

**Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout  
gestookte verbrandingsinstallaties te Best**  
Fase I: Inventarisatie

Referentienummer 93-332  
Dossiernummer 112326-24737  
Datum november 1993  
NP

Auteurs  
Ing. S. van Loo  
W.F. Sulilatu

Trefwoorden  
– biomassa  
– houtafval  
– verbranding  
– emissies  
– emissieverlaging  
– kosten

In opdracht van  
Novem b.v.  
Drs. G.J.J. Smakman  
Postbus 8242  
3503 RE Utrecht

Ministerie van VROM  
DGM/LE, code 640  
Ing. H. Holtring  
Postbus 30945  
2500 GX Den Haag

Meer exemplaren van dit rapport zijn verkrijgbaar  
door overmaking van een bedrag van f 75,= exclusief BTW  
op postbankrekeningnummer 416269 van IMET-TNO, Apeldoorn,  
onder vermelding van rapport 93-332.  
Contactpersoon Mevr. T.E. van Kampen, tel. 055 - 493592.

## Summary

In the Netherlands about 1000 industrial small-scale ( $< 5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) installations have been set up for the purpose of burning waste wood. Many of these installations are responsible for a relatively high level of pollution in their vicinity. As yet, few details are available on the emissions from wood-burning installations. In addition the available emission data span a very wide range. One of the reasons for this divergence is that the emissions do not depend solely on the construction of the installation. Other important factors such as:

- degree of automation;
- level of maintenance;
- skill of the operator;
- fuel (form, type, moisture content);
- type of installation;
- flue gas purification;

are probably just as important. These factors are however not usually recorded. The representativeness of the available emission data is consequently doubtful.

The foregoing considerations led to the present project: 'Practical study of combustion installations burning clean waste wood at Best; Phase 1: Inventory', carried out by the Institute of Environmental and Energy Technology (IMET)-TNO, Apeldoorn. The project was commissioned by Novem, as part of its Energy from waste and biomass programme, and the Directorate-General for Environmental Protection of the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, Directorate Air and Energy. The municipality of Best actively co-operated in collecting information and carrying out the measurement programme.

The aim of the study was to obtain some understanding of the emission levels caused by the burning of clean waste wood in typical conditions, and the possibilities for reducing these emissions, on the basis of five practical examples.

The five installations covered by this study were chosen in the area of Best on the basis of:

- their representativeness of the situation in the Netherlands;
- application of the heat produced;
- availability of data.

The representativeness of the plant was established by visiting the establishment, using a standard questionnaire. The following table summarises the installations covered by the study and the results obtained by the questionnaire.



Table 0.1 Summary of questionnaires

| Feature                      | Plant                         |                                 |                                  |                                  |                           |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
|                              | A                             | B                               | C                                | D                                | E                         |
| <b>Installation</b>          |                               |                                 |                                  |                                  |                           |
| make                         | Vyncke                        | Weiss                           | Danskstoker                      | WVT-Bioflamm                     | Heizomat                  |
| system                       | blast                         | blast                           | bottom screw                     | through screw                    | bottom screw              |
| capacity [MW <sub>th</sub> ] | 0.85                          | 1.74                            | 1.40                             | 0.42                             | 0.29                      |
| const. year                  | 1982                          | 1979                            | 1968                             | 1984                             | 1988                      |
| mainten. freq.<br>[per yr]   | 1                             | 1                               | 1                                | occasional                       | 12                        |
| <b>Control</b>               | on/off                        | on/off                          | on/off                           | on/off                           | on/off<br>modulating      |
| <b>Fuel</b>                  |                               |                                 |                                  |                                  |                           |
| wood type <sup>1)</sup>      | red                           | white                           | white/red                        | white                            | white/red                 |
| polluted                     | no                            | no/yes                          | no                               | no                               | no                        |
| moisture [%]                 | ≈ 10                          | max. 20                         | ≈ 11                             | 10 - 45                          | ≈ 16                      |
| <b>Flue gas cleaning</b>     | cyclone                       | multicyclone                    | multicyclone                     | cyclone                          | none                      |
| <b>Energy use</b>            | drying chambers<br>destructor | space heating<br>concrete table | space heating<br>drying chambers | space heating<br>drying chambers | space heating<br>external |

<sup>1)</sup> white = softwood (mainly non-tropical)  
red = hardwood (mainly tropical).

This table shows that the age of the installations covered by the investigation varies from 5 to 25 years. The installations are all equipped with a simple on/off control. In one installation it is also possible to control the quantity of primary air.

The maintenance situation varies from occasional to monthly cleaning of the installation. From visits to the plants and from experience gained while the measurements were being taken, it can be concluded that there is insufficient understanding of the relationship between combustion conditions and emission levels. Equipment for the control of the combustion process (e.g. CO analysers) was conspicuous by its absence.

The fuel burned by the installations consists of softwood, hardwood or a combination of softwood and hardwood. A (multi)cyclone is present in all of the installations but one. The energy is generally used for space heating of buildings and drying chambers. The heat produced is also used for processing, externally and/or destroyed.

In table 0.2 the results of the measurements of concentrations are compared with the data from the previous study and with the information provided by the suppliers. The table also shows the emissions which are regarded as technically and economically achievable using modern techniques. In this connection, technically and economically achievable means achievable using the latest combustion systems, with only a dust collector, e.g. a (multi)cyclone or a bag house filter, for cleaning. It is also assumed that the installation has modular control, that it is normally in continuous operation, and that it is automatically fired [1].



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Table 0.2 Comparison of results with existing data<sup>1)</sup>

| Component                              | Present study<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Conventional,<br>automatic firing                             |                                                | Technically<br>achievable<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                        |                                       | Measurements<br>in the<br>Netherlands<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Measurements<br>abroad<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |                                                   |
| CO                                     | 464 - 6.450                           | 56 - 3.727                                                    | 284 - 8.119                                    | < 100                                             |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>          | 14 - 309                              | 1 - 585                                                       | 1 - 731                                        | < 20                                              |
| NO <sub>x</sub>                        | 111 - 211                             | 85 - 300                                                      | 55 - 589                                       | < 250                                             |
| SO <sub>2</sub>                        | 10 - 67                               | 17 - 42                                                       | 1 - 38                                         |                                                   |
| PAK [μg/m <sup>3</sup> ] <sup>4)</sup> | 407 - 1.672                           | -                                                             | 5 - 1.644                                      |                                                   |
| Dust                                   | 87 - 2.397                            | 78 - 349                                                      | 68 - 749                                       | < 125 <sup>2)</sup><br>< 10 <sup>3)</sup>         |
| CH <sub>4</sub>                        | n.d.                                  |                                                               |                                                |                                                   |
| N <sub>2</sub> O                       | 1 - 3                                 |                                                               |                                                |                                                   |
| Excess air [-]                         | 2 - 15                                | 2 - 3                                                         | 2 - 7                                          | 2                                                 |

1) Concentrations in mg(μg)/m<sup>3</sup>, converted to 11% O<sub>2</sub> (except excess air).

2) With application of (multi)cyclone.

3) With application of bag house filter.

4) EPA list.

n.d. = not detectable.

This table shows that in the course of the present study, the concentrations of CO and dust are high as compared with the concentrations recorded at an earlier stage in the Netherlands. If these values are compared with the concentrations recorded abroad, it should be pointed out that with the exception of dust, the values correspond.

The emission concentration of PAH at the installations studied varies between 400 and 1,700 μg/m<sup>3</sup>. This roughly corresponds with the concentrations recorded abroad for conventional wood-burning installations.

At installations abroad, lower PAH concentrations are also recorded. The conditions under which these levels were recorded are not known.

Compared to what is currently regarded as technically achievable (last column of table 0.2), in general terms the emission of NO<sub>x</sub> does not present a problem. If the emission of CO and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> is reduced, however, there is a possibility that the NO<sub>x</sub> emissions will rise due to the absence of NO-reducing reactions with CO and/or C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>.

The emissions of dust (which are sometimes low), CO and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> are much higher than what is currently regarded as technically achievable.

The following table lists the (probable) causes of the relatively high emissions for each installation at which measurements were taken.



Table 0.3 Summary of the (probable) causes of the relatively high emissions recorded

| Plant: emission                 | Explanation                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A: CO; 2 g/m <sup>3</sup>       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Application of on/off control in the case of excess capacity of the combustion installation as compared with the heat demand</li> <li>2. No adjustment of the quantity of combustion air during firing under partial load</li> </ol>          |
| Dust; 0.2 g/m <sup>3</sup>      | Conversion to 11% O <sub>2</sub> with a high level of excess air                                                                                                                                                                                                                        |
| B: CO; up to 6 g/m <sup>3</sup> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cooling down of the furnace by means of cooling air blown in through the nozzles of the gas burners</li> <li>2. Injection point for fuel close to the boiler</li> <li>3. Particle size of fuel not homogeneous</li> </ol>                     |
| Dust; 2 g/m <sup>3</sup>        | Late emptying of dust container                                                                                                                                                                                                                                                         |
| C: CO; 6 g/m <sup>3</sup>       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Application of on/off control in the case of excess capacity of the combustion installation as compared with the heat demand</li> <li>2. High level of excess air</li> <li>3. Poor fuel/air mixing (possibly)</li> </ol>                      |
| Dust; 0.4 g/m <sup>3</sup>      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fluctuating output due to application of on/off control in the case of excess capacity of the combustion installation as compared with the heat demand</li> <li>2. Conversion to 11% O<sub>2</sub> with a high level of excess air</li> </ol> |
| D: CO; 0.5 g/m <sup>3</sup>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Off-spec. operation of the installation</li> <li>2. Fluctuating moisture content of the fuel</li> </ol>                                                                                                                                       |
| Dust; 0.4 g/m <sup>3</sup>      | Conversion to 11% O <sub>2</sub> with a high level of excess air                                                                                                                                                                                                                        |
| E: CO; up to 5 g/m <sup>3</sup> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. High level of excess air</li> <li>2. Poor fuel/air mixing (possibly)</li> <li>3. Non-optimum setting for fuel supply</li> </ol>                                                                                                               |
| Dust; 0.1 g/m <sup>3</sup>      | Not applicable                                                                                                                                                                                                                                                                          |

This table shows that in addition to a number of specific causes, a number of general factors can be shown to underlie the relatively high CO emissions (and consequently also those of C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>). These are:

- an excess capacity of the combustion installation as compared with the heat demand, combined with an on/off control system and/or
- an over-high level of excess air due to:
  - non-optimum setting of the air intake valves;
  - leakage;
- (possibly) poor fuel/air mixing.

Table 0.4 summarises the various possibilities for reducing the emissions and gives a qualitative evaluation of the effect of these measures on the emissions.

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Table 0.4 Various possibilities for reducing emissions

| Plant | Possibility for reducing emission                           | Effect on emission               |      |
|-------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|------|
|       |                                                             | CO/C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | Dust |
| A     | 1. Adjusting heat demand to capacity of installation        | ++                               | 0    |
|       | 2. Modulating fuel/air control                              | ++                               | +    |
|       | 3. Reducing excess air                                      | +                                | +    |
|       | (Awinator/adjustable air valve)                             |                                  |      |
| B     | 1. Altering fuel injection point                            | ++                               | 0    |
|       | 2. Placing radiation screens in front of gas burner nozzles | ++                               | +    |
|       | 3. Homogeneous fuel/different fuel supply                   | +                                | +    |
|       | 4. Prompt emptying of dust container                        | 0                                | ++   |
| C     | 1. Adjusting heat demand to capacity of installation        | ++                               | ++   |
|       | 2. Modulating fuel/air control                              | ++                               | ++   |
|       | 3. Flue gas fan bypass                                      | 0                                | +    |
|       | 4. Better adjustment of combustion air fans                 | +                                | +    |
|       | 5. Changing installation                                    | +++                              | ++   |
| D     | 1. Adjusting setting of air quantities                      | ++                               | +    |
|       | 2. Mixing fuel                                              | +                                | 0    |
|       | 3. Preventing inward leakage of air                         | +                                | +    |
| E     | 1. Adjusting setting of air inlet valves                    | +                                | 0    |
|       | 2. Adjusting setting of fuel supply                         | ++                               | 0    |
|       | 3. Preventing inward leakage of air                         | 0                                | +    |

1) Evaluation scale used:  
 +++ major effect (technically achievable);  
 0 no effect.

