

TNO-rapport

**Een inventariserende studie
naar de procesregeling bij
afvalverbrandingsinstallaties**

Referentienummer 94-409
Dossiernummer 112326-25142
Datum november 1994
NP

Auteurs
Ir. L.B.M. van Kessel
Ing. E.R. Smit

Opdrachtgever
Novem B.V.
t.a.v. Ir. K.J. Braber
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Samenvatting

Binnen TNO-ME vindt uitvoering plaats van een grootschalig ParapluPlan Procesoptimalisatie AVI's (PPP-AVI's). Een onderdeel van dit programma is de optimalisatie van de procesregeling bij AVI's. In opdracht van NOVEM is dit onderdeel gestart met een inventariserende studie naar de procesregeling bij AVI's. Het doel hiervan is de regelstructuren van de Nederlandse AVI's in kaart te brengen en af te zetten tegen de ontwikkelingen zoals die in het buitenland plaatsvinden. Daartoe is deze studie opgebouwd uit drie gedeeltes:

- het samenvatten van de huidige regelstructuren in de Nederlandse AVI's;
- het beschrijven van de regelsystemen zoals de leveranciers ze op de markt brengen en
- het evalueren van moderne regelsystemen door middel van benadering van AVI's in het buitenland die hiermee ervaring hebben opgedaan.

In het algemeen kan gesteld worden dat de in Nederland in praktijk toegepaste regelingen minder modern zijn dan de regelingen die de leveranciers aanbieden. Welke moderne regelsystemen toegepast kunnen worden in Nederlandse AVI's is sterk afhankelijk per AVI. Met de resultaten van deze studie kunnen, eventueel met resultaten van het vervolgproject 'ontwikkelen dynamisch procesmodel AVI', aanbevelingen gedaan worden om bestaande AVI's verder te optimaliseren.

Het merendeel van de operators in de Nederlandse AVI's is tevreden over de mogelijkheden die de stookautomaat biedt. De algemene mening is dat minimaal twee regelparameters noodzakelijk zijn voor een goede procesregeling. AVIRA en AVR hebben een eigen regelsysteem geïmplementeerd, terwijl de andere AVI's het door de leverancier voorgestelde regelsysteem in bedrijf hebben. GEVUDO, AVIRA en AVR willen op korte termijn de regelsystemen verder optimaliseren.

De leveranciers van afvalverbrandingsinstallaties richten zich bij het optimaliseren van hun verbrandingsregeling op de kwaliteit van de slakken, de rookgasemissies en de stoomproductie. Het blijkt dat de kwaliteit van de slakken voornamelijk wordt bepaald door het al dan niet constant houden van de plaats van het vuur. De firma's Martin en Steinmüller trachten dit te bereiken door het sturen van de primaire lucht per zone op basis van de oppervlaktetemperatuur van het afval. Deze temperatuur wordt met behulp van een infraroodcamera bepaald. Babcock, EVT en Noell bewaken de uitbrand met behulp van pyrodetectors. Pyrodetectors hebben het voordeel dat ze geleverd worden door onafhankelijke leveranciers en dus voor ieder type AVI geschikt zijn. Infraroodcamera's worden, voor zover bekend, alleen geleverd door de firma's Martin en Steinmüller. Martin levert dit systeem alleen maar aan AVI's met een Martinrooster.

De ervaringen van de buitenlandse AVI's met moderne regelsystemen zijn over het algemeen positief. Echter, de exacte meerwaarde van pyrodetectors en infraroodcamera's in de regeling is niet zonder meer aan te geven. Dit ook gezien de regeling van de AVI te Emmenspit die zonder pyrodetectors goede resultaten behaalt. De AVI Essen-Karnap benadrukt dat pyrodetectors niet noodzakelijk zijn voor een goede uitbrand, maar een nuttig hulpmiddel. Pyrodetectors kunnen ook ingezet worden ter bepaling van bijvoorbeeld de temperatuur van de vuurhaard. Het voordeel van pyrodetectors boven thermokoppels is dat ze een kleinere responsietijd hebben en dat ze storingsongevoeliger zijn. De AVI te Oftringen heeft reeds twee jaar ervaring met

Op L. Blum

vrijwel storingvrij werkende pyrodetectoren. Aangezien de meeste AVI's problemen ondervinden bij het bepalen van de vuurhaardtemperatuur verdient het aanbeveling om pyrodetectoren te testen in een Nederlandse AVI, bijvoorbeeld in de vorm van een demonstratieproject. Tevens kan dan de meerwaarde van het gebruik van pyrodetectoren in de regeling onderzocht worden.

De steeds complexer wordende rookgasreinigingsinstallaties hebben als nadeel dat fluctuaties in het rookgasdebiet een negatieve invloed hebben op de performance van de rookgasreiniging. Slechts enkele leveranciers (Von Roll, Noell en Steinmüller) leveren een regeling die een constant rookgasdebiet bewerkstelligt. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn om de huidige regelingen, die geen constant rookgasdebiet waarborgen, zodanig aan te passen dat dit wel mogelijk is.

In grote lijn zijn slechts twee soorten verbrandingsregelingen op de markt. De één stuurt de afvaltoevoer op basis van de stoomproductie en de luchttoevoer met behulp van de zuurstofconcentratie. De ander werkt precies tegengesteld: afvaltoevoer met behulp van de zuurstofconcentratie en de luchttoevoer via de stoomproductie.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
1	Inleiding	7
2	Bedrijfservaringen	9
2.1	ARN.....	9
2.2	AVI-West.....	15
2.3	AVIRA	20
2.4	AVR	24
2.5	GEVUDO	31
2.6	ROTEB	38
2.7	Samenvatting	41
3	Geavanceerde regelsystemen	45
3.1	Von Roll	45
3.2	Lentjes-Kablitz.....	47
3.3	Noell	49
3.4	Babcock.....	51
3.5	W+E	52
3.6	Martin	52
3.7	Steinmüller	54
3.8	EVT	55
3.9	Conclusies	58
4	Bedrijfsbezoeken	59
4.1	Babcock.....	59
4.2	Noell	61
4.3	Von Roll	63
4.4	Martin	65
4.5	W+E	66
4.6	Conclusies	67
5	Conclusies en aanbevelingen	71
6	Referenties	75
7	Verantwoording	77

<i>Bijlage I</i>	<i>Enquêteformulier AVT's</i>
<i>Bijlage II</i>	<i>Overzicht resultaten enquête</i>
<i>Bijlage III</i>	<i>ParaphuPlan Procesoptimalisatie AVT's</i>

1 Inleiding

Bij TNO-ME is sinds enige jaren een veelomvattend onderzoekprogramma voor de procesoptimalisatie van AVI's in uitvoering. De doelstelling van dit onderzoek is om via procesgeïntegreerde maatregelen tot optimalisatie van het afvalverbrandingsproces te komen. Deze aanpak is ingegeven door het feit dat de eisen die aan moderne AVI's gesteld worden steeds zwaarder worden. Als gevolg hiervan wordt veel aandacht besteed aan het verbeteren en ontwikkelen van reinigingssystemen voor de rookgassen en het opwerken van reststoffen. Een meer principiële oplossing is echter het invoeren van procesgeïntegreerde maatregelen.

Een mogelijke maatregel is het verbeteren van het verbrandingsproces in de vuurhaard van een AVI. Door het vuurhaardontwerp te verbeteren, de procescondities en de procesregeling te optimaliseren, kan het ontstaan van schadelijke stoffen worden beperkt en kunnen de kosten voor de rookgasreiniging en opwerken van de reststof-fenkwaliteit worden verminderd.

In het kader bovenstaande heeft TNO-ME een onderzoeksplan opgesteld waarin diverse aspecten van de afvalverbranding bestudeerd worden zoals onder andere:

- Vaststellen van optimale procescondities in relatie tot de afvalsamenstelling;
- Optimaliseren vuurhaardgeometrie;
- Optimalisatie procesregeling van AVI's;
- Bepalen van de calorische waarde met behulp van een macro-calorimeter.

Deze verschillende onderzoeksprojecten zijn ondergebracht in het onderzoekprogramma ParapluPlan Procesoptimalisatie AVI's (PPP-AVI's), zie bijlage III. In opdracht van NOVEM en het ministerie van VROM wordt een gedeelte van dit onderzoekprogramma uitgevoerd. Het onderliggende rapport heeft betrekking op fase 3.1 uit het onderdeel 'Optimalisatie procesregeling AVI's'.

De noodzaak voor een optimaal regelsysteem voor een AVI is gelegen in het feit dat het hier een verbrandingsinstallatie betreft met een brandstof waarvan de samenstelling onvoldoende bekend is en bovendien sterk fluctueert met de tijd. Een optimaal regelsysteem moet leiden tot een regelmatig verlopend proces. Dit zal tot resultaat hebben:

- een constante stoomproductie, resulterend in hogere baten uit de elektriciteitslevering aan het net;
- een constante afvaltoevoer, waardoor de gemiddelde doorzet van een installatie verhoogd wordt;
- lagere emissies (van bijvoorbeeld CO, NO_x en dioxinen);
- een constante procesvoering, resulterend in een minder extreme belasting van bijvoorbeeld de materialen, waardoor de beschikbaarheid van een installatie toeneemt.

De resultaten van de eerste fase van het onderdeel 'Optimalisatie procesregeling AVI's' worden in dit rapport gepresenteerd. Deze fase bestaat uit een inventarisatie en wordt vervolgd door een tweede fase dat als doel heeft het ontwikkelen van een dynamisch procesmodel van een AVI. Met dit te ontwikkelen model is het mogelijk per AVI de huidige regelstructuren te testen en eventueel te optimaliseren.

Gedetailleerde informatie over de momenteel toegepaste regelconcepten en de ervaringen daarmee bij de verschillende AVI's in Nederland, is op dit moment niet centraal beschikbaar. Deze eerste fase van het onderzoek had als doel om deze informatie te verzamelen om inzicht te verkrijgen in the-state-of-the-art in Nederland. Tevens werd het wenselijk geacht om de verschillende ideeën over toekomstige regelconcepten/stookautomaten die bij verschillende AVI-beheerders leven, te inventariseren. Globaal kan worden gesteld dat de AVI's in Nederland in tegenstelling tot AVI's in het buitenland, nog niet de meest geavanceerde regelsystemen geïmplementeerd hebben. De meeste AVI's in Nederland regelen op de stoomproductie. De zuurstofconcentratie wordt tegenwoordig steeds vaker in de regeling opgenomen. In het buitenland zijn reeds enige tijd geavanceerdere systemen op de markt en reeds beproefd bij een aantal AVI's. Daarom zijn in deze studie ook enkele buitenlandse AVI's betrokken.

De inventarisatie is uitgevoerd met behulp van bedrijfsbezoeken en een enquête. Alle bestaande Nederlandse AVI's en de in de zeer nabije toekomst in bedrijf te nemen AVI's zijn benaderd met behulp van een enquête. Deze enquête bevat vragen omtrent algemene zaken en specifieke vragen over de regeling. Hierin kunnen de verschillende AVI's hun wensen en eisen kenbaar maken ten aanzien van de regeling van een AVI. Deze enquête is vervolgd met een bezoek aan de desbetreffende AVI, waarna tevens enkele dagen met de operators is meegelopen om problemen, wensen en eisen te achterhalen.

De samenvatting van de resultaten van de enquête en de bedrijfsbezoeken worden in hoofdstuk 2 per AVI uitgewerkt. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van de regelsystemen zoals die door de grote AVI-leveranciers op de markt gebracht worden. Hoofdstuk 4 bevat een samenvatting van de bezoeken aan de buitenlandse AVI's waar het accent voornamelijk lag op de ervaringen met geavanceerde regelsystemen. Hoofdstuk 5 bevat conclusies en aanbevelingen.

2 Bedrijfservaringen

Zoals reeds gemeld in de inleiding is de inventarisatie uitgevoerd door middel van een enquête en een bezoek aan de desbetreffende AVI gedurende enkele dagen. De complete enquête is opgenomen in bijlage-I. Van de huidige bestaande AVI's heeft alleen AVI-Roosendaal niet meegewerkt aan het onderzoek, omdat men ten tijde van dit onderzoek midden in een aanpassing van de installatie zat. Onder druk van de vergunningverlener moest de installatie snel worden aangepast. Door de tijdsdruk had men weinig tijd voor medewerking aan het onderzoek. Daarom heeft AVI-Roosendaal alleen de enquête ingevuld.

De volgende reeds in aanbouw zijnde installaties zijn benaderd voor het invullen van de enquête: AVI-Moerdijk, GAVI-Wijster en AVI-Alkmaar. AVI-Twente is ook benaderd, maar deze bevond zich nog in een te vroeg stadium om mee te werken met de enquête. Aan het einde van dit onderzoek is bekend geworden dat het verbrandingsrooster van AVI-Twente geleverd zal worden door de firma Martin.

De resultaten van de enquête zijn gedeeltelijk in de verslaggeving van de AVI's verwerkt. Alleen van de AVI's waar meegelopen is met de wacht zijn verslagen gemaakt. De meer concrete waarden die uit de enquête volgen zijn uitgewerkt in 3 tabellen waarin ook de nieuwe AVI's verwerkt zijn. Deze tabellen zijn opgenomen in Bijlage-II. De verslagen van de AVI's zijn voor commentaar voorgelegd aan de desbetreffende AVI's.

In het restant van dit hoofdstuk zullen achtereenvolgend de volgende AVI's aan bod komen: ARN, AVI-West, AVIRA, AVR, GEVUDO en tenslotte ROTEB. Per AVI zullen iedere keer drie hoofdpunten naar voren komen: procesbeschrijving, meet- en regelconcept en bedrijfservaringen. In de laatste paragraaf zullen de verschillende regelsystemen in tabelvorm gepresenteerd worden waarna alles zal worden samengevat. Verdere conclusies en aanbevelingen zullen in hoofdstuk 5 aan bod komen nadat eerst in hoofdstuk 3 en 4 aanvullende informatie over de regelsystemen van de verschillende leveranciers besproken is.

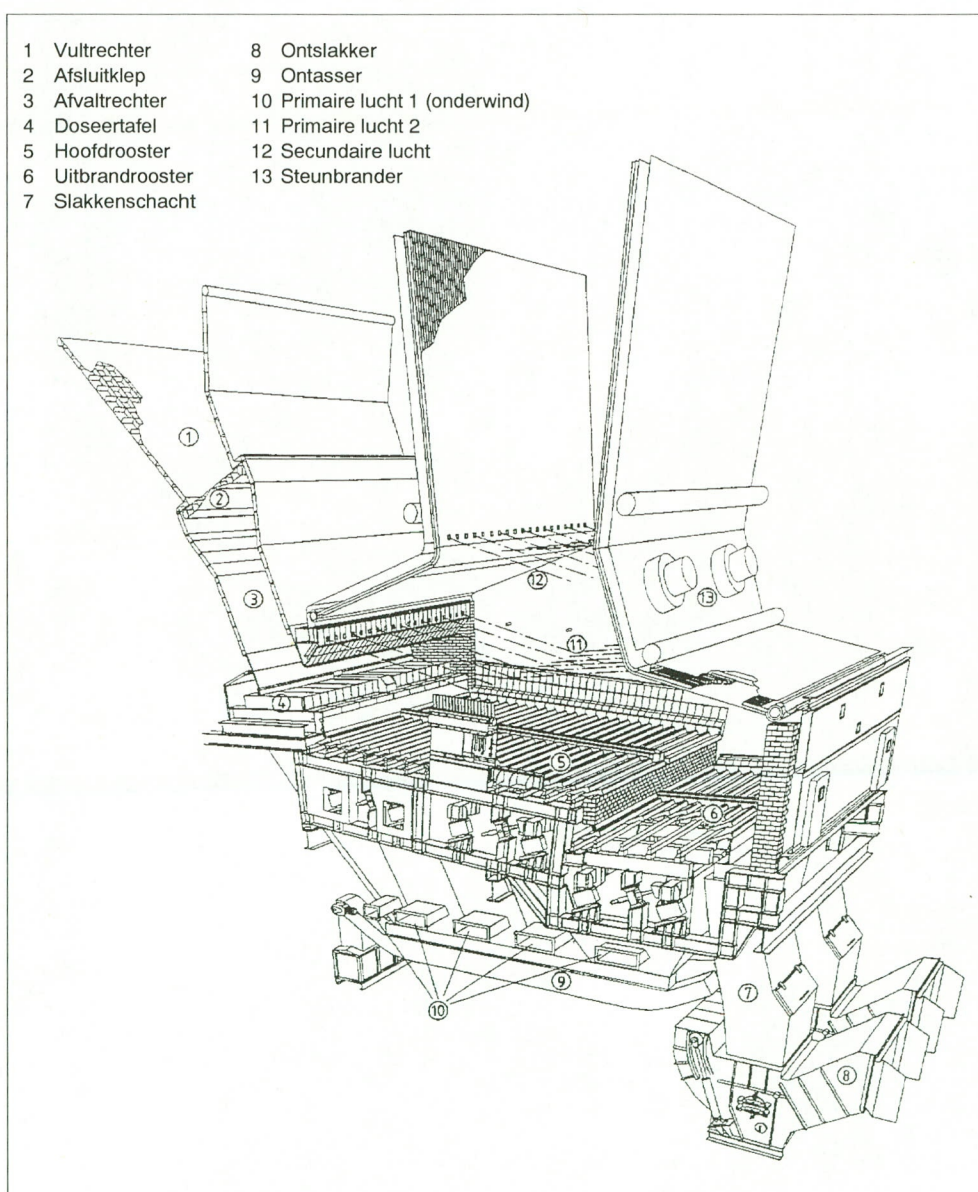
Er dient hier nadrukkelijk vermeld te worden dat het niet in de bedoeling ligt waardeoordelen te geven. Getracht is een zo objectief mogelijke beschrijving/vergelijking van de verschillende AVI's te geven op basis van de verzamelde informatie. Op basis van deze informatie mag de lezer zijn eigen conclusies trekken.

2.1 ARN

Procesbeschrijving

De afvalverwerkingsinstallatie van de ARN bestaat uit één afvalscheidingsinstallatie en één thermische verwerkingsinstallatie. Per jaar kan met deze installatie in totaal 115.000 ton afval worden verwerkt. De verwerkingscapaciteit van de thermische installatie bedraagt circa 9 ton RDF (Refuse Derived Fuel) per uur. Dit betekent dat bij een geschat aantal bedrijfsuren van 8000 uur per jaar circa 72.000 ton RDF kan worden verbrand. Eind 1994 wordt een tweede verbrandingslijn in bedrijf genomen, voorzien van een uitgebreide rookgasreinigingsinstallatie. De huidige lijn zal ook op de nieuwe rookgasreiniging worden aangesloten.

Het afval wordt voorafgaande aan verbranding in een scheidingsinstallatie voorbewerkt. Deze voorbewerking bestaat uit het afscheiden van een ballistische fractie, een inerte fractie en een organische fractie. Na afscheiding van deze fractie wordt het afval verder verkleind. Vanuit deze installatie wordt het aldus verkregen RDF via een opslag in een bunker verbrand in de oven, die volgens het middenstroomprincipe is gebouwd. Het RDF wordt via een vultrechter gedoseerd op een 3-traps horizontaal voorschuifrooster van Noell/K+K (figuur 2-1). De verbrandingsluchttoevoer bestaat uit twee gescheiden systemen. Met één ventilator wordt zowel primaire als platenlucht toegevoerd. Het totale debiet hiervan wordt met één klep geregeld. Met ander woorden, een gewenste verandering in de hoeveelheid primaire lucht heeft altijd invloed op de hoeveelheid platenlucht. Met een tweede ventilator wordt de secundaire lucht aangezogen.



Figuur 2-1 Schematische weergave Noell rooster [1]

Het afval wordt op het rooster vergast met een ondermaat aan primaire lucht. Deze primaire lucht wordt via 5 onderwindzones aan de oven toegevoerd. De ontstane gasen worden vervolgens met behulp van platenlucht en secundaire lucht verbrand. Bij de ARN (in tegenstelling tot andere AVI's) heeft de platenlucht dus naast koeling van de zijwanden tevens een functie in het verbrandingsproces.

Uitbrand en afkoeling van de verbrandingsgassen vindt plaats in een stoomketel met een capaciteit van 41 ton stoom per uur. (De stoomdruk en temperatuur bedragen respectievelijk 40 bar en 400 °C). De rookgassen worden vervolgens in een elektrofilter en een natte wasser gereinigd alvorens ze via een schoorsteen worden geëmitteerd.

Het doel van de ARN is in de eerste plaats zoveel mogelijk RDF verbranden. In de toekomst verwacht de ARN dat deze prioriteit zal verschuiven naar een zo goed mogelijke uitbrand van de slakken. Dit in verband met op handen zijnde wijzigingen in regelgeving van de overheid ten aanzien van het gebruik van slakken als bouw materiaal. Als nevendoelen streeft de ARN naar een zo lang mogelijke levensduur van de installatie en een minimalisering van de emissies. Om deze doelen te kunnen realiseren past de ARN een regelconcept toe dat toelaat dat er zoveel mogelijk afvaldoorzet is bij een zo constant mogelijke stoomproductie.

Meet- en regelconcept

Ten behoeve van de regeling van het verbrandingsproces worden in de installatie de onderstaande parameters gemeten:

- vuurhaardtemperatuur;
- stoomproductie;
- primair luchtdebiet;
- secundair luchtdebiet;
- platen luchtdebiet;
- afvaltoevoer;
- temperatuur achterwand;
- onderdruk in vuurhaard;
- O₂-gehalte na de ketel;
- CO-gehalte na de ketel.

De ARN heeft de beschikking over een regeling (figuur 2-2) waarbij de stoomproductie bepalend is voor de automatische instelling van de setpoints van een aantal stuurvariabelen. Deze stuurvariabelen zijn:

- afvaltoevoersnelheid;
- snelheid van de afzonderlijke roosters;
- primaire luchtdebiet.

Door combinatie van de handmatig ingestelde gewenste stoomproductie, de werkelijke stoomproductie en het door de operator ingestelde regelbereik van de stuurvariabelen worden de genoemde setpoints voor de stuurvariabelen door de stookautomaat berekend. De operator zal het bereik van de stuurvariabelen gedurende enkele malen per wacht veranderen, afhankelijk van de verbrandingscondities (hoog of laag calorisch afval) en de O₂-concentratie na de ketel. Daarbij wordt door de operators met name het regelbereik van de afvaltoevoer aangepast. De stookauto-

maat grijpt bij de afvaltoevoer enkel in op de slagsnelheid van de toevoerschuij. De slaglenge van de toevoerschuij is altijd op de maximale waarde ingesteld.

De totale hoeveelheid verbrandingslucht (primaire, secundaire en platenlucht) wordt bepaald aan de hand van het met de hand ingestelde setpoint voor de stoomproduktie en het door de operator ingestelde regelbereik van de verbrandingslucht. De werkelijke stoomproduktie speelt hierbij geen rol. Ter bepaling van het regelbereik van de primaire en secundaire lucht gebruikt de operator de gemeten O_2 -concentratie na de ketel. Bij de ARN bestaan plannen om de gemeten O_2 -concentratie te integreren in de automatische regeling. Bij de nieuwe lijn is dit reeds in het regelconcept aanwezig.

Additionele regelingen/handmatig ingrijpen

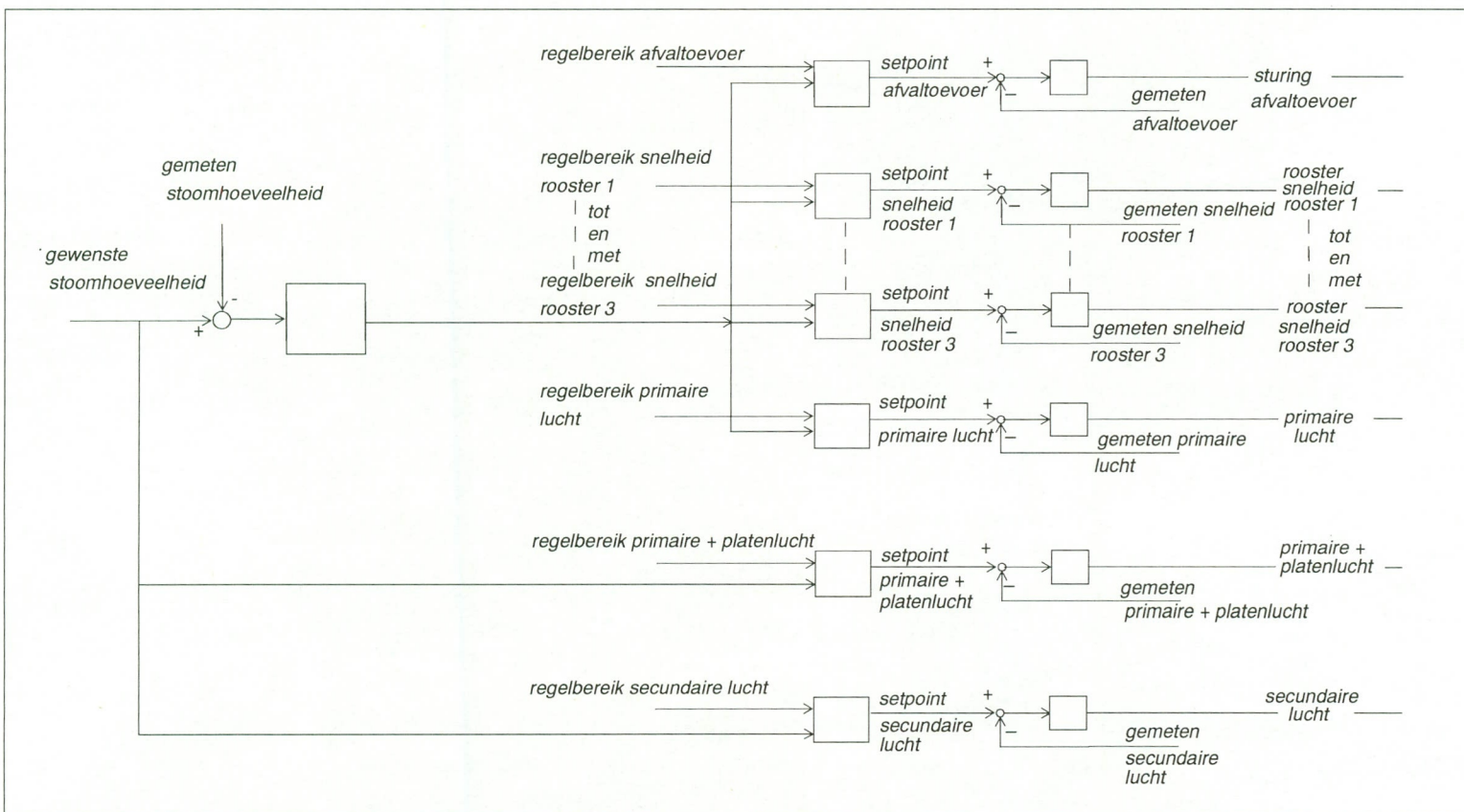
Naast bovengenoemde regeling wordt nog een aantal regelingen dan wel beveiligingen toegepast om het verbrandingsproces te sturen. Tevens is het de operator mogelijk handmatig op het verbrandingsproces in te grijpen. Hierbij wordt met name gebruik gemaakt van de onderstaande parameters:

- bepaling vlammenlag ten behoeve van verdeling secundaire lucht;
- temperatuurmeting roosterstaven;
- vuurhaardtemperatuurmeting;
- hoeveelheid afval op het rooster via camerabewaking en drukval over afvallaag.

Door middel van een pyrodetector wordt de hoogte van de vlammen bepaald (vlammenslag). Te grote vlammenlag zou beschadigingen aan de ketelpijpen kunnen veroorzaken en dient dus te worden voorkomen. Bij constatering van een te grote vlammenlag verandert de operator de verdeling van de secundaire lucht over de twee lichtbalken, zodanig dat de vlammen van de vuurhaardwand worden afgeblazen. Indien deze verandering niet het gewenste effect sorteert, zal de operator handmatig het primaire luchtdebiet en het setpoint voor de stoomproduktie verlagen.

De ARN meet de roosterstaafteperatuur door middel van infraroodmetingen aan de onderkant van de roosterstaven. De roosterstaafteperatuur is in de bedrijfsvoering van de ARN een belangrijke parameter geworden, vanwege de toegenomen calorische waarde van het afval. Hierdoor stijgt de temperatuur van het rooster regelmatig tot meer dan 250 °C, waardoor de staven versneld slijten en vervangen dienen te worden. Ter voorkoming van te hoge temperaturen variëren de operators de snelheid van de roosters en/of het primaire luchtdebiet.

De vuurhaardtemperatuur wordt gemeten op een hoogte van 15 en 18 meter. Aan de hand van deze meting past de operator de primaire luchthoeveelheid en de rooster-snelheid aan. Deze aanpassing geschiedt alleen in die gevallen als de vuurhaardtemperatuur te hoog dreigt te worden (> 1050 °C).



