige dilemma in de bedrijfsvoering is, dat vanuit het standpunt van afvalverwerking, een AVI continu moet draaien, terwijl voor de optimale inpassing in het elektriciteitsnet het vermogen regelbaar moet zijn.

Voor elektriciteitsopwekking door middel van een turbinegenerator worden doorgaans de volgende stoomcondities toegepast: druk 40 bar en temperatuur 400 °C. Hogere stoomcondities (temperatuur en druk) verhogen het cyclusrendement, maar hogere temperatuur kan corrosieschade aan oververhitters veroorzaken. Verhoging van stoomcondities tot 520 °C en 80 bar leidt tot verhoging van het elektrisch rendement met 4 %-punt [11]. In sommige installaties in Duitsland, Zwitserland en de VS worden zulke hoge stoomparameters toegepast, wat gepaard gaat met een regelmatige vervanging van oververhitters.

Het ketelrendement kan verbeterd worden door verbrandingsluchtvoorverwarming met lagedrukstoom (een stoom-LUVO), verlaging van de luchtvermaat, rookgasrecirculatie en



verlaging van de rookgasuittrede-temperatuur. Het gevaar hierbij is, dat zogenaamde lage-temperatuurcorrosie op kan treden in de ECO (economiser) vanwege een dauwpuntsonderschijding, als de pijpwandtemperatuur te ver daalt.

Een combinatie van een AVI met een gasturbine-afgassenketel verhoogt het rendement, betrokken op een AVI, met ruim 5 %-punt. Door de koppeling van een gasturbine zijn de investeringen weliswaar aanzienlijk, maar ze zijn binnen 5 jaar terug te verdienen [11]. Een dergelijke installatie zal in Moerdijk gebouwd worden.

Rookgasreinigingsinstallaties bij AVI verbruiken doorgaans eigen opgewekte energie, wat varieert tussen 13 en 21% van het totaal opgewekte bruto vermogen [11].

#### **5.4. Kostenaspect**

RGR-systemen zijn zeer kostbaar. Het is vaak onmogelijk de kosten van aparte elementen van rookgasreinigingssysteem te bepalen, omdat de levering op een "turn key"-wijze gebeurt. Naar schatting, bedragen de investeringskosten van een complete RGR (2 wassers, actiefkoolfilter en deNOx) ongeveer 30 mln. gulden per lijn voor een middelgrote installatie (capaciteit 12 t/h, rookgasdebiet 60 000 m<sup>3</sup>/h). Moderne grootschalige systemen kosten nu honderden miljoenen gulden, terwijl het nog niet zo lang geleden tientallen miljoenen was. Het is bekend, dat "retrofitting" van bijv. deNOx-installatie 3 à 4 keer duurder uitkomt dan nieuwbouw. De plaatsing van RGR-installaties bij AVI's zal de afvalverwerkingskosten doen stijgen van 100 tot boven 200 gulden per ton afval.

## 6. ONDERZOEK NAAR SCHONE PROCESSEN

Verbrandingsonderzoek staat in Nederland in de belangstelling door behoefte aan:

- reductie luchtmissie, bijv. CO, dioxinen, NO<sub>x</sub>;
- optimalisatie van energiebenutting uit afval;
- verbeteren verbrandingscondities ("primaire maatregelen") t.b.v. betere procesbeheersing en lagere emissies;
- verbeteren kwaliteit reststoffen, zowel in het kader van nuttige toepassing als vermindering van het milieurisico's [12].

Momenteel lopen in Nederland verschillende onderzoeks- en demonstratieprojecten betreffende verbeteringen bij afvalverbranding. Ze worden vaak gerealiseerd in het kader van NOH (Nationale Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen) en EWAB (Energie uit Afval en Biomassa). Ook het Ministerie van VROM leidt rechtstreeks enkele projecten (bijv. Demonstratieprogramma DeNO<sub>x</sub> bij AVI's).

In het kader van het DeNO<sub>x</sub>-programma worden nieuw te bouwen SCR- en SNCR-systemen bij AVI's gedemonstreerd en wordt gekeken naar verbeterde katalysatoren (aktiefkool) of alternatieve reagentia (mestinjectie). Ook zogenaamde "primaire maatregelen" als aanpassing van vuurhaardgeometrie en rookgascirculatie verdienen hierbij de aandacht [30].

## 7. NORMSTELLING EN VERGUNNINGSSITUATIE

In 1989 werd in Nederland de Richtlijn Verbranden (RV'89) uitgevaardigd. Het is inmiddels door het Besluit Luchtemissies Afvalverbranding (BLA) van 7 januari 1993 vervangen [25]. De emissie-eisen betreffen niet alleen de vermelde grenswaarden, maar ook de manier en frequentie van emissiemetingen en eisen aan een goede verbranding. In de RV'89 worden, niet als vroeger, daggemiddelde waarden, maar uurgemiddelde waarden gehanteerd. Om een volledige verbranding en een lage CO-concentratie te garanderen, moeten de rookgassen minstens 2 seconden bij een temperatuur van minimaal 850 °C verblijven (na het laatste punt van luchtinspuiting).

Voor nieuw te bouwen installaties gelden de emissienormen vanaf het moment van inbedrijfsname; voor bestaande bedrijven trad de verscherping uiterlijk per 30 november 1993 in werking. Aan de NO<sub>x</sub>-norm (70 mg/m<sup>3</sup>) moeten bestaande installaties uiterlijk 31 december 1997 voldoen.