Because there is virtually no experience in the area of CO/C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> emission reduction in existing wood-burning installations, it is not possible to quantify the achievable reduction in emissions.

It is therefore recommended that practical trials should be carried out to establish the effect of the above emission-reducing measures. The result of these trials should be:

- better understanding of achievable minimum emission levels for existing wood-burning installations;
- a package of measures whereby these emission levels can be achieved;
- better understanding of the cost effectiveness of the above measures.

The existing installations are usually equipped with a simple on/off control. The application of modulating fuel/air control can in some cases lead to a reduction in the emission of CO and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. It is therefore advisable to make a study of the use of control systems in wood-burning installations. In addition to listing all the available systems, it is recommended that the effect of the control systems on emissions from wood combustion should be tested in practical conditions.



Emission reduction can be promoted by providing the operators with more information about the effect of the combustion conditions on emission levels. The following recommendations are made:

- to develop a user-friendly method of monitoring the combustion process in co-operation with the manufacturers;
- to devise a method of providing structured information on wood burning.

As far as dust emissions are concerned, it would appear that if the existing (multi)cyclones are used, it is possible to achieve a residue concentration of  $< 125 \text{ mg/nm}^3$  (at 11%  $\text{O}_2$ ). To achieve this, the most important thing is to reduce the excess air. For more thorough dust removal, different and more expensive filter systems have to be used. The trend towards cheaper systems in the area of dust filtration (metallic gauze foil and electrofilters) should be closely watched. If possible the suitability of these techniques for wood-burning installations should be proved.

A number of installations have a capacity which exceeds the heat demand. For those installations it is recommended that the possibilities of disposing of the heat both within and outside of the plant should be studied. In addition, it is worth exploring the possibility of co-operating with a combined heat/power station.

## Samenvatting

In Nederland staan circa 1000 industriële kleinschalige ( $< 5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) installaties opgesteld voor de verbranding van afvalhout. Veel van deze installaties zorgen lokaal voor relatief veel overlast. Er zijn nog weinig emissiegegevens van houtverbrandingsinstallaties beschikbaar. Bovendien vertonen de beschikbare emissiegegevens een grote spreiding. Een van de redenen voor deze spreiding is dat de emissies niet alleen door de constructie van de installatie worden bepaald. Andere van belang zijnde factoren zoals:

- mate van automatisering;
- onderhoudstoestand;
- kennisniveau van de operator;
- brandstofpakket (vorm, soort, vochtgehalte);
- type installatie;
- rookgasreiniging

spelen waarschijnlijk een even belangrijke rol. Deze laatstgenoemde factoren zijn doorgaans niet gedocumenteerd. Aan de representativiteit van de beschikbare emissiecijfers dient daarom te worden getwijfeld.

Bovenstaande heeft geleid tot het uitvoeren van het onderhavige project 'Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best; Fase I: Inventarisatie' door het Instituut voor Milieu- en Energietechnologie (IMET)-TNO te Apeldoorn. Het project werd uitgevoerd in opdracht van NOVEM, programma Energiewinning uit Afval en Biomassa (EWAB) en het Directoraat Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM, Directie Lucht en Energie. Door Gemeente Best werd bij de informatieverzameling en de uitvoering van het meetprogramma actieve medewerking verleend.

Doelstelling van het onderzoek is om aan de hand van een vijftal concrete praktijkgevallen inzicht te verkrijgen in de bij verbranding van schoon afvalhout onder representatieve omstandigheden optredende emissies en de mogelijkheden deze te verlagen.

De vijf in dit onderzoek betrokken installaties zijn uit de in Best (en omgeving) aanwezige installaties geselecteerd op basis van:

- representativiteit voor de Nederlandse situatie;
- toepassing van de geproduceerde warmte;
- beschikbaarheid van gegevens.

Tijdens een bedrijfsbezoek werd de representatieve bedrijfsvoering aan de hand van een gestandaardiseerd informatieformulier vastgelegd. Een overzicht van de in dit onderzoek betrokken installaties en een samenvatting van de resultaten van de bedrijfsbezoeken is weergegeven in onderstaande tabel.



Tabel 0.1 Samenvatting informatieformulieren

| Kenmerk                      | Bedrijf                     |                           |                            |                            |                        |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
|                              | A                           | B                         | C                          | D                          | E                      |
| <b>Installatie</b>           |                             |                           |                            |                            |                        |
| merk                         | Vyncke                      | Weiss                     | Danskstoker                | WVT-Bioflamm               | Heizomat               |
| systeem                      | inblaas                     | inblaas                   | onderschroef               | doorschroef                | onderschroef           |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 0,85                        | 1,74                      | 1,40                       | 0,42                       | 0,29                   |
| bouwjaar                     | 1982                        | 1979                      | 1968                       | 1984                       | 1988                   |
| onderhoudsfreq.<br>[1/jr]    | 1                           | 1                         | 1                          | incidenteel                | 12                     |
| <b>Regeling</b>              | aan/uit                     | aan/uit                   | aan/uit                    | aan/uit                    | aan/uit-<br>modulerend |
| <b>Brandstof</b>             |                             |                           |                            |                            |                        |
| houtsoort <sup>1)</sup>      | rood                        | wit                       | wit/rood                   | wit                        | wit/rood               |
| verontreinigd                | nee                         | nee/ja                    | nee                        | nee                        | nee                    |
| vochtigheid [%]              | ≈ 10                        | max. 20                   | ≈ 11                       | 10 - 45                    | ≈ 16                   |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | cycloon                     | multicycloon              | multicycloon               | cycloon                    | geen                   |
| <b>Energiebenutting</b>      | droogkamers<br>vernietiging | ruimteverw.<br>betontafel | ruimteverw.<br>droogkamers | ruimteverw.<br>droogkamers | ruimteverw.<br>extern  |

- <sup>1)</sup> wit = zacht hout (voornamelijk niet-tropisch)  
rood = hard hout (voornamelijk tropisch).

Uit deze tabel blijkt dat de leeftijd van de in het onderzoek betrokken installaties varieert van 5 tot 25 jaar. De installaties zijn allen uitgerust met een eenvoudige aan-/uitregeling. Bij één installatie wordt tevens de hoeveelheid primaire lucht geregeld. De onderhoudssituatie varieert van incidenteel tot het maandelijks schoonmaken van de installatie. Uit de bedrijfsbezoeken en ervaringen opgedaan tijdens de uitvoering van de metingen is geconcludeerd dat het inzicht in de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies slechts in beperkte mate aanwezig is. Apparatuur voor de controle van het verbrandingsproces (bijvoorbeeld CO-analyser) is in geen van de gevallen aangetroffen.

Het brandstofpakket van de installaties bestaat uit wit-, rood- of uit een combinatie van wit- en rood-hout. Op één installatie na, wordt bij alle installaties een (multi)cycloon toegepast. Energiebenutting vindt over het algemeen plaats door het toepassen van ruimteverwarming van gebouwen en (eventueel) droogkamers. De geproduceerde warmte wordt ook afgezet naar het proces, extern en/of naar een energievernietiger.

In tabel 0.2 worden de resultaten van de concentratiemetingen vergeleken met de gegevens afkomstig uit eerder onderzoek en met de bij de leveranciers ingewonnen informatie. Tevens zijn in de tabel emissies vermeld die momenteel met moderne technieken als technisch en economisch haalbaar worden geacht. Onder technisch en economisch haalbaar wordt in dit verband verstaan: bereikbaar met de nieuwste ontwikkelde verbrandingssystemen, met alleen een stofvanger, bijvoorbeeld een (multi)cycloon of een doekfilter, als reinigingstechniek. Verder wordt in dit kader



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

aangenomen dat de installatie modulerend is geregeld, overwegend continu in werking is en automatisch wordt gestookt [1].

Tabel 0.2 Vergelijking resultaten met reeds beschikbare gegevens<sup>1)</sup>

| Component                              | Onderhavig onderzoek<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Conventioneel, automatisch gestookt           |                                                    | Technisch haalbaar<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                        |                                              | Metingen in Nederland<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Metingen in het buitenland<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |                                            |
| CO                                     | 464 - 6.450                                  | 56 - 3.727                                    | 284 - 8.119                                        | < 100                                      |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>          | 14 - 309                                     | 1 - 585                                       | 1 - 731                                            | < 20                                       |
| NO <sub>x</sub>                        | 111 - 211                                    | 85 - 300                                      | 55 - 589                                           | < 250                                      |
| SO <sub>2</sub>                        | 10 - 67                                      | 17 - 42                                       | 1 - 38                                             |                                            |
| PAK [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>4)</sup> | 407 - 1.672                                  | -                                             | 5 - 1.644                                          |                                            |
| Stof                                   | 87 - 2.397                                   | 78 - 349                                      | 68 - 749                                           | < 125 <sup>2)</sup><br>< 10 <sup>3)</sup>  |
| CH <sub>4</sub>                        | n.a.                                         |                                               |                                                    |                                            |
| N <sub>2</sub> O                       | 1 - 3                                        |                                               |                                                    |                                            |
| Luchtovermaat [-]                      | 2 - 15                                       | 2 - 3                                         | 2 - 7                                              | 2                                          |

<sup>1)</sup> Concentraties in mg(µg)/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve luchtovermaat).

<sup>2)</sup> Bij toepassing (multi)cycloon.

<sup>3)</sup> Bij toepassing doekenfilter.

<sup>4)</sup> EPA-lijst.

n.a. Niet aantoonbaar.

Uit deze tabel blijkt dat de in het kader van dit onderzoek gemeten concentraties van CO en stof hoog zijn ten opzichte van de in een eerder stadium in Nederland vastgestelde concentraties. Wanneer deze waarden worden vergeleken met de in het buitenland vastgestelde concentraties moet worden opgemerkt dat deze, met uitzondering van de concentratie van stof, overeenkomen.

De emissieconcentratie van PAK bedraagt voor de geïnventariseerde installaties 400 - 1.700 µg/m<sup>3</sup>. Dit komt globaal overeen met de in het buitenland bij conventionele houtverbrandingsinstallaties vastgestelde concentraties.

Bij buitenlandse installaties worden ook lagere PAK-concentraties geconstateerd. De omstandigheden waaronder deze waarden zijn vastgesteld zijn niet bekend.

Bij een vergelijking met wat tegenwoordig als technisch haalbaar wordt geacht (laatste kolom tabel 0.2), vormt globaal genomen de emissie van NO<sub>x</sub> geen probleem. Bij verlaging van de emissie van CO en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> bestaat echter de mogelijkheid dat de NO<sub>x</sub>-emissie toeneemt door het uitblijven van NO-reducerende reacties met CO en/of C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>.

De emissies van stof (incidenteel laag), CO en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> liggen veel hoger dan wat momenteel als technisch haalbaar wordt beschouwd.

In onderstaande tabel worden per gemeten installatie de (vermoedelijke) oorzaken van de geconstateerde relatief hoge emissies samengevat.