Figuur 2-2 Regelschema ARN

De plaats van de hoofdbrandzone op het rooster is niet constant als gevolg van een wisselend afvalaanbod. Door middel van videobewaking kunnen de operators de plaats van de hoofdbrandzone bepalen. Ingrijpen vindt plaats door verandering van de roostersnelheid. Evenzo wordt hiermee, in voorkomende gevallen, de dikte van de afval laag op het rooster gestuurd. Een extra hulpmiddel hierbij is de verschildrukmeting over het rooster per onderwindkast.

In het geval dat afval met een lage calorische waarde wordt verbrand en de stookautomaat deze verandering in afvalsamenstelling niet goed kan weggeregelen, zal de operator handmatig de hoeveelheid platenlucht verlagen. Hierdoor zal de hoeveelheid primaire lucht toenemen (immers primaire en platenlucht toevoer via één ventilator). Bij afval met een extreem lage calorische waarde kan de operator naast de genoemde maatregelen het regelbereik van de afvaltoevoer zodanig veranderen dat minder afval op het rooster wordt gedoseerd. De afval laag wordt dunner en zal makkelijker drogen. Daarentegen bij afval met een hoge calorische waarde zal de operator, wanneer noodzakelijk, handmatig de hoeveelheid platenlucht verhogen, waardoor het primaire luchtdebiet zal verminderen.

Bedrijfservaringen

De stookautomaat zoals gebruikt bij de ARN voldoet volgens de operators aan de verwachtingen. Er is sprake van een regelmatig stookgedrag, waarbij slechts zelden door de operator handmatig wordt ingegrepen. De operators denken echter dat toepassing van een tweede regel input (bijvoorbeeld O_2) tot een stabiel stookgedrag zal leiden. Opvallend was dat de stookautomaat het verbrandingsproces regelt zonder dat geregeld een operator dient in te grijpen. De voornaamste handeling die de operator uitvoert is het verstellen van het regelbereik van de afvaltoevoer, om te compenseren voor fluctuaties in de calorische waarde van het afval, op basis van de gemeten O_2 -concentratie.

Over het algemeen kan gezegd worden dat de beperkende factor bij de procesvoering niet wordt opgelegd door het regelconcept, maar veeleer dienen te worden gezocht in de constructie en materiaalkeuze van de oven en het rooster. Problemen in deze richting zijn vooral veroorzaakt door een onvoorziene toename van de calorische waarde van het RDF.

Daarnaast is een regelmatig terugkerend probleem het verstopt raken van de secundaire lucht balken. Gemiddeld eens per twee dagen moeten deze ontstopt worden. De installatie hoeft hiervoor echter niet afgestookt te worden.

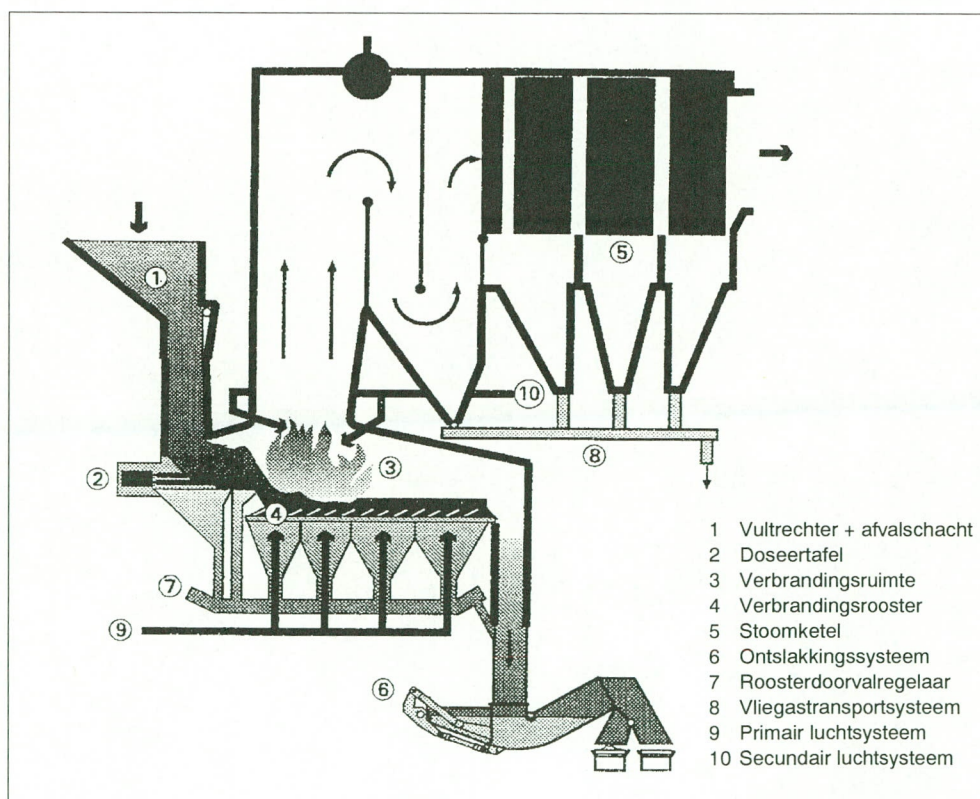
Aangaande implementatie van nieuwe ontwikkelingen in de installatie staat de ARN redelijk positief. In het verleden is onder ander gedacht aan het toepassen van een O_2 -verrijkingssysteem, om zo tot een optimalere verbranding te komen. Tevens zijn de operators van de ARN van mening dat integreren van zowel de O_2 -meting als de vuurhaardtemperatuur tot een regelmatig en nog beter beheersbaar stookgedrag zal leiden. Toepassing van pyrodetectors ten behoeve van automatische positionering van de hoofdbrandzone op het rooster wordt eveneens als een positief punt gezien.

Bij de operators bestaat belangstelling voor toepassing van een operator-adviesstelsel en een trainingssimulator. Met het laatste verwacht men de opleidingstijd van beginnende operators te verkorten.

2.2 AVI-West

Procesbeschrijving

De afvalverbrandingsinstallatie AVI-Amsterdam bestaat uit 4 verbrandingslijnen voor de verbranding van huishoudelijk afval, bedrijfsafval en grof afval. Per jaar kan met deze installatie 765.000 ton afval worden verwerkt. De ovens zijn voorzien van horizontale tegenloop-overschuifroosters van W+E, zie figuur 2-3. Ieder rooster bestaat uit 3 parallelle banen die elk zijn verdeeld in 4 zones (onderwindkasten). Via de eerste drie zones wordt voorverwarmde (circa 130 °C) primaire lucht toegevoerd. De verbrandingslucht voor de laatste zone is niet voorverwarmd. De oven is een zogenaamde middenstroom vuurhaard. De secundaire luchttoevoer vindt plaats via luchtbalken gesitueerd vlak boven de keel van de vuurhaard. De primaire en secundaire lucht worden via aparte ventilatoren aangezogen uit respectievelijk de afvalbunker en uit de slakkenbunker/ketelhuis. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van koellucht voor koeling van de doseerschuij en delen van het rooster. De koellucht wordt niet benut voor de verbranding, maar wordt afgevoerd naar de slakkenbunker, ter vermindering van waterdampvorming. In de vuurhaard wordt een 25%-ige ammoniakoplossing ingespoten ter vermindering van de in de verbrandingsgassen aanwezige NO_x (SNCR). Deze insputing kan op drie niveaus in de eerste trek van de ketel plaatsvinden, afhankelijk van de vuurhaardtemperatuur.



Figuur 2-3 Schematische weergave vuurhaard W+E [1]]

De warmte van de verbrandingsgassen wordt afgegeven in een stoomketel die direct boven de vuurhaard is geplaatst. Deze ketel bestaat uit een 3-treks stralingsgedeelte en een horizontaal convectiegedeelte. De capaciteit van de ketel bedraagt 77 ton stoom per uur (41 bar, 415 °C). In twee turbogeneratoren wordt met behulp van de geproduceerde stoom elektriciteit opgewekt. De capaciteit van de generatoren bedraagt 80 MW, waarvan circa 17 MW wordt gebruikt voor de eigen energiebehoefte.

Na de ketel doorlopen de verbrandingsgassen de rookgasreinigingsinstallatie, die achtereenvolgens bestaat uit een 1^e elektrofilter, een absorber, een 2^e elektrofilter, twee wassers en een elektro dynamische venturi (EDV). Vervolgens worden de gereinigde rookgassen via een zuigtrekventilator en een schoorsteen in de atmosfeer geëmitteerd.

De prioriteit in de sturing van het verbrandingsproces ligt bij het realiseren van een zo'n goed mogelijke uitbrand van de slakken, gevolgd door een hoge afvaldoorzet en een zo'n hoog en constant mogelijke stoomproductie. Het realiseren van een constante hoge uitbrandgraad van de slakken wordt echter niet in alle gevallen bereikt. Het verbranden van nat afval heeft hierop een aanzienlijke invloed.

Meet- en regelconcept

Ten behoeve van de regeling van het verbrandingsproces worden in de installatie de onderstaande parameters gemeten:

- temperatuur in de 2^e en 3^e trek;
- stoomproductie;
- debiet en temperatuur van primaire lucht;
- debiet en temperatuur van secundaire lucht;
- de verdeling van de primaire lucht over de afzonderlijke zones;
- rookgasdebiet;
- afvaltoevoer door weging in grijper;
- O₂-concentratie na de ketel;
- CO-concentratie na de ketel;
- drukval over de afvallaag;
- ultrasone temperatuurmeting in de vuurhaard.

Ten behoeve van de sturing van het proces worden de onderstaande signalen gebruikt:

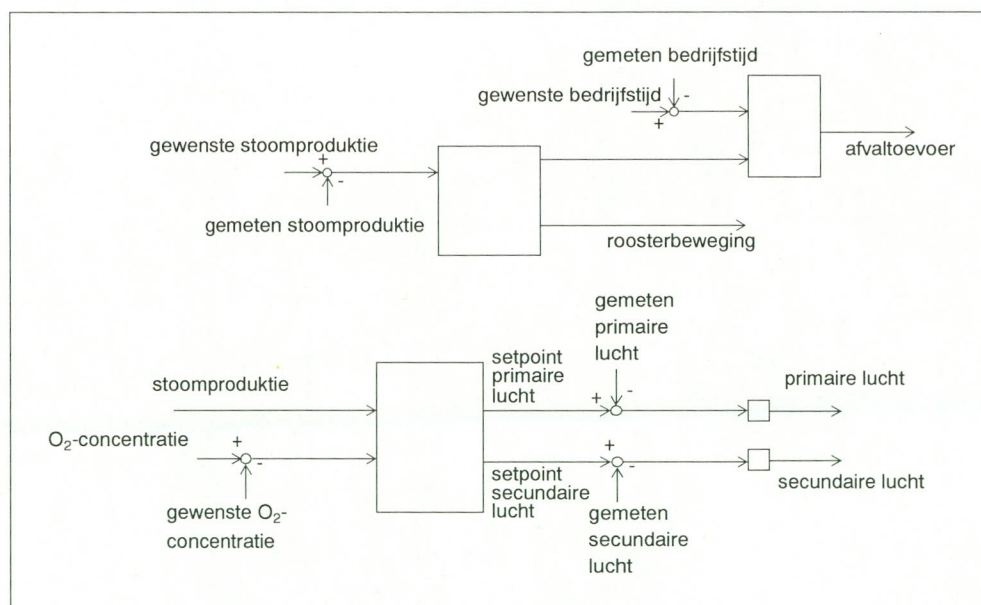
- primaire luchtdebiet;
- secundaire luchtdebiet;
- afvaltoevoer;
- roosterbeweging.

AVI-West heeft per lijn de beschikking over twee vuurhaardregelingen: een 'stoomproductieregeling' die wordt gebruikt tijdens normaal bedrijf en een 'O₂-concentratieregeling' die voornamelijk wordt toegepast tijdens het op- en afstoken van de installatie. In beide gevallen betreft het een zogenaamde GO-STOP regeling. Deze GO-STOP regeling bestaat eruit dat de uitgangsgrootheid (O₂ of stoomproductie) de afvaltoevoer en de roosterbeweging stuurt (GO of STOP). Hierbij is niet alleen de afwijking van het ingestelde uitgangsgrootheid bepalend voor het setpoint, maar eveneens de neergaande danwel stijgende tendens van deze uitgangsgrootheid. De GO-STOP regeling is tevens afhankelijk van een handmatig ingestelde zogenaamde

wachttijd. Na verloop van de ingestelde wachttijd en de regeling staat op GO wordt afval gedoseerd op het rooster. Met andere woorden, het afval wordt alleen gedoseerd indien de regeling op GO staat en de wachttijd is verstreken. Het rooster wordt in beweging gesteld als de regeling op GO staat onafhankelijk van de wachttijd. De ingestelde wachttijd bedraagt normaliter ongeveer 15 tot 30 seconden.

Stoomproductieregeling

De stoomproductieregeling wordt toegepast tijdens normaal bedrijf. Bij deze regeling is de gemeten stoomproductie de uitgangsgrootte, waarmee de afvaltoevoer, de roosterbeweging en de verbrandingslucht worden ingesteld, zie figuur 2-4. Indien de werkelijke stoomproductie lager is dan het handmatig ingestelde setpoint gaat de regeling op GO. Hierdoor wordt het rooster in beweging gezet en (na verstrijken van de wachttijd) afval op het rooster gedoseerd. Als de werkelijke stoomproductie hoger is dan het ingestelde setpoint gaat de regeling op STOP. De hoeveelheid primaire en secundaire verbrandingslucht is afhankelijk gesteld van de werkelijke stoomproductie. De setpoints voor de hoeveelheid primaire en secundaire luchthoeveelheid worden automatisch bepaald aan de hand van de stoomproductie. Als correctie op de bepaling van de lucht setpoints wordt de werkelijke O_2 -concentratie gebruikt. Een stoomproductie hoger dan het ingestelde setpoint heeft tot gevolg dat het setpoint van het luchtdebiet verlaagd wordt.

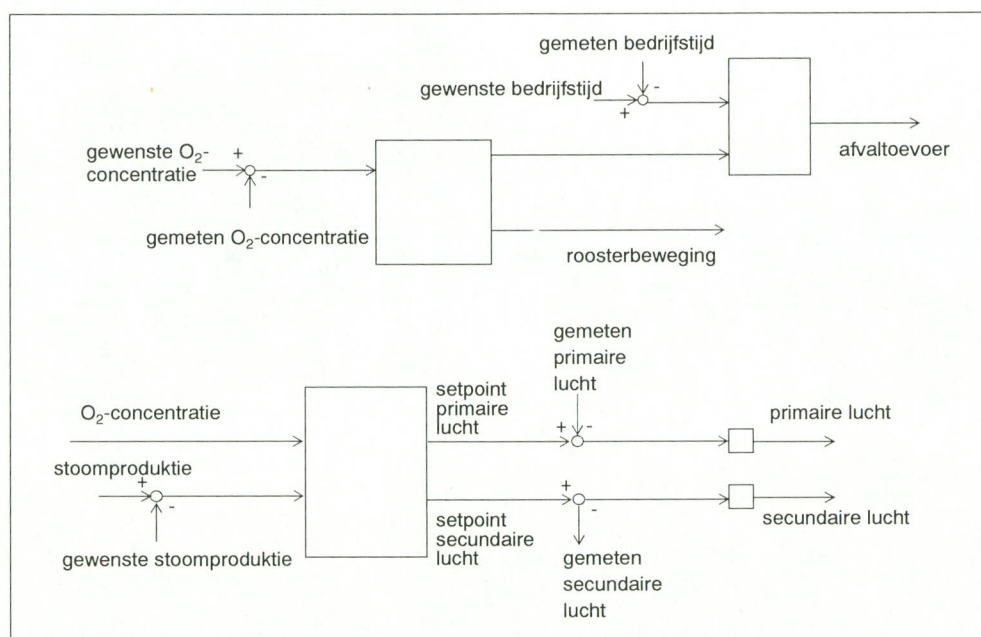


Figuur 2-4 Stoomproductieregeling

O_2 -concentratieregeling

De O_2 -concentratieregeling, figuur 2-5, wordt voornamelijk toegepast tijdens het op- en afstoken van de installatie. Bij deze regeling is de gemeten O_2 -con-

concentratie de uitgangsgrootheid, waarmee de afvaltoevoer, de roosterbeweging en de verbrandingsluchthoeveelheden worden ingesteld. Indien de werkelijke O_2 -concentratie hoger is dan het handmatig ingestelde setpoint gaat de regeling op GO. Hierdoor wordt het rooster in beweging gezet en (na verstrijken van de wachttijd) afval op het rooster gedoseerd. Als de werkelijke O_2 -concentratie lager is dan het ingestelde setpoint gaat de regeling op STOP. De verbrandingslucht (primaire en secundaire) is nu afhankelijk gesteld van de werkelijke O_2 -concentratie. De setpoints voor de hoeveelheid primaire en secundaire lucht worden automatisch bepaald aan de hand van de O_2 -concentratie. Als correctie op de bepaling van deze setpoints wordt de werkelijke stoomproductie gebruikt. Een O_2 -concentratie hoger dan het ingestelde setpoint heeft tot gevolg dat het setpoint van de benodigde verbrandingslucht verlaagd wordt.



Figuur 2-5 O_2 -concentratieregeling

Additionele regelingen

Naast bovenstaande regelingen worden nog een aantal regelingen danwel beveiligingen toegepast ter sturing van het verbrandingsproces. Dit zijn:

- afvaltoevoerregeling door drukverschilmeting over het rooster;
- vuurhaardtemperatuurmeting ten behoeve SNCR-DeNO_x;
- primaire luchtdebietverdeling per onderwindkast;
- beveiliging tegen te lage O_2 -concentratie.

Indien het drukverschil over de eerste roosterzone hoger wordt dan 18 mbar stopt de afvaltoevoer. Deze regeling 'overruled' de GO-STOP regeling. Het gemeten drukverschil over de overige roosterzones heeft geen invloed op de afvaltoevoer.

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

Ten behoeve van de SNCR-DeNO_x wordt op het 800 °C niveau in de vuurhaard ammoniak gedoseerd. Het 800 °C niveau heeft onder andere door een wisselend afvalaanbod geen constante plaats. De bepaling van dit niveau wordt uitgevoerd met behulp van een ultrasone temperatuurmeting, geplaatst circa 10 meter boven het rooster. Aan de hand van deze meting wordt ammoniak ingespoten op één van de drie mogelijke hoogtes boven het rooster.

De setpoints van de primaire luchtverdeling per roosterzone (drie onderwindkasten) worden handmatig ingesteld. Deze setpoints zijn percentages van het totale primaire luchtdebiet. Aan de hand van deze setpoints en het gemeten luchtdebiet per onderwindkast worden de luchtkleppen in de eerste drie roosterzones per onderwindkast geregeld. Het maximale luchtdebiet per onderwindkast is afhankelijk van de maximale klepstand en wordt beïnvloed door de laagdikte van het afval ter plekke. Het luchtdebiet in de laatste roosterzone (uitbrandzone) wordt handmatig geregeld. De secundaire luchtverdeling is een vast ingestelde waarde en wordt niet geregeld.

Indien de O₂-concentratie na de ketel lager is dan 6% wordt de afvaltoevoer gestopt. Deze beveiliging 'overruled' de GO-STOP regeling.

Handmatig ingrijpen

De operators zullen veelal handmatig ingrijpen als afval met een te lage calorische waarde op het rooster wordt gedoseerd. De onderstaande parameters kunnen dan door de operators handmatig worden gewijzigd:

- de roosterslag en -snelheid;
- temperatuur van de primaire lucht;
- primaire luchtdebiet onder de 3^e en 4^e roosterzone;
- wachttijd.

De roosterslag en -snelheid wordt handmatig ingesteld. De waarde van deze instelling is bepaald aan de hand van ervaringen van de operators. Veranderingen hierin dienen lokaal te worden uitgevoerd. In het algemeen worden de instellingen door de operators niet gewijzigd. Het rooster wordt handmatig in beweging gezet indien er sprake is van afval met een lage calorische waarde, waardoor er een te dikke afvallaag op het rooster kan ontstaan.

Indien er sprake is van afval met een zeer lage calorische waarde (bijvoorbeeld nat afval) verhoogd de operator de wachttijd van de GO-STOP regeling. Tevens wordt de LUVU temperatuur verhoogd van 130 °C naar 150 °C. Om de verbranding van dit afval te verbeteren wordt tevens de primaire luchthoeveelheid onder de 3^e en 4^e roosterzone handmatig verhoogd.

Afval met een zeer lage calorische waarde kan tot gevolg hebben dat de stoomproductie extreem daalt. De operators verhogen in dat geval met de hand het totale primaire en secundaire luchtdebiet. Hierdoor zal het vuur extra worden aangewakkerd. Het koelende effect hiervan op de verbrandingsgassen speelt hierbij een minder doorslaggevende rol.

Door het handmatig wijzigen van de wachttijd van de GO-STOP regeling is het voor de operator tevens mogelijk de plaats van de hoofdbrandzone op het rooster te regelen. De bepaling van de plaats van deze zone geschiedt visueel met behulp van camera's gericht op het rooster en monitors in de controlekamer.

Bij de verbranding van zeer hoog calorisch afval wordt door de operators niet ingegrepen. De stookautomaat blijkt in staat om veranderingen in het proces als gevolg van een plotselinge verhoging van de calorische waarde goed te kunnen opvangen.

Bedrijfservaringen

Het oordeel van de operators over de stookautomaat is overwegend positief. Opgemerkt wordt dat handmatig ingrijpen instabiliteiten veroorzaakt. Ingegrepen wordt bijvoorbeeld als de uitbrand te slecht is. Slechte uitbrand van het afval kan voorkomen bij erg nat afval.

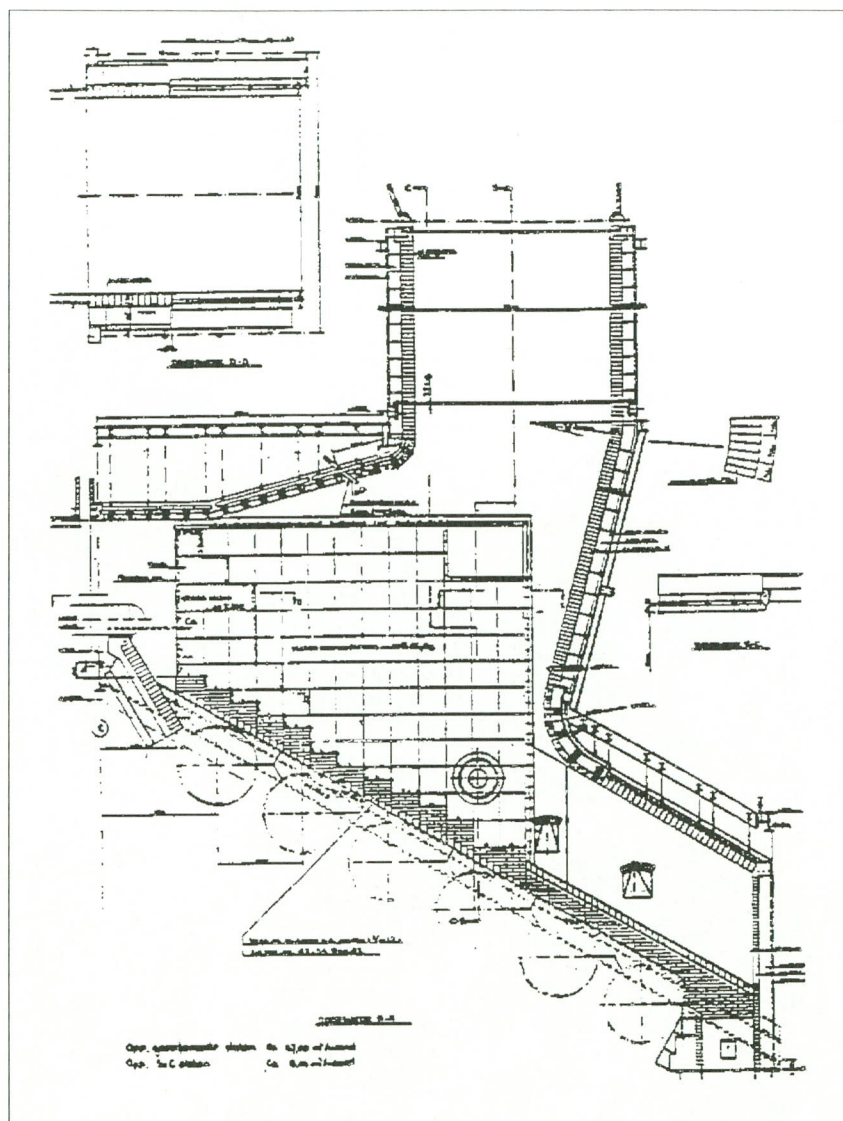
De operators zijn positief over de toepassing van een trainingssimulator. Omtrent de toepassing van een operator-adviesstelsel is men sceptischer. Zo'n stelsel zal waarschijnlijk alleen gebruikt worden bij eenvoudige stellingen. Naar eigen zeggen hebben de operators bij grotere stellingen geen tijd om naar een operator-adviesstelsel te kijken.

2.3 AVIRA

Procesbeschrijving

De afvalverbrandingsinstallatie AVIRA te Duiven bestaat uit drie verbrandingslijnen voor de verbranding van huishoudelijk afval. De ovens zijn voorzien van walsenroosters geleverd door Dürr Düsseldorf. Ieder walsenrooster, zie figuur 2-6 voor een schematische weergave, bestaat uit 6 gietijzeren walsen, geplaatst onder een hoek van 30°. De primaire lucht wordt toegevoerd via 6 gescheiden luchtkasten onder het rooster. De mogelijkheid is aanwezig om de primaire lucht voor te verwarmen. Door de verhoging van de calorische waarde van het afval, vanwege scheiding van de GFT-fractie vindt voorverwarming alleen nog plaats tijdens natte periodes als het afval een hoge vochtigheid heeft. De oven is een zogenaamde middenstroom vuurhaard. Secundaire luchttoevoer vindt plaats via luchtbalken boven de keel van de vuurhaard. De primaire en secundaire lucht wordt via aparte ventilatoren toegevoerd. De wanden van de oven worden met behulp van platenlucht gekoeld. Na verbranding worden de slakken afgevoerd via een ontslakker. De verbrandingsgassen van oven 1 worden gebruikt voor de opwekking van stoom/elektriciteit. De stoomketel heeft een capaciteit van 36 - 40 ton stoom per uur (400 °C, 40 bar). Bij oven 3 worden de verbrandingsgassen gebruikt voor de produktie van warm water ten behoeve van het stadsverwarmingssysteem. Bij oven 2 vindt geen energierugwinning plaats. De hete verbrandingsgassen afkomstig van deze oven worden in de top van de vuurhaard door middel van waterinspuiting gekoeld.

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties



Figuur 2-6 Schematische weergave ovengedeelte AVIRA [5]

De rookgassen afkomstig van de drie verbrandingslijnen worden gereinigd via een elektrofilter, quench en een natte wasser (systeem Von Roll/Ciba Geigy) waarna ze via een schoorsteen worden geëmitteerd.

In de toekomst zullen lijn 1 en lijn 3 uitgerust worden met rookgasrecirculatie. Hiermee hoopt de AVIRA tot een verlaging van de NO_x-concentratie te komen en een betere menging van de verbrandingsgassen te bewerkstelligen.

De prioriteit van de AVIRA ligt bij het zoveel mogelijk verbranden van afval, gevolgd door energierugwinning met als randvoorwaarden de gestelde milieu-eisen. In dit geheel van prioriteiten wordt tevens gestreefd naar een meer constante stoomproductie.

Meet- en regelconcept

Ten behoeve van de regeling van het verbrandingsproces worden in de installatie de onderstaande parameters gemeten:

- vuurhaardtemperatuur;
- stoomproductie;
- debiet en temperatuur primaire lucht;
- debiet secundaire lucht;
- de drukval over het rooster;
- het rookgasdebiet in de schoorsteen;
- de afvaltoevoer;
- de O₂-concentratie na de ketel c.q. waterinspuiting;
- de achterwandtemperatuur;
- toerental walsen.

Bij de AVIRA is op dit moment geen operationele stookautomaat geïnstalleerd. Men is bezig met de installatie hiervan. Tot op het moment dat deze stookautomaat in bedrijf is wordt het verbrandingsproces met de hand geregeld. Hierbij maken de operators gebruik van de volgende parameters:

- O₂-concentratie na de ketel;
- stoomproductie;
- rookgasdebiet;
- drukval over de afvallaag;
- dikte van de afvallaag.

Daarnaast worden een aantal parameters die eventueel als stuurvariabelen gebruikt kunnen worden constant gehouden namelijk:

- walsensnelheid;
- debiet en verdeling secundaire lucht;
- primaire luchtdebiet.