## 8. AFKORTINGEN

- AOO - Afval Overleg Orgaan
- AVI - Afvalverbrandingsinrichting
- ABI - Afvalwaterbehandelingsinstallatie
- ECO - Economiser
- ESP - Electrostatic Precipitator (E-filter)
- GFT - Groente-, Fruit-, Tuinafval
- IBC - Isoleren, Beheersen, Controleren (stort-criterium)
- LUVVO - Luchtvoorwarmer
- RDF - Refuse Derived Fuel
- RGR - Rookgasreinigingsinstallatie
- SCR - Selectieve Katalytische Reductie
- SNCR - Selectieve Niet-Katalytische Reductie
- VVAV - Vereniging van Afvalverwerkers
- VVI - Vuilverbrandingsinrichting (Alkmaar, den Haag)

## 9. LITERATUUR

1. Handboek Kwaliteitsbeheersing Afvalverbranding, Herziene uitgave in het kader van NOH, 1993.
2. B.G. Kreiter; Cursus Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek; Verbranding van afvalstoffen. RIVM-rapport nr. 738700003, 1987.
3. J.J. Vos, M.Schipper-Zablotskaja; Procesbeschrijvingen AVI, intern.
4. Notitie inzake afvalpreventie en hergebruik van afvalstoffen; 's-Gravenhage: Ministerie van VROM (1988).
5. Richtlijn Verbranden; Ministerie van VROM, augustus 1989.  
Richtlijn Verbranden - wijziging in de paragrafen 4 en 8; Ministerie van VROM, mei 1991.
6. W. Hesseling; CO-onderzoek AVR, eindrapport. NOH-rapport nr. 9272.
7. A.I. Urban; Vergleichende Beurteilung der verschiedenen Rosttypen. VDI-Bildungswerk Seminar, Düsseldorf, maart 1991.
8. Vergelijkende verbrandingsproeven van lange duur met verschillende fracties uit huishoudelijk afval, Deel I en II. KEMA-rapport in het kader van het NOH nr. 9123, 1991.
9. Tweede Kamer der Staten Generaal, Vergaderjaar 1989 - 1990. Nota Energiebesparing, 21570 nrs. 1-2.
10. J.C. Wardenaar, A.E. Pfeiffer, P.J. Ploumen; Optimalisatie energiebenutting bij Afvalverbranding; deelstudie A. KEMA-rapport nr. 90-883 A in het kader van het NOH-programma.
11. J.W.M. Verdijk, A.E. Pfeiffer; Analyse van het energieverbruik van rookgasreinigingssystemen bij afvalverbrandingsinstallaties. KEMA-rapport nr. 91-1668 in het kader van EWAB-programma.
12. L. v. Ruiten in samenwerking met VVAV; Grootschalige verbranding van afvalstoffen. Overzicht van onderzoek- en demonstratieprojecten, juni 1992. NOH-rapport 9235.

13. A.J.C.M. Matthijsen, C.B. Scheffer; Emissiefactoren bij afvalverbranding. TNO/RIVM rapport nr. 739200001.
14. I.H. Anthonissen, P.J. Meijer; Informatiedocument AVI-Reststoffen. (Bijstelling van infodocument "Slak en vlieggas van AVI's"); RIVM-rapport nr. 738902025, dec. 1993.
15. J.G.P. Born; Reststoffen van afvalverbranding. Kwaliteiten en kwantiteiten. Vereniging van Afvalverwerkers, rapport VVAV93029TR.R, 1993.
16. J.J. Vos; Notitie t.b.v. MTV-3 - studies. 13 april 1992, intern.
17. Benutting van vrijkomende energie bij afvalverwerking. Rapport van de werkgroep Energie van de VEABRIN, juni 1989.
18. Tienjarenprogramma afval 1992-2002. Rapport van het Afval Overleg Orgaan (AOO 92-12), augustus 1992.
19. D. Nagelhout, Z.I. van Lohuizen; Afvalverwijdering 1990-2010. Achtergronddocument bij de Nationale Milieuverkenning 2. RIVM rapport nr. 736201010, januari 1992.
20. Van Richtlijn Verbranden '89 naar technisch ontwerp. Symposium AVI-West, september 1992, Amsterdam.
21. A.E. Pfeiffer; Afvalverbranding: een energiebron van betekenis. Gemeentereiniging & Afvalmanagement, juni 1992, p. 242.
22. Handboek Acceptatie Afvalstoffen, uitgave VVAV, 1994.
23. Bouwbuletin AVR; nr. 1, maart 1992, 3e jaargang.
24. N.M. Patel, D. Edgcumbe; Some Observations on MSW Management in Japan. Notitie t.b.v. ETSU, UK, sept. 1992.
25. Besluit Luchtemissies Afvalverbranding. Staatsblad 1993 (36).
26. H. Bartelds; Nieuwe technologie voor afvalverbranding. Lucht, nr. 4, dec. 1992.
27. H. Huisman, W.F. Blom, O.P. Geurts; Afvalverwerking in Nederland. Kalenderjaar 1992. Werkgroep afvalregistratie sept. 1993. RIVM/AOO/VVAV (RIVM rapport nr. 776201006).

28. J.C. Wardenaar, A.E. Pfeiffer; Onderzoek roosters verbrandingsinstallaties. KEMA-rapport 1994 (93566-KET/PEC 93-2269).

29. B. Stam; AVI-Amsterdam haalt nog steeds dioxinenorm niet. Technisch Weekblad 29/6/94.

30. Rapportage NOVEM-activiteiten met betrekking tot het programmabeheer NOx-verwijdering bij afvalverbranding, 1993.