Tabel 0.3 Samenvatting van de (vermoedelijke) oorzaken van de geconstateerde relatief hoge emissies

| Bedrijf: emissie |                        | Verklaring                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A: CO;           | 2 g/m <sup>3</sup>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Toepassing van aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag</li> <li>2. Ontbreken van aanpassing van de hoeveelheid verbrandingslucht bij het stoken op deellast</li> </ol> |
| Stof;            | 0,2 g/m <sup>3</sup>   | Omrekening naar 11% O <sub>2</sub> bij een hoge luchtvermaat                                                                                                                                                                                                                         |
| B: CO;           | tot 6 g/m <sup>3</sup> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Afkoeling van de vuurhaard door de door de monden van de gasbranders ingeblazen koellucht</li> <li>2. Inblaaspunt brandstof dicht bij de ketel</li> <li>3. Qua deeltjesgrootte inhomogene brandstof</li> </ol>                             |
| Stof;            | 2 g/m <sup>3</sup>     | Niet tijdig legen van de stofcontainer                                                                                                                                                                                                                                               |
| C: CO;           | 6 g/m <sup>3</sup>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Toepassing van aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag</li> <li>2. Hoge luchtvermaat</li> <li>3. Slechte brandstof-/luchtmenging (mogelijk)</li> </ol>                 |
| Stof;            | 0,4 g/m <sup>3</sup>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fluctuerend debiet door toepassing van aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag</li> <li>2. Omrekening naar 11% O<sub>2</sub> bij een hoge luchtvermaat</li> </ol>      |
| D: CO;           | 0,5 g/m <sup>3</sup>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Van ontwerp afwijkende bedrijfsvoering</li> <li>2. Fluctuerend vochtgehalte van de brandstof</li> </ol>                                                                                                                                    |
| Stof;            | 0,4 g/m <sup>3</sup>   | Omrekening naar 11% O <sub>2</sub> bij een hoge luchtvermaat                                                                                                                                                                                                                         |
| E: CO;           | tot 5 g/m <sup>3</sup> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hoge luchtvermaat</li> <li>2. Slechte brandstof-/luchtmenging (mogelijk)</li> <li>3. Niet-optimale instelling brandstoftoevoer</li> </ol>                                                                                                  |
| Stof;            | 0,1 g/m <sup>3</sup>   | Niet van toepassing                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Uit deze tabel blijkt dat, naast een aantal specifieke oorzaken, een aantal algemene oorzaken kan worden aangegeven voor de relatief hoge emissies van CO (en derhalve ook van C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>). Deze zijn:

- een ten opzichte van de warmtevraag te grote verbrandingsinstallatie in combinatie met een aan-/uitregeling, en/of
- te hoge luchtvermaat door:
  - niet-optimaal instellen van de luchttoevoerkleppen;
  - lekkage;
- (mogelijk) slechte brandstof-/luchtmenging.

Een overzicht van de verschillende mogelijkheden om de emissies te verlagen en een kwalitatieve inschatting van het effect van deze maatregelen op de emissies is weergegeven in tabel 0.3.



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 0.4 Overzicht van mogelijkheden om emissies te reduceren

| Bedrijf | Mogelijkheid emissie te verlagen                            | Effect op emissie                |      |
|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|------|
|         |                                                             | CO/C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | Stof |
| A       | 1. Afstemming warmtevraag op capaciteit installatie         | ++                               | 0    |
|         | 2. Modulerende brandstof-/luchtregeling                     | ++                               | +    |
|         | 3. Verlagen luchtvermaat<br>(Awinator/instelbare luchtklep) | +                                | +    |
| B       | 1. Aanpassing inblaaspunt brandstof                         | ++                               | 0    |
|         | 2. Plaatsen stralingsschermen voor monden gasbranders       | ++                               | +    |
|         | 3. Homogene brandstof/andere brandstofdosering              | +                                | +    |
|         | 4. Tijdig leden van de stofcontainer                        | 0                                | ++   |
| C       | 1. Afstemming warmtevraag op capaciteit installatie         | ++                               | ++   |
|         | 2. Modulerende brandstof-/luchtregeling                     | ++                               | ++   |
|         | 3. Omloop bij rookgasventilator                             | 0                                | +    |
|         | 4. Betere instelling ventilatoren verbrandingslucht         | +                                | +    |
|         | 5. Vervanging installatie                                   | +++                              | ++   |
| D       | 1. Aanpassing instelling luchthoeveelheden                  | ++                               | +    |
|         | 2. Mengen brandstof                                         | +                                | 0    |
|         | 3. Voorkomen luchtinlek                                     | +                                | +    |
| E       | 1. Aanpassing instelling luchttoevoerkleppen                | +                                | 0    |
|         | 2. Aanpassing instelling brandstoftoevoer                   | ++                               | 0    |
|         | 3. Voorkomen luchtinlek                                     | 0                                | +    |

1) Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

Omdat nauwelijks ervaring bestaat op het gebied van CO/C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissiereductie bij bestaande houtverbrandingsinstallaties, kan geen kwantitatieve schatting worden gegeven van de haalbare emissiereductie.

Aanbevolen wordt derhalve om de effecten van de aangegeven maatregelen ter verlaging van emissies in de praktijk vast te stellen. Resultaat van dergelijk onderzoek dient te zijn:

- inzicht in haalbare minimale emissies bij bestaande houtverbrandingsinstallaties;
- een pakket van maatregelen waarmee deze emissies kunnen worden gehaald;
- inzicht in de kosteneffectiviteit van dit pakket van maatregelen.

De bestaande installaties zijn in het algemeen uitgerust met een eenvoudige aan-/uit-regeling. De toepassing van modulerende brandstof-/luchtregeling kan in een aantal gevallen tot emissiereductie van CO en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> leiden. Het uitvoeren van een studie naar de toepassing van regelsystemen bij houtverbrandingsinstallaties is derhalve wenselijk. Naast een inventarisatie van beschikbare systemen wordt aanbevolen het effect van het regelsysteem op de emissies van houtverbranding in de praktijk vast te stellen.



Emissieverlaging kan worden bevorderd door het bedienend personeel meer inzicht te verschaffen in het effect van de verbrandingsomstandigheden op de emissies. Aanbevolen wordt:

- in samenwerking met fabrikanten een gebruiksvriendelijke methode te ontwikkelen om het verbrandingsproces te kunnen volgen;
- mogelijkheden te scheppen om tot gestructureerde voorlichting op het gebied van houtverbranding te komen.

Voor de emissie van stof geldt dat bij toepassing van de huidige (multi)cyclonen, een restconcentratie  $< 125 \text{ mg/nm}^3$  (bij 11%  $\text{O}_2$ ) haalbaar lijkt. Hiertoe dient voornamelijk de luchtvermaat teruggebracht te worden.

Voor verdergaande ontstoffing dienen andere, duurdere, filtersystemen toegepast te worden. De ontwikkelingen naar goedkopere systemen op het gebied van stoffiltratie (metaalgaasfolie- en elektrofilters) dienen nauwgezet te worden gevolgd. Indien mogelijk dient de geschiktheid van deze technieken voor houtverbrandingsinstallaties te worden gedemonstreerd.

Een aantal installaties heeft een te grote capaciteit ten opzichte van de warmtevraag. Voor die installaties wordt aanbevolen de mogelijkheden van warmte-afzet binnen en buiten de bedrijfsgrenzen te onderzoeken. Ook de mogelijkheid om in een samenwerkingsverband te komen tot een centrale WKK-installatie dient te worden onderzocht.

## Inhoudsopgave

|          |                                                   |    |
|----------|---------------------------------------------------|----|
|          | <b>Summary</b> .....                              | 3  |
|          | <b>Samenvatting</b> .....                         | 9  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b> .....                            | 17 |
| <b>2</b> | <b>Uitvoering van het onderzoek</b> .....         | 19 |
| 2.1      | Selectie van installaties .....                   | 19 |
| 2.2      | Informatieverzameling .....                       | 21 |
| 2.2.1    | Vaststellen representatieve bedrijfssituatie..... | 21 |
| 2.2.2    | Reeds beschikbare informatie .....                | 22 |
| 2.3      | Meetprogramma .....                               | 22 |
| <b>3</b> | <b>Resultaten</b> .....                           | 23 |
| 3.1      | Bedrijf A.....                                    | 24 |
| 3.1.1    | Bedrijfsvoering van de installatie .....          | 24 |
| 3.1.2    | Resultaten concentratiemetingen.....              | 27 |
| 3.2      | Bedrijf B .....                                   | 30 |
| 3.2.1    | Bedrijfsvoering van de installatie .....          | 30 |
| 3.2.2    | Resultaten concentratiemetingen.....              | 32 |
| 3.3      | Bedrijf C.....                                    | 34 |
| 3.3.1    | Bedrijfsvoering van de installatie .....          | 34 |
| 3.3.2    | Resultaten concentratiemetingen.....              | 35 |
| 3.4      | Bedrijf D .....                                   | 38 |
| 3.4.1    | Bedrijfsvoering van de installatie .....          | 38 |
| 3.4.2    | Resultaten concentratiemetingen.....              | 39 |
| 3.5      | Bedrijf E .....                                   | 42 |
| 3.5.1    | Bedrijfsvoering van de installatie .....          | 42 |
| 3.5.2    | Resultaten concentratiemetingen.....              | 44 |
| 3.6      | Evaluatie.....                                    | 46 |
| <b>4</b> | <b>Emissieverlaging</b> .....                     | 53 |
| 4.1      | Algemeen.....                                     | 53 |
| 4.2      | Specifieke mogelijkheden per bedrijf .....        | 55 |
| 4.2.1    | Bedrijf A .....                                   | 55 |
| 4.2.2    | Bedrijf B .....                                   | 56 |
| 4.2.3    | Bedrijf C .....                                   | 57 |
| 4.2.4    | Bedrijf D .....                                   | 58 |
| 4.2.5    | Bedrijf E .....                                   | 59 |
| 4.3      | Evaluatie.....                                    | 60 |
| <b>5</b> | <b>Conclusies</b> .....                           | 63 |
| <b>6</b> | <b>Aanbevelingen</b> .....                        | 65 |
| <b>7</b> | <b>Referenties</b> .....                          | 67 |
| <b>8</b> | <b>Verantwoording</b> .....                       | 69 |



|                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| <i>Bijlage 1</i> | <i>Informatieformulier</i>      |
| <i>Bijlage 2</i> | <i>Meetmethoden</i>             |
| <i>Bijlage 3</i> | <i>Informatieformulieren</i>    |
| <i>Bijlage 4</i> | <i>Resultaten meetprogramma</i> |

## 1 Inleiding

In Nederland staan circa 1000 industriële kleinschalige ( $< 5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) installaties opgesteld voor de verbranding van afvalhout. Ondanks het feit dat veel van deze installaties lokaal voor relatief veel overlast blijken te zorgen, zijn nog weinig emissiegegevens van houtverbrandingsinstallaties beschikbaar. Bovendien vertonen de beschikbare emissiegegevens een grote spreiding. Een van de redenen daarvoor is dat de emissies niet alleen door de constructie van de installatie worden bepaald. Niet strikt-technische factoren zoals:

- type installatie;
- regeling en bedrijf;
- onderhoudssituatie;
- kennis over installatie;
- brandstofpakket, vorm, soort, vochtgehalte;
- rookgasreiniging;
- bedrijfservaringen

spelen waarschijnlijk een even belangrijke rol. Deze laatstgenoemde factoren zijn doorgaans niet gedocumenteerd. Aan de representativiteit van de beschikbare emissiecijfers dient daarom getwijfeld te worden.