Afhankelijk van de operator die de installatie bedient worden verschillende combinaties van regelvariabelen gebruikt. De sturing van het proces is geheel operatorafhankelijk. In de meeste gevallen gebruikt de operator het O₂-gehalte en de stoomproductie als parameters om te bepalen of en op welke manier dient te worden bijgesteld. Dit bijstellen bestaat meestal uit het bijstellen van de afvaltoevoer. Een hoge O₂-concentratie in de vuurhaard betekent of te weinig afval op het rooster of afval met een lage calorische waarde. Door het afvalpakket op het rooster visueel te inspecteren via kijkgaten in de vuurhaard, in combinatie met bepaling van de drukval over het rooster, wordt bepaald of in dat geval de afvaltoevoer dient te worden verhoogd danwel te worden verlaagd.

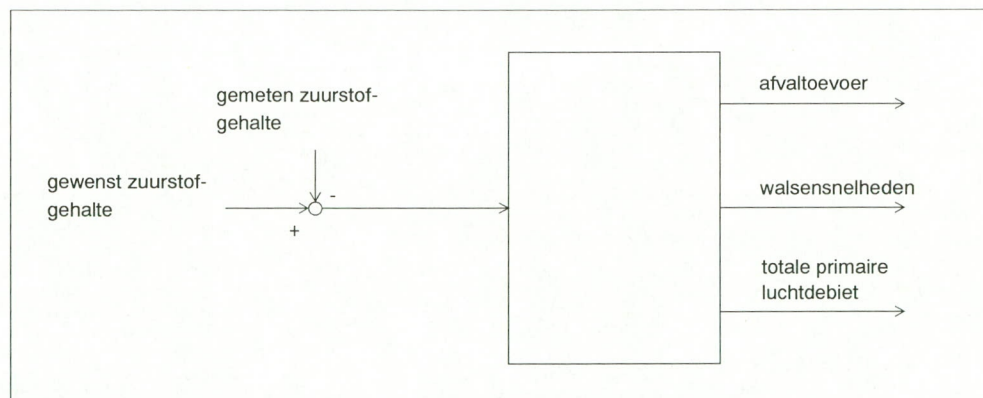
Daarnaast wordt door de operators de primaire luchtverdeling gevarieerd indien de stoomproductie en/of de dikte van de afvallaag daartoe aanleiding geven. De totale primaire en secundaire luchthoeveelheid wordt constant gehouden.

De algemene opinie van de operators is dat bepaling van de dikte van de afvallaag een goede maat is voor het stabiel sturen van de installatie. De walsensnelheid wordt constant gehouden op een waarde die in het verleden door middel van 'trial and error' is verkregen en wordt niet gebruikt als een stuurvariabele.

Indien wordt geconstateerd dat er sprake is van zeer nat afval wordt de kraanmachinist geïnstrueerd om dit afval in de vultrechter van oven 2 te doseren. De reden hier-

van is dat deze oven geen energierugwinning heeft en daardoor minder gevoelig is voor fluctuaties in de calorische waarde van het afval. Tevens heeft oven 2, door het ontbreken van ketelpijpen meer aanbakkingen aan de wand, waardoor de warmtecapaciteit van de oven als geheel groter is.

De stookautomaat die op dit moment wordt geïmplementeerd op lijn 1 (lijn 2 en lijn 3 volgen later) stuurt de afvaltoevoer, de roostersnelheid en de totale primaire luchtdebiet op basis van het verschil tussen het handmatig ingestelde O_2 -setpoint en het werkelijke O_2 -concentratie. Figuur 2-7 geeft een schematische voorstelling van de stookautomaat. Uit reeds gedane praktijktesten met deze stookautomaat bleek dat het verbrandingsproces onrustiger wordt. Met name de regelactie op de roostersnelheid bleek te actief te zijn, waardoor het systeem de neiging had 'weg te lopen'. Het systeem had tevens moeite om adequaat op een afvalpakket met een lage calorische waarde te reageren: een hoge O_2 -concentratie wordt door de stookautomaat geïnterpreteerd als een tekort aan afval op het rooster, terwijl dit eveneens veroorzaakt kan worden door te laag calorisch afval. De roostersnelheid wordt dan verlaagd, zodat met laag calorisch afval een neerwaartse spiraal in het verbrandingsproces wordt bereikt. Om dit te voorkomen wordt door de operators zeer regelmatig handmatig ingegrepen. Dit ingrijpen bestond er onder meer uit dat de primaire luchthoeveelheid en de afvaltoevoer werden veranderd. Het ligt in de lijn der bedoelingen dat in de toekomst de stoomproductie als extra regelvariabele in de stookautomaat zal worden ingebracht. De verwachting is dat hiermee een rustiger stookgedrag wordt gerealiseerd.



Figuur 2-7 Schema stookautomaat AVIRA

Bedrijfservaringen

In de praktijk blijkt dat de handmatige regeling sterk operatorafhankelijk is. Daar waar de ene operator het verbrandingsproces stuurt op basis van de O_2 -concentratie en de stoomproductie, zal een andere operator sturen op basis van de O_2 -concentratie en het rookgasdebiet. In de praktijk zullen alle operators het proces sturen door de afvaltoevoer te variëren. Hierbij zij opgemerkt dat in veel gevallen een regelactie pas wordt uitgevoerd na visuele inspectie van het verbrandingsproces. In dit kader werd geconstateerd dat videobewaking van het vuur als wenselijk werd geacht.

De operators zijn matig tevreden over de mogelijkheden die de stookautomaat kan bieden. De algemeen geldende gedachte is dat het beschouwen van slechts één procesvariabele (O_2) om tot een regelactie over te gaan te weinig is. Een tweede (of meer) procesvariabele wordt als beslist noodzakelijk geacht. Te denken valt aan: de stoomproductie, het rookgasdebiet, de vuurhaardtemperatuur, enz. Als extra input zou men de primaire luchtdebiet in de stookautomaat willen inbouwen. Daarnaast werd door de operators de wens uitgesproken om de drukval van de primaire lucht over het rooster als te regelen variabele in de stookautomaat op te nemen, zodat op die manier kan worden ingespeeld op de dikke dan wel de dunne afvallagen. Tevens zou men graag zien dat vanuit de wachttijd de verdeling van de primaire lucht over de luchtkasten kan worden geregeld. Tot op heden gebeurt dit met behulp van lokale afsluiters. Daarnaast bestaat, gecombineerd met de reeds aanwezige drukmeters, behoefte aan debietmeters in de onderwindkasten. Als probleem voor het realiseren van een stabiel stookgedrag wordt de toepassing van een walsenrooster genoemd. De gedachte hierachter is dat een regelmatige toevoer van de primaire lucht door een walsenrooster niet mogelijk is, aangezien de laagdikte op een walsenrooster sterk kan variëren.

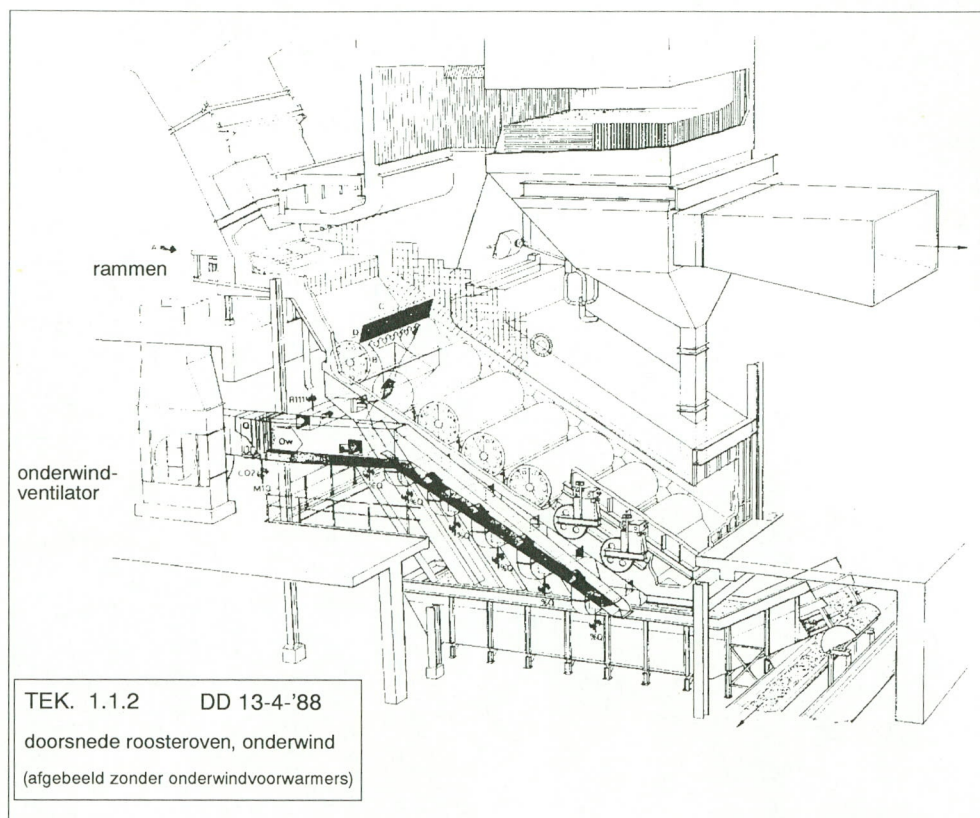
AVIRA heeft regelmatig last van inlek van valse lucht via de ontslakker. Hierdoor ontstaat in de vuurhaard lokaal een sterk verhoogde CO -concentratie. Met name bij toepassing van de stookautomaat kan inlek van valse lucht problemen geven bij de regeling van het verbrandingsproces (hoge O_2 -concentratie, niet veroorzaakt door verbrandingsomstandigheden).

Een trainingssimulator waarmee beginnende operators ingewerkt kunnen worden, zou als positief worden ervaren. Op dit moment bedraagt de inwerktijd van een nieuwe operator circa twee jaar. Met een dergelijke simulator is de verwachting dat de opleidingstijd aanmerkelijk kan worden verminderd. Ook bestaat interesse voor een operator-adviesstelsel.

2.4 AVR

Procesbeschrijving

De AVR te Rozenburg bestaat uit 6 verbrandingslijnen van het fabriekaart Babcock/RDM. Het ovensgedeelte is gebouwd volgens het tegenstroomprincipe en is voorzien van een walsenrooster met een hellingshoek van 30° , zie figuur 2-8. Op het rooster vindt verbranding plaats van grof gemengd huishoudelijk afval. De hoeveelheid doorgezet afval wordt geregistreerd aan de hand van het aantal batches dat via de grijper in de vultrechter wordt gedoseerd. Het rooster bestaat uit 7 walsen met een diameter van 1,5 meter elk. De primaire lucht wordt toegevoerd via walsen 1 tot en met 6. De mogelijkheid is aanwezig om de primaire lucht met behulp van een LUVO voor te verwarmen tot maximaal $140^\circ C$. Dit wordt echter alleen gedaan tijdens natte periodes (bijvoorbeeld in het najaar) als het vochtgehalte van het afval hoger dan normaal is. Het afval dient aan het einde van wals 6 uitgebrand te zijn en wals 7 funktioneert dan ook slechts als transportwals van de slakken naar de ontslakker toe. De afvaldoorzet bedraagt gemiddeld 20 ton per uur per verbrandingslijn.



Figuur 2-8 Schematische weergave ovengedeelte AVR [4]

Bij de AVR wordt bij lijn 5 en 6 de primaire en secundaire lucht via aparte ventilatoren toegevoerd. Bij oven 1 tot en met 4 gebruiken de primaire en secundaire lucht dezelfde ventilator. De secundaire lucht wordt via nozzles boven de keel van de oven toegevoerd. In oven 5 en 6 wordt de secundaire lucht hoger en beter verdeeld in de oven ingebracht. Uitgezonderd verbrandingslijn 5 en 6 zijn alle ovens voorzien van platenlucht. Deze platenlucht wordt betrokken van de secundaire luchtleiding.

De in de oven gevormde verbrandingsgassen worden in een stoomketel gekoeld, waarbij stoom wordt geproduceerd van 375 °C en 27 bar. De capaciteit van de stoomketel bedraagt 55 ton per uur met een fluctuatie van circa 10%. De geproduceerde stoom afkomstig uit de 6 ketels wordt verzameld in 2 stoomverdeelvaten. Vanuit deze stoomverdeelvaten wordt de stoom verdeeld over 3 turbines van respectievelijk 15, 15 en 27 MW. Een vierde turbine met een vermogen van 50 MW is in aanbouw. Na de stoomketel worden de gassen gereinigd door achtereenvolgens twee elektrofilters, een neutrale en basische wasser, een actief kool bed en een SCR Denox installatie.

Bij de AVR ligt de hoogste prioriteit in het zoveel mogelijk verbranden van afval met een optimale uitbrand en een constante energieproductie.

Meet- en regelconcept

De AVR heeft een regelsysteem van eigen ontwerp geïnstalleerd. Ten behoeve van de regeling van het verbrandingsproces worden in de installatie de onderstaande parameters gemeten:

- vuurhaardtemperatuur op 2 seconden niveau;
- stoomproductie;
- debiet en temperatuur primaire lucht;
- debiet en temperatuur secundaire lucht;
- debiet van de primaire lucht per afzonderlijke luchtkast;
- rookgasdebiet;
- afvaltoevoer;
- O₂-concentratie na de ketel;
- CO-concentratie na de ketel;
- achterwand temperatuur;
- drukval over de afvallaag.

Ten behoeve van de sturing van het proces worden de onderstaande signalen gebruikt:

- debiet primaire lucht rol 2, 3 en 4 afhankelijk van stoomproductie;
- debiet primaire lucht rol 5 en 6 afhankelijk van achterwandtemperatuur;
- debiet primaire lucht rol 4 en 5 afhankelijk van O₂-gehalte;
- walsen snelheid rol 5, 6 en 7 afhankelijk van achterwandtemperatuur;
- laagdikte;
- debiet secundaire lucht;
- totaal debiet primaire lucht;
- platenlucht;
- afvaltoevoer.

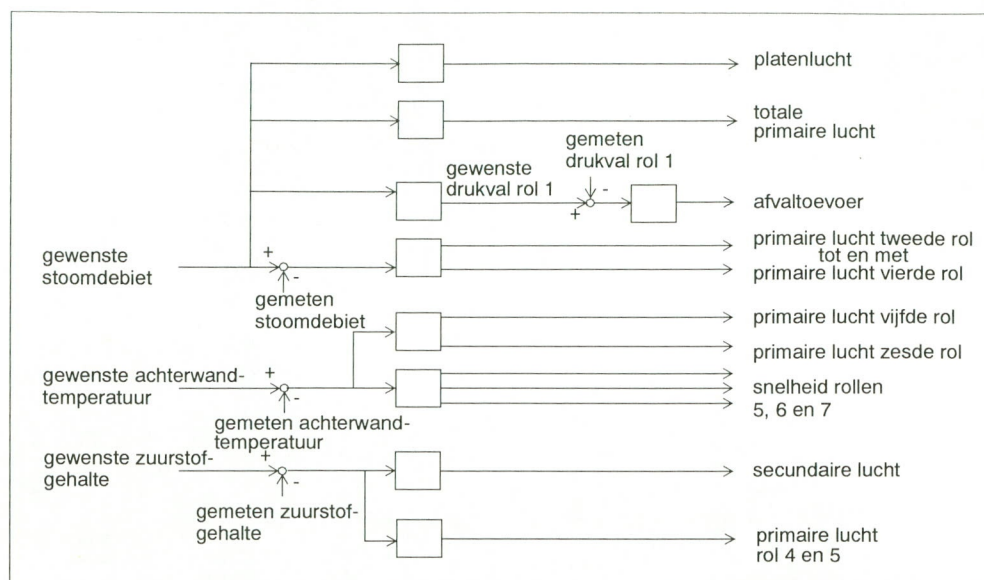
Voor de sturing van bovenstaande parameters worden de volgende grootheden gebruikt:

- stoomproductie;
- achterwandtemperatuur;
- O₂-concentratie.

De AVR gebruikt voor de ovens 1 tot en 4 een ander regelconcept dan voor oven 5 en 6. Hieronder zullen de afzonderlijke regelconcepten worden besproken.

Regelconcept oven 1 tot en met 4

Het in figuur 2-9 afgebeelde regelconcept zal verder besproken worden.



Figuur 2-9 Regelconcept AVR: oven 1 tot en met 4

Het handmatig ingestelde setpoint voor de stoomproductie bepaalt de hoeveelheid platenlucht en het totale primaire luchtdebiet. De afvaltoevoer naar het rooster wordt bepaald door het stoomsetpoint in combinatie met de gemeten drukval over de 1^e rol. Hierbij wordt het setpoint voor de laagdikte automatisch bepaald door het handmatig ingestelde stoomsetpoint. Met deze regeling wordt voorkomen dat de laagdikte op het rooster te groot of te klein wordt, zonder dat de stoomproductie ernstig wordt verstoord. Een voorwaarde hierbij is dat het debiet van de primaire lucht onder de eerste rol constant wordt gehouden. Het debiet van de primaire lucht onder de eerste rol is dus afhankelijk van het ingestelde setpoint van de drukval over de 1^e rol.

De werkelijke stoomproductie bepaalt eveneens de hoeveelheid primaire lucht onder de 2^e en 3^e rol. Als de werkelijk stoomproductie lager is dan het stoomsetpoint, wordt de hoeveelheid primaire lucht met maximaal 2000 Nm³/h per rol verhoogd. Als beveiliging tegen een te hoge stoomproductie (> 62 t/h) wordt in dat geval de hoeveelheid primaire lucht over rol 2, 3 en 4 met 2000 Nm³/h per rol verlaagd.

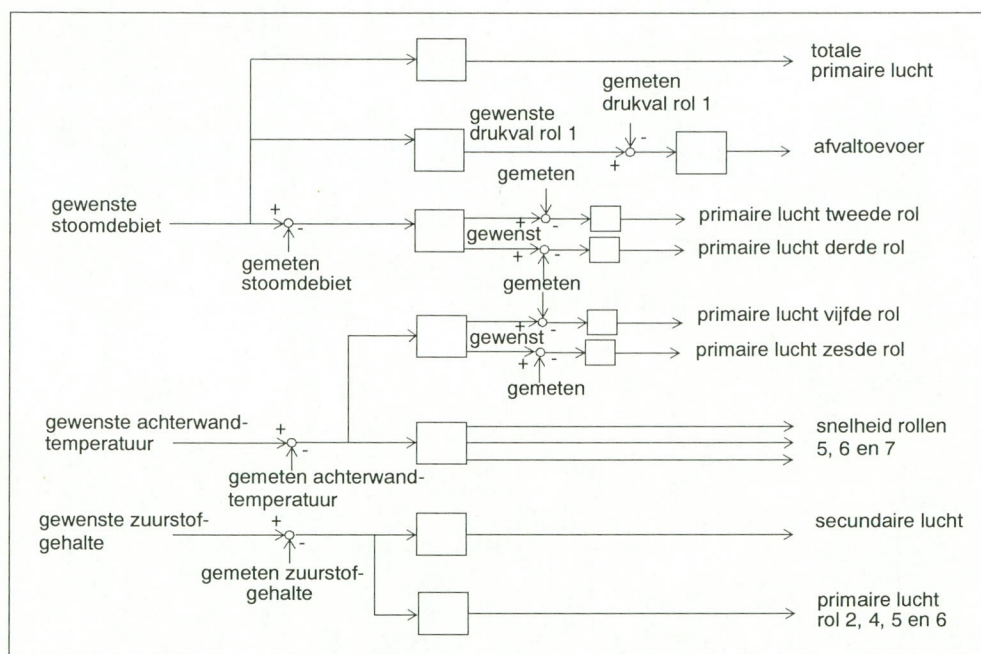
Het handmatig ingestelde setpoint voor de achterwandtemperatuur is de uitgangsgrootheid waarmee het primaire luchtdebiet over rol 5 en rol 6 wordt ingesteld. Als de achterwandtemperatuur te hoog wordt, wat betekent dat de hoofdbrandzone te ver naar achteren ligt, wordt de hoeveelheid primaire lucht over rol 5 en 6 verhoogd. Het verbrandingsproces op deze rollen zal versneld verlopen en het effect is dat de hoofdbrandzone naar voren opschuift. Tevens stuurt deze grootheid de snelheid van rollen 5, 6 en 7. Als de achterwandtemperatuur te hoog wordt, zal de snelheid van rollen 5, 6 en 7 lager worden.

In de stookautomaat wordt handmatig een setpoint voor de O₂-concentratie ingesteld. Dit setpoint is de uitgangsgrootheid waarmee de totale hoeveelheid secundaire lucht wordt geregeld. Het secundaire luchtdebiet wordt verminderd als het gemeten O₂-gehalte hoger is dan het ingestelde setpoint en omgekeerd. De verdeling van de secundaire lucht over beide luchtballen wordt constant gehouden. Tevens wordt het

primaire luchtdebiet over rol 4 en rol 5 met 2000 Nm³/h per rol verminderd als het gemeten O₂-gehalte hoger is dan 10,5%.

Regelconcept oven 5 en 6

Het regelconcept van oven 5 en 6 is op een aantal punten verschillend van de andere ovens. Het grootste verschil is hierbij dat veranderingen in het primaire luchtdebiet afhankelijk is van het gemeten primaire luchtdebiet (figuur 2-10). Met andere woorden, het primaire luchtdebiet per rol wordt veranderd met een percentage van het oorspronkelijke luchtdebiet per rol. Bij ovens 1 tot en met 4 vindt geen procentuele regeling plaats, maar wordt het debiet met een bepaalde hoeveelheid veranderd onafhankelijk van het oorspronkelijke debiet.



Figuur 2-10 Regelconcept AVR: oven 5 en 6

Een tweede opvallend verschil is dat alle ovens wordt geregeld op een te hoge O₂-concentratie (> 10,5%), maar dat bij oven 5 en 6 eveneens bij een te lage O₂-concentratie een regelactie op gang wordt gezet. Indien het O₂-gehalte lager is dan 7% of als het O₂-gehalte een snelle daling vertoont, wordt het primaire luchtdebiet over rollen 2, 5 en 6 veranderd met de volgende waarden:

rol 2: 20% minder lucht;

rol 5: 20% meer lucht;

rol 6: 2500 Nm³/h meer lucht.

Dit treedt met name op bij de verbranding van hoog calorisch afval. Door deze regelactie zal de hoofdbrandzone niet te ver naar voren schuiven. Mocht deze maatregel geen effect hebben en de stoomproductie stijgt tot meer dan 62 t/h dan wordt de primaire luchthoeveelheid over 2 en 3 met 40% verlaagd.

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

Bij oven 5 en 6 wordt - in tegenstelling tot de andere ovens - de primaire lucht over de eerste twee rollen voorverwarmd tot 60 - 80 °C. De primaire lucht over de andere rollen wordt niet voorverwarmd. Bij ovens 1 tot en met 4 wordt de totale hoeveelheid primaire lucht voorverwarmd; echter alleen als sprake is van nat afval.

Handmatig ingrijpen

In voorkomende gevallen dienen de operators handmatig in te grijpen op de sturing van het verbrandingsproces. Hierbij moet met name gedacht worden aan ingrepen in het primaire luchtdebiet indien de laagdikte op het rooster te groot is. Het debiet wordt dan verhoogd om de gewenste laagdikte krijgen. De operators houden tijdens het proces verder onder andere de volgende grootheden in de gaten:

- stoomproductie;
- O₂-gehalte;
- CO-gehalte;
- rookgasdebiet;
- achterwandtemperatuur.

Indien de stoomproductie gedurende enige tijd laag blijft, wordt door de operators een luchtstoot gegeven over rol 2 en 3. De invloed hiervan op de stoomproductie, geeft de operators een indicatie over de verbrandingskwaliteit van het afval.

Het O₂-gehalte is na de bouw van de nieuwe rookgasreinigingsinstallatie een belangrijke parameter geworden. Het daarin aanwezige actief kool bed mag slecht rookgas verwerken met een O₂-gehalte lager dan 14%. Een hoger O₂-gehalte houdt het risico in van zelfontbranding van de actieve kool. Ter beveiliging hiertegen, wordt de rookgasreiniging ge-bypassed en het actief kool bed wordt geïnertiseerd met stikstof. Eén van de oorzaken van een te hoge O₂-concentratie kan inlek van valse lucht zijn. De operators houden daarom tevens de rookgasdebiet in de gaten. Een plotselinge verandering hierin kan een indicatie zijn voor inlek van valse lucht. In dit kader zij opgemerkt dat valse lucht geen invloed heeft op de regeling van het verbrandingsproces, in tegenstelling tot andere AVI's.

In het actief kool bed kunnen zogenaamde 'hot-spots' ontstaan, die opgemerkt kunnen worden door een verhoging van de CO-concentratie aan de uitlaat van het bed. Ter bewaking hiervan zijn zowel aan de ingang als aan de uitgang van het bed CO-meters geïnstalleerd.

Bedrijfservaringen

Over het algemeen zijn de operators tevreden over het binnen de AVR toegepaste regelconcept. Zij ervaren dat met de huidige regelingen een stabiel stookgedrag is te realiseren bij een stoomproductie van circa 50 t/h per ketel. Desondanks bestaan er nog enkele - door de operators gesignaleerde - knelpunten, die hieronder zullen worden besproken.

De calorische waarde van het afval is in de afgelopen tijd toegenomen als gevolg van gescheiden afvalinzameling. Vanwege de thermische beperkingen van de oven en de

stoomketel moest de afvaldoorzet verlaagd worden. De afvaldoorzet is de afgelopen jaren gedaald van gemiddeld 22 t/h naar 18 t/h. Dit heeft tot gevolg dat de capaciteit van de afvalbunker te krap is geworden. Er is enige tijd geëxperimenteerd met het nat spuiten van het afval om zodoende de calorische waarde te verlagen en daarmee de afvaldoorzet te kunnen verhogen. Dit bleek echter niet het gewenste resultaat te geven.

In oven 6¹⁾ komen aanbakkingen voor, die met name veroorzaakt worden door het ontbreken van platenlucht. De verwachting was dat door het ontbreken van platenlucht minder CO-pieken zouden optreden. Dit bleek echter niet het geval. Tevens bestaat bij de operators het vermoeden dat door de in oven 6 aangebrachte wijzigingen CO-pieken in de hand worden gewerkt. Onder andere veroorzaakt de vrij grote valhoogte van het afval van de doseertafel wervelingen die de vorming van CO-pieken bevorderen. Ondanks de veranderingen in de geometrie van de oven en veranderingen in het regelconcept is het stookgedrag volgens de operators niet beter geworden vergeleken met de overige 5 ovens. De operators ervaren het stookgedrag van oven 6 als 'zenuwachtiger' dan de overige ovens. De regeling van oven 6 is echter wel in staat om grote afwijkingen van de gewenste situatie te herstellen. Het algemene vuurbeeld van oven 6 wordt door de operators dan ook als beter gezien ten opzichte van de overige ovens. Deze conclusie wordt vooral bepaald door geringere variaties in de positie van de hoofdbrandzone in oven 6.

Een laagdiktemeting wordt door de operators ervaren als essentieel voor een goede sturing van het verbrandingsproces. Zij zijn van mening dat een gelijkmatige bedekking van het rooster een positieve invloed heeft op het CO-gehalte. Binnen de AVR bestaan dan ook plannen om in de nabije toekomst in oven 6 de laagdiktemeting en daarmee de sturing op de afvaltoevoer uit te breiden tot de tweede en derde rol.

Aanbakkingen in de ovens en dan vooral in oven 6 verstoren een correcte temperatuurbepaling. De in de vuurhaard aangebrachte thermokoppels verslakken of komen in de 'schaduw' van aanbakkingen te hangen. De aanbakkingen verstoren tevens de drukmetingen in de vuurhaard.

De operators werd gevraagd wat hun opinie was aangaande een aantal nieuwe ontwikkelingen. De operators zijn van mening dat de toepassing van pyrodetectors een positief effect kan hebben op de regeling van het verbrandingsproces waarbij met name de sturing van de positie van de hoofdbrandzone.

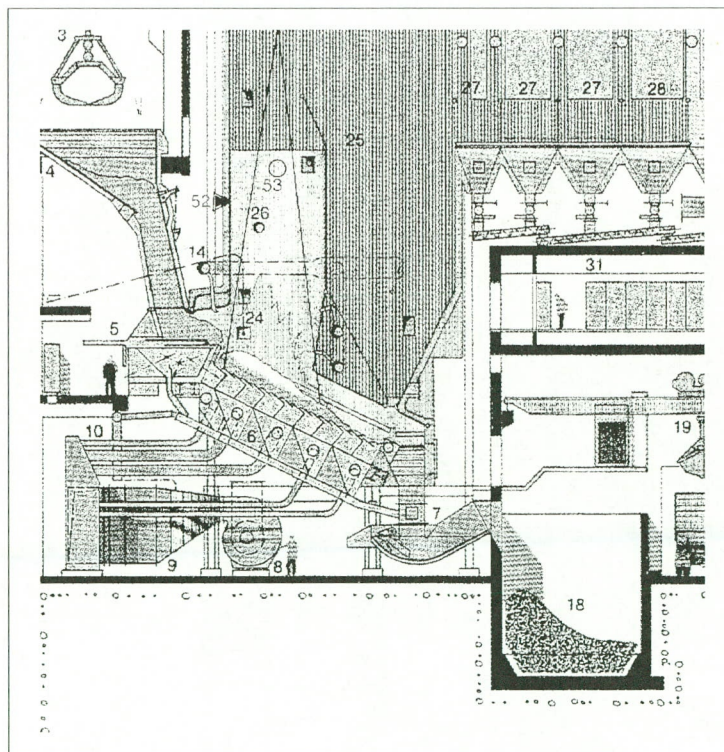
Met behulp van een trainingssimulator van een AVI heeft men de verwachting dat de opleidingstijd van beginnende operators aanmerkelijk verkort kan worden (nu circa drie jaar). Tevens zou zo'n systeem gebruikt kunnen worden voor training van een gehele ploeg, mede met als doel de samenwerking en onderlinge communicatie binnen een ploeg te verbeteren. De operators zijn gematigd enthousiast over de implementatie van een operator-adviesstelsel. De reeds aanwezige kennis bij de operators wordt als voldoende ervaren om adequaat op storingen te reageren.

¹⁾ Oven 5 is in augustus 1994 omgebouwd tot dezelfde configuratie als oven 6. Vandaar dat geen praktijkinformatie omtrent oven 5 beschikbaar is.

2.5 GEVUDO

Procesbeschrijving

De afvalverbrandingsinstallatie van GEVUDO te Dordrecht bestaat uit vier verbrandingslijnen van het fabrikaat Martin. Het afval wordt verbrand in tegenstroomovens voorzien van een Martin terugschuifrooster, zie figuur 2-11. Het rooster bestaat uit 2 roosterbanen waar doorheen de primaire lucht wordt toegevoerd via 5 luchtkasten per roosterbaan. Op het rooster, dat onder een hellingshoek van 26° staat, vindt verbranding plaats van integraal huishoudelijk afval dat geen voorbewerking heeft ondergaan. Gedurende periodes dat afval met een relatief hoog vochtgehalte wordt verwerkt, wordt de primaire lucht met een LUVU voorverwarmd tot circa 160 - 170 °C. De capaciteit van de oven bedraagt circa 7,5 ton per uur afval per verbrandingslijn. De secundaire lucht wordt toegevoerd via luchtopeningen in de voor- en achterwand van de oven. Deze secundaire lucht wordt vooraf verwarmd tot ongeveer 150 °C door deze langs het stoomcircuit te leiden. De oven is niet voorzien van platenlucht.



Figuur 2-11 Schematische weergave Martinsysteem [2]

Oven 1 en 4 zijn voorzien van een stoomketel. Karakteristiek voor deze ovens is dat de membraanwand tot vlak boven het rooster doorloopt. De capaciteit van de stoomketel bedraagt 42 ton per uur (400 °C, 40 bar). Bij oven 2 en 3 wordt geen energie teruggewonnen uit de verbrandingsgassen. Tot 1993 werd bij deze ovens de warmte

van de verbrandingsgassen gebruikt voor de verbranding van waterzuiveringsslib in een etage-oven. Door ingebruikneming van een afzonderlijke installatie voor de verbranding van zuiveringsslib is de etage-oven uit bedrijf genomen.

De rookgasreiniging bestaat bij oven 1 en 4 uit achtereenvolgens een venturiwasser, een radiaalstroomwasser en een nat elektrofilter. Bij oven 2 en 3 worden de verbrandingsgassen gereinigd door achtereenvolgens een radiaalstroomwasser en een venturiwasser waarna via een rookgaskoeler de gassen door een nat elektrofilter worden geleid.

De prioriteit van de GEVUDO ligt bij het zoveel mogelijk doorzetten van afval. Energie-opwekking en levensduur van de installatie hebben een beduidend lagere prioriteit.

Meet- en regelconcept

Ten behoeve van de regeling van het verbrandingsproces worden in de installatie de onderstaande parameters gemeten:

- vuurhaardtemperatuur in de eerste trek;
- stoomproductie;
- debiet en temperatuur van de primaire lucht;
- verdeling van de primaire lucht over de onderwindkasten;
- afvaltoevoer;
- O_2 -concentratie na de ketel;
- CO -concentratie na de ketel.

Verbrandingslijnen 1 en 4 beschikken over het meest uitgebreide regelsysteem, omdat deze lijnen uitgerust zijn met een stoomketel. Het regelsysteem bestaat uit vier onafhankelijk van elkaar werkende regelconcepten, waaruit de operator afhankelijk van de situatie kan kiezen. Deze concepten zijn:

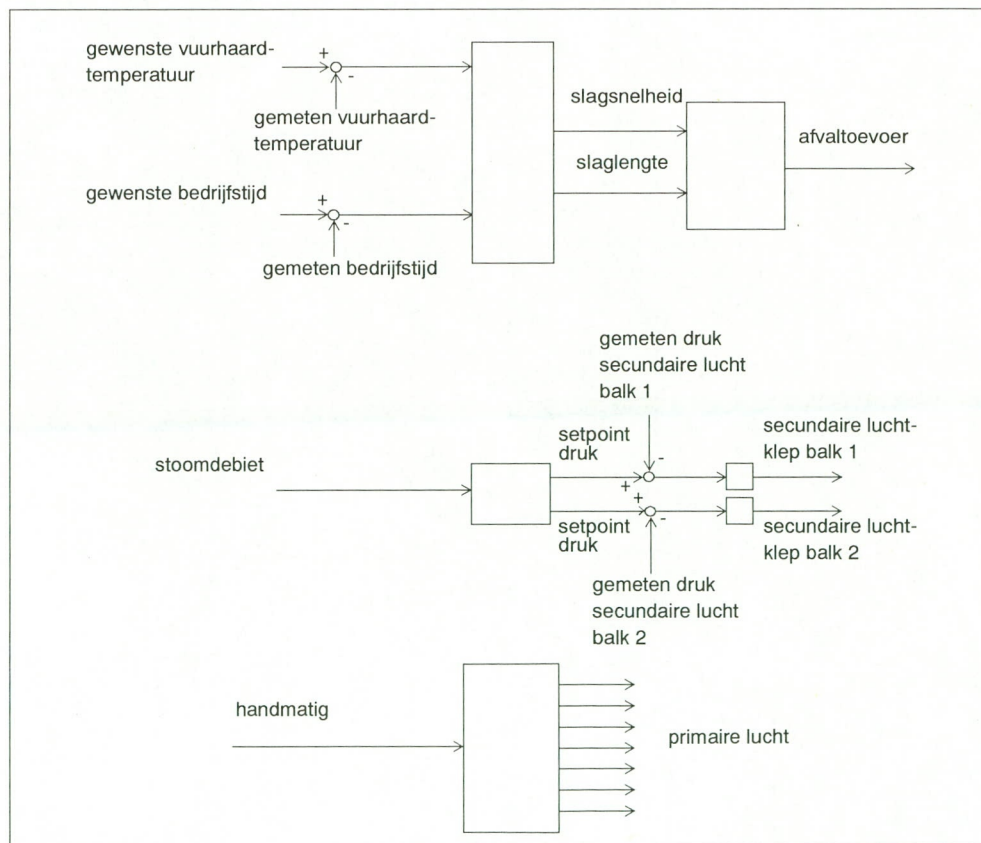
- regelactie op grond van de vuurhaardtemperatuur;
- regelactie op grond van het stoomdebiet;
- regelactie op grond van de O_2 -concentratie in de rookgassen;
- regelactie op grond van de O_2 -concentratie in de rookgassen en de oventemperatuur.

De regelconcepten zijn zogenaamde GO-STOP regelingen. Deze GO-STOP regeling bestaat uit een uitgangsgrootte (temperatuur, stoom, O_2 of O_2 en temperatuur) die de afvaltoevoer en de roosterbeweging stuurt. Indien bijvoorbeeld de vuurhaardtemperatuur lager is dan het handmatig ingestelde setpoint wordt de afvaltoevoer en de roosterbeweging gestart. De operator stelt tevens een zogenaamde bedrijfstijd in. Deze bedrijfstijd bepaalt hoeveel afval per tijdseenheid op het rooster wordt gedoseerd. De stookautomaat bepaalt aan de hand van deze bedrijfstijd de slaglengte en -snelheid van de toevoerschuif. Als blijkt dat gedurende een bepaalde tijd de werkelijke bedrijfstijd groter was dan de ingestelde bedrijfstijd, wordt de slagsnelheid en de slaglengte vergroot, zodat per afvaldosering meer afval op het rooster komt. Anders gezegd, gedurende de ingestelde bedrijfstijd dienen de verbrandingsinstellingen (temperatuur, O_2 of stoom) bereikt te worden. De door de operator ingestelde bedrijfstijd is afhankelijk van de te verwachten afvalkwaliteit. Bij hoog calorisch afval zal

een korte bedrijfstijd worden ingesteld. Op de verschillende regelconcepten zal nu verder worden ingegaan.

Regelactie op grond van de vuurhaardtemperatuur

De vuurhaardtemperatuurregeling wordt alleen toegepast bij het op- en afstoken van de installatie en bij het verstoken van zeer hoog calorisch afval. Bij deze regeling is de vuurhaardtemperatuur de uitgangsgrootte, waarmee de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestuurd. De operator stelt handmatig een setpoint voor de vuurhaardtemperatuur in. Het verschil tussen dit setpoint en de gemeten vuurhaardtemperatuur bepaalt of het regelsysteem op GO of op STOP gaat. Een te hoge vuurhaardtemperatuur zet het systeem op STOP en de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestopt. De hoeveelheid afval die wordt toegevoerd per dosering is afhankelijk van de bedrijfstijd, de roostersnelheid is een door de operators vast ingestelde waarde, die enkel wordt veranderd om de hoofdbrandzone op een constante plaats te houden. De totale hoeveelheid primaire lucht alsmede de verdeling hiervan over de luchtkasten worden handmatig ingesteld op basis van een gewenst stoomdebiet. De secundaire luchtdruk wordt automatisch ingesteld aan de hand van het gemeten stoomdebiet. Bij een te laag stoomdebiet wordt de secundaire luchtdruk verhoogd. De verdeling van de secundaire lucht over de beide luchtbalken is een vast ingestelde waarde en wordt slechts zelden door de operators veranderd.



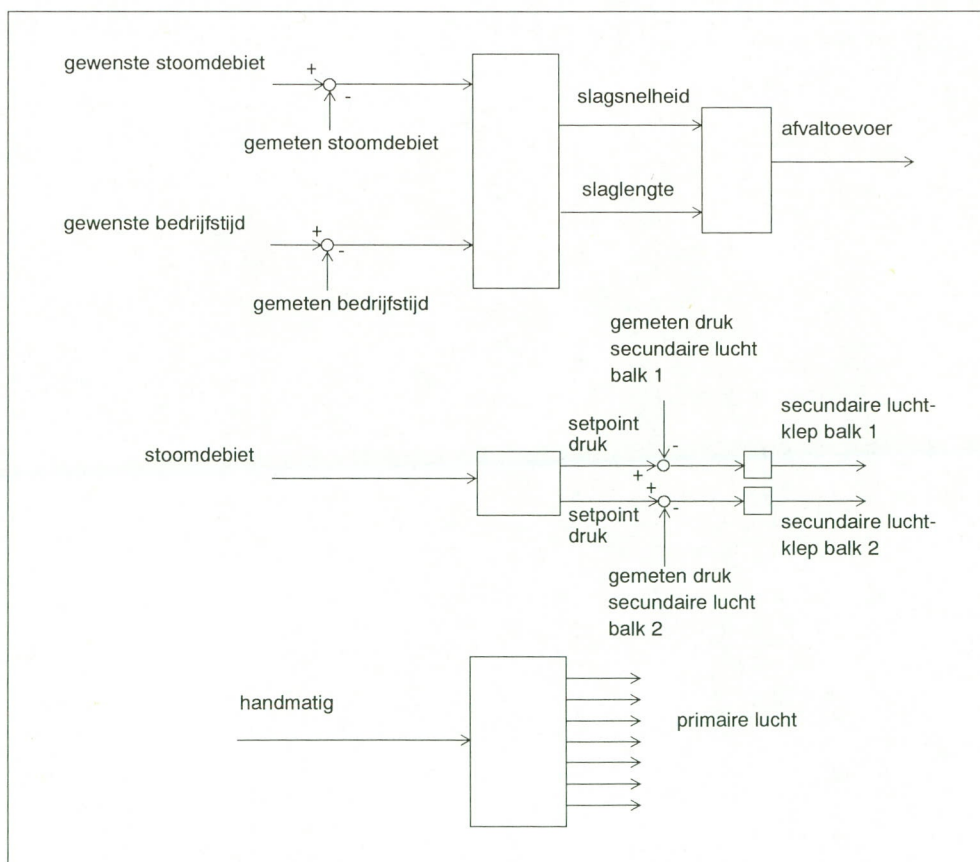
Figuur 2-12 Schema vuurhaardtemperatuurregeling

Regelactie op grond van het stoomdebiet

De stoomdebietregeling, figuur 2-13, kan toegepast worden tijdens normaal bedrijf. Deze regeling wordt echter door de operators zelden gebruikt. Bij deze regeling is het stoomdebiet de uitgangsgrootte, waarmee de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestuurd. De operator stelt handmatig een setpoint voor het stoomdebiet in. Het verschil tussen dit setpoint en het gemeten stoomdebiet bepaalt of het regelsysteem op GO of op STOP gaat. Een te groot stoomdebiet zet het systeem op STOP en de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestopt. De hoeveelheid afval die wordt toegevoerd per dosering is afhankelijk van de bedrijfstijd, de roostersnelheid is een door de operators vast ingestelde waarde, die enkel wordt veranderd om de hoofdbrandzone op een constante plaats te houden.

De totale hoeveelheid primaire lucht alsmede de verdeling hiervan over de luchtkasten worden handmatig ingesteld op basis van een gewenst stoomdebiet. De secundaire luchtdruk wordt automatisch ingesteld aan de hand van het gemeten stoomdebiet. Bij een te hoog stoomdebiet wordt de secundaire luchtdruk verlaagd. De verdeling van de secundaire lucht over de beide luchtbalken is een vast ingestelde waarde en wordt slechts zelden door de operators veranderd.

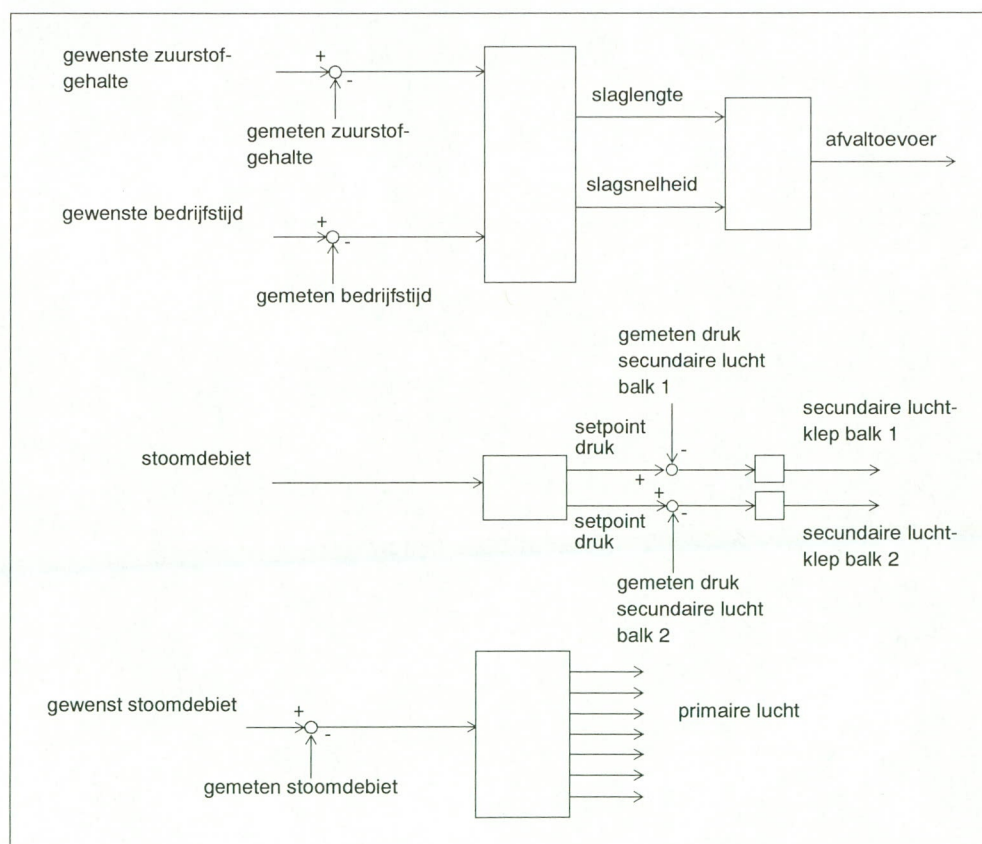
Bij dit regelconcept dienen de operators alert te zijn op een te hoge vuurhaardtemperatuur ($> 900\text{ }^{\circ}\text{C}$). Eventueel grijpen zij hierop in door handmatig de primaire luchthoeveelheid te verhogen.



Figuur 2-13 Schema stoomdebietregeling

Regelactie op grond van het O_2 -concentratie

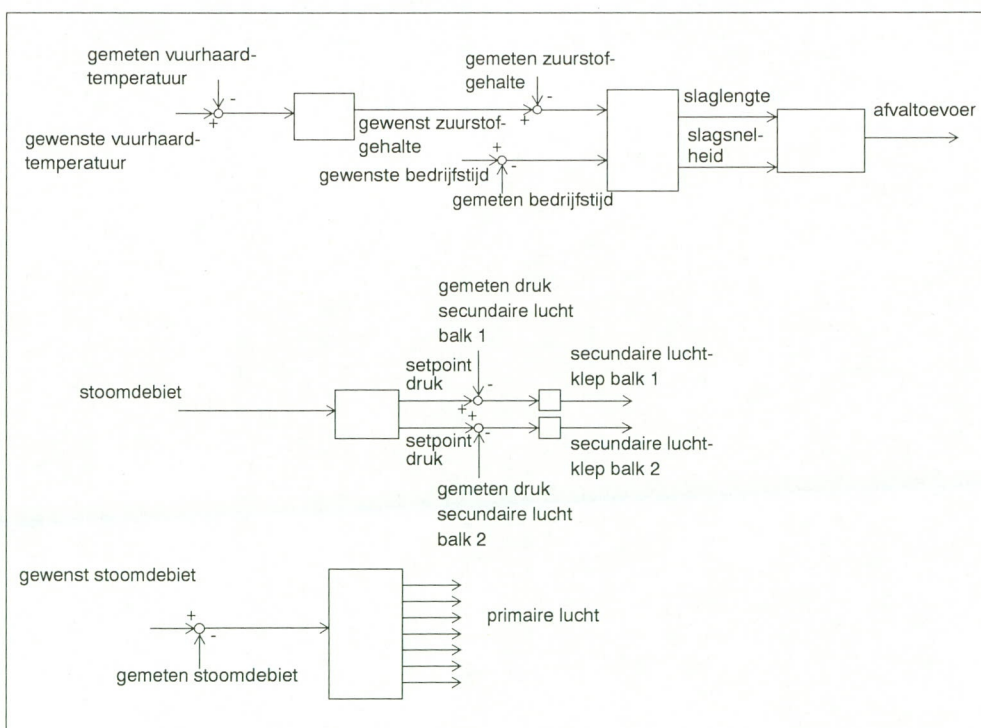
Dit regelconcept, figuur 2-14 wordt regelmatig toegepast door de operators tijdens normaal bedrijf. Bij deze regeling is de O_2 -concentratie de uitgangsgrootheid, waarmee de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestuurd. De operator stelt handmatig een setpoint voor de O_2 -concentratie in. Het verschil tussen dit setpoint en de gemeten O_2 -concentratie bepaalt of het regelsysteem op GO of op STOP gaat. Een te hoge O_2 -concentratie zet het systeem op GO en de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestart. De hoeveelheid afval die wordt toegevoerd per dosering is afhankelijk van de bedrijfstijd; de roostersnelheid is een door de operators vast ingestelde waarde, die enkel wordt veranderd om de hoofdbrandzone op een constante plaats te houden. De totale hoeveelheid primaire lucht alsmede de verdeling hiervan over de luchtkasten wordt automatisch geregeld aan de hand van het verschil tussen het gemeten en ingestelde stoomdebiet. De secundaire luchtdruk wordt automatisch ingesteld aan de hand van het gemeten stoomdebiet. Bij een te hoge stoomproductie wordt de secundaire luchtdruk verlaagd. De verdeling van de secundaire lucht over de beide luchtbalken is een vast ingestelde waarde en wordt slechts zelden door de operators veranderd.

Figuur 2-14 Schema O_2 -concentratieregeling

Regelactie op grond van de O_2 -concentratie en de vuurhaardtemperatuur

Dit regelconcept wordt het meeste toegepast door de operators tijdens normaal bedrijf. Bij deze regeling zijn de O_2 -concentratie en de vuurhaardtemperatuur de uitgangsgrootheden, waarmee de afvaltoevoer en de roosterbeweging worden gestuurd. De operator stelt handmatig een setpoint voor de vuurhaardtemperatuur in. Aan de hand van het verschil tussen het setpoint en de gemeten temperatuur bepaalt de stookautomaat een setpoint voor de O_2 -concentratie. Vervolgens bepaalt het verschil tussen het gewenste en de gemeten O_2 -concentratie of de afvaltoevoer op GO of op STOP gaat. Een te hoog O_2 -gehalte zet het systeem op GO en de afvaltoevoer en de roosterbeweging wordt gestart. De hoeveelheid afval die wordt toegevoerd per dosering is afhankelijk van de bedrijfstijd; de roostersnelheid is een door de operators vast ingestelde waarde, die enkel wordt veranderd om de hoofdbrandzone op een constante plaats te houden.

De totale hoeveelheid primaire lucht alsmede de verdeling hiervan over de luchtkasten wordt automatisch geregeld aan de hand van het verschil tussen het gemeten en ingestelde stoomdebiet. De secundaire luchtdruk wordt automatisch ingesteld aan de hand van het gemeten stoomdebiet. Bij een te hoog stoomdebiet wordt de secundaire luchtdruk verlaagd. De verdeling van de secundaire lucht over de beide luchtbalken is een vast ingestelde waarde en wordt slechts zelden door de operators veranderd.



Figuur 2-15 Schema O_2 -concentratie- en vuurhaardtemperatuurregeling

Bedrijfservaringen

De procesvoering van de ovens 2 en 3 hebben een lagere prioriteit dan die van ovens 1 en 4. Dit omdat bij ovens 1 en 4 energierugwinning plaatsvindt door middel van een stoomsysteem. De stookautomaat bij de GEVUDO biedt een grote mate van flexibiliteit door de mogelijkheid verschillende regelconcepten toe te passen. Indien één of meerdere sensoren uitvallen (bijvoorbeeld uitvallen van de O₂-meting) kan er overgeschakeld worden op een ander regelconcept.

Het regelconcept met O₂-regeling geeft volgens de operators het meest stabiele stookgedrag. De regelstructuur met O₂ en vuurhaardtemperatuur geeft een onrustiger stookgedrag. Dit concept geeft echter volgens de operators de beste resultaten ten aanzien van maximalisatie van de afvaldoorzet.

Als afval met een extreem hoge calorische waarde wordt toegevoerd schakelen de operators de stookautomaat over op de vuurhaardtemperatuurregeling. Dit omdat bij een ander regelconcept het gevaar bestaat dat het proces instabiel wordt en overhitting dreigt van installatie-onderdelen. De operators kunnen door tijdig overschakelen het verbrandingsproces goed in de hand houden. Een enkele maal krijgen de operators vooraf een melding van de kraanmachinist aangaande de afvalkwaliteit, zodat deze vooraf op de situatie kunnen inspelen.

Bij het gebruik van de concepten O₂-regeling en O₂-regeling met vuurhaardtemperatuur bestaat het gevaar dat een instabiele procesvoering ontstaat als de afvalsamenstelling in korte tijd hoog calorisch wordt. Afval met een hoge stookwaarde veroorzaakt een lage O₂-concentratie, een hoge vuurhaardtemperatuur en een hoog stoomdebiet. Door de lage O₂-concentratie en de hoge temperatuur wordt de afvaltoevoer gestopt. Het gevolg is dat het O₂-gehalte stijgt terwijl de vuurhaardtemperatuur en het stoomdebiet eveneens hoog blijven. Door het hoge O₂-gehalte zal de stookautomaat op GO gaan en de afvaltoevoer wordt gestart. Zo ontstaat het gevaar dat de procescondities doorschieten. Hierdoor wordt bijvoorbeeld het niveau in de stoomdrum te hoog en kunnen er veiligheidsproblemen in werking treden. De remedie tegen een dergelijke overshoot is het tijdig overgaan op de vuurhaardtemperatuurregeling.

Tijdens bedrijfsvoering worden de volgende marges en beveiligingen in acht genomen:

- De maximaal toelaatbare stoomhoeveelheid is 21 ton/uur.
- De toelaatbare grenzen van de oventemperatuur in normaal bedrijf zijn 800 tot 900 °C. Als de temperatuur boven 930 °C stijgt wordt de afvaltoevoer uit veiligheidsoverwegingen geblokkeerd.
- Het O₂-setpoint moet zodanig gekozen worden dat de vuurhaardtemperatuur binnen de vermelde marges valt. In de praktijk is dit een waarde tussen 7 en 10%.
- Als de O₂-concentratie lager is dan 6% wordt de afvaltoevoer stilgezet, ongeacht de andere condities. Alleen tijdens vuurhaardtemperatuurregeling is deze beveiliging niet aanwezig, om zodoende de mogelijkheid te hebben tijdens bedrijf de O₂-meter te kalibreren.
- Als het O₂-gehalte hoger is dan 12% wordt de primaire luchthoeveelheid niet verhoogd, ongeacht het werkelijke stoomdebiet.

De operators zijn tevreden over de stookautomaat en grijpen over het algemeen zelden handmatig in. Een dergelijk ingrijpen bestaat in hoofdzaak uit het overschakelen

naar een ander regelconcept. Tevens wordt handmatig de vuurpositie op het rooster geregeld door de roostersnelheid te variëren. Het blijkt dat hiermee de hoofdbrandzone op een redelijke constante plaats is te handhaven. De plaats van de hoofdbrandzone wordt door de operators bepaald aan de hand van visuele inspectie van de oven.

Het wordt door de operators interessant geacht te experimenteren met een onderwindregeling, met als doel het O_2 -gehalte te kunnen sturen. Men verwacht hiermee een hogere vuurhaardtemperatuur en daarmee een groter stoomdebiet te kunnen bereiken.

De operators verwachten weinig van een operator adviesstelsel. Daarentegen achten zij een AVI trainingssimulator voor de opleiding van beginnende operators wel nuttig.

2.6 ROTEB

Procesbeschrijving

De afvalverbrandingsinstallatie ROTEB te Rotterdam bestaat uit vier identieke verbrandingslijnen. Bij deze installatie vindt in ovens, gebouwd volgens het tegenstroomprincipe, verbranding plaats van integraal huishoudelijk afval. De verbrandingscapaciteit bedraagt 12,5 ton per uur per oven. Het afval ondergaat geen voorbereiding. Via een vultrechter wordt het afval gedoseerd op een terugschuifrooster van Martin, zie figuur 2-11. Dit rooster bestaat uit drie parallelle roosterbanen, met onder iedere roosterbaan zeven luchtkasten voor de primaire luchttoevoer. De hellingshoek van het rooster bedraagt 45° . Dit in tegenstelling tot het rooster van GEVUDO dat onder een hoek van 26° staat. In de tijd dat het rooster van ROTEB gebouwd is (1963) bouwde de firma Martin roosters onder een hoek van 45° . De huidige roosters van Martin staan alle, zoals ook bij GEVUDO, onder een hoek van 26° . De primaire lucht wordt voorverwarmd op circa 180°C (maximaal 200°C). De LUVU staat altijd ingeschakeld, omdat in deze regio nog niet in die mate aan afvalscheiding wordt gedaan als in de rest van het land. Andere AVI's hebben problemen gekregen met het hoger worden van de calorische waarde van het afval door het afscheiden van de GFT fractie. De lagere calorische waarde van het afval ten opzichte van de rest van het land heeft tot gevolg dat de roostertemperatuur binnen acceptabele grenzen ($220 - 230^\circ\text{C}$) blijft. Secundaire lucht wordt onverwarmd toegevoerd via luchtinlaten aan de voor- en achterkant van de oven boven de keel. De primaire en secundaire lucht worden via afzonderlijke ventilatoren aangezogen. De installatie beschikt niet over platenlucht. Na verbranding worden de ontstane slakken via een ontslakker afgevoerd en de verbrandingsgassen worden afgekoeld in een stoomketel met een capaciteit van 30 ton stoom per uur (350°C , 30 bar).