Bovenstaande heeft geleid tot het uitvoeren van het onderhavige project 'Praktijkonderzoek met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best; Fase I: Inventarisatie' door het Instituut voor Milieu- en Energietechnologie (IMET)-TNO te Apeldoorn. Doelstelling van het onderzoek is het, aan de hand van een vijftal concrete praktijkgevallen, verkrijgen van inzicht in de werkelijk optredende emissies onder representatieve omstandigheden en de mogelijkheden deze te verlagen. De representativiteit hangt af van bovengenoemde factoren.

Het onderzoek is van belang voor een drietal instanties, te weten:

- Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu (NOVEM), programma Energiewinning uit Afval en Biomassa (EWAB);
- Directoraat Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM, Directie Lucht en Energie;
- Gemeente Best.

### *NOVEM (EWAB)*

Het programma Energiewinning uit afval en biomassa beoogt onder andere de bevordering van energiewinning uit (afval)hout. Energie-opwekking in decentrale (bijvoorbeeld  $< 10 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) industriële installaties is daarbij één mogelijkheid. Een andere mogelijkheid is bijvoorbeeld meer centrale verbranding in Warmt/Kracht-installaties. Om een goede afweging van verschillende mogelijkheden te kunnen maken, is goed inzicht in de huidige situatie (emissies en rendement) voor wat betreft houtverbranding, vereist. Voor de bevordering van houtverbranding in zijn algemeenheid is eenduidige regelgeving gewenst.



*VROM, Directie Lucht en Energie*

Het voornemen bestaat het verbranden van (afval)hout bij bedrijven te reglementeren in Hoofdstuk 3 (Bijzondere Regelingen) van de Nederlandse Emissierichtlijnen Lucht. Hiertoe is nadere informatie nodig over de emissies die met bestaande en nieuw te bouwen installaties kunnen worden gerealiseerd. In dit verband dient tevens informatie beschikbaar te komen over de emissies van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) bij houtverbranding.

*Gemeente Best*

De hinderwetvergunningen van de installaties dateren van het jaar 1983 en zijn niet meer toereikend. De Gemeente zou deze vergunningen willen herzien. Zij zou daarom informatie willen hebben over:

- de huidige situatie ten aanzien van de emissies van de installaties;
- de mogelijkheden deze emissies te verminderen;
- redelijkerwijs te stellen emissie-eisen aan de bestaande installaties en eventueel te stellen eisen ten aanzien van bijvoorbeeld onderhoud, bedrijfsvoering en dergelijke;
- redelijkerwijs te stellen emissie-eisen voor eventueel nieuw te plaatsen installaties.

Het project werd uitgevoerd in opdracht van NOVEM, programma Energiewinning uit Afval en Biomassa (EWAB) en het Directoraat Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM, Directie Lucht en Energie. Door Gemeente Best werd bij de informatieverzameling en de uitvoering van het meetprogramma actieve medewerking verleend.

Het onderzoek kan worden beschouwd als eerste fase van een groter geheel van onderzoek met als doelstelling te komen tot een milieu- en energie-technische evaluatie van industriële houtverbranding. De verschillende fasen van het groter geheel van onderzoek kunnen als volgt worden beschreven:

- fase 1: inventariseren huidige situatie; aangeven mogelijkheden ter verbetering;
- fase 2: implementatie van verbeteringen en vaststellen van resultaten;
- fase 3: vergelijken van de huidige situatie (na mogelijke verbeteringen) met mogelijke alternatieven zoals toepassing van grootschalige Warmte/Kracht-koppeling, zowel voor wat betreft milieu als energie en kosten.

## 2 Uitvoering van het onderzoek

In onderstaande paragrafen wordt de uitvoering van het onderzoek nader uitgewerkt. Achtereenvolgend wordt aandacht besteed aan:

- selectie van installaties;
- informatieverzameling;
- meetprogramma.

### 2.1 Selectie van installaties

Onlangs is door TNO in opdracht van EWAB een studie uitgevoerd naar de situatie met betrekking tot de kleinschalige industriële verbranding van schoon afvalhout in Nederland [1]. In de rapportage van dit onderzoek wordt een overzicht gegeven van de in Nederland toegepaste installaties, ingedeeld naar thermisch vermogen.

*Tabel 2.1 In Nederland opgestelde industriële houtverbrandingsinstallaties (schoon hout, juni 1992) [1]*

| Range: [MWth]                 | Fabrikaten |        |     |       |         |        |          |         |      |         |        |
|-------------------------------|------------|--------|-----|-------|---------|--------|----------|---------|------|---------|--------|
|                               | Reinders   | Vyncke | WVT | Weiss | Justsen | Passat | Heizomat | Nolting | ER 3 | Overige | Totaal |
| 0,02 - 0,1                    |            |        |     |       |         | 500    | 3        |         | 123  |         | 626    |
| 0,1 - 0,25                    | 7          | -      | 4   | -     | -       | 20     | 6        |         |      | -       | 37     |
| 0,25 - 0,5                    | 9          | -      | 1   | -     | -       | -      | 3        | 90      | 2    | -       | 105    |
| 0,5 - 1                       | 9          | 1      | 5   | 2     | 1       | -      |          | 60      |      | 2       | 80     |
| 1 - 2                         | 10         | 6      | 1   | 7     | 2       | -      |          |         | 4    | 1       | 31     |
| 2 - 3                         | 6          | -      | -   | 1     | 2       | -      |          |         | 3    | 2       | 14     |
| 3 - 4                         | 2          |        | -   | 1     | -       | -      |          |         | 1    | -       | 4      |
| 4 - 5                         | -          | 1      | -   | 2     | -       | -      |          |         |      | -       | 3      |
| Totaal                        | 43         | 8      | 11  | 13    | 5       | 520    | 12       | 150     | 133  | 5       | 900    |
| Geïnstalleerd vermogen [MWth] | 49         | 15     | 10  | 26    | 8.5     | 29     | 2.25     | ~50     | 22   | 6       | 218    |

De in gemeente Best (en omgeving) opgestelde installaties staan weergegeven in tabel 2.2.



Tabel 2.2 Industriële houtverbrandingsinstallaties te Best (november 1992)

| Bedrijfscode | Merk <sup>1)</sup> | Type <sup>1)</sup> | Vermogen [MW <sub>th</sub> ] |
|--------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| A            | Vyncke             | inblaas            | 0,85                         |
| B            | Weiss              | inblaas            | 1,74                         |
| C            | Danstoker          | onderschroef       | 1,40                         |
| D            | WVT-Bioflam        | doorschroef        | 0,42                         |
| E            | Heizomat           | onderschroef       | 0,29                         |
| F            | eigen bouw         | omgekeerd          | 0,3                          |
| G            | Nolting            | inblaas            | 0,58                         |
| H            | WVT                | getrapt            | 1,5/1,8                      |

<sup>1)</sup> Voor een beschrijving van de verschillende verbrandingsprincipes en installaties wordt verwezen naar [1].

Uit vergelijking van tabel 2.1 en tabel 2.2 blijkt dat de in gemeente Best (en omgeving) opgestelde installaties, qua vermogen en fabrikaat, redelijk overeenkomen met de in Nederland aanwezige installaties.

Criteria bij de selectie van de installaties waarbij een meetprogramma is uitgevoerd zijn:

- representativiteit voor de Nederlandse situatie;
- toepassing van de geproduceerde warmte;
- beschikbaarheid gegevens.

#### *Representativiteit voor de Nederlandse situatie*

Gezien de beoogde vertaling van de resultaten van dit onderzoek naar de nationale situatie is er naar gestreefd alleen die installaties in het onderzoek te betrekken welke representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Aan de hand van een bedrijfsbezoek bij bedrijf F werd, op basis van de afwijkende constructie en bedrijfsvoering, geconcludeerd de bij dit bedrijf toegepaste verbrandingsinstallatie niet in het onderzoek op te nemen.

#### *Toepassing van de geproduceerde warmte*

In de situaties waarbij geen energiebenutting (en/of vernietiging) plaats vindt is representatieve bemonstering van de rookgassen alleen mogelijk bij relatief lage buitentemperaturen. Bij relatief hoge buitentemperaturen zal de installatie voor een groot gedeelte van de tijd buiten bedrijf zijn.

Op basis van dit criterium zijn geen metingen uitgevoerd aan de bij bedrijf G toegepaste Nolting-installatie.

### *Beschikbaarheid gegevens*

Indien representatieve gegevens omtrent de emissies beschikbaar zijn of beschikbaar komen, is het uitvoeren van emissiemetingen in het kader van dit onderzoek niet noodzakelijk. Van de WVT-installatie bij bedrijf H worden gegevens verzameld via de open demoregeling energietoepassing van NOVEM. Deze installatie is derhalve niet in het meetprogramma opgenomen (bij het schrijven van dit rapport waren de metingen nog niet uitgevoerd).

Metingen zijn uitgevoerd aan een vijftal installaties, te weten:

- bedrijf A: Vyncke;
- bedrijf B: Weiss;
- bedrijf C: Danstoker;
- bedrijf D: WVT-Bioflam;
- bedrijf E: Heizomat.

## **2.2 Informatieverzameling**

Bij het verzamelen van informatie met betrekking tot de houtgestookte verbrandingsinstallaties kan onderscheid worden gemaakt in:

- vaststellen representatieve bedrijfssituatie;
- reeds beschikbare informatie.

### **2.2.1 Vaststellen representatieve bedrijfssituatie**

Om de representatieve bedrijfssituatie van de in dit onderzoek betrokken installaties vast te kunnen stellen is, tijdens bedrijfsbezoeken, een inventarisatie gemaakt van alle aspecten die van belang zijn voor het beoordelen en functioneren van de verbrandingsinstallatie en de randapparatuur.

Belangrijke aspecten zijn:

- type installatie;
- bedrijfsvoering;
- brandstof;
- procesregeling;
- energiebenutting;
- rookgasreiniging;
- onderhoudssituatie;
- bedrijfservaringen;
- kennis van de installatie.

Een en ander werd uitgevoerd aan de hand van een gestandaardiseerd informatieformulier (zie bijlage 1).



### 2.2.2 Reeds beschikbare informatie

In het door TNO uitgevoerde onderzoek 'Kleinschalige verbranding van schoon afvalhout in Nederland' [1] wordt een overzicht gegeven van emissies die respectievelijk met conventionele en met nieuw ontwikkelde installaties worden gehaald. Het aan de hand van bij fabrikanten ingewonnen informatie en recente publikaties [2, 3] geactualiseerde overzicht is weergegeven in tabel 2.3.

De gegevens uit [2] en [3] zijn hierbij omgerekend van mg/MJ naar mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> door gebruikmaking van de volgende waarden:

- stookwaarde: 16 MJ/kg hout (vochtgehalte ~ 16%);
- rookgasdebiet: 11 m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub>/kg hout.

Tabel 2.3 *Vergelijking emissieconcentraties van conventionele en nieuw ontwikkelde houtgestookte verbrandingsinstallaties*

| Component                     | Conventioneel                                            |                                                           | Nieuw ontwikkeld                                        |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                               | Metingen in Nederland [mg/m <sup>3</sup> ] <sup>1)</sup> | Metingen in buitenland [mg/m <sup>3</sup> ] <sup>1)</sup> | Metingen fabrikanten [mg/m <sup>3</sup> ] <sup>1)</sup> |
| CO                            | 56 - 3.727                                               | 284 - 8.119                                               | ≈ 30                                                    |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | 1 - 585                                                  | 1 - 731                                                   | 3 - 10                                                  |
| NO <sub>x</sub>               | 85 - 300                                                 | 55 - 589                                                  | 200 - 260                                               |
| SO <sub>2</sub>               | 17 - 42                                                  | 1 - 38                                                    |                                                         |
| Stof                          | 78 - 349                                                 | 68 - 749                                                  | 20 - 100                                                |
| PAK                           |                                                          | 0,005 - 1,644                                             |                                                         |

<sup>1)</sup> Concentraties in mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub>.