Ten behoeve van de reiniging van de rookgassen heeft ROTEB sinds kort een nieuwe rookgasreinigingsinstallatie geïnstalleerd. Deze installatie bestaat uit achtereenvolgens een elektrofilter, een zure en basische wasser, een actief kool filter (gepakt bed) en een SCR Denox.

De prioriteit van de ROTEB ligt bij het zoveel mogelijk verstoken van afval, binnen de randvoorwaarden van de emissie-eisen en de levensduur van de installatie.

Meet- en regelconcept

Ten behoeve van de regeling van het verbrandingsproces worden in de installatie de onderstaande grootheden gemeten:

- vuurhaardtemperatuur in de eerste trek;
- stoomproductie;
- debiet en temperatuur van de primaire lucht;
- debiet en temperatuur van de secundaire lucht;
- rookgasdebiet;
- O₂-concentratie na de ketel.

De regelconcepten voor de vier lijnen van de ROTEB zijn identiek en komen sterk overeen met de regelconcepten voor de lijnen 1 en 4 van de GEVUDO. Ook hier kan uit vier verschillende regelconcepten gekozen worden. Dit zijn:

- regelactie op grond van de vuurhaardtemperatuur;
- regelactie op grond van het stoomdebiet;
- regelactie op grond van de O₂-concentratie in de rookgassen;
- regelactie op grond van het O₂-concentratie in de rookgassen en de oventemperatuur.

Het werkingsprincipe van deze regelconcepten is reeds beschreven paragraaf 2.5.

Door wijzigingen in de installatie ten aanzien van de rookgasreiniging bleek het voor de procesvoering van belang te zijn dat de rookgasdebiet constant en niet te hoog is. Dit heeft gevolgen gehad voor de procesvoering in die zin dat de stookautomaat op de volgende punten ten opzichte van het concept van de GEVUDO is gewijzigd:

- minder secundaire lucht, de verbranding is nu rustiger;
- bij het concept stoomdebietregeling is de regeling van de secundaire lucht niet meer afhankelijk van het werkelijke stoomdebiet maar van het gewenste stoomdebiet;
- bij het concept O₂-concentratie- en vuurhaardtemperatuurregeling is de invloed van een verandering van de vuurhaardtemperatuur op het O₂-setpoint kleiner geworden. Hierdoor zijn de fluctuaties in het rookgasdebiet kleiner geworden.

Bedrijfservaringen

De operators van de ROTEB blijken met de huidige stookautomaat het stookgedrag goed te kunnen sturen. Volgens de operators hoeven zij zelden handmatig in te grijpen. De verschillende regelconcepten geven de operators de mogelijkheid het stookgedrag naar eigen inzicht te beïnvloeden. Het concept temperatuur en O₂-regeling wordt, evenals bij de GEVUDO, het meest gebruikt. Dit concept geeft volgens de operators het meest stabiele stookgedrag en vergt het minste corrigerend ingrijpen van de operator. Opvallend is dat de operators van GEVUDO vonden dat bij toepassing van dit regelconcept het verbrandingsproces onrustiger werd. Een oorzaak voor dit verschil is niet aan te geven.

Het concept stoomdebietregeling wordt, evenals bij de GEVUDO, zelden gebruikt. Het concept O₂-concentratieregeling wordt regelmatig gebruikt. Hiermee is het verbrandingsproces goed te bedienen. Bij de ROTEB wordt, evenals bij de GEVUDO,

het concept vuurhaardtemperatuurregeling gebruikt bij het op en afstoken. Hierop wordt ook overgegaan als het proces onder extremere condities bedreven moet worden, bijvoorbeeld in het geval van het verstoken van hoog calorisch afval.

Informatie over het vuurbeeld wordt verkregen via camera's die van buiten op het rooster gericht zijn. Andere informatie die door de operators wordt gebruikt ter beoordeling van het verbrandingsproces en een indicatie voor de calorische waarde van het afval zijn de O_2 -concentratie en de vuurhaardtemperatuur.

De in gebruik name van de rookgasreinigingsinstallatie betekent voor de operators dat zij alert moeten zijn op fluctuaties in het rookgasdebiet en op hoge vliegstofconcentraties. Voor de inlaat van de wasser is een rookgasdichtheidsmeter geplaatst. Deze wordt gebruikt ter bepaling van het stofgehalte van de rookgassen. Is het stofgehalte te hoog, dan kan dit aanleiding geven tot verstoppingen in het actief kool filter. De noodzakelijkheid van het handhaven van een constant en niet te hoog rookgasdebiet en een laag stofgehalte blijken in de praktijk door de operators als lastig te worden ervaren. De prioriteit van de ROTEB ligt bij het halen van een zo groot mogelijke afvaldoorzet. Door de huidige beperkingen opgelegd door de rookgasreiniging is het niet mogelijk deze doelstelling te halen.

Door de constructie van het Martin-rooster is de drukval van de primaire lucht over het rooster en de afvallaag voor het grootste gedeelte toe te schrijven aan het rooster en maar voor een klein gedeelte aan de afvallaag die op het rooster ligt. Hierdoor is de drukval van de primaire lucht een minder goede indicatie van de afvallaagdikte. In de praktijk wordt de laagdikte met behulp van een camera, gericht op de vuurhaard, bepaald. De ROTEB heeft volgens eigen zeggen weinig problemen met een fluctuerende laagdikte. Door de specifieke eigenschappen van een terugschuifrooster zijn hier minder problemen met het bedekt houden van de roosterstaven ter bescherming van het rooster. Bij de ROTEB is de verblijftijd van het afval op het rooster relatief hoog (circa 2 uur).

Onder normale procesconditie worden de volgende instellingen gehandhaafd:

- O_2 : 8 vol% nat;
- vuurhaardtemperatuur: 900 °C;
- stoomproductie : 30 t/h.

De stookautomaat voldoet volgens de operators goed. Dit wordt ondersteund door het feit dat de operators maar zelden handmatig hoeven in te grijpen. Het ingrijpen bestaat hoofdzakelijk uit het overschakelen naar een ander regelconcept. De operators regelen handmatig de vuurpositie op het rooster door de roostersnelheid te variëren. Hiermee kunnen zij de hoofdbrandzone op een redelijke constante plaats handhaven.

Tijdens de procesvoering kan inlek van valse lucht de oorzaak zijn van opslingering van het proces. Een als gevolg hiervan verhoogde O_2 -concentratie kan als gevolg hebben dat de afvaltoevoer verhoogd wordt, zonder dat daartoe de noodzaak bestaat. Tevens kan inlek van valse lucht een verhoging van het CO-gehalte veroorzaken.

Opvallend is dat het regelsysteem zeer veel alarmen/meldingen geeft. Een kritische screening van de alarmlijst zou een aanzienlijke reductie hiervan geven. Een kanttekening hierbij is dat de meeste meldingen betrekking hebben op de rookgasreinigingsinstallatie.

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

De ROTEB heeft contacten met Martin over de toepassing van pyrodetectors. Martin voert hiermee experimenten uit met als doel meting van de rookgastemperatuur. De resultaten van deze experimenten zijn niet bevredigend, omdat de detectoren tevens de stralingswarmte van de wanden meenemen. De ROTEB ziet als belangrijke toepassing van pyrodetectors het sturen van de hoofdbrandzone via regeling van de primaire luchttoevoer. Bij de operators bestaat de verwachting dat een pyrodetector snelle temperatuurschommelingen beter kan registreren dan de huidige (afgeschermd) thermokoppels dat kunnen.

De operators zijn sceptisch over een operator adviessysteem. Er is geen vertrouwen in de technische mogelijkheden van ontwikkeling van een dergelijk systeem. Twijfel bestaat of het mogelijk is de meeste voorkomende storingen in een adviessysteem in te bouwen. Daarentegen is men positief over een trainingssimulator voor training van zowel beginnende als ervaren operators. De ROTEB denkt wel dat een dergelijk systeem moet uitgerust zijn met een gebruikersinterface overeenstemmend met de interface bij de betreffende AVI.

2.7 Samenvatting

Voor de duidelijkheid zijn in de onderstaande twee tabellen per AVI de belangrijkste in- en uitgangsgrootheden van de regeling nogmaals samengevat. Voor de volledigheid zijn ook de gegevens van de nieuwe AVI's hierin betrokken.

Tabel 2.1 Ingangsgrootheden per AVI

AVI	Afval-toevoer	Rooster-snelheid	Primaire lucht	Verdeling primaire lucht	Secundaire lucht	Platen-lucht	Temperatuur primaire/secundaire lucht
AVIRA	X	X	X				
ARN (1)	X	X	X	X	X	X	
ARN (2)	X		X		X		
AVR	X	X	X	X	X	X	
GEVUDO	X		X	X ¹⁾	X		
ROTEB	X		X	X ¹⁾	X		
AVI-Amsterdam	X		X		X		
AVI-Roosendaal	X	X					
AVI-Alkmaar	X		X		X		X
AVI-Moerdijk	X		X		X		X
GAVI-Wijster	X	X	X	X	X		

¹⁾ Niet bij de regelconcepten 'vuurhaardtemperatuurregeling' en 'stoomdebietregeling'.

Tabel 2.2 Uitgangsgrootheden per AVI

AVI	Regel-concept	Stoom	Vuurhaard-temperatuur	O ₂ -gehalte	Bedrijfs-tijd	Achterwand-temperatuur	Drukval afval
AVIRA				X			
ARN (1)		X					
ARN (2)	stoom	X		X	X		
ARN (2)	O ₂ -gehalte	X		X	X		
AVR	oven 1 t/m 5	X		X		X	X
AVR	oven 6	X		X		X	X
GEVUDO	vuurhaard T	X	X		X		
GEVUDO	stoom	X			X		
GEVUDO	O ₂ -gehalte	X		X	X		
GEVUDO	O ₂ / T	X	X	X	X		
ROTEB	vuurhaard T	X	X		X		
ROTEB	stoom	X			X		
ROTEB	O ₂ -gehalte	X		X	X		
ROTEB	O ₂ / T	X	X	X	X		
AVI-Amsterdam	stoom	X		X	X		
AVI-Amsterdam	O ₂ -gehalte	X		X	X		
AVI-Roosendaal		X ¹⁾					X
AVI-Alkmaar		X	X	X			
AVI-Moerdijk		X	X	X			
GAVI-Wijster		X	X	X			

¹⁾ Warmwaterproductie.

De hoofdpunten uit bovenstaande beschrijvingen kunnen als volgt worden samengevat:

- Nagenoeg alle AVI's zijn ervan overtuigd dat een modern regelsysteem onontbeerlijk is om te kunnen voldoen aan de emissierichtlijnen.
- GEVUDO, AVIRA en AVR geven aan dat er op korte termijn behoefte bestaat voor een optimalisatie van de huidige procesregeling. Bij de AVIRA richt dit zich voornamelijk op stabilisering van de procesvoering en dan met name de stoomproductie. Bij de AVR ligt het accent meer op het constant houden van de rookgasstroom in verband met de rookgasreiniging.
- ARN, ROTEB en GEVUDO houden de plaats van het vuur constant door middel van het variëren van de roostersnelheid. AVI-West en AVIRA trachten dit te bereiken met variatie van de afvaltoevoer, terwijl AVR de luchttoevoer naar, en de snelheid van, de laatste walsen verandert.
- AVR, ROTEB geven aan enige problemen te hebben met het constant houden van de rookgasstroom. Dit is van belang voor de rookgasreinigingsinstallatie.
- Opvallend is dat AVIRA een afwijking van de zuurstofconcentratie stuurt met de roostersnelheid, terwijl alle andere AVI's dit doen door het sturen van de afvaltoevoer en/of de luchttoevoer.
- De meeste AVI's geven aan dat ze problemen ondervinden met het goed bepalen van de vuurhaardtemperatuur, voornamelijk doordat thermokoppels verslakken.
- De operators zijn over het algemeen redelijk tevreden over de stookautomaten. AVIRA en ARN zijn het er over eens dat slechts één regelpara-meter (AVIRA: zuurstof; ARN: stoom) te weinig is voor het goed bedrijven van de installatie. Bij AVIRA en ARN zijn plannen om in de toekomst een tweede grootheid (stoom, zuurstof) in de automaat in te bouwen.

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

- GEVUDO en ROTEB hebben de keuze uit 4 regelingen, AVI-West uit twee en de rest heeft maar één soort regeling. GEVUDO, ROTEB, AVI-West en ARN gebruiken de regeling zoals die door de leverancier geïmplementeerd is. AVR heeft een eigen regelsysteem geïmplementeerd terwijl AVIRA nog in de implementatiefase zit van een eigen regelsysteem.
- De meeste AVI's hebben interesse in een trainingssimulator om de opleiding van beginnende operators te verkorten. Omtrent een operator-adviesstelsel is meer verdeeldheid. ROTEB, AVI-Alkmaar, GEVUDO en AVIRA hebben interesse voor zo'n stelsel. AVI-West, ARN, ROTEB, AVI-Moerdijk, GAVI-Wijster en AVR hebben minder interesse, voornamelijk omdat er twijfels zijn omtrent de meerwaarde van een operator-adviesstelsel.

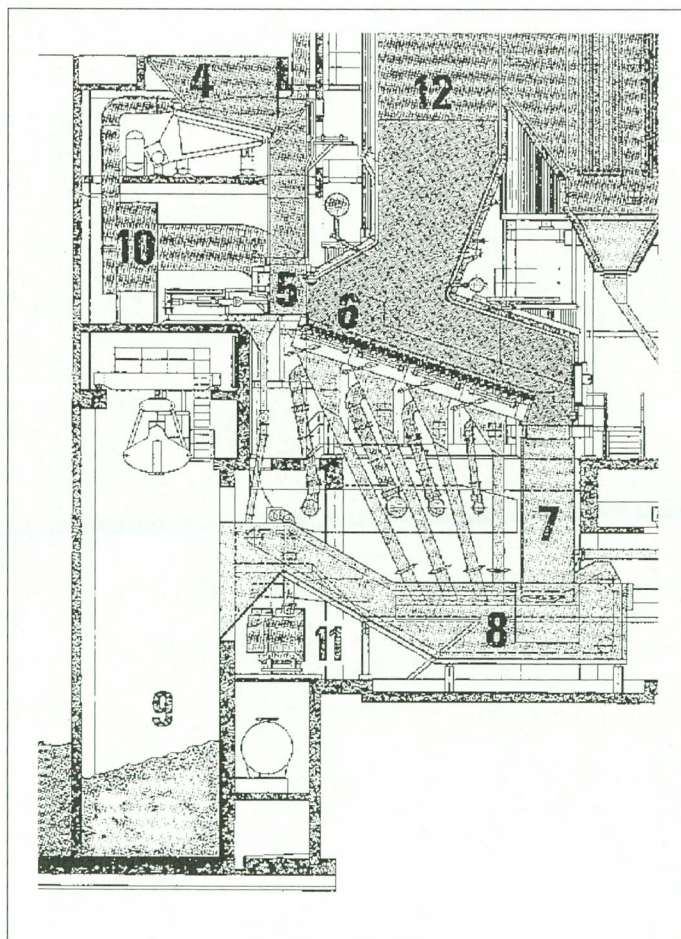
In hoofdstuk 4.6 worden enkele regelingen nog vergeleken met de regeling zoals de leverancier die implementeert.

3 Geavanceerde regelsystemen

In het kader van deze inventariserende studie is een bezoek gebracht aan het VDI-congres, 'Feuerungs-, Verbrennungs-, Vergasungstechniken'. Tijdens dit congres hebben de belangrijkste ovenleveranciers een presentatie gehouden over hun roosterovens inclusief regelsystemen. In dit hoofdstuk zal een samenvatting gegeven worden van de regelsystemen die door de ovenleveranciers aangeboden worden. Dit hoofdstuk bestaat uit negen paragrafen, waar in de eerste acht de systemen van de verschillende leveranciers (Von Roll, Lentjes-Kablitz, Noell, Babcock, W+E, Martin, Steinmüller en EVT) aan bod zullen komen. In de laatste paragraaf zullen enkele conclusies aan bod komen.

3.1 Von Roll

Het Von Roll principe kenmerkt zich door een voorschuiфроoster in een middenstroomoven, zie figuur 3-1.

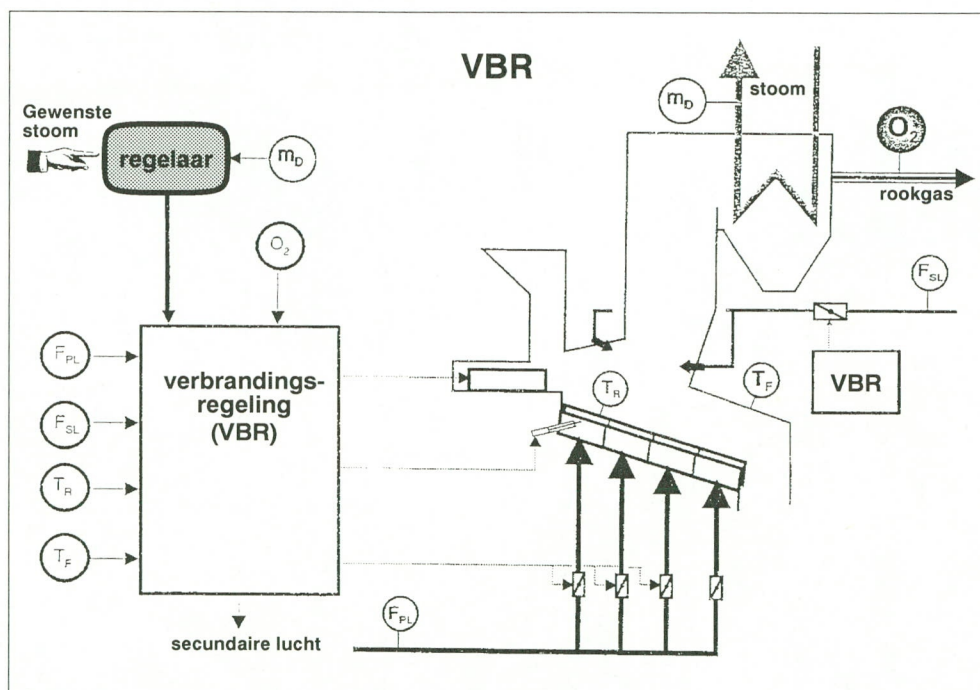


Figuur 3-1 Von Roll ovengeometrie + rooster [6]

Zoals te zien is het rooster verdeeld in 4 onderwindkasten, die onafhankelijk van elkaar gestuurd kunnen worden. Al naar gelang van de lengte van het rooster zijn er 3, 4 of 5 onderwindkasten aanwezig. De roostersnelheid kan per zone apart ingesteld worden. Von Roll voert op twee plaatsen in de keel van de 1^e trek secundaire lucht toe. Het rooster staat onder een hoek van 18°. Von Roll heeft een verbrandingsregeling ontwikkeld, die als doel heeft een

- hoge slakkwaliteit;
- optimale stof- en gasuitbrand;
- minimale vlieggasproductie.

te waarborgen. Gezamenlijk moet dit in een constante bedrijfsvoering resulteren. Dit resultaat moet behaald worden met de volgende stuurvariabelen: afvaldebiet, roostersnelheid, hoeveelheid primaire en secundaire lucht. Het door Von Roll ontwikkelde regelsysteem is weergegeven afgebeeld in figuur 3-2.



Figuur 3-2 Regelconcept Von Roll systeem [1]

Om het systeem goed te kunnen regelen worden de volgende signalen gemeten: stoomhoeveelheid, zuurstofconcentratie voor het elektrofilter, roostertemperatuur en de temperatuur (T_F in figuur 3-2) in de bovenwand van de oven. De roostertemperatuurmeting (T_R) dient als maat voor de laagdikte op het rooster in de hoofdbrandzone; deze laagdikte dient zo constant mogelijk te blijven opdat een constante roosterbedekking gewaarborgd wordt. De temperatuurmeting boven in de ovenwand is een maat voor de plaats van het vuur op het rooster; deze dient zo constant mogelijk te zijn om een optimale uitbrand te garanderen.

Deze verworven signalen worden toegevoerd aan de 'Feuerleistungsregelung'; deze stuurt vervolgens het afvaldebiet, roostersnelheid en de primaire luchtverdeling. De hoeveelheid secundaire lucht wordt gebruikt om de totale hoeveelheid verbrandingslucht constant te houden.

In het Von Roll systeem is het ook mogelijk om de rookgassen te recirculeren en toe te voeren op de plaats van de secundaire luchttoevoer. Deze recirculatie heeft als doel de NO_x-emissie te verlagen. De hoeveelheid gerecirculeerd rookgas wordt niet geregeld, maar naar gelang de belasting ingesteld.

Von Roll heeft dit systeem geïnstalleerd bij de Müllverbrennungsanlage Emmenspitz in Zuchwil, Zwitserland. De resultaten die gehaald worden zijn goed: een constante stoomproductie ($\pm 3\%$, bij een stoomproductie van 25 - 33 ton/uur), gloeiverliezen van 0,5 tot 0,6% bij de slakken, roostertemperaturen die onder de 350 °C blijven, hetgeen een lange levensduur garandeert. Rookgasrecirculatie is bij deze installatie niet geïnstalleerd. In hoofdstuk 4 komt deze AVI nog verder ter sprake.

3.2 Lentjes-Kablitz

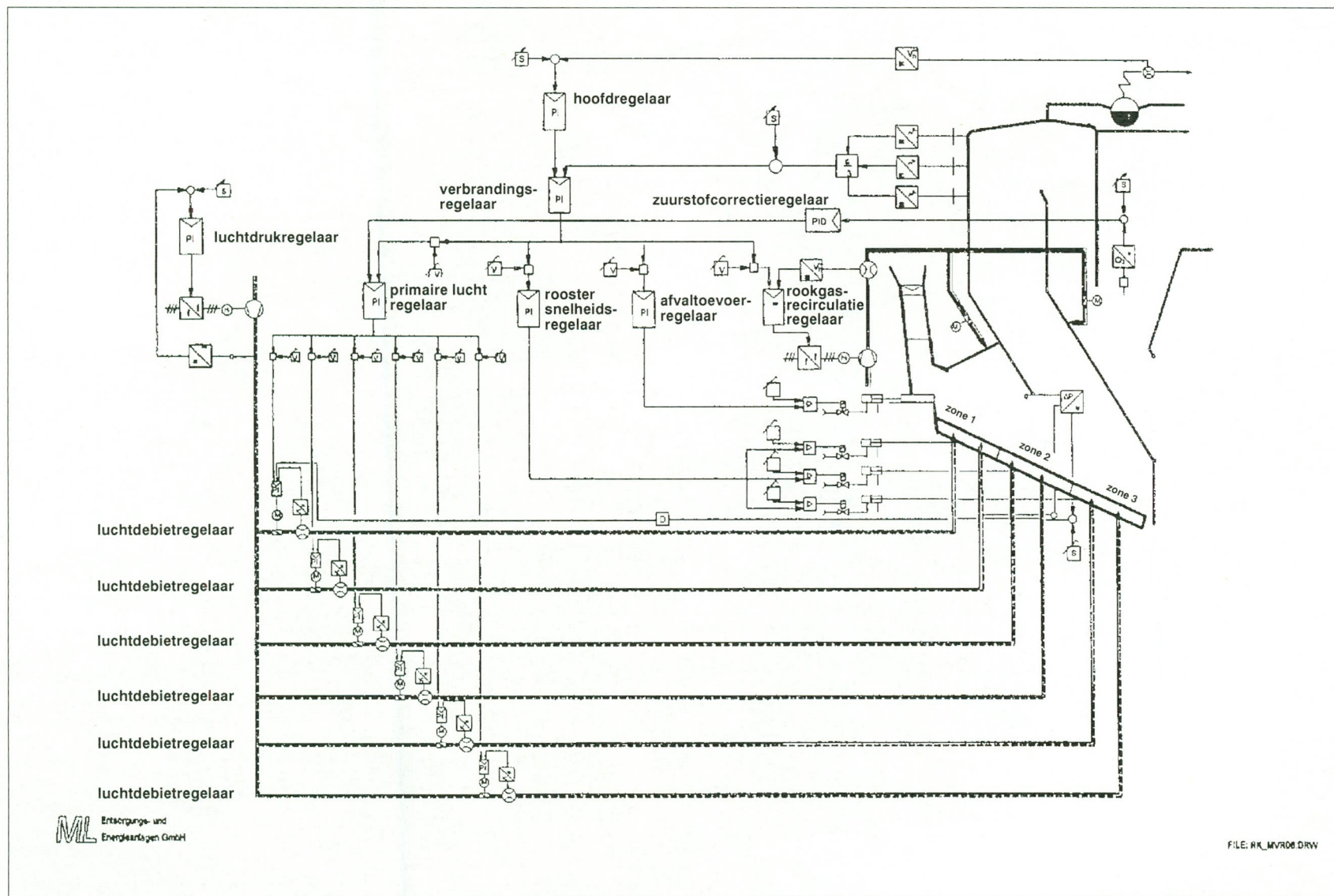
Lentjes-Kablitz levert verschillende roosters afhankelijk van het afval dat verbrand moet worden. Wanneer relatief licht afval met een klein aandeel en een laag watergehalte verbrand moeten worden gaat de voorkeur uit naar een voorschuifrooster. Echter wanneer normaal, niet voorbereikt, afval in niet te grote hoeveelheden verwerkt moet worden of wanneer opgewerkt afval met een hoge energetische waarde verbrand moet worden, dan gaat de voorkeur uit naar een tegenlooprooster. Een walsenrooster wordt gebruikt bij het verbranden van grote hoeveelheden niet voorbereikt afval. Vanwege de goede resultaten met het tegenlooprooster zal deze hier besproken worden.

Door Lentjes-Kablitz is gekozen voor de meestroomgeometrie, zie figuur 3-3. Het tegenlooprooster, dat onder een hoek van 10° staat, is opgedeeld in drie onafhankelijk van elkaar in te stellen roosterzones, die ieder weer opgedeeld zijn in twee luchtverdeelkasten. Deze luchtverdeelkasten zijn ook afzonderlijk te regelen. Het rooster heeft een lengte van 9 à 10 m. Op twee punten wordt secundaire lucht toegevoerd; de hoeveelheid bedraagt ongeveer 30% van de primaire lucht. Tevens bestaat de mogelijkheid om rookgassen te recirculeren door terugvoeren van rookgassen naar de secundaire luchttoevoer.

De verbrandingsregeling van Lentjes-Kablitz moet in staat zijn de volgende doelstellingen te kunnen bereiken:

- een te regelen warmte-ontbinding in de vuurhaard;
- een goede verbrandingskwaliteit;
- minimale emissies bij optimale uitbrand.

Hiernaast geldt als randvoorwaarde een constante stoomproductie.



Figuur 3-3 Regelconcept Lentjes-Kablitz systeem [1]

Als snelle indicator voor de verandering van de procesomstandigheden wordt de temperatuur aan het einde van de eerste trek van de ketel gezien. Deze moet ondanks de veranderingen in de afvaltoevoer zo constant mogelijk gehouden worden. Verder worden de volgende signalen gemeten:

- temperaturen (3) aan het einde eerste trek;
- zuurstofconcentratie aan het einde van de ketel;
- stoomproductie;
- onderdruk oven.

De stoomproductie bepaalt de gewenste waarde van de vuurhaardtemperatuur. Vergelijking met de gemeten vuurhaardtemperatuur resulteert in het sturen van de afvaltoevoer, de roostersnelheden en de hoeveelheid primaire en secundaire lucht. De gemeten zuurstofconcentratie heeft voornamelijk invloed op de secundaire luchttoevoer.

In de afvalverbrandingsinstallatie RZR Herten in Duitsland zijn bedrijfservaringen opgedaan met het tegenloopprincipe. Hier zijn goede resultaten behaald met het verbranden van hoog calorisch afval. De in aanbouw zijnde GAVI-Wijster zal bestaan uit dit tegenlooprooster in een meestroomvuurhaard zoals in figuur 3-3 afgebeeld.

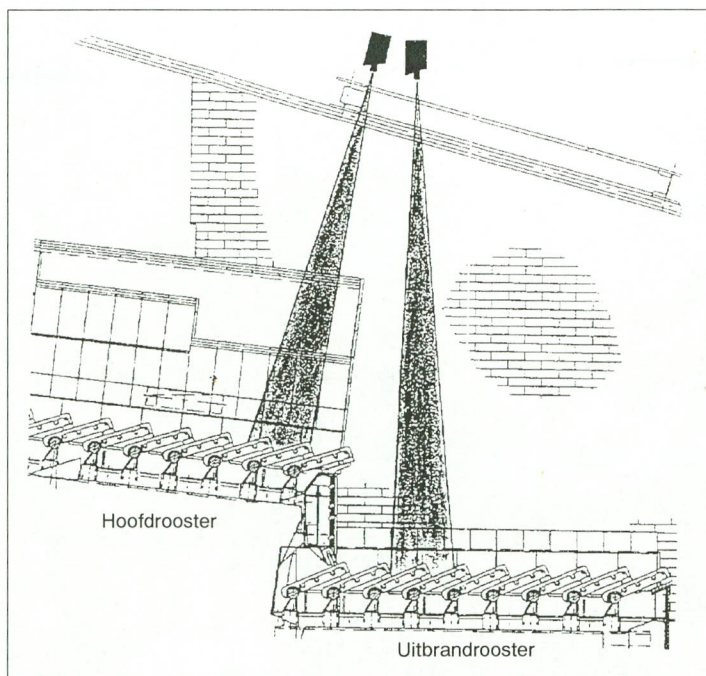
3.3 Noell

Noell geeft de voorkeur aan een voorschuifrooster, dat bestaat uit drie roosters. De eerste twee roosters, ieder met een lengte van 3,6 m, staat onder een hoek van 6° en dienen als hoofdbrandzone. Op het derde rooster vindt de uitbrand plaats. Dit rooster, met een lengte van 2,4 m, ligt lager dan het eerste en is horizontaal opgesteld. Het eerste rooster bestaat uit twee afzonderlijk in te stellen roosterdelen. De snelheid van het tweede rooster kan ook afzonderlijk ingesteld worden. De vuurhaard wordt als middenstroom uitgevoerd, zie figuur 2-1. Het systeem bevat vijf onderwindkasten, welke afzonderlijk te regelen zijn. De hoeveelheid secundaire lucht bedraagt 15 - 20% van de totale verbrandingslucht. De resterende 80 - 85% van de verbrandingslucht wordt toegevoerd als primaire lucht, waarbij naar gelang de calorische waarde van het afval een verdeling gemaakt wordt tussen primaire lucht onder het rooster en boven het afvalbed.

Ook bij Noell is rookgasrecirculatie mogelijk door gedeeltelijke vervanging (15 - 20%) van secundaire lucht door rookgassen. Dit wordt vooral toegepast bij afval met een hoog calorische waarde waardoor reeds veel zuurstof verbruikt wordt bij de primaire luchttoevoer. De secundaire lucht heeft dan voornamelijk een mengfunctie.

De verbrandingsregeling van Noell heeft als doel een gelijkmatige verbranding over het rooster. Dit wordt bereikt wanneer een constante stoomproductie en een constante plaats van het vuur op het rooster bewerkstelligd wordt. Deze twee parameters zijn dan ook de belangrijkste grootheden voor de regeling. Als hulpgrootheden gelden de zuurstofconcentratie en de vuurhaardtemperatuur. Deze twee signalen reageren sneller op veranderingen van het afval dan de stoomproductie of de plaats van het vuur. Als laatste parameter geldt de hoogte van het afvalbed welke zo constant mogelijk moet blijven. De hydraulische druk van de roosteraandrijving is een maat voor de hoeveelheid afval op het rooster.

De plaats van het vuur wordt bepaald met optische sensoren die boven in de vuurhaard geplaatst zijn (figuur 3-4). Deze optische sensoren zijn in staat vlammen van gloeien te onderscheiden. Uit onderzoek is gebleken dat een optimale slakkenkwaliteit verkregen wordt indien het vuur zich beperkt tot het eerste rooster.



Figuur 3-4 Plaats van de sensoren in de vuurhaard [1]

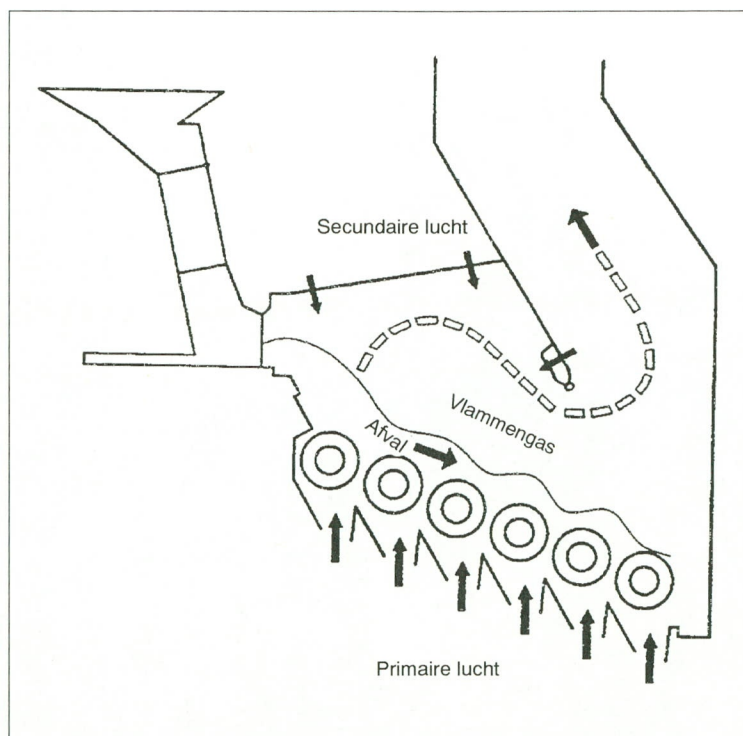
Deze gemeten grootheden (stoomproductie, plaats van het vuur, zuurstofconcentratie, hydraulische druk en vuurhaardtemperatuur) worden constant gehouden door via een regelsysteem de volgende grootheden te sturen:

- hoeveelheid en verdeling primaire lucht;
- hoeveelheid secundaire lucht;
- mate van rookgasrecirculatie;
- mate van luchtvoorverwarming;
- afvaldebiet;
- snelheid afzonderlijke roosterzones.

Bij de modernisering van de afvalverbrandingsinstallatie te Hamm, Duitsland, zijn een aantal van de hierboven genoemde regelconcepten toegepast. Welke zijn toegepast is voornamelijk nog niet duidelijk. De bedrijfsresultaten zijn bevredigend met bijvoorbeeld een stoomproductie met afwijkingen tot 5%. Echter opgemerkt wordt dat nog steeds situaties voorkomen die niet goed genoeg door de verbrandingsregeling geregeld worden. Hier moet nog steeds handmatig ingegrepen worden.

3.4 Babcock

Babcock kiest voor een walsenrooster, dat opgebouwd is in 6 onafhankelijk van elkaar te regelen walsen. Dit wordt onder andere in een meestroomgeometrie uitgevoerd, zie figuur 3-5.



Figuur 3-5 Babcock oven [1]

Het rooster is opgesteld onder een hoek van 20° en onder het rooster bevinden zich meestal 6 onderwindkasten. Zoals te zien in figuur 3-5 wordt op drie plaatsen secundaire lucht toegevoerd. De verbrandingsregeling heeft niet als hoofddoel een constante stoomproductie, maar een optimale slakkwaliteit en een vermindering van de emissies door middel van primaire maatregelen. De stoomproductie en de zuurstofconcentratie worden als belangrijkste regelgrootheden gezien. Vanwege het belang van de plaats van het vuur wordt deze grootheid in de regelkring opgenomen. Deze gegevens worden bepaald met behulp van stralingspyrometers die de temperaturen op wals 4 en 5 bepalen. Als extra worden de volgende grootheden nog opgenomen in de regelstructuur: CO-concentratie, afvallaagdikte. Deze gegevens worden gebruikt om de roostersnelheid, afvaldebiet, primaire en secundaire luchtverdeling te sturen. Babcock heeft dit nieuwe regelsysteem nog niet toegepast in een huidige AVI, zodat geen bedrijfservaringen voorhanden zijn. In hoofdstuk 4 wordt nog verder gedetailleerd ingegaan op dit regelsysteem.

3.5 W+E

W+E kiest voor een tegenloop-overschuifrooster dat horizontaal is opgesteld. De oven is in tegenstroom uitgevoerd, zie figuur 2-3. Het systeem bezit vier onderwindkasten en twee plaatsen waar secundaire lucht wordt toegevoerd.

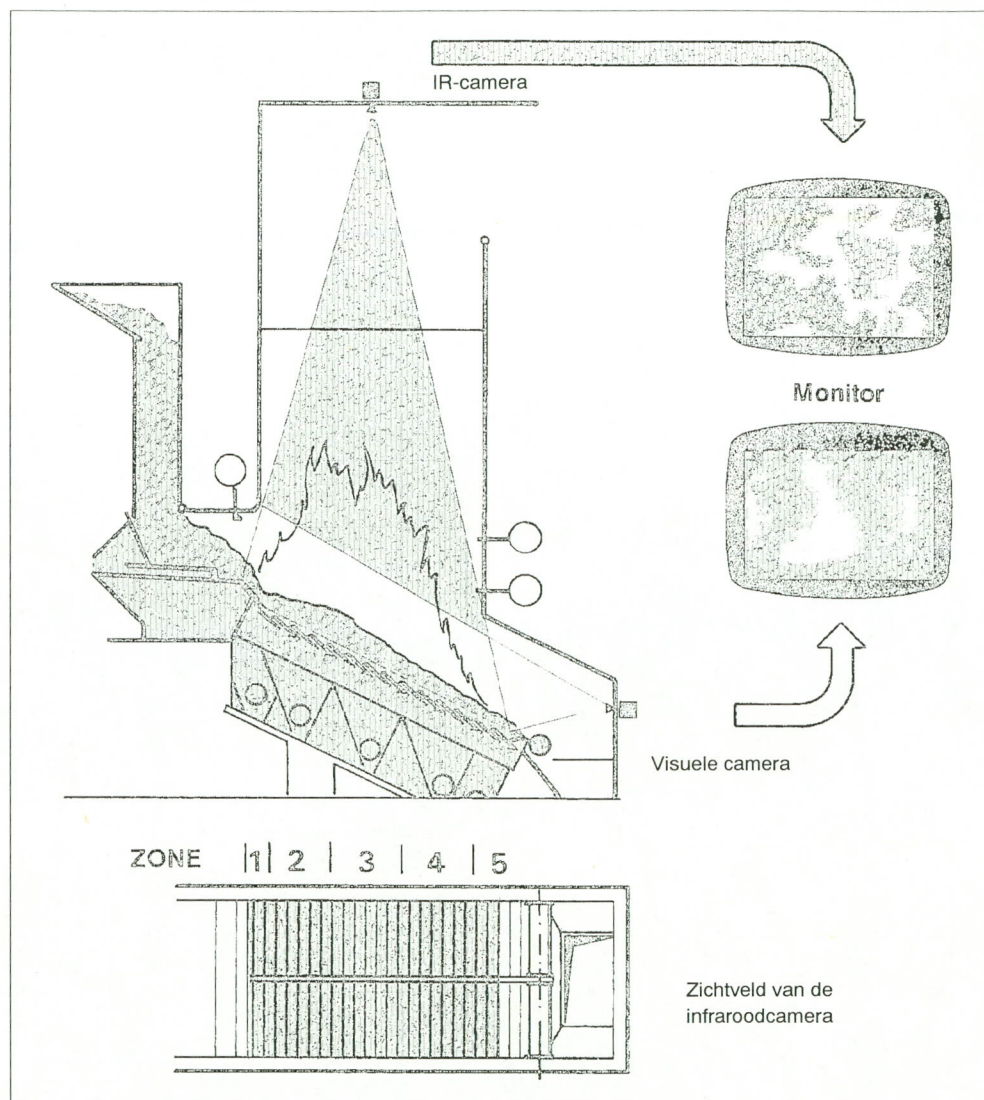
W+E treedt omtrent verdere gegevens weinig in detail. Wat betreft de verbrandingsregeling wordt vermeld dat de stoomproduktie en de zuurstofconcentratie de belangrijkste gegevens leveren voor de verbrandingsregeling. Er wordt niet ingegaan op welke stuurvariabelen gebruikt worden. Ook wordt niet duidelijk of een geavanceerde technieken gebruikt worden (pyrodetectors/infraroodcamera's) of dat getest is bij een huidige AVI. Wel wordt de stoomproduktie van een AVI getoond als functie van de tijd, waaruit blijkt dat de afwijking maximaal 5% bedraagt ($41,3 \pm 2,2$ ton/uur). Een opmerking dient gemaakt te worden over de tijd waarover deze gegevens getoond zijn; deze is namelijk maar 30 minuten.

AVI-West heeft een tegenloop-overschuifrooster van W+E. In hoofdstuk 2.2 is de regeling die W+E geïnstalleerd heeft uitvoerig besproken.

3.6 Martin

De firma Martin kiest voor een terugschuifrooster dat onder een hoek van 26° staat opgesteld. De gekozen ovengeometrie is tegenstroom, zie figuur 2-11. Het systeem bevat 5 onderwindkasten, waarbij iedere zone apart gestuurd kan worden. De hoeveelheid primaire lucht bedraagt ongeveer 70% van de totale verbrandingslucht. De secundaire lucht bedraagt ongeveer 30%. De grootste hoeveelheid primaire lucht (60% van totale primaire lucht) is nodig bij de hoofdbrandzone welke zich boven de tweede en derde onderwindkast bevindt. De nog te bespreken verbrandingsregeling draagt er zorg voor dat de juiste hoeveelheid primaire lucht wordt toegevoerd. Indien gebruik gemaakt wordt van rookgasrecirculatie wordt deze toegevoerd op de plaats van de secundaire lucht.

Martin erkent net als de andere leveranciers dat een constante stoomproduktie niet voldoende is voor de verbrandingsregeling. Martin stelt dat de prioriteit verschuift naar optimale verbrandingskwaliteit en minimale emissies. Deze randvoorwaarden hebben geresulteerd in een nieuw regelconcept waar gebruik gemaakt wordt van een infraroodcamera gecombineerd met vage logica om de plaats van het vuur constant te houden. Met een camera die boven in de eerste trek van de oven geplaatst is, zie figuur 3-6, wordt de afvaltemperatuur bepaald. Samen met de stoomproduktie, de temperatuur van de vuurhaard en de zuurstofconcentratie in de rookgassen zijn dit de invoerwaarden voor de regeling. Met behulp van deze gegevens wordt de primaire luchtverdeling, de hoeveelheid secundaire lucht en het afvaldebiët gestuurd. De belangrijkste aanpassing ten opzichte van de een conventionele regeling van Martin is dat met behulp van de afvalbedtemperaturen de primaire luchtverdeling wordt gestuurd. De totale hoeveelheid verbrandingslucht wordt nog steeds bepaald door de stoomproduktie.

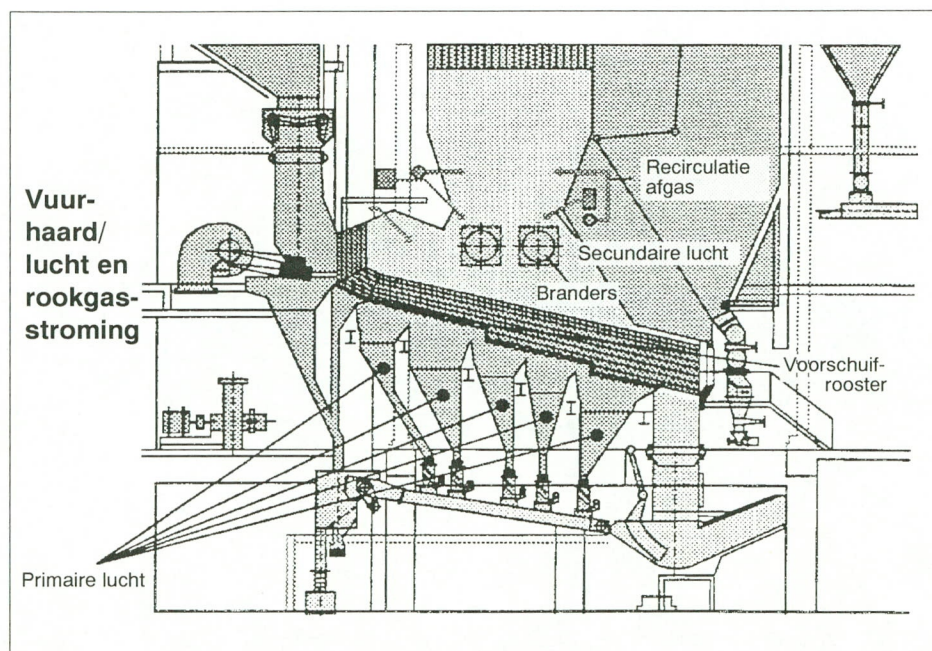


Figuur 3-6 Plaats infraroodcamera [3]

Martin heeft deze nieuwe techniek getest in de afvalverbrandingsinstallatie in Coburg, Duitsland. Vergelijking van de resultaten met en zonder camera laat een geringe verbetering van de emissies te zien bij het gebruik van een infraroodcamera. Wel is een constantere procesvoering waargenomen. Tevens vertonen de plaats van het vuur en de afvalbedtemperatuurverdeling minder variaties. In hoofdstuk 4.4 wordt nog verder ingegaan op het gebruik van deze infraroodcamera.

3.7 Steinmüller

Net als Noell en Von Roll geeft Steinmüller de voorkeur aan een voorschuifrooster (hellingshoek 12°). De oven is van het type middenstroom, zie figuur 3-7. Het rooster is verdeeld in een vijftal zones alwaar de primaire lucht toegevoerd wordt. In figuur 3-7 is te zien dat op twee plaatsen secundaire lucht wordt toegevoerd. Op deze plaatsen zullen ook de eventueel gerecirculeerde rookgassen worden toegevoerd.



Figuur 3-7 Steinmüller ovengeometrie [1]

Het regelconcept van Steinmüller kenmerkt zich door het gebruik van een infraroodcamera. Deze dient om de plaats en de grootte van het vuur te bepalen. De plaats van de camera is gelijk aan die van de infraroodcamera van de firma Martin; zie figuur 3-6. Gedetailleerde informatie omtrent exacte regelkringen is helaas niet voorhanden. Wel is bekend dat de stoomproductie, zuurstofconcentratie tezamen met de infraroodcamera de gegevens leveren voor het regelsysteem. Steinmüller heeft dit concept getest bij de MVA in Stapelfeld, Duitsland. Het wordt niet duidelijk gemaakt of er een substantiële verbetering is opgetreden ten opzichte van een conventioneel systeem.

3.8 EVT

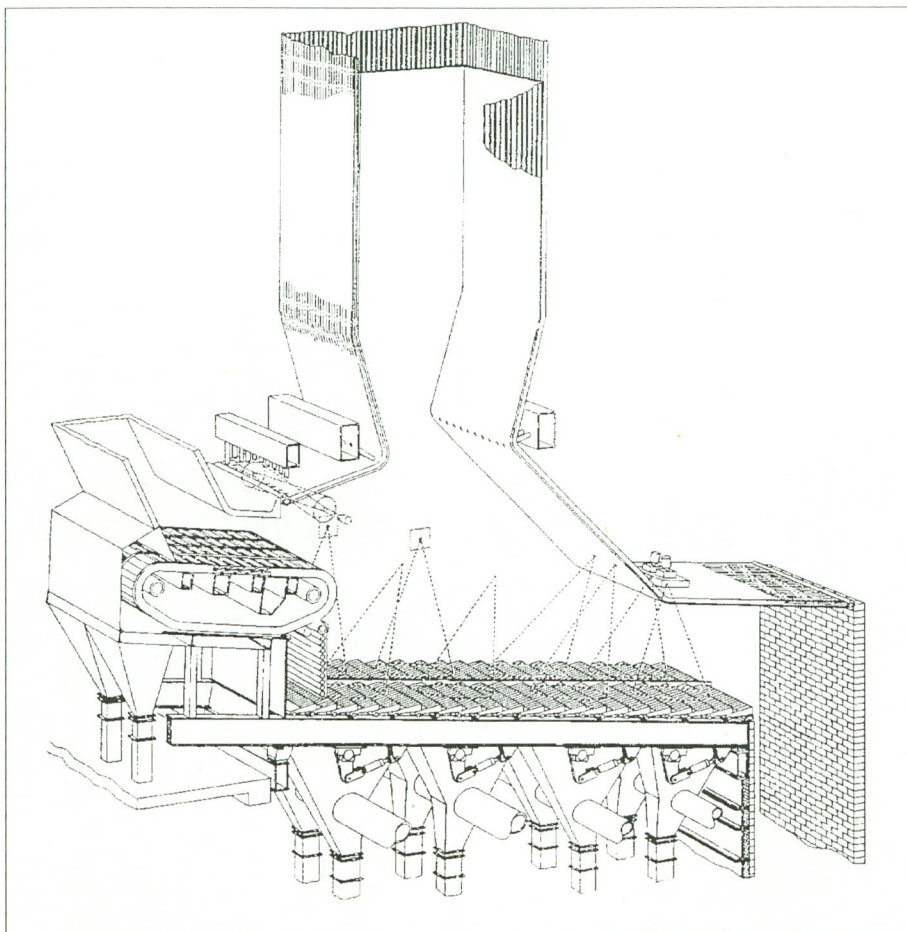
Het rooster dat EVT (Energie- und Verfahrenstechnik) gebruikt bestaat uit twee gedeelten; een klein transportrooster en een groot voorschuifrooster. Beide staan opgesteld onder een hoek van 10° . Er is een klein hoogteverschil tussen beide roosters zoals te zien is in figuur 3-8.

Zoals te zien wordt bij deze middenstroomoven gebruik gemaakt van primaire en secundaire lucht. De primaire lucht wordt over 4 zones verdeeld. Op drie plaatsen wordt de secundaire lucht toegevoerd. EVT gebruikt voor haar verbrandingsregeling de stoomproduktie en de zuurstofconcentratie in de rookgassen. Verder wordt door middel van een aantal pyrodetectors de plaats en intensiteit van het vuur bepaald. In figuur 3-8 zijn 10 pyrodetectors te onderscheiden, waarbij er twee de situatie boven het transportrooster vastleggen en de resterende 8 ieder een deel van het rooster voor hun rekening nemen. De twee pyrodetectors aan het einde van het rooster geven uitsluitsel over de uitbrandkwaliteit van de slakken.

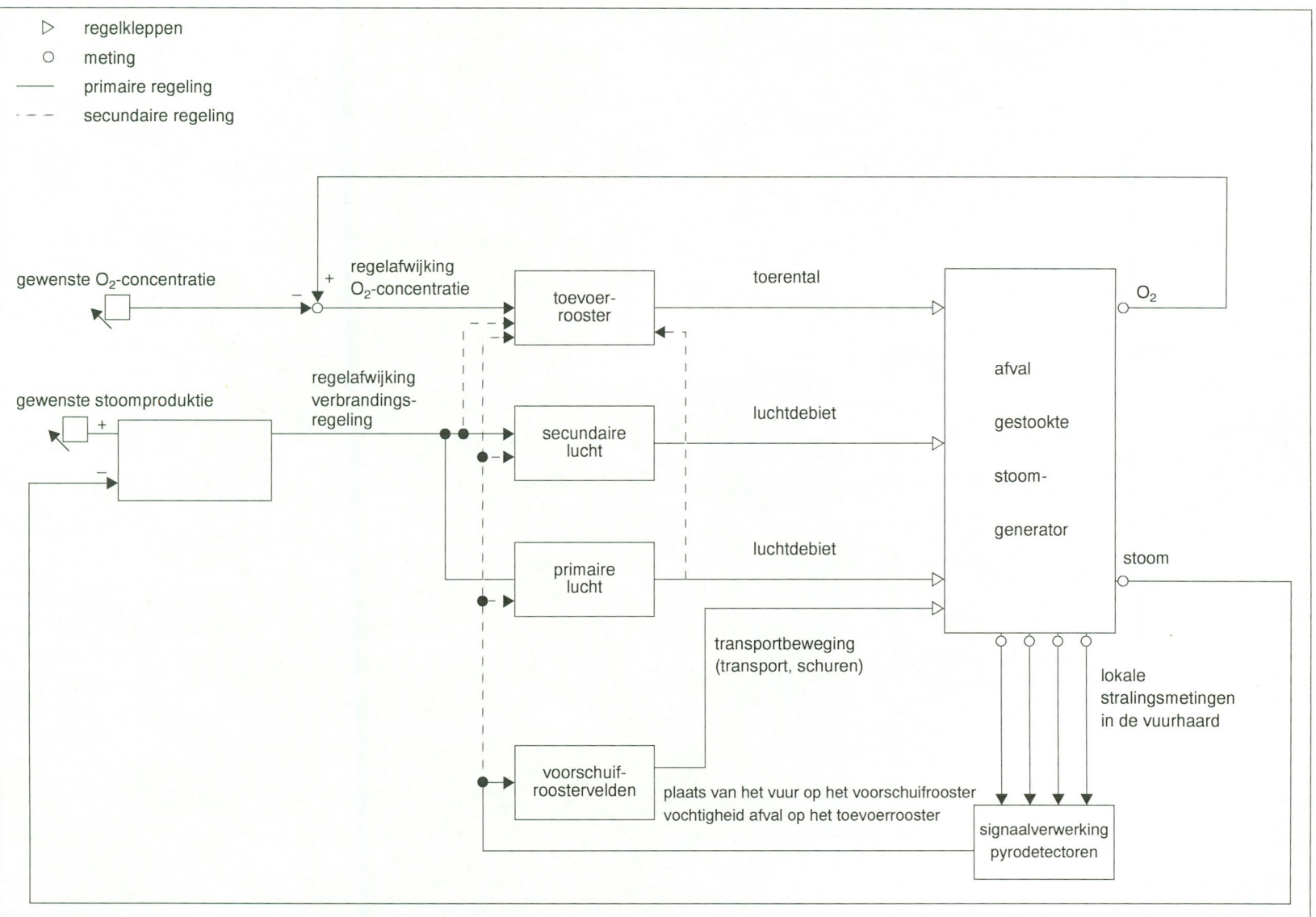
Als stuurparameters worden de primaire en secundaire luchthoeveelheid en verdeling gebruikt. Verder de roostersnelheden van beide roosters. In figuur 3-9 is een schematische afbeelding van het regelschema afgebeeld.

De signalen afkomstig van de pyrodetectors hebben voornamelijk invloed op de afzonderlijke roostersnelheden en in mindere mate op de luchttoevoer. De zuurstofconcentratie regelt de afvaltoevoer en heeft geen invloed op de luchttoevoer. De stoomproduktie regelt de luchttoevoer en in mindere mate de afvaltoevoer.

Bij de afvalverbrandingsinstallatie in Hameln, Duitsland, heeft EVT dit systeem geïnstalleerd. De resultaten zijn bevredigend, waarbij vermeld wordt dat de pyrodetectors een positieve invloed hebben op het regelsysteem. Helaas wordt geen vergelijking gemaakt met een conventioneel systeem.



Figuur 3-8 Concept EVT roosteroven [1]



Figuur 3-9 Regelschema EVT [1]

3.9 Conclusies

Uit bovenstaande samenvattingen kunnen enkele conclusies getrokken worden. Alle leveranciers zijn ervan bewust dat de plaats van het vuur belangrijk is voor een optimaal verbrandingsproces. Er worden drie mogelijkheden gepresenteerd om deze grootte op te nemen in de regelkring: infraroodtechniek, pyrodetectors en als derde extra temperatuursensoren. Von Roll kiest voor de laatste optie. Martin en Steinmüller geven de voorkeur aan het gebruik van infraroodcamera's. Noell, Babcock en EVT kiezen voor pyrodetectors. W+E en Lentjens-Kablitz gebruiken geen van deze technieken.

Van de firma's Martin, Steinmüller en EVT is bekend dat zij de nieuwe technieken reeds gedeeltelijk geïnstalleerd en getest hebben. Martin, Steinmüller en Noell gebruiken de verkregen informatie om de primaire luchtverdeling te sturen. Babcock stuurt naast de primaire lucht ook nog de walsensnelheid. EVT daarentegen gebruikt de informatie over de plaats van het vuur om alleen de roostersnelheden te sturen. De resultaten van deze systemen worden allemaal goed genoemd; echter het is in geen enkel geval duidelijk wat de meerwaarde is van deze nieuwe systemen. Deze vraag wordt gesterkt door het feit dat alleen de firma Martin een vergelijking geeft tussen het gebruik van de geavanceerde techniek ten opzichte van een conventionele. Het verschil tussen beide is in dit geval marginaal.

Rookgasrecirculatie wordt toegepast door de firma's Noell, Lentjens, Martin, Von Roll en Steinmüller. Babcock maakt vooralsnog geen gebruik van rookgasrecirculatie. De keuze van W+E komt niet duidelijk naar voren.

Martin is de enige firma die vooralsnog gebruik maakt van zuurstofverrijking. Verder hebben zij als enige niet de beschikking over een variërende roostersnelheid per zone.