### 2.3 Meetprogramma

Het meetprogramma bestond uit het uitvoeren van emissiemetingen aan de verschillende verbrandingsinstallaties, stroomafwaarts van eventueel aanwezige rookgasreiniging.

Een emissiemeting bestond uit het vaststellen van het gehalte in de rookgassen van:

- O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> (registrerend);
- stof, H<sub>2</sub>O (duplo);
- PAK (EPA-lijst) (duplo);
- N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> (duplo, bij drie installaties);
- temperatuur (registrerend);
- debiet (registrerend via referentiemeting).

De metingen werden uitgevoerd in een tijdsbestek van 6 - 8 uur.

Voor een beschrijving van de meetmethoden wordt verwezen naar bijlage 2.

### 3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de representatieve bedrijfssituatie en de resultaten van de concentratiemetingen per bedrijf besproken.

De representatieve bedrijfssituatie is vastgesteld aan de hand van een bedrijfsbezoek, waarbij het in bijlage 1 weergegeven informatieformulier werd ingevuld. De ingevulde informatieformulieren zijn weergegeven in bijlage 3.

Voor detailinformatie met betrekking tot de concentratiemetingen, wordt verwezen naar bijlage 4. In deze bijlage wordt per bedrijf de volgende informatie gegeven:

- grafische weergave van het concentratieverloop tijdens de metingen;
- omstandigheden tijdens de concentratiemetingen;
  - duur van de monsternamperiode;
  - het rookgasdebiet;
  - de rookgastemperatuur.
- resultaten van de concentratiemetingen;
  - de actueel vastgestelde concentraties;
  - de concentraties bij 11% O<sub>2</sub>.

De in dit hoofdstuk gegeven resultaten van de concentratiemetingen zijn gemiddelden van het totaal aantal waarnemingen tijdens de voor de vaststelling van de concentratie van stof, respectievelijk PAK, benodigde periode. Deze waarden zijn omgerekend naar standaard omstandigheden; droog, 273 K, 11% O<sub>2</sub>. De omrekening is voor elke meetwaarde (ieder 2 minuten) uitgevoerd. Middeling van de omgerekende waarden heeft achteraf plaatsgevonden.



### 3.1 Bedrijf A

#### 3.1.1 Bedrijfsvoering van de installatie

Het informatieformulier van bedrijf A is weergegeven in bijlage 3.1. Een samenvatting van het informatieformulier is gegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Samenvatting informatieformulier bedrijf A

| Kenmerk                      |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| <b>Installatie</b>           |                             |
| merk                         | Vyncke                      |
| systeem                      | inblaas                     |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 0,85                        |
| bouwjaar                     | 1982                        |
| onderhoudsfrequentie [1/jr]  | 1                           |
| <b>Brandstof</b>             |                             |
| soort                        | rood                        |
| verontreinigd                | nee                         |
| vochtigheid [%]              | 10 - 20                     |
| <b>Regeling</b>              |                             |
| systeem                      | aan/uit                     |
| stuurgrootheid               | temperatuur ketelwater      |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | cycloon                     |
| <b>Energiebenutting</b>      | droogkamers<br>vernietiging |

In het navolgende wordt de bedrijfsvoering van de verbrandingsinstallatie nader beschreven.

#### *Brandstoftoevoer*

De Vyncke-installatie bij bedrijf A wordt bedreven met afvalhout afkomstig uit het bedrijf zelf. Dit afvalhout bestaat uit houtmot en stukhout.

De houtmot wordt op de plaats waar het in het bedrijf vrijkomt afgezogen en getransporteerd naar verzamelcontainers. Vanuit deze containers wordt de houtmot verder getransporteerd naar de houtsilo die in de directe nabijheid van de verbrandingsinstallatie staat. Vanuit de houtsilo wordt de verbrandingsinstallatie door middel van een transportventilator automatisch gevoed. Bij de verbranding heeft de houtmot een vochtgehalte van circa 10%.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Het stukhout wordt eenmaal per dag verzameld en opgeslagen in een niet-waterdichte loods. Door regenval kan het oorspronkelijke vochtgehalte van 10% oplopen tot circa 20%. Voor het verbranden van stukhout is de verbrandingsinstallatie voorzien van een transportband en een container. De inhoud van de container is voldoende voor het stoken van stukhout gedurende circa 5 uur. Het stukhout wordt boven in de installatie toegevoerd. Om te voorkomen dat tijdens het vullen te veel lucht in de installatie komt vindt de toevoer van het stukhout plaats met behulp van een sluisstelsel.

#### *Klepinstellingen verbrandingslucht*

De toevoer van de verbrandingslucht vindt in eerste instantie plaats via de primaire (onder het rooster) en secundaire (boven het rooster) luchtinlaten. De luchtinlaatkleppen staan, onafhankelijk van het type brandstof (houtmot of stukhout) of vermogensinstelling, op een gefixeerde stand. Dit betekent dat de installatie, bij een bepaalde afstelling van de luchtinlaatkleppen, slechts bij één vermogensinstelling optimaal functioneert.

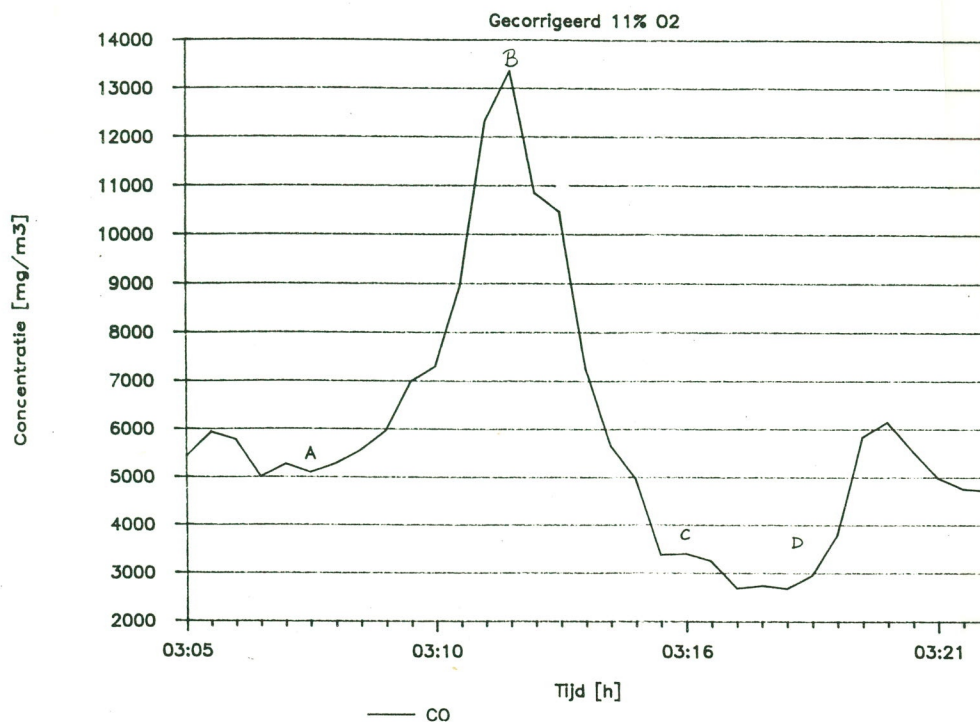
Via de houtmot transportventilator wordt extra lucht de installatie ingeblazen. Bij het stoken van stukhout lekt via het sluisstelsel een hoeveelheid lucht de installatie in.

#### *Regeling*

De verbrandingsinstallatie die bij bedrijf A staat opgesteld is voorzien van een aan-/uitregeling. Als criterium voor het aan-/uitschakelen geldt de ketelwatertemperatuur. Bij een bepaalde (ingestelde) watertemperatuur wordt de brandstoftoevoer gestopt en pas weer opgestart wanneer de temperatuur van het ketelwater voldoende is gedaald. De regeling voorziet niet in een sturing van de hoeveelheid verbrandingslucht. De toevoer van de verbrandingslucht wordt bepaald door de in de installatie aanwezige onderdruk.

Behalve dat de regeling goedkoop is kent deze, zoals bij bedrijf A wordt toegepast, geen voordelen. Als nadeel geldt dat een aan-/uitregeling bij frequent schakelen gepaard gaat met hoge emissies; de installatie komt dan in een zo genaamde pendelsituatie. In deze situatie treedt de volgende cyclus op (zie figuur 3.1):





Figuur 3.1 Voorbeeld van een cyclus bij aan-/uitschakelen van de verbrandingsinstallatie

1. De verbranding begint op punt A bij een hoge luchtvermaat. De toegevoerde hoeveelheid lucht is niet in overeenstemming met de installatie nog aanwezige brandstof. Dit gaat gepaard met onder andere een hoge CO-concentratie.
2. Als de verbranding op een stabiel niveau komt, zal de luchtvermaat dalen doordat de toegevoerde hoeveelheid lucht meer in overeenstemming is met de hoeveelheid brandstof in de installatie. De CO-concentratie zal gedurende dit traject (B - C) dalen.
3. Zodra de brandstof en de luchttoevoer uitgeschakeld wordt (punt D) neemt de CO-concentratie toe. Na enige tijd daalt de CO-concentratie.

Uit bovenstaande beschrijving blijkt dat de verbrandingsomstandigheden tijdens het aan-/uitschakelen van de installatie verre van optimaal zijn. De gemiddelde CO-concentratie zal derhalve in sterke mate afhangen van de frequentie waarmee de installatie schakelt. Dit is afhankelijk van de warmtevraag van het systeem en van de capaciteit van de installatie.

Naast hoge emissies zakt ook het ketelrendement van de installatie met name door stilstandsverliezen.

De installatie is niet voorzien van meetapparatuur ten behoeve van de beoordeling van de verbrandingskwaliteit.

### Rookgasreiniging

De installatie bij bedrijf A is voor het afvangen van stof voorzien van een cycloon. Het rookgasdebiet door de cycloon wordt geregeld door een klep in de omloop

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

van de ventilator. Hierdoor wordt voorkomen dat het vangstrendement van de cycloon nadelig wordt beïnvloed door een van de ontwerpwaarde afwijkend rookgasdebiet.

*Niet-technische aspecten*

De installatie wordt éénmaal per jaar, in eigen beheer, schoon gemaakt. Dit houdt in dat het in de ketel aanwezige roet zo goed mogelijk wordt verwijderd. De algemene onderhoudstoestand is goed.

De instelling van de luchtinlaatkleppen worden tijdens het onderhoud niet gecontroleerd en/of aangepast.

De kennis van de installatie wordt voldoende geacht om een goede bedrijfsvoering binnen de technische mogelijkheden van de installatie te kunnen garanderen. Inzicht in de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies is echter in beperkte mate aanwezig.

### 3.1.2 Resultaten concentratiemetingen

De resultaten van de concentratiemetingen zijn weergegeven in tabel 3.2 en tabel 3.3.

Tabel 3.2 Resultaten concentratiemetingen;  
Bedrijf A, 19 april 1993

| Meting nr. | O <sub>2</sub><br>[vol%] | CO <sub>2</sub><br>[vol%] | CO<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | PAK<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Stof<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O<br>[g/m <sup>3</sup> ] |
|------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| Stof/1     | 12,3                     | 8,5                       | 1.650                      | 38                                                    | 162                                     | 10                                      |                             | 131                          | 101                                     |
| Stof/2     | 17,6                     | 3,4                       | 1.790                      | 44                                                    | 142                                     | 17                                      |                             | 169                          | 40                                      |
| Stof/3     | 19,6                     | 1,7                       | 2.340                      | 129                                                   | 173                                     | 41                                      |                             | 212                          | 23                                      |
| PAK/1      | 12,4                     | 8,3                       | 1.770                      | 42                                                    | 162                                     | 10                                      | 497                         |                              |                                         |
| PAK/2      | 18,4                     | 2,7                       | 1.780                      | 62                                                    | 152                                     | 22                                      | 1.129                       |                              |                                         |

<sup>1)</sup> Concentraties in mg(µg)/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>).