Steinmüller, Von Roll en Noell trachten met hun regeling de rookgasstroom constant te houden, hetgeen van belang is voor de rookgasreiniging.

In grote lijnen kunnen is iedere verbrandingsregeling opgebouwd uit één van de twee basisprincipes. Martin, Steinmüller, EVT en Von Roll kiezen voor het concept dat in grote lijnen bestaat uit het sturen van de afvaltoevoer via de zuurstofconcentratie en de luchttoevoer via de stoomproductie. Babcock, Noell en Lentjens kiezen voor het sturen van de afvaltoevoer voornamelijk voor de stoomproductie (Lentjens gebruikt in combinatie met de stoomproductie ook de vuurhaardtemperatuur, omdat dit een snellere indicator is) en voor de luchttoevoer de zuurstofconcentratie. Bij W+E kan een van bovenstaande concepten gekozen worden.

4 Bedrijfsbezoeken

In het kader van het project zijn enige buitenlandse leveranciers en AVI's bezocht met als doel ervaringen met geavanceerde regelsystemen alsmede de mening van de verschillende leveranciers in kaart te brengen. De te bezoeken AVI's moesten ervaringen hebben met pyrodetectors, infraroodcamera's, alsmede een ander goed functionerend regelsysteem. De keuze van de bezoeken werd mede bepaald door de aanwezigheid van de leveranciers in Nederland.

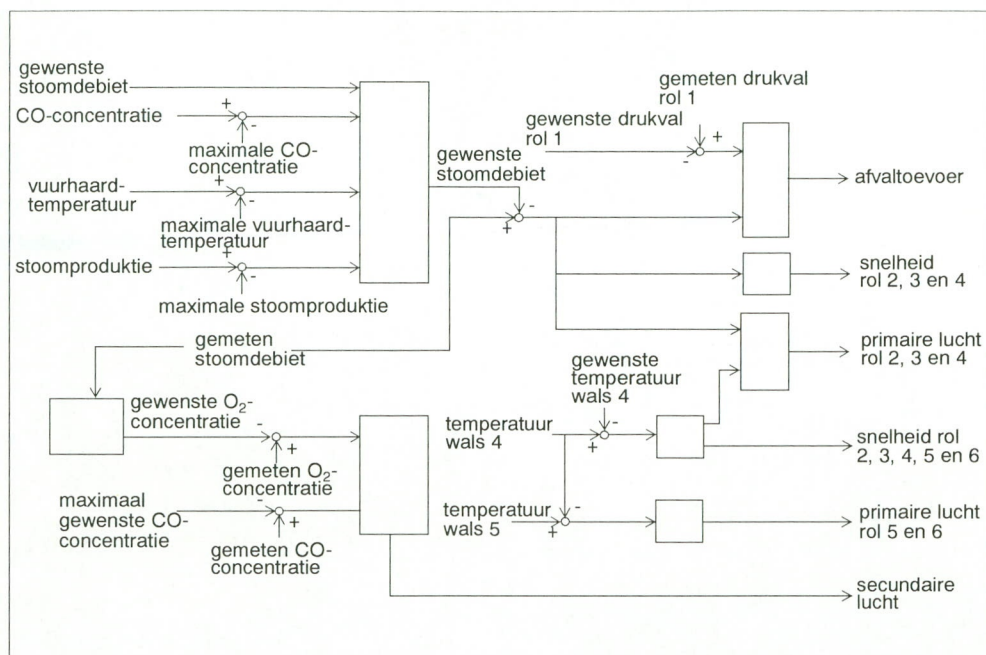
Op basis van bovenstaande zijn de volgende leveranciers benaderd: Babcock met een bezoek aan de AVI te Essen-Karnap (D), Noell met een bezoek aan de AVI's te Oftringen (CH) en Horgen (CH), Martin met een bezoek aan AVI Coburg (D), Von Roll met de AVI te Emmenspitz (CH) en tot slot W+E.

De ervaringen opgetekend uit de verschillende bezoeken zullen nu één voor één aan bod komen. Onderstaande beschrijvingen zijn over het algemeen aanvullingen op datgene wat in hoofdstuk 3 aan bod is gekomen. Desalniettemin is het niet te voorkomen dat sommige onderwerpen reeds in hoofdstuk 3 zijn besproken. Bij de onderstaande beschrijvingen zal, mits de door de leverancier of AVI toegeleverde informatie toereikend was, een regelschema gepresenteerd worden.

4.1 Babcock

In aanvulling van op in 3.4 vermeld is, vertelt Babcock dat bij de verschillende vuurhaardgeometrieën die geleverd worden hetzelfde regelsysteem geïnstalleerd wordt. De tuning van de parameters hangt af van de gekozen geometrie. Babcock benadrukt nogmaals nadrukkelijk dat de belangrijkste regelgrootheid de uitbrandkwaliteit van de slakken is, dit in verband met de strenge Duitse norm van 1% TOC. Dit wordt bewerkstelligd met behulp van pyrodetectors in de achterwand die de afvaltemperatuur kunnen meten op de laatste twee walsen. Met behulp van deze gegevens wordt de walsensnelheid en de luchttoevoer naar voornamelijk de laatste twee walsen gestuurd. Babcock vermeldt dat een te lage temperatuur op de laatste twee walsen niet voorkomt en als het voorkomt geen actie ondernomen wordt. De afvaltemperatuur van rol 4 stuurt tevens de luchttoevoer naar rol 2, 3 en 4.

De belangrijkste regelgrootheden zijn naast de zojuist beschreven plaats van de vuurhaard de stoomproductie, de zuurstofconcentratie en de CO-concentratie aan het einde van de ketel. De afwijking van de gewenste stoomproductie heeft invloed op de walsensnelheid van rol 2 tot en met 4 en op de primaire luchttoevoer naar rol 2 tot en met 4. Gecombineerd met het drukverschil over het afvalbed op de eerste rol stuurt dit signaal tevens de afvaltoevoer. Het gewenste stoomdebiet resulteert in een setpoint voor de O₂-concentratie. De afwijking hiervan heeft samen met de afwijking van de CO-concentratie van de gewenste CO-concentratie invloed op de secundaire luchttoevoer. Tot slot wordt de gewenste stoomproductie verlaagd indien de CO-concentratie, stoomproductie of vuurhaardtemperatuur boven de bij desbetreffende grootheid horende maximale waarde uitkomt.



Figuur 4-1 Regelschema Babcock-ovens

Zuurstofverrijking wordt niet door Babcock toegepast. Door zuurstofverrijking is minder koelmiddel beschikbaar zijn wat zeker met de stijgende calorische waarde van het afval problemen zal opleveren. Essen-Karnap benadrukt dit door te stellen dat zuurstofverrijking de standtijd van het rooster minimaliseert.

Wat betreft het recirculeren van rookgassen wordt vermeld dat Babcock dit niet toepast. Essen-Karnap bevestigt dat door te vermelden dat met rookgasrecirculatie de NO_x-norm niet gehaald kan worden en dat toch nog een DeNOx-installatie nodig zal zijn.

AVI Essen-Karnap

De afvalverbrandingsinstallatie in Essen-Karnap bestaat uit 4 afzonderlijke lijnen met een totale capaciteit van 100 ton/uur bij een beschikbaarheid van 90%. De totale capaciteit op jaarbasis bedraagt 750.000 ton. De afzonderlijke lijnen gaan 1 keer per jaar 4 - 6 weken uit bedrijf voor groot onderhoud. Essen-Karnap bevat 3 tegenstroomvuurhaarden en één vuurhaard van het meestroomtype. Alleen bij de meestroomoven zijn pyrodetectors in de regeling ingebouwd. Met de 4 lijnen tezamen wordt 43 MW aan elektriciteit opgewekt, waarvan ongeveer 7 MW voor eigen gebruik. De standtijden van de walsenroosters bedraagt ongeveer 60.000 uur.

Essen-Karnap benadrukt dat de gehele verbranding gericht is op het behalen van de vereiste slakkwaliteit. Ten opzichte van de vroeger belangrijk geachte constante stoomproductie is deze veranderde houding ingegeven door de in Duitsland ingevoerde strenge norm aangaande de kwaliteit van de slakken (1% TOC). Deze norm

willen ze het liefst trachten te bereiken door middel van primaire maatregelen, omdat nabehandeling van de slakken kostbaar is. Zij benadrukken dat de roosterbelasting een belangrijke parameter is voor de uitbrandkwaliteit. Een lage roosterbelasting heeft een betere uitbrand tot gevolg. De voor dit doel ingebouwde pyrodetectors zijn een eigen ontwikkeling van Essen-Karnap. Er wordt benadrukt dat de pyrodetectors niet noodzakelijk zijn om een goede uitbrand ($< 1\%$ TOC) te bereiken, maar dat ze een prettig hulpmiddel zijn. Benadrukt wordt dat de Nederlandse norm van 6% gloeiverlies gemakkelijk te bereiken is zonder hulp van pyrodetectors.

Dit wordt ondersteund door de constatering dat alle lijnen voldoen aan de norm (1% TOC) en dat er weinig verschil merkbaar is tussen een meestroomoven met pyrodetectors en een tegenstroomoven zonder pyrodetectors. De meestroomgeometrie heeft ten opzichte van een tegenstroomoven het voordeel dat de NO_x -emissie met 25% gereduceerd wordt en dat een lagere CO-emissie optreedt.

Omtrent de regeling had de leiding in Essen-Karnap een uitgesproken gedachte. Probeer de techniek voor het meten van de verschillende signalen zo eenvoudig mogelijk te houden. Ter compensatie mag het software gedeelte waarin de meetsignalen verwerkt worden tot stuursignalen (met andere woorden de regelstructuur of de stookautomaat) ingewikkeld zijn. Dit heeft ook invloed op de rol van de operator die steeds minder wordt. Essen-Karnap streeft ernaar om de rol van de operator zo minimaal mogelijk te houden. Het gebruik van video-camera's in de controlekamer ziet de leiding als overbodig in tegenstelling tot de operators die dit essentieel achten.

4.2 Noell

Als aanvulling op hetgeen in 3.3 reeds vermeld is het hoofddoel van de verbrandingsregeling een gelijkmatige verbranding te bewerkstelligen. De belangrijkste parameters hiervoor zijn de stoomproductie en de plaats van het vuur. Als belangrijkste stuurparameter ziet Noell de luchttoevoer. Noell heeft zoals reeds in 3.3 ter sprake gekomen de luchttoevoer verdeeld in drie stromen: primaire lucht onder het rooster, primaire (platenlucht) lucht boven het rooster en tot slot de secundaire lucht (figuur 2-1). De primaire lucht is de belangrijkste parameter om de plaats van het vuur te sturen. Verhoging van de primaire luchttoevoer wakkert het vuur aan en andersom. De primaire lucht boven het rooster draagt zorg voor de benodigde hoeveelheid zuurstof, terwijl de secundaire lucht alleen een mengfunctie heeft. De totale som van de afzonderlijke luchtstromen blijft constant tijdens het proces, waarbij de som van primaire lucht onder en boven het rooster ook constant blijft. De benodigde luchthoeveelheid volgt uit het setpoint van de stoomhoeveelheid. De plaats van het vuur wordt bewaakt door twee pyrodetectors die in het dak van de oven geplaatst worden (zie figuur 3-4). Uit ervaringen is gebleken dat een goede uitbrand verkregen wordt indien het vuur beperkt blijft tot het eerste rooster. De pyrodetectors die gebruikt worden kunnen vlammen van gloed onderscheiden. In de toekomst zullen meerdere pyrodetectors in de wanden of het dak boven de afzonderlijke luchtzones ingebouwd worden. Dit type pyrodetectors kan de relatieve temperatuurverandering registreren zodat deze informatie in de regeling ingebouwd kan worden.

AVI Oftringen

Bij AVI te Oftringen heeft men reeds twee jaar ervaring met vrijwel storing-vrij werkende pyrodetectors. Of de pyrodetectors inderdaad een meerwaarde aan de regeling toevoegen is niet duidelijk geworden.

AVI-Horgen

Het door Noell gepropageerde systeem werkt goed bij afval met een relatief lage calorische waarde (10 MJ/kg). Problemen doen zich voor bij afval met hogere calorische waarden. In Zwitserland is door het gescheiden ophalen van afval de calorische waarden gestegen tot ongeveer 14 MJ/kg. Bij deze hoge calorische waarde kan de roostertemperatuur te hoog worden. Verhoging van de primaire lucht ter koeling van het rooster versterkt het effect alleen maar. Dit proces veroorzaakt grote slijtage aan het rooster. Noell probeert dit probleem op te lossen door een watergekoeld rooster te ontwikkelen. Dit wordt bereikt door alle roosterstaven te doorstromen met water. Het voordeel van dit systeem is dat er een ontkoppeling plaats vindt tussen de koeling van het rooster (voorheen met primaire lucht) en het sturen van de plaats van het vuur. Voor de verbrandingsregeling is op deze manier een extra vrijheidsgraad ontstaan. Verdere voordelen zijn: minimale warmte-uitzetting van de staven hetgeen resulteert in een reductie van de roosterdoorval van 90%, nagenoeg geen slijtage van het rooster gedurende de eerste 3000 uur dat het systeem getest is in de AVI te Horgen (Zwitserland), voor afval met hoge calorische waarden is het rooster niet limiterend. Een nadeel van dit systeem is dat geen luchtvoorverwarming meer toegepast kan worden. De warmte-onttrekking via het watergekoelde rooster bedraagt circa 1% van de totale warmte-invoer.

Zoals reeds gememoreerd is voor Noell de hoeveelheid toegevoerde lucht de belangrijkste stuurgrootte. Noell benadrukt dat de regeling niet al te ingewikkeld gemaakt moet worden, omdat dan het overzicht verloren wordt. Infraroodcamera's met fuzzy logic techniek, die de temperatuur op iedere plaats kunnen bepalen, wordt dan ook niet wenselijk geacht. Een tweede reden tot het afwijzen van de infraroodcamera's is de gedachte dat als de luchttoevoer per luchtkast geregeld kan worden, wat is dan het voordeel van een temperatuurmeting met een veel hogere plaatsresolutie?

Duidelijk werd dat de ontwikkelingen van Noell zich zullen richten op het inbouwen in de regelkring van parameters die de slakkwaliteit positief kunnen beïnvloeden. Noell is van mening dat om het vuur op dezelfde plaats te houden een operator onmisbaar blijft ondanks de aanwezigheid van pyrodetectors. De operator maakt zeer intensief gebruik van video-camera's zodat hij eventueel kan ingrijpen.

Omdat de secundaire lucht alleen een mengfunctie heeft kan deze luchtstroom ook vervangen worden door gerecirculeerde rookgassen. Deze rookgassen met een temperatuur van 200 - 240 °C worden na het E-filter afgetapt en teruggevoerd naar de secundaire luchttoevoer. Deze rookgasrecirculatie wordt getest in de AVI te Schweinfurt (D). Op grond van deze gegevens zou verwacht mogen worden dat rookgasrecirculatie bij toepassing van een watergekoeld rooster ook bij lagere calorische waarden kan worden toegepast. Echter in dit geval zal de thermische belasting van de vuurhaard limiterend gaan werken.

4.3 Von Roll

Von Roll benadrukt dat het door hun gebruikte systeem vrij robuust is en dat er goede resultaten mee behaald zijn. Uitbreidingen in de verbrandingsregeling zien zij onder andere in het afzonderlijk regelen van de diverse roostersnelheden. Een nieuwe ontwikkeling vindt plaats in de AVI in Darmstadt waar in iedere roosterstaaf een temperatuurmeting wordt uitgevoerd. Omtrent technieken zoals infraroodcamera's benadrukt Von Roll, eigenlijk net als Noell, dat er een evenwichtige afweging tussen de regelstructuur en de meettechniek moet zijn.

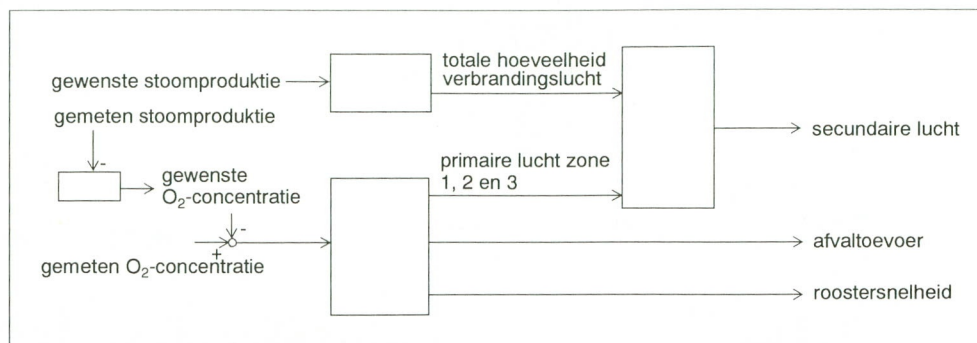
AVI Emmenspitz

De AVI Emmenspitz te Zuchwil (CH) bestaat uit 3 afzonderlijke lijnen van elk ongeveer 10 ton/uur. Met de vrijkomende warmte wordt enerzijds elektriciteit opgewekt en anderzijds wordt stadsverwarming toegepast. De gebruikte regeling, zie figuur 4-2, wijkt iets af van de regeling, figuur 4-2, zoals die door Von Roll wordt voorgesteld. Emmenspitz heeft de temperatuurmetingen in het dak van de oven en in de roosterstaven buiten bedrijf gesteld. Deze grijpen in het originele Von Roll concept alleen in indien een maximale waarde overschreden wordt. Als aanvulling op hetgeen uiteengezet in 3.1 wordt het regelsysteem van Emmenspitz besproken. De belangrijkste parameters zijn de stoomproductie en de zuurstofconcentratie na de ketel. Naar gelang van het soort afval wordt door de operator de gewenste stoomproductie aangepast. Uit de gewenste stoomproductie volgt het totale rookgasdebiet en wordt de luchtverhouding vastgelegd. Een geconstateerde afwijking van de stoomproductie heeft een verandering van de setpoint van de zuurstofconcentratie tot gevolg. Een afwijking van de gewenste zuurstofconcentratie werkt rechtstreeks op de primaire luchttoevoer, de afvaltoevoer en de snelheid van de roosterstaven. Een gevolg van deze regelstructuur is dat het totale rookgasdebiet constant moet blijven. Als de primaire luchttoevoer, die in alle zones standaard wordt voorverwarmd tot 140 °C, verandert zal de regeling op de secundaire lucht ervoor zorg dragen dat het totale rookgasdebiet constant blijft.

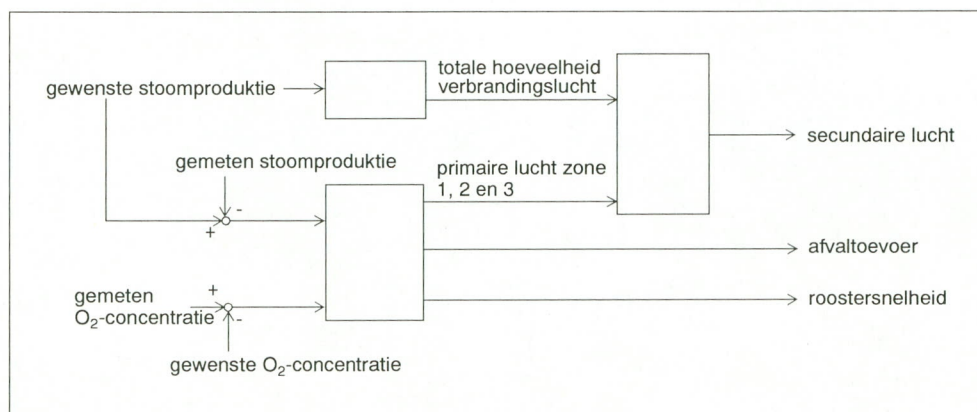
Een verandering ten opzichte van het originele Von Roll concept is dat de gemeten stoomproductie de gewenste zuurstofconcentratie bepaald. Von Roll stuurt de afwijking van de stoomproductie samen met de afwijking van de gewenste zuurstofconcentratie naar de regelaar, zie figuur 4-3.

De primaire luchtverdeling onder het rooster wordt op basis van ervaringen ingesteld. Iedere afzonderlijke luchtkast wordt afzonderlijk geregeld. In praktijk blijkt dat dit ingestelde profiel niet of nauwelijks wordt veranderd.

Bij de AVI Emmenspitz hoeft de operator alleen maar de gewenste stoomproductie in te stellen. Het standpunt hier is ook dat een operator zo weinig mogelijk moet ingrijpen. Videocamera's worden hier niet gebruikt, omdat men ervaren heeft dat de beelden nogal vertekend werken. Het visueel inspecteren van de oven wordt veel belangrijker geacht.



Figuur 4-2 Regelschema Emmenspitz



Figuur 4-3 Regelschema Von Roll

Ondanks het uitschakelen van de temperatuurmetingen in het dak van de oven en in de roosterstaven zijn de resultaten behaald met deze regeling bijzonder goed te noemen. Vergeleken met geavanceerde technieken (pyrodetectors, infraroodcamera's) kenmerkt dit systeem zich door de relatieve eenvoud en robuustheid. De operators hoeven alleen het gewenste setpoint van de stoomproduktie in te stellen. De enige parameter die nogal eens problemen oplevert is de CO-concentratie. Deze vertoont regelmatig pieken. Emmenspitz is echter van mening dat dit geen probleem is. Ze kunnen wel de pieken proberen weg te regelen. Echter het gevolg hiervan is dat het proces onregelmatiger wordt. De oorzaak van de optredende CO-pieken wordt gezocht in de brandstof. De uitwerking van dit soort pieken op bijvoorbeeld de dioxine-emissie is onbekend, omdat in Zwitserland geen dioxinenorm is. Tevens wordt gemeld dat het bereiken van een nog constantere stoomproduktie een negatieve invloed heeft op de CO-pieken. De kwaliteit van de slakken is bijzonder goed te noemen (gloeiverlies < 1%).

Het gevolg van het constante rookgasdebiet en constante zuurstofconcentratie heeft tot gevolg dat ook de vuurhaardtemperatuur nagenoeg constant blijft. In deze installatie vindt niet katalytische DeNO_x plaats door middel van insputting van ammoniak. Een emissie van 70 mg/Nm³ NO_x is in deze installatie gemakkelijk te bereiken.

4.4 Martin

Martin maakt zoals reeds gemeld gebruik van een terugschuifrooster onder een hoek van 26° , met een lengte van ongeveer 8 meter. De primaire lucht wordt via 5 luchttoevoerkasten toegevoerd. Bij grotere capaciteiten werkt Martin met meerdere roosterbanen. Het terugschuiven heeft het voordeel dat het afval geschuurd wordt en het afval teruggeschoven wordt. De verblijftijd wordt voornamelijk bepaald door de afvaltoevoer en de zwaartekracht. Door het vergroten van het aantal schuifbewegingen per tijdseenheid wordt de verblijftijd verlengd. Volgens Martin voldoet dit systeem bijzonder goed bij een slechte brandstof. Er wordt dan meer geschuurd hetgeen een betere menging en een langere verblijftijd tot gevolg heeft. De roosters van Martin hebben maar één vaste snelheid. Hier wil Martin niet van afstappen, omdat verschillende roostersnelheden een onregelmatige roosterbedekking tot gevolg kunnen hebben. Dit heeft tot gevolg dat de roostertemperatuur te hoog kan oplopen. De roostertemperaturen zijn maximaal ongeveer 250°C . Als vuistregel geldt dat de roostertemperatuur $50 - 100^\circ\text{C}$ hoger is dan de temperatuur van de primaire lucht. Om de staven goed te kunnen koelen wordt ongeveer 70% van de totale luchttoevoer als primaire lucht toegevoerd. De geringe temperatuur van de roosterstaven is ook een reden dat Martin geen behoefte heeft aan een watergekoeld rooster.

De hoofdbrandzone wil Martin op zone 2 en 3 (zie figuur 3-6) houden. Dit wordt onder andere bereikt door de primaire luchtverdeling zo in te stellen dat ongeveer 70% van de primaire lucht op zone 2 en 3 wordt toegevoerd. Volgens Martin is het proces in feite na de hoofdbrandzone afgelopen (verblijftijd circa 45 minuten). In zone 4 en 5 vindt alleen afkoeling van de slakken plaats.

Martin heeft een klassiek regelconcept en een regeling waarin een infraroodcamera is ingebouwd. Het klassieke concept, dit concept komt in grote lijnen overeen met de concepten van ROTEB en GEVUDO (zie figuren 2-12 tot en met 2-15), heeft als belangrijkste regelparameter de vuurhaardtemperatuur. Verdere parameters zijn de stoomproduktie en de zuurstofconcentratie aan het einde van de ketel. Dit concept komt overeen met het concept O_2 -concentratie en vuurhaardtemperatuurregeling, figuur 2-15. De vuurhaardtemperatuur wordt met behulp van thermokoppels gemeten bovenin het dak van de ketel aan het einde van de eerste trek. De reden is dat Martin de vuurhaardtemperatuur een hogere prioriteit geeft dan de zuurstofconcentratie is dat deze sneller bekend is. Wel geeft Martin toe dat de thermokoppels veel te lijden hebben en dat ze iedere 3 maanden aan vervanging toe zijn. Als de thermokoppels uitgevallen zijn valt het regelsysteem terug op de zuurstofconcentratiemeting. De problemen met de thermokoppels wil Martin ondervangen door aan het begin van de tweede trek een pyrodetector te plaatsen. Het voordeel ten opzichte van thermokoppels is dat ze storingsongevoeliger zijn en dat de responsietijd korter is. De pyrodetector wordt aan het begin van de tweede trek geplaatst om instraling van vlammen uit te sluiten.

De vuurhaardtemperatuur grijpt alleen in op de primaire luchttoevoer. Een afwijking van de stoomproduktie heeft invloed op de primaire en secundaire lucht alsmede op de afvaltoevoer. De zuurstofconcentratie werkt op de afvaltoevoer en op de rooster-snelheid oftewel het aantal schurende bewegingen.

Martin houdt het rookgasdebiet niet constant door te sturen met de secundaire lucht. Dit heeft tot gevolg dat de aan de rookgasreiniging aangeboden rookgasstroom niet constant is wat een nadelige invloed op het rookgasreinigingssysteem kan hebben.

Als moderne ontwikkeling kiest Martin voor de toepassing van een infraroodcamera voor de bepaling van de afvalbedtemperatuur omdat de geometrie van een Martin-oven niet geschikt is voor pyrodetectors. Deze infraroodcamera is in staat de afvalbedtemperatuur te bepalen. Aan de hand van deze afvalbedtemperatuur kan dan de luchttoevoer, afvaldosering en de roostersnelheid aangepast worden. Dit systeem is nog in een ontwikkelingsstadium. In de AVI in Coburg is geëxperimenteerd met een infraroodcamera. Hier is alleen gestuurd met de luchtverdeling per luchtkast. Bij een AVI met meerdere roosterbanen bepaald het systeem per zone hoeveel lucht toegevoerd dient te worden. De testresultaten laten voornamelijk geen substantiële verbetering zien bij het gebruik van een infraroodcamera.

Martin heeft in de AVI te Coburg experimenten met zuurstofverrijking van de primaire en secundaire lucht uitgevoerd. Het doel van deze experimenten was om gelijkmatige en intensieve verbranding te bereiken. Het gevolg hiervan is dat de emissies verder verminderd worden en de slakkwaliteit beter wordt. De belangrijkste resultaten van deze experimenten zijn [3]:

- Zuurstofverrijking van de primaire lucht tot ongeveer 35 vol% vormt procestechnisch geen probleem.
- De verbranding met zuurstof verrijkte primaire lucht resulteert in een gelijkmatige en intensieve verbranding. De bedtemperatuur stijgt ten opzichte van normaal bedrijf met ongeveer 150 °C, waarbij de meetnauwkeurigheid van de infraroodcamera ongeveer 30 °C bedraagt. Deze hogere bedtemperatuur heeft een positieve uitwerking op de kwaliteit van de slakken.
- Bij een zuurstofverrijking van 33 vol% wordt het rookgasdebiet met 22% gereduceerd.
- Verder zijn de stofconcentratie en de NO_x-concentratie in de rookgassen duidelijk verminderd.

Over de standtijd van een rooster kan nog niet veel geconcludeerd worden, maar Martin beweert dat dit geen negatieve uitwerking heeft, omdat de roosterstaaftemperaturen bij een goede bedekking van afval op het rooster maar 50 - 100 °C hoger zijn dan de temperatuur van de toegevoerde primaire lucht.

Rookgasrecirculatie wordt toegepast door maximaal 30% van de rookgassen via de secundaire lucht terug te voeren. In combinatie met zuurstofverrijking van de secundaire lucht vindt een reductie van de rookgasdebiet van ongeveer 50% plaats.

4.5 W+E

W+E is wel bezocht maar er is geen AVI van W+E in het buitenland bezocht. De AVI in Augsburg bevat op dit moment de meest moderne regeling die W+E heeft. Deze AVI lag tijdens de inventarisatie echter stil. De regeling van AVI-West geeft echter ook een duidelijk beeld van de werking van het W+E concept. In hoofdstuk 2.2 is dit concept uitvoerig besproken.

Uit gesprekken met W+E is naar voren gekomen dat met de stoom als parameter de hoeveelheid afval via een GO-STOP regeling gestuurd wordt (stoomproductieregeling, hoofdstuk 2.2). Het O₂-gehalte wordt gebruikt om de primaire en de secundaire lucht te regelen. Opvallend hierbij is dat bij bijvoorbeeld een te lage O₂-concentratie zowel de primaire als de secundaire luchtstroom toenemen. Dit betekent dat de rookgashoeveelheid sterk kan fluctueren. Het setpoint van de stoom bepaalt de totale hoeveelheid lucht. De primaire luchtverdeling onder het rooster kan met de hand ingesteld worden.

Vernieuwende ontwikkelingen die door W+E genoemd worden zijn: een constante afvalaagregeling en mogelijk in de toekomst toepassing van pyrodetectors.

4.6 Conclusies

In deze laatste paragraaf zal één en ander samengevat worden. Verder zullen enkele vergelijkingen omtrent de regelingen van de Nederlandse AVI's in relatie tot die van de leveranciers gemaakt worden.

Martin

- Martin past infraroodcamera's toe om de temperatuur van het afvalbed lokaal te bepalen. Het doel is om met deze informatie de primaire lucht lokaal te sturen om de plaats van het vuur constant te houden. In tegenstelling tot Martin proberen GEVUDO en ROTEB de plaats van het vuur handmatig constant te houden door het variëren van de roostersnelheid.
- Martin heeft experimenten uitgevoerd met zuurstofverrijking om een betere uitbrand en verdere vermindering van de emissies te bewerkstelligen.
- Martin wil een pyrodetector aan het begin van de tweede trek plaatsen om de temperatuur beter te kunnen bepalen.
- Het door Martin geleverde regelsysteem is erg flexibel met vier concepten (figuur 2-12 tot en met 2-15). Het door Martin meest belangrijk geachte concept (O₂-concentratie en vuurhaardtemperatuurregeling, figuur 2-15) wordt door ROTEB en GEVUDO in de praktijk het meeste toegepast. ROTEB heeft met Martin contact gehad omtrent de toepassing van een pyrodetector voor temperatuurmeting. De experimenten zijn, zoals reeds vermeld in paragraaf 2.6 niet geheel naar tevredenheid verlopen, omdat de pyrodetector stralingsinvloeden niet uitfilterde.
- Martin heeft geen behoefte aan een watergekoeld rooster, omdat de roosterstaaf-temperatuur niet verder oploopt dan 50 - 100 °C boven de temperatuur van de primaire lucht.
- Volgens Martin reduceert het hebben van maar één constante roostersnelheid over het gehele rooster de kans op open plekken in het afvalbed. Open plekken op het

rooster hebben tot gevolg dat de temperatuur van de roosterstaven te hoog oploopt.

Babcock

- Babcock past geen rookgasrecirculatie toe en volgens Babcock en Essen-Karnap zal zuurstofverrijking negatief werken op de standtijden van het rooster. Pyrodetectors worden toegepast om de uitbrand te beheersen. Het valt op dat AVIRA en AVR het regelsysteem van Babcock niet geïnstalleerd hebben.
- Babcock en Essen-Karnap huldigen het standpunt de techniek voor het meten van signalen zo eenvoudig mogelijk te houden. Daarentegen mag de regelstructuur ingewikkeld zijn.
- Pyrodetectors zijn een nuttig hulpmiddel ter sturing van de uitbrand, maar ze worden niet noodzakelijk geacht.
- AVR stuurt de plaats van het vuur net als Babcock met de lucht naar en de snelheid van de laatste walsen. AVIRA daarentegen stuurt met de afvaltoevoer.

Noell

- Noell introduceert een watergekoeld rooster om afval met een hoge calorische waarde te kunnen verbranden zonder problemen met de temperatuur van de roosterstaven. Noell past pyrodetectors toe ter bepaling van de vuurhaardtemperatuur.
- Noell wil een zo eenvoudig mogelijk regeling om het overzicht te behouden. Geavanceerde regelschema's met fuzzy logic en dergelijke worden dan ook van de hand gewezen.
- Noell wil de plaats van het vuur constant houden door te sturen met de primaire lucht. ARN stuurt met de afvaltoevoer.

Von Roll

- Von Roll vindt dat er een evenwicht moet zijn tussen de software en de hardware van de regeling.
- Emmenspitz heeft een relatief eenvoudig regelschema waar goede resultaten mee gehaald worden. Het enige probleem wat wel eens optreedt is de CO-concentratie.

Zoals uit hoofdstuk 3 en 4 blijkt heeft iedere leverancier en AVI zijn eigen uitgesproken mening over hoe het wel en hoe het niet moet. Sommige beweringen van leveranciers en/of AVI's zijn moeilijk op waarde te schatten. Hoofdstuk 3 en 4 van dit rapport

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

willen daarom ook geen waarde-oordeel uitspreken over wat goed is of slecht. Deze hoofdstukken hebben als doel de lezer informatie aan te reiken op basis waaruit een ieder zijn eigen conclusies kan trekken.

5 Conclusies en aanbevelingen

Buiten de conclusies die reeds in elk afzonderlijk hoofdstuk aan bod zijn gekomen volgen hier nog enkele samenvattende conclusies en aanbevelingen.

- Alle AVI's in Nederland zijn ervan overtuigd dat een modern regelsysteem noodzakelijk is voor het kunnen voldoen aan de geldende emissierichtlijnen. GEVUDO, AVIRA en AVR geven aan dat zij de huidige procesregeling op korte termijn verder willen optimaliseren. Ook de andere AVI's kunnen met moderne technieken (pyrodetectors, infraroodcamera) wellicht een betere performance bereiken. De mogelijkheden tot aanpassing van de huidige procesregeling ter optimalisatie is sterk afhankelijk per AVI.
- Martin en Steinmüller leveren een regelsysteem waarin een infraroodcamera is opgenomen. Uit de informatie van deze camera wordt de afvalbedtemperatuur lokaal bepaald. Op basis van de informatie van deze temperatuurverdeling wordt de primaire luchtverdeling per zone gestuurd. Dit resulteert in een constante plaats van het vuur op het rooster hetgeen een goede uitbrand en minimale emissies waarborgt. Noell, EVT en Babcock passen pyrodetectors in hun regeling toe om de plaats van het vuur constant te houden. Om dit te bereiken stuurt Noell de primaire luchttoevoer, EVT de roostersnelheden en Babcock beide.
- Buitenlandse AVI's die ervaring hebben met moderne regelsystemen zijn hierover positief. Echter, AVI Essen-Karnap is van mening dat een pyrodetector niet noodzakelijk is om de vereiste kwaliteit van de slakken te behalen, maar dat ze een prettig hulpmiddel zijn. Deze mening wordt gesteund door het feit dat de AVI te Emmenspitz de vereiste uitbrand bereikt zonder het gebruik van pyrodetectors danwel infraroodcamera's. Ook de testresultaten van een infraroodcamera in de AVI te Coburg geven vooralsnog geen substantiële verbetering te zien.
- Pyrodetectors lijken sneller in grote getale te worden toegepast dan infraroodcamera's, mede gezien het feit dat de implementatie van een infraroodcamera gekoppeld is aan de leverancier van het rooster. Met andere woorden Martin bijvoorbeeld levert alleen een regelsysteem met een infraroodcamera aan een AVI met een Martinrooster. Pyrodetectors worden geleverd door onafhankelijke firma's. Mede gezien de mogelijkheden van pyrodetectors (plaats van het vuur bepalen, vuurhaardtemperatuur bepalen) verdient het daarom aanbeveling om meer informatie over verschillende types te verzamelen. Implementatie van een pyrodetector in een regeling van een Nederlandse AVI kan meer exacte informatie opleveren over de meerwaarde van een pyrodetector in relatie tot de kwaliteit van de slakken.
Verder is het aan te bevelen om een pyrodetector in een Nederlandse AVI te testen voor temperatuurmeting, gezien de problemen die bijna alle AVI's hebben met het meten van de vuurhaardtemperatuur door verslakken van thermokoppels. De AVI te Oftringen heeft reeds twee jaar ervaring met nagenoeg storingvrij werkende pyrodetectors. Het verdient aanbeveling bovenstaande in de vorm van een demonstratieproject uit te voeren.
- De Nederlandse AVI's proberen handmatig de plaats van het vuur constant te houden door variatie van de roostersnelheid (ARN, ROTEB en GEVUDO) of

door verandering van de afvaltoevoer (AVI-West en AVIRA). Deze ingrepen zijn in tegenstelling met die van de leveranciers, die voornamelijk sturen met de luchttoevoer. Alleen AVR pleegt dezelfde ingrepen als Babcock. Onderzocht zou moeten worden waarom de AVI's andere ingrepen toepassen dan de leveranciers en of het mogelijk is met de door de leverancier voorgestelde sturing dezelfde of betere resultaten te behalen.

- De behoefte voor een trainingssimulator is bij het merendeel van de AVI's aanwezig. Aan de meerwaarde van een operator adviessysteem wordt in het algemeen getwijfeld. TNO-ME is gestart met het ontwikkelen van een eerste versie van een trainingssimulator waarmee de huidige in Nederland in gebruik zijnde regelsystemen gesimuleerd kunnen worden.
- De operators zijn over het algemeen redelijk tevreden over de mogelijkheden die de bestaande stookautomaat hun biedt. Op AVIRA en ARN na beschikken alle AVI's over minimaal twee regelparameters als input voor de stookautomaat. AVIRA en ARN zijn zich ervan bewust dat een tweede regelparameter noodzakelijk is en deze zal dan ook ingebouwd worden.
De stookautomaat van ROTEB en GEVUDO biedt de meeste flexibiliteit, omdat daar gekozen kan worden uit vier afzonderlijke regelconcepten. AVI-West en de nieuwe lijn van ARN hebben de keus uit twee concepten. De resterende AVI's hebben geen keuzemogelijkheid.
- De verbrandingsregelingen die door de leveranciers geïnstalleerd worden kunnen in grote lijn opgesplitst worden in twee groepen. Het eerste type regeling (Babcock, Noell en Lentjens) stuurt globaal de afvaltoevoer via de stoomproductie en de luchttoevoer via de zuurstofconcentratie. Het tweede type (Martin, Steinmüller en Von Roll) werkt tegengesteld aan bovenstaande: afvaltoevoer met behulp van zuurstofconcentratie en luchttoevoer via de stoomproductie. W+E levert beide concepten.
- Voor de optimale werking van een rookgasreinigingsinstallatie is het van belang dat een zo constant mogelijk rookgasdebiet wordt aangeboden. In de meeste gevallen voorziet de regeling niet in een constant rookgasdebiet. Noell, Von Roll en Steinmüller implementeren een regeling die deze mogelijkheid wel biedt. De invloed van een constante rookgasstroom op bijvoorbeeld de CO-concentratie na de ketel (zie Von Roll AVI te Emmenspitze) is op voorhand niet helemaal duidelijk. Interessant zou zijn om te onderzoeken of het mogelijk is een regeling aan te passen zodat een constante rookgasstroom verkregen wordt met als randvoorwaarde een minimale CO-emissie.
- Rookgasrecirculatie wordt door steeds meer leveranciers toegepast. In Nederland gaan AVI-Alkmaar, GAVI-Wijster, AZN en de nieuwe lijn van ARN dit principe toepassen. Interessant is te onderzoeken wat de invloed van rookgasrecirculatie is op de performance van de regeling indien rookgasrecirculatie toegepast wordt bij huidige AVI's die dit nog niet toepassen.
- Martin beweert dat de kans op open plekken in het afval op het rooster kleiner wordt als verschillende roostersnelheden over de lengte van het rooster niet mogelijk zijn. De invloed van de afzonderlijke roostersnelheden per zone op de performance van het systeem zou onderzocht moeten worden.

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

- Verdere recente ontwikkelingen zijn: de ontwikkeling van een watergekoeld rooster door Noell en de toepassing van het met zuurstof verrijken van de primaire lucht door Martin.
- In het kader van het Paraplu Plan Procesoptimalisatie AVI's wordt deze studie vervolgd met de ontwikkeling van een dynamisch procesmodel van een AVI. Met zo'n model is het mogelijk verschillende regelstructuren te testen. Het strekt tot aanbeveling per AVI te onderzoeken hoe, op basis van de resultaten van deze inventarisatie en/of op basis van het genoemde model, een AVI verder is te optimaliseren.

6 Referenties

- [1] Handboek congres: 'Thermische Abfallbehandlung, Emissionsarme, reststofforientierte Feuerungs-, Verbrennungs-, Vergasungstechniken für Prozeß- und Industriefeuerungen sowie Restabfallverbrennungsanlagen', Bamberg, 4/5 mei 1994.
- [2] Informatiefolder AVI-Coburg.
- [3] Umweltentlastung durch synthetische Verbrennung auf dem Martin Rückschub-Rost
publikatie Martin, september 1993.
- [4] Proceshandboek AVR.
- [5] J.C. Wardenaar e.a., Onderzoek naar de bedrijfservaringen met roosters bij afvalverbrandingsinstallaties, KEMA-rapport, april 1994.
- [6] Informatiefolder AVI-Emmenspitz.

7 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem B.V.
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers

Ir. L.B.M. van Kessel	- wetenschappelijk researchmedewerker
Ing. E.R. Smit	- researchmedewerker
Dr.ir. G. Brem	- wetenschappelijk researchmedewerker
C.F. Arnold	- studente Technische Universiteit Delft

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
november 1993 - december 1994

Ondertekening



Ir. L.B.M. van Kessel
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. H.M.G. Temmink
werkgroep leider

Bijlage I Enquêteformulier AVI'S

Hieronder volgt de enquête betreffende uw AVI. De enquête is opgebouwd uit drie delen. Deel A behandelt algemene informatie van de afvalverbrandingsinstallatie. Deel B heeft betrekking op wat gemeten wordt in de installatie. Deel C bespreekt het regelgedrag en in deel D komen enkele algemene vragen naar voren.

Indien uw bedrijf meerdere ovens in gebruik heeft, kiest U dan de belangrijkste uit. Indien het van belang is, kunt U ook de gegevens van de andere ovens erbij schrijven.

Deel A Algemene informatie AVI

Hardware

A-1 Wie is de ovenleverancier geweest?

.....

A-2 Wat is het type van de oven?

- a) meestroom
- b) middenstroom
- c) tegenstroom

A-3 Wie is de leverancier van het regelsysteem geweest?

.....

A-4 Welk type regelsysteem is geïmplementeerd?

.....

A-5 Welk type rooster wordt gebruikt?

- a) walsenrooster
- b) terugschuifrooster
- c) voorschuifrooster
- d) tegenloopvoorschuifrooster
- e) anders, namelijk

A-6 Onder welke hellingshoek staat het rooster?

.....°

A-7 Wat zijn de afmetingen van de oven (lengte * breedte * hoogte)?

.....

A-8 In hoeveel onderwindkasten is de vuurhaard verdeeld?

.....

In- en uitgangssignalen

A-9 Hoe groot is de gemiddelde primaire luchttoevoer?

a) niet bekend

b)

A-10 Hoe groot is de secundaire luchttoevoer?

a) geen secundaire luchttoevoer

b) niet bekend

c)

A-11 Hoe groot is de toevoer van de platenlucht?

a) geen platenlucht

b) niet bekend

c)

A-12 Wat zijn de temperaturen van de verschillende luchttoevoeren?

a) primaire lucht : °C

b) secundaire lucht : °C

c) platenlucht : °C

A-13 Wat is de gemiddelde afvaltoevoer?

a) ton/uur
minimaal ton/uur
maximaal ton/uur

b) niet bekend

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

- A-14 Hoe groot is de gemiddelde asproductie?
- a) ton/uur
 - b) niet bekend
- A-15 Hoe groot is de gemiddelde slakkenproductie?
- a) ton/uur
 - b) niet bekend
- A-16 Wat is de gemiddelde verblijftijd van het afval op het rooster?
- a) minuten
 - b) niet bekend
- A-17 Hoe groot is de rooster/walsensnelheid?
- a) niet bekend
 - b)
 - c) varieert en wel tussen en

Diversen

- A-18 Wat heeft bij uw installatie de hoogste prioriteit?
- a) zoveel mogelijk afval verbranden
 - b) slibverwerking
 - c) energieopwekking
 - d) levensduur installatie
 - e) anders, namelijk
- A-19 Wat is de samenstelling van het afval?
- a) slecht gemengd
 - b) goed gemengd
 - c) RDF
 - d) slib
 - e) anders, namelijk
-
-

A-20 Hoe wordt het afval voorbehandeld?

- a) niet
- b) grof gemengd
- c) fijn gemengd
- d) anders, namelijk

A-21 Op welke manier wordt er aan energierugwinning gedaan?

- a) verwarmen van water
- b) opwekken van stoom
- c) geen energierugwinning, omdat
.....
.....
- d) anders, namelijk
.....
.....
.....

A-22 Indien er gebruikt gemaakt wordt van energierugwinning via stoomproductie, hoe groot is dan de gemiddelde stoomproductie?

- a) ton/uur
 - 1) stoomdrukbar bar
 - 2) stoomtemperatuur °C
- b) niet bekend

A-23 Indien de vorige vraag bevestigend beantwoord is, is het dan mogelijk een indicatie te geven van de mate van fluctuatie van de stoomproductie (bijvoorbeeld +/- 10%, +/- 20 ton/uur)?

- a)
- b) niet mogelijk

Deel B Meten

B-1 Welke van de onderstaande signalen worden gemeten?

- a) temperatuur in de vuurhaard, zo ja waar?
- b) stoomproductie
- c) luchtdebiet, zo ja welke
 - 1) primaire lucht
 - 2) secundaire lucht
 - 3) platen lucht
- d) de verdeling van de primaire lucht in de onderwindkasten
- e) de temperatuur van de toe te voeren lucht
 - 1) primaire lucht
 - 2) secundaire lucht
 - 3) platen lucht
- f) rookgasdebiet
- g) afvaltoevoer
- h) concentraties vuurhaard, zo ja welke?
 - 1) zuurstof
 - 2) koolmonoxide
 - 3) waterdamp
 - 4) stof
 - 5) anders, namelijk
 -
 -
- i) temperatuur achterwand
- j) drukval over afvallaag
- k) anders, namelijk
-
-

B-2 Wat is de maximaal toelaatbare temperatuur voor achtereenvolgens:

- a) roosterstaven °C
- b) vuurhaard °C
- c) vuurhaardwanden °C
- d) andere delen °C
- °C
- °C
- °C
- °C

B-3 Treden wel eens problemen op bij het meten van de in B-1 genoemde signalen? Zo, ja welke en is de oorzaak bekend?

.....

.....

.....

.....

.....

B-4 Met welke nauwkeurigheid kunnen de bij B-1 genoemde grootheden gemeten worden?

.....

.....

.....

.....

.....

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

B-5 Aan het meten van welke signalen bestaat behoefte?

.....

.....

.....

.....

.....

B-6 Welke signalen, die op het moment niet gemeten worden, zouden (eventueel met enige aanpassing) met de aanwezige apparatuur gemeten kunnen worden?

.....

.....

.....

.....

.....

Deel C Regelen

C-1 Welke signalen zijn er volgens u nodig voor een goede procesregeling?

.....

.....

.....

.....

.....

C-2 Welke grootheden wilt u graag geregeld zien in volgorde van belangrijkheid?

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)

C-3 Welke type regeling is door de leverancier toegepast?

- a) regeling van afvaltoevoer op stoomproductie
 - b) regeling van walsensnelheid op temperatuur achterwand
 - c) regeling van rammensnelheid op drukval over afvallaag
 - d) anders, namelijk
-
-
-

C-4 Worden de regelaarinstellingen bijgesteld of blijven ze op de waarde, zoals de leverancier ze heeft ingesteld?
Indien ja, wat is dan ongeveer frequentie van de ingrepen?

.....

.....

.....

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

C-5 Wordt de door de leverancier gestelde performance gehaald?

a) ja

b) nee

Eventueel toelichting:

.....

.....

.....

.....

C-6 Voldoet de gestelde regeling in de praktijk voldoende?

.....

.....

.....

.....

.....

C-7 Wat zijn de huidige regelvariabelen?

a) stoomhoeveelheid

b) temperatuur achterwand

c) drukval over afvalbed

d) anders,

.....

.....

.....

.....

C-8 Wat zijn de huidige stuurvariabelen?

- a) walsensnelheid
- b) walsensnelheid per rol
- c) primaire luchthoeveelheid
- d) primaire luchtverdeling
- e) temperatuur primaire lucht
- f) secundaire luchthoeveelheid
- g) secundaire luchtverdeling
- h) temperatuur secundaire lucht
- i) hoeveelheid afval die toegevoerd wordt
- j) temperatuur van toegevoerde hoeveelheid afval
- k) anders, namelijk
-
-
-

C-9 Wat is het in te stellen bereik van de onder C-8 genoemde stuurvariabelen, voor zover van toepassing?

Hoe nauwkeurig kunnen de stuurvariabelen ingesteld worden?

- a) walsensnelheid
- b) walsensnelheid per rol
- c) primaire luchthoeveelheid
- d) primaire luchtverdeling
- e) temperatuur primaire lucht
- f) secundaire luchthoeveelheid
- g) secundaire luchtverdeling
- h) temperatuur secundaire lucht
- i) hoeveelheid afval die toegevoerd wordt
- j) temperatuur van toegevoerde hoeveelheid afval
- k) anders, namelijk
-
-
-

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

- C-10 Welke van bovenstaande stuurvariabelen, waar nu nog niet mee gestuurd wordt, zouden op dit moment gebruikt kunnen worden om mee te sturen?

.....

.....

.....

.....

.....

- C-11 Wordt er automatisch ingegrepen of moet er met de hand bijgestuurd worden? Indien met de hand wordt ingegrepen, is daar een reden voor en, zo ja, welke?

.....

.....

.....

.....

.....

- C-12 Wat zijn de huidige setpoints?

.....

.....

.....

.....

.....

- C-13 Is het mogelijk om globaal aan te geven wat de responsietijd is van het stoomsysteem (voor zover aanwezig) op een verstoring aan de ingang?

..... minuten

C-14 Hoe vaak ligt de installatie buiten bedrijf en wat is hiervan de oorzaak?

a) onderhoud: keer/jaar

b) anders, namelijk

.....

.....

.....

.....

Deel D Algemeen

D-1 Is er belangstelling voor een trainingssimulator van uw installatie (oven, ketel en rookgasreiniging) ten behoeve van opleiding/bijscholing van operators?

- a) ja
- b) nee

Eventuele toelichting:

.....
.....
.....
.....

D-2 Bestaat er belangstelling voor een operator-adviesstelsel ten behoeve van de beheersbaarheid van het proces?

- a) ja
- b) nee

Eventuele toelichting:

.....
.....
.....
.....

D-3 Heeft u op korte termijn behoefte aan:

- a) optimalisatie van de huidige procesregeling
- b) uitbreiden van de huidige procesregeling
- c) een nieuwe regeling
- d) geen behoefte aan wijziging van de huidige procesregeling
- e) wat is hiervan de reden?

.....
.....
.....
.....

D-4 Alle roosterleveranciers bieden een geavanceerd regelsysteem aan. Heeft U behoefte aan een objectieve vergelijking van deze systemen gecombineerd met bedrijfservaringen?

- a) ja
- b) neen

D-5 Wat is uw mening over een geavanceerd regelsysteem?

- a) interesse in een geavanceerd regelsysteem voor mijn AVI
- b) overweeg de aanschaf van een geavanceerd regelsysteem
- c) zie geen toepassingsmogelijkheden voor mijn AVI

Eventuele toelichting:

.....
.....
.....
.....

Een inventariserende studie naar de procesregeling bij afvalverbrandingsinstallaties

Bijlage II Overzicht resultaten enquête

AVI	Ovenleverancier	Type oven	Type rooster	Hellingshoek rooster	Afmeting oven (l*b*h) (m)	Aantal prim. lucht zones	Samenstelling afval	Voorbehandeling afval
ARN (1)	K+K	middenstroom	voorschuiif	0°	7,2*4,2*15	5	RDF	breken/scheiden
ARN (2)	W+E	middenstroom	tegenloop overschuiif	0°	10*7,5*25	8 (4*2)	RDF	breken/scheiden
AVIRA (1)	Babcock	middenstroom	walsen	30°	-	6	goed gemengd	geen
AVR (6)	Babcock	tegenstroom	walsen	30°	15*5*36	6	grof gemengd	grof mengen
GEVUDO (1,4)	Martin	tegenstroom	terugschuiif	26°	8*3*12	10 (2*5)	grof gemengd	grof mengen
ROTEB	Martin	tegenstroom	terugschuiif	45°	5,7*6*11	21 (3*7)	slecht gemengd	grof afval scheiding
AVI-Amsterdam	W+E	middenstroom	tegenloop overschuiif	0°	9,29*9,82*20,0	12 (3*4)	slecht gemengd	grof afval verkleining
AVI-Rosendaal	Brunn & Sørensen	middenstroom	kantel	30°	10*2,5*7,5	3	slecht gemengd	geen
AVI-Alkmaar	Von Roll	middenstroom	voorschuiif	18°	10,2*6,6	15 (5*3)	goed gemengd	grof afval verkleining
AVI-Moerdijk	Von Roll	middenstroom	voorschuiif	18°	10,25*7,8	15 (5*3)	goed gemengd	grof afval verkleining
GAVI-Wijster	Lentjens-Kablitz	meestroom	tegenloop voorschuiif	10°	10,2*6,6*3,0	6	RDF	scheiden

AVI	Afvaltoevoer	Verblijftijd op rooster	Debiet primaire lucht [Nm ³ /h]	Debiet secundaire lucht [Nm ³ /h]	Debiet platen-lucht [Nm ³ /h]	LUVVO	Asproductie	Slakproductie
ARN (1)	9 t/h	20 min	10000 - 20000	1000 - 2000	30000 - 40000	nee	--	--
ARN (2)	20 t/h	30 - 90 min	100000	40000 60000 ¹⁾	--	altijd	1,0 t/h	--
AVIRA (1)	15 t/h	45 min	45300	12600	11900	soms	--	--
AVR (6)	20 t/h	140 min	50000 - 60000	15000 - 25000	--	soms	0,7 t/h	4,5 t/h
GEVUDO (1,4)	7,5 t/h	40 - 80 min	25000 - 30000	niet bekend	--	soms	--	2,5 t/h
ROTEB	12,5 t/h	120 min	35000	14000	--	altijd	0,15 t/h	2,85 t/h
AVI-Amsterdam	26 t/h	30 min	75000	36000	--	altijd	--	5,5 t/h
AVI-Roosendaal	3 t/h	120 min	niet bekend	niet bekend	--	nee	0,2 t/h	1 t/h
AVI-Alkmaar	18,5 t/h	60 min	53800	11000	10000	altijd	0,26 t/h	4,9 t/h
AVI-Moerdijk	26 t/h	45 min	84250	32750	--	altijd	0,41 t/h	5,7 t/h
GAVI-Wijster	18,6 t/h	10 min	108000	24000 ¹⁾	--	nee	0,6 t/h	2,7 - 3,3 t/h

¹⁾ Rookgasrecirculatie. Bij ARN (2) 40000 Nm³/h secundaire lucht en 60000 Nm³/h rookgasrecirculatie.

AVI	Energie terugwinning	Stoomproductie	Fluctuatie stoomproductie	Responsie stoomsysteem	Leverancier regelsysteem	Type regelsysteem
ARN (1)	stoom	35 - 40 t/h	± 5%	5 - 10 min	Siemens	Vectrilink
ARN (2)	stoom	90 t/h	--	--	Bailey	DCS
AVIRA (1)	stoom	36 - 40 t/h	± 13%	15 min	Siemens	--
AVR (6)	stoom	55 t/h	± 10%	5 min	AVR	--
GEVUDO (1,4)	stoom	21 t/h	± 10%	niet bekend	Siemens	Teleperm M AS230
ROTEB	stoom	30 t/h	± 10%	5 min	Martin	Westinghouse
AVI-Amsterdam	stoom	77 t/h	± 5%	0 - 15 min	ABB	Procontrol P/PBS-20
AVI-Roosendaal	warmte	--	--	--	B&S	--
AVI-Alkmaar	stoom	62,6 t/h	--	--	Hartmann	Contronic E
AVI-Moerdijk	stoom	100 t/h	--	--	Siemens	Teleperm ME
GAVI-Wijster	stoom	70 t/h	--	--	Hartmann	Contronic E

Bijlage III Parapluplan procesoptimalisatie AVI's

Parapluplan procesoptimalisatie AVI's