Tabel 3.3 Resultaten concentratiemetingen CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O;  
Bedrijf A, 19 april 1993

| Meting nr. | CH <sub>4</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | N <sub>2</sub> O<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1          | n.a.                                    | 2,5                                      |
| 2          | n.a.                                    | 1,2                                      |
| 3          | n.a.                                    | 1,2                                      |

n.a. Niet aantoonbaar.



Bij bedrijf A zijn de metingen onder een tweetal bedrijfssituaties uitgevoerd:

- vollast, gestookt met houtmot, aan-/uitschakelen;  
(meting nr. Stof/1, PAK/1);
- deellast, gestookt met stukhout, continu bedrijf;  
(meting nr. Stof/2, Stof/3, PAK/2).

De invloed van de bedrijfssituatie op de emissieconcentraties blijkt uit de vastgestelde waarden voor (tabel 3.2/3.3 en bijlage 4.1):

- PAK,
- H<sub>2</sub>O,
- CO en
- Stof.

De concentratie van PAK is bij het stoken van stukhout op deellast ongeveer een factor 2 hoger dan bij het stoken van houtmot bij vollast.

Uit het feit dat de H<sub>2</sub>O-concentratie bij het stoken van stukhout afneemt kan geconcludeerd worden dat de houtmot tijdens de metingen meer vocht bevatte dan het stukhout.

De geconstateerde, relatief hoge, CO-concentratie (1,7 - 2,3 g/m<sup>3</sup>) kan worden verklaard uit:

- het aan-/uitschakelen bij vollast (zie piekwaarden in bijlage 4; figuur 4.1);
- de hoge luchtvermaat bij deellast.

#### *Aan-/uitschakelen bij vollast*

Uit bovenstaande beschrijving (zie figuur 3.1) blijkt dat de verbrandingsomstandigheden tijdens het aan-/uitschakelen van de installatie verre van optimaal zijn, hetgeen hoge emissieconcentraties tot gevolg heeft.

#### *Hoge luchtvermaat bij stoken op deellast*

Opvallend is het hoge percentage O<sub>2</sub> in de rookgassen bij het stoken op deellast. Een hoog zuurstofgehalte impliceert een hoge luchtvermaat. De tijdens de metingen optredende luchtvermaat is weergegeven in tabel 3.4.

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 3.4 Luchtovermaat bedrijf A; 19 april 1993

| Meting nr. | Luchtovermaat [-] |
|------------|-------------------|
| Stof/1     | 2,4               |
| Stof/2     | 6,2               |
| Stof/3     | 12,2              |
| PAK/1      | 2,4               |
| PAK/2      | 8,1               |

De toename van de luchtovermaat bij het stoken op deellast volgt uit het feit dat de hoeveelheid verbrandingslucht niet evenredig met de hoeveelheid brandstof wordt teruggenomen (gefixeerde instelling luchtinlaatkleppen).

Een te hoge luchtovermaat heeft, door het optreden van te lage verbrandingstemperaturen, een onvolledige verbranding (hoge emissie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) tot gevolg. Daarnaast neemt het energetisch rendement bij toenemende luchtovermaat af. Dit doordat de schoorsteenverliezen toenemen.

Bij industriële houtverbranding wordt bij een goed functionerende installatie in het algemeen een luchtovermaat van circa 2 gehanteerd.

De stofconcentratie, omgerekend naar mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub>, lijkt bij het stoken op deellast toe te nemen (zie tabel 3.2). De onder actuele omstandigheden optredende stofconcentratie (zie bijlage 4.1) neemt echter bij het stoken van stukhout met ongeveer een factor 4 af. Dit wordt veroorzaakt door omrekening van de actuele concentratie naar de concentratie bij 11% O<sub>2</sub> bij de relatief hoge O<sub>2</sub> concentraties. De lagere actuele stofconcentratie bij meting nr. Stof/2 en 3 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de grotere afmetingen van de brandstof.

De actuele stofconcentratie bedraagt maximaal circa 119 mg/m<sup>3</sup>, wat duidt op een goed functionerende cycloon.

Omdat de stofconcentratie in het algemeen wordt getoetst aan richtwaarden gegeven in mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub>, moet worden geconcludeerd dat bij het stoken op deellast de stofconcentratie relatief hoog is. Dit kan worden toegeschreven aan de hoge luchtovermaat.

In de rookgassen kan de aanwezigheid van CH<sub>4</sub> niet worden aangetoond. De concentratie van N<sub>2</sub>O in de rookgassen bedraagt circa 2 mg/m<sup>3</sup>. Dit kan laag worden genoemd, mede gezien de achtergrondconcentratie in Nederland van circa 0,7 mg/m<sup>3</sup> [4].



## 3.2 Bedrijf B

### 3.2.1 Bedrijfsvoering van de installatie

Het informatieformulier van bedrijf B is weergegeven in bijlage 3.2. Een samenvatting van het informatieformulier is gegeven in tabel 3.5.

Tabel 3.5 Samenvatting informatieformulier bedrijf B

| Kenmerk                      |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| <b>Installatie</b>           |                                |
| merk                         | Weiss                          |
| systeem                      | inblaas                        |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 1,74                           |
| bouwjaar                     | 1979                           |
| onderhoudsfrequentie [1/jr]  | 1                              |
| <b>Brandstof</b>             |                                |
| soort                        | wit                            |
| verontreinigd                | nee/ja                         |
| vochtigheid [%]              | max. 20                        |
| <b>Regeling</b>              |                                |
| systeem                      | aan/uit                        |
| stuurgrootte                 | stoomdruk                      |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | multicycloon                   |
| <b>Energiebenuutting</b>     | ruimteverwarming<br>betontafel |

In het navolgende wordt de bedrijfsvoering van de verbrandingsinstallatie nader beschreven.

#### *Brandstoftoevoer*

De Weiss-installatie bij bedrijf B wordt gestookt met afvalhout dat uit het bedrijf zelf afkomstig is en vrijkomt in de vorm van houtmot en stukhout. Het overgrote deel (> 90%) bestaat echter uit houtmot. De houtmot wordt opgeslagen in een houtsilo met een inhoud van circa 240 m<sup>3</sup>. Vanuit deze silo wordt de houtmot door middel van een transportventilator naar de verbrandingsinstallatie geblazen. Het vochtgehalte van de houtmot wordt geschat op 10 tot 20%.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

De installatie is per jaar 7600 uur in bedrijf waarvan circa 3800 uur op hout (vollast) en circa 3800 op aardgas wordt gestookt. In de regel wordt 's nachts met aardgas gestookt. Voor deze bedrijfsvoering van de installatie is gekozen vanwege het onregelmatig vrijkomen van afvalhout.

Ten behoeve van het stoken met gas is de installatie voorzien van twee 'Monarch' aardgasbranders die zijn voorzien van een branderregeling.

#### *Klepinstellingen verbrandingslucht*

Bij het stoken op hout vindt toevoer van de verbrandingslucht via twee kleppen plaats:

- primaire lucht via een scharnierende klep onder het rooster;
- secundaire lucht via een vaste klepinstelling onder in de uitbrandkamer.

De aanvoer van verbrandingslucht via de scharnierende klep onder het rooster wordt beïnvloedt door de onderdruk in de installatie. De onderdruk wordt bij de Weiss-installatie niet of slecht geregeld.

Zowel bij het stoken van houtmot als van stukhout treedt een extra (geforceerde) luchtstroom de uitbrandkamer binnen via de monden van de aardgasbranders. Dit is noodzakelijk omdat de brandermonden zonder deze koeling door de stralingswarmte zouden verbranden.

#### *Regeling*

De verbrandingsinstallatie is voorzien van een aan-/uitregeling gebaseerd op de stoomdruk. De brandstoftoevoer wordt bij een stoomdruk van 8 bar gestopt en wordt weer gestart op het moment dat de druk in de ketel 6 bar bedraagt. Er vindt bij deze regeling geen sturing van de stand van de verbrandingsluchtkleppen plaats.

Evenals bij een aan-/uitregeling gebaseerd op de keteltemperatuur is de frequentie van schakelen afhankelijk van de warmtevraag van het systeem en van de capaciteit van de installatie.

Alhoewel het bij bedrijf B eveneens om een aan-/uitregeling gaat ondervindt de bedrijfsvoering van de installatie niet dezelfde nadelen zoals genoemd bij installatie A. Bij bedrijf B is in zekere zin sprake van een constante afname van de geproduceerde energie (verwarmen van betontafels en mallen), wat resulteert in een constantere bedrijfsvoering en weinig aan-/uitschakelen van de verbrandingsinstallatie.

De installatie is niet voorzien van meetapparatuur ten behoeve van de beoordeling van de verbrandingskwaliteit.



### Rookgasreiniging

De Weiss-installatie is uitgerust met een multicycloon. Om stofoverlast door het afvangen stof te vermijden is de multicycloon in een gescheiden ruimte ondergebracht.

### Niet-technische aspecten

De Weiss-verbrandingsinstallatie wordt éénmaal per jaar in eigen beheer (gekwalficeerde stoker) onderhouden. Naast het ruimen van onder andere asresten wordt ook het roet (door middel van het zo genaamde roetblazen) uit de ketel verwijderd. Door het stoomwezen wordt een halfjaarlijkse inspectie van het stoomgedeelte van de ketel uitgevoerd waarbij onder meer de veiligheidsappendages worden gecontroleerd.

Het ketelhuis is goed verzorgd en de verbrandingsinstallatie wordt goed onderhouden. De aparte cycloonruimte wordt echter gebruikt als opslagruimte; de stofcontainer wordt niet regelmatig geleegd.

Inzicht de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies is in beperkte mate aanwezig.

### 3.2.2 Resultaten concentratiemetingen

De resultaten van de concentratiemetingen zijn weergegeven in tabel 3.6.

Tabel 3.6 Resultaten concentratiemetingen;  
Bedrijf B, 5 april 1993

| Meting nr. | O <sub>2</sub><br>[vol%] | CO <sub>2</sub><br>[vol%] | CO<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | PAK<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Stof<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O<br>[g/m <sup>3</sup> ] |
|------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| Stof/1     | 15,2                     | 5,6                       | 3.780                      | 78                                                    | 188                                     | 29                                      |                             | 2.069                        | 64                                      |
| Stof/2     | 14,7                     | 6,0                       | 1.710                      | 27                                                    | 211                                     | 15                                      |                             | 418                          | 71                                      |
| Stof/3     | 16,1                     | 4,6                       | 6.350                      | 195                                                   | 175                                     | 67                                      |                             | 2.397                        | 47                                      |
| PAK/1      | 15,9                     | 4,9                       | 5.870                      | 142                                                   | 186                                     | 45                                      | 624                         |                              |                                         |
| PAK/2      | 15,5                     | 5,2                       | 4.300                      | 116                                                   | 187                                     | 35                                      | 407                         |                              |                                         |

<sup>1)</sup> Concentraties in mg(µg)/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>).

Bij de resultaten van de metingen bij bedrijf B (tabel 3.6 en bijlage 4.2) valt de relatief hoge O<sub>2</sub>-concentratie op. De bij de gemeten O<sub>2</sub>-concentratie behorende luchtvermaat is weergegeven in tabel 3.7.

Deze kan onder meer worden veroorzaakt door de, via de monden van de gasbranders, ingeblazen koellucht. Mogelijk is de hoeveelheid secundaire lucht hierdoor zo hoog dat het verbrandingsproces (plaatselijk) wordt 'afgeschrikt' door snelle koeling. Dit kan leiden tot een verslechtering van het verbrandingsproces en resulteren in hoge

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

emissies. De geconstateerde CO-concentratie bedraagt 1,7 - 6,4 g/m<sup>3</sup>, hetgeen hoog mag worden genoemd.

Tabel 3.7 Luchtovermaat bedrijf B; 5 april 1993

| Meting nr. | Luchtovermaat [-] |
|------------|-------------------|
| Stof/1     | 3,6               |
| Stof/2     | 3,3               |
| Stof/3     | 4,3               |
| PAK/1      | 4,1               |
| PAK/2      | 3,8               |

Een mogelijke andere oorzaak van de hoge emissies kan het inblaaspunt van de brandstof zijn. Deze bevindt zich relatief dicht bij de ingang van het ketelcompartiment. De uitbrandruimte is hierdoor niet voldoende om de vlam goed uit te laten branden waardoor delen van de vlam neerslaan op relatief koude onderdelen van de ketel. Dit heeft een toename van de emissies tot gevolg.

De lagere waarden van de CO-, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>- en stofconcentratie bij meting nr. Stof/2 zijn te wijten aan betere procesomstandigheden dan de overige metingen. Er bevonden zich tijdens meting nr. 2 minder gloeiende asdeeltjes in de vlam. Een mogelijke oorzaak van het tijdelijk beter functioneren van de installatie kan het toevoeren van een qua deeltjesgrootte fijnere en homogenere brandstof zijn.

De geconstateerde stofconcentratie (0,4 - 2,4 g/m<sup>3</sup>, ind bij 11 % O<sub>2</sub> respectievelijk 0,2 - 1,4 g/m<sup>3</sup>, ind bij de actuele O<sub>2</sub>-concentratie) wijst op het slecht functioneren van de toegepaste multicycloon. Het, door het niet tijdig legen van de stofcontainer, verstopt raken van de stofafvoer kan hier de reden voor zijn.



### 3.3 Bedrijf C

#### 3.3.1 Bedrijfsvoering van de installatie

Het informatieformulier van bedrijf C is weergegeven in bijlage 3.3. Een samenvatting van het informatieformulier is gegeven in tabel 3.8.

Tabel 3.8 Samenvatting informatieformulier bedrijf C

| Kenmerk                      |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| <b>Installatie</b>           |                                 |
| merk                         | Danstoker                       |
| systeem                      | onderschroef                    |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 1,40                            |
| bouwjaar                     | 1968                            |
| onderhoudsfrequentie [1/jr]  | 1                               |
| <b>Brandstof</b>             |                                 |
| soort                        | wit/rood                        |
| verontreinigd                | nee                             |
| vochtigheid [%]              | ≈ 11                            |
| <b>Regeling</b>              |                                 |
| systeem                      | aan/uit                         |
| stuurgrootheid               | temperatuur ketelwater          |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | multicycloon                    |
| <b>Energiebenutting</b>      | ruimteverwarming<br>droogkamers |

In het navolgende wordt de bedrijfsvoering van de verbrandingsinstallatie nader beschreven.

#### *Brandstoftoevoer*

De Danstoker-verbrandingsinstallatie bij bedrijf C wordt bedreven met afvalhout afkomstig uit het bedrijf zelf.

Bij bedrijf C komt zowel houtmot als stukhout vrij. De houtmot wordt op de plaats waar het in het bedrijf vrijkomt afgezogen en direct naar een silo getransporteerd. Vanuit de silo wordt de houtmot door middel van wormschroeven getransporteerd naar de verbrandingsinstallatie. Het vochtgehalte van de houtmot wordt geschat op circa 11%. Het stukhout wordt éénmaal per dag verzameld en vervoerd naar een nabijgelegen zusterbedrijf waar het eveneens wordt verbrand.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### *Klepinstellingen*

Het stoken met houtmot vindt volautomatisch plaats. De toevoer van de verbrandingslucht wordt verzorgd door twee ventilatoren die elk voorzien zijn van handbediende, traploos instelbare regelschijven aan de zuigzijde van de ventilator. De ventilatoren schakelen synchroon met de aandrijfmotor voor de toevoer van brandstof. In de uitbrandkamer wordt secundaire lucht door middel van een ventilator aangevoerd. Deze ventilator is, net als de ventilatoren voor de primaire verbrandingslucht, gekoppeld aan de regeling voor de brandstoftoevoer.

### *Regeling*

De installatie is uitgerust met een aan-/uitregeling zoals is beschreven in hoofdstuk 3.1.1. Uit het aantal thermostaten kan echter worden opgemaakt dat men in het verleden de intentie heeft gehad de installatie modulerend te regelen aan de hand van de ketelwatertemperatuur. Doordat warmte-opwekking en warmtevraag momenteel niet op elkaar zijn afgestemd (te grote installatie), fungeert de regeling nu als een aan-/uitregeling.

### *Rookgasreiniging*

De installatie is voorzien van twee parallel opgestelde cyclonen.

### *Niet-technische aspecten*

De installatie wordt éénmaal per jaar, in eigen beheer, onderhouden en ziet er verzorgd uit. Door de ‘verdekt’ opgestelde cyclonen bestaat de kans dat het legen van de stofcontainers wordt vergeten.

Inzicht in het effect van de verbrandingsomstandigheden op de emissies is in beperkte mate aanwezig.

## **3.3.2 Resultaten concentratiemetingen**

De resultaten van de concentratiemetingen zijn weergegeven in tabel 3.9 en tabel 3.10.



Tabel 3.9 Resultaten concentratiemetingen;  
Bedrijf C, 15 april 1993

| Meting nr. | O <sub>2</sub> [vol%] | CO <sub>2</sub> [vol%] | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Stof/1     | 14,1                  | 6,7                    | 4.990                   | 209                                                | 177                                  | 17                                   |                          | 356                       | 68                                   |
| Stof/2     | 14,9                  | 5,9                    | 6.450                   | 309                                                | 172                                  | 31                                   |                          | 408                       | 61                                   |
| PAK/1      | 14,5                  | 6,3                    | 5.740                   | 279                                                | 175                                  | 24                                   | 1.346                    |                           |                                      |

1) Concentraties in mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>).

Tabel 3.10 Resultaten concentratiemetingen CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O;  
Bedrijf C, 15 april 1993

| Meting nr. | CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | N <sub>2</sub> O [mg/m <sup>3</sup> ] |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1          | n.a.                                 | 2,6                                   |
| 2          | n.a.                                 | 1,8                                   |

n.a. Niet aantoonbaar.

Bij bedrijf C (tabel 3.9/3.10 en bijlage 4.4) is, in afwijking van de andere bedrijven, slechts één PAK-meting uitgevoerd. De reden hiervoor is het feit dat de installatie regelmatig aan-/uitschakelde (zie pieken in bijlage 4; figuur 4.3), terwijl de metingen alleen konden worden uitgevoerd in de situatie dat de installatie in bedrijf was. De tijdsduur voor het verzamelen van een monster voor de analyse van PAK werd hierdoor dermate verlengd dat afgezien is van een tweede monsternamen. De in deze situatie vastgestelde PAK-concentratie (1,3 mg/m<sup>3</sup>) is echter vergelijkbaar met de bij constante bedrijfsvoering vastgestelde PAK-concentraties van andere installaties (0,4 - 1,7 mg/m<sup>3</sup>).

Met name de geconstateerde CO-concentratie (5,0 - 6,5 g/m<sup>3</sup>) wijst op het, met betrekking tot de kwaliteit van de verbranding, niet goed functioneren van de verbrandingsinstallatie. Dit kan voornamelijk worden toegeschreven aan het regelmatig aan-/uitschakelen van de installatie (zie 3.3.1), aan de hoge luchtvermaat (zie tabel 3.11) en, waarschijnlijk, aan een onvoldoende brandstof-/luchtmenging.

Tabel 3.11 Luchtvermaat;  
Bedrijf C, 15 april 1993

| Meting nr. | Luchtvermaat [-] |
|------------|------------------|
| Stof/1     | 3,0              |
| Stof/2     | 3,4              |
| PAK/1      | 3,2              |

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

De geconstateerde stofconcentratie ( $0,3 - 0,4 \text{ g/m}^3$ , ind bij 11 %  $\text{O}_2$  respectievelijk  $0,2 - 0,3 \text{ g/m}^3$ , ind bij de actuele  $\text{O}_2$ -concentratie) wijst op het minder goed functioneren van de toegepaste multicycloon. Als mogelijke reden hiervoor kan het aan-/uitschakelen van de installatie (fluctueren van het rookgasdebiet) genoemd worden.

In de rookgassen kan de aanwezigheid van  $\text{CH}_4$  niet worden aangetoond. De concentratie van  $\text{N}_2\text{O}$  in de rookgassen bedraagt  $2 - 3 \text{ mg/m}^3$ . Dit kan laag worden genoemd, mede gezien de achtergrondconcentratie in Nederland van circa  $0,7 \text{ mg/m}^3$  [4].



### 3.4 Bedrijf D

#### 3.4.1 Bedrijfsvoering van de installatie

Het informatieformulier van bedrijf D is weergegeven in bijlage 3.4. Een samenvatting van het informatieformulier is gegeven in tabel 3.12.

Tabel 3.12 Samenvatting informatieformulier bedrijf D

| Kenmerk                      |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| <b>Installatie</b>           |                                 |
| merk                         | WVT-Bioflam                     |
| systeem                      | doorschroef                     |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 0,42                            |
| bouwjaar                     | 1984                            |
| onderhoudsfrequentie [1/jr]  | incidenteel                     |
| <b>Brandstof</b>             |                                 |
| soort                        | wit                             |
| verontreinigd                | nee                             |
| vochtigheid [%]              | 10 - 45                         |
| <b>Regeling</b>              |                                 |
| systeem                      | aan/uit                         |
| stuurgraad                   | temperatuur ketelwater          |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | cycloon                         |
| <b>Energiebenuiting</b>      | ruimteverwarming<br>droogkamers |

In het navolgende wordt de bedrijfsvoering van de verbrandingsinstallatie nader beschreven.

#### *Brandstoftoevoer*

De WVT-verbrandingsinstallatie bij bedrijf D wordt bedreven met afvalhout afkomstig uit het bedrijf zelf. Dit afvalhout bestaat uit houtmot. De houtmot wordt op de plaats waar het in het bedrijf vrijkomt afgezogen en getransporteerd naar een silo. Vanuit de silo wordt de houtmot door middel van wormschroeven getransporteerd naar de verbrandingsinstallatie.

Het vochtgehalte van het hout varieert tussen 10 en 45%. Deze wisseling van vochtgehalte is het gevolg van de verwerking van zowel vers als gedroogd hout.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### *Klepinstellingen*

Het stoken met houtmot vindt volautomatisch plaats. De toevoer van de primaire verbrandingslucht wordt verzorgd door een ventilator die gekoppeld is aan de brandstoftoevoer. Secundaire lucht wordt geregeld door middel van een handbediende klep. De installatie werkt altijd op vollast.

### *Regeling*

De installatie is uitgerust met een aan-/uitregeling zoals is beschreven in hoofdstuk 3.1.1. Aangezien de installatie altijd op vollast draait is toepassing van aan-/uitregeling in dit geval de beste en goedkoopste oplossing. Daar de warmtebehoefte van de droogkamers over het algemeen groter is dan de warmtebehoefte voor de gebouwen, zal ook onder zachte weersomstandigheden de installatie gedurende lange tijden in bedrijf blijven waarbij de frequentie van aan-/uitschakelen laag blijft.

### *Rookgasreiniging*

De installatie is voorzien van twee in serie opgestelde cyclonen.

### *Niet-technische aspecten*

Voor de installatie is geen onderhoudscontract afgesloten en het onderhoud wordt derhalve in eigen beheer uitgevoerd. Gezien de slechte staat van de verbrandingskamer (zware beschadiging van de vuurvaste bekleding) bestaat de indruk dat onderhoud slechts incidenteel wordt uitgevoerd. De schoorsteen wordt wel éénmaal per jaar gereinigd.

De stofcontainer van de cyclonen wordt geleegd als de container voor de helft is gevuld.

De beschadiging van de vuurvaste bekleding is waarschijnlijk veroorzaakt doordat de bedrijfsvoering van de installatie afwijkt van de meest optimale bedrijfsvoering. De verbranding van de bij de ontgassing gevormde gassen vindt plaats in de ontgassingskamer in plaats van in de verbrandingsruimte. Hierdoor stijgt de temperatuur in de ontgassingskamer dermate dat de vuurvaste bekleding wordt aangetast en er lekkage ontstaat.

## **3.4.2 Resultaten concentratiemetingen**

De resultaten van de concentratiemetingen staan weergegeven in tabel 3.13.



Tabel 3.13 Resultaten concentratiemetingen;  
Bedrijf D, 7 april 1993

| Meting nr. | O <sub>2</sub> [vol%] | CO <sub>2</sub> [vol%] | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Stof/1     | 17,6                  | 3,3                    | 480                     | 16                                                 | 118                                  | 17                                   |                          | 391                       | 137                                  |
| Stof/2     | 17,3                  | 3,8                    | 515                     | 14                                                 | 133                                  | 19                                   |                          | 331                       | 140                                  |
| PAK/1      | 17,4                  | 3,6                    | 555                     | 16                                                 | 124                                  | 18                                   | 853                      |                           |                                      |
| PAK/2      | 17,4                  | 3,8                    | 535                     | 15                                                 | 133                                  | 18                                   | 835                      |                           |                                      |

<sup>1)</sup> Concentraties in mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>).

Bij bedrijf D wordt een relatief constante bedrijfsvoering geconstateerd (tabel 3.13 en bijlage 4.4), hetgeen duidt op een goede afstemming van de capaciteit van de installatie op de warmtevraag.

De CO-concentratie van deze installatie is ten opzichte van de overige in dit onderzoek betrokken installaties weliswaar lager (circa 0,5 g/m<sup>3</sup>, ind ten opzichte van 1,1 - 6,5 g/m<sup>3</sup>, ind), ten opzichte van de meeste in [1] geïnventariseerde installaties (0,1 - 0,4 g/m<sup>3</sup>, ind) is de CO-concentratie relatief hoog.

Deze relatief hoge concentratie wordt met name veroorzaakt door het feit dat de installatie niet optimaal bedreven wordt (zie 3.4.1). Ook het feit dat het vochtgehalte van de brandstof fluctueert kan bijdragen aan een hoge CO-emissie.

De geconstateerde hoge luchtvermaat (zie tabel 3.14) wordt veroorzaakt door lucht-inlek, mogelijk ontstaan door beschadiging van de vuurvaste bekleding. Deze inlek vindt echter voornamelijk plaats op een punt waar de verbranding al grotendeels is verlopen. De grote luchtvermaat heeft daarom weinig invloed op dit proces en dus ook niet op het CO- en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-gehalte. De hoge luchtvermaat veroorzaakt wel grote schoorsteenverliezen.

Tabel 3.14 Luchtvermaat;  
Bedrijf D, 7 april 1993

| Meting nr. | Luchtvermaat [-] |
|------------|------------------|
| Stof/1     | 6,2              |
| Stof/2     | 5,7              |
| PAK/1      | 5,8              |
| PAK/2      | 5,8              |

De stofconcentratie bij 11% O<sub>2</sub> bedraagt circa 350 mg/m<sup>3</sup>. Hieruit mag, in dit geval, echter niet worden geconcludeerd dat de werking van de cyclonen niet goed zou zijn. De hoge stofconcentratie wordt veroorzaakt door omrekening van de actuele concentratie naar de concentratie bij 11% O<sub>2</sub> bij de hoge O<sub>2</sub>-concentratie. De actuele stofconcentratie bedraagt circa 120 mg/m<sup>3</sup>, wat duidt op goed functionerende cyclonen.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Omdat de stofconcentratie in het algemeen wordt getoetst aan richtwaarden gegeven in  $\text{mg/nm}^3$  bij 11%  $\text{O}_2$ , moet worden geconcludeerd dat de stofconcentratie relatief hoog is. Dit kan worden toegeschreven aan de hoge luchtovermaat.



### 3.5 Bedrijf E

#### 3.5.1 Bedrijfsvoering van de installatie

Het informatieformulier van bedrijf E is weergegeven in bijlage 3.5. Een samenvatting van het informatieformulier is gegeven in tabel 3.15.

Tabel 3.15 Samenvatting informatieformulier bedrijf E

| Kenmerk                      |                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Installatie</b>           |                                               |
| merk                         | Heizomat                                      |
| systeem                      | onderschroef                                  |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 0,29                                          |
| bouwjaar                     | 1988                                          |
| onderhoudsfrequentie [1/jr]  | 12                                            |
| <b>Brandstof</b>             |                                               |
| soort                        | wit/rood                                      |
| verontreinigd                | nee                                           |
| vochtigheid [%]              | ≈ 16                                          |
| <b>Regeling</b>              |                                               |
| systeem                      | brandstof: aan/uit<br>prim. lucht: modulerend |
| stuurgrootheid               | temperatuur ketelwater                        |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | geen                                          |
| <b>Energiebenutting</b>      | ruimteverwarming<br>extern                    |

In het navolgende wordt de bedrijfsvoering van de verbrandingsinstallatie nader beschreven.

#### *Brandstoftoevoer*

De Heizomat-verbrandingsinstallatie bij bedrijf E wordt bedreven met afvalhout afkomstig uit het bedrijf zelf. Dit afvalhout bestaat uit houtmot. De houtmot wordt op de plaats waar het in het bedrijf vrijkomt afgezogen en getransporteerd naar een silo. Vanuit deze silo wordt de houtmot door middel van wormschroeven getransporteerd naar de verbrandingsinstallatie.

Het vochtgehalte van het hout ligt in de orde grootte van 16%.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### *Klepinstellingen*

Het stoken met houtmot vindt volautomatisch plaats.

Primaire lucht wordt in de installatie geleid via een klep onder het rooster. Deze klep wordt gestuurd door de ketelwatertemperatuur.

De secundaire lucht wordt door twee ventilatoren in de installatie gebracht en wordt verdeeld in onderbeluchting (bij de huidige instellingen in het brandstofbed) en bovenbeluchting (vlak boven de brandstof). De hoeveelheid secundaire lucht kan met de hand worden ingesteld. De ventilatoren zijn synchroon geschakeld met de motor van de brandstoftoevoer.

### *Regeling*

De installatie is uitgerust met een aan-/uitregeling zoals is beschreven in hoofdstuk 3.1.1 met dien verstande dat de hoeveelheid primaire lucht wordt geregeld door de ketelwaterthermostaat. De toevoerklep van de primaire lucht wordt verder gesloten naarmate de ingestelde ketelwatertemperatuur dichter wordt benaderd. De klep wordt verder geopend naarmate de ketelwatertemperatuur verder afwijkt van de ingestelde waarde. De klep is niet gekoppeld aan de brandstoftoevoer.

Secundaire lucht wordt alleen toegevoerd op het moment dat er brandstoftoevoer plaatsvindt. De toevoer van de brandstof vindt discontinu plaats. Zowel de stop- als toevoertijd is variabel. De beste insteltijd wordt op basis van ervaring bepaald. Controle-apparatuur met betrekking tot de verbrandingskwaliteit is niet aanwezig.

### *Rookgasreiniging*

De installatie is niet voorzien van rookgasreiniging.

### *Niet-technische aspecten*

De installatie wordt onderhouden door een extern onderhoudsbedrijf en is in goede staat.

Tengevolge van oververhitting worden de pijpen waardoor de secundaire lucht in de installatie wordt gebracht tweemaal per jaar hersteld. Roet- en asresten worden in de gemeentelijke container verzameld en worden maandelijks afgevoerd.

De bij bedrijf E aanwezige kennis van de installatie is ruim voldoende om een goede bedrijfsvoering van de installatie te kunnen garanderen. Kennis met betrekking tot de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies is in beperkte mate aanwezig.



### 3.5.2 Resultaten concentratiemetingen

De resultaten van de concentratiemetingen staan weergegeven in tabel 3.16.

Tabel 3.16 Resultaten concentratiemetingen;  
Bedrijf E, 6 april 1993

| Meting nr. | O <sub>2</sub> [vol%] | CO <sub>2</sub> [vol%] | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>2)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> <sup>3)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Stof/1     | 19,0                  | 2,2                    | 4.510                   | -                                                                | 143                                                | 16                                   |                          | 87                        | 107                                  |
| Stof/2     | 16,9                  | 4,0                    | 465                     | -                                                                | 111                                                | 17                                   |                          | 143                       | 133                                  |
| PAK/1      | 18,3                  | 2,8                    | 1.650                   | -                                                                | 119                                                | 10                                   | 1.672                    |                           |                                      |
| PAK/2      | 17,2                  | 3,7                    | 1.150                   | -                                                                | 117                                                | 21                                   | 1.439                    |                           |                                      |

1) Concentraties in mg/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>).

2) Door storing geen gegevens omtrent C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> beschikbaar.

Bij de verbrandingsinstallatie van bedrijf E (tabel 3.16 en bijlage 4.5) wordt een redelijk constante bedrijfsvoering geconstateerd.

Opvallend is de hoge CO-concentratie bij meting nr. Stof/1. Deze hoge concentratie valt samen met het dichtvallen van de primaire luchtklep tijdens het instellen van de thermostaat.

Opvallend is, dat het zuurstofpercentage stijgt bij het sluiten van de luchtklep. Blijkbaar neemt hierdoor de verbrandingssnelheid sterker af dan de totale luchttoevoer.

De CO-concentratie wordt mogelijk mede bepaald door de instelling van de hoeveelheid brandstof en van de frequentie waarmee de brandstof wordt toegevoerd. Bij de discontinue brandstoftoevoer vindt in de perioden dat geen brandstoftoevoer plaatsvindt, ook geen toevoer van secundaire verbrandingslucht plaats. Een dergelijke bedrijfsvoering komt globaal overeen met de bij bedrijf A geschetste situatie van een aan-/uitregeling bij een verbrandingsinstallatie met een, ten opzichte van de warmtevraag, te grote capaciteit.

Bij de huidige instelling van de brandstoftoevoer wordt een zodanige hoeveelheid hout in de installatie gebracht dat de onderste inlaten voor de secundaire lucht zich in het brandstofbed in plaats van boven het brandstofbed bevinden.

Ook bij bedrijf E is de O<sub>2</sub>-concentratie van de rookgassen te hoog. In tabel 3.17 is de tijdens de metingen geconstateerde luchtvermaat weergegeven.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 3.17 Luchtovermaat;  
Bedrijf E, 6 april 1993*

| <b>Meting<br/>nr.</b> | <b>Luchtovermaat<br/>[-]</b> |
|-----------------------|------------------------------|
| Stof/1                | 10,5                         |
| Stof/2                | 5,1                          |
| PAK/1                 | 7,8                          |
| PAK/2                 | 5,5                          |

Opvallend is verder dat de stofconcentratie bij bedrijf E relatief laag is, terwijl er geen ontstoffing wordt toegepast. De lage stofconcentratie (circa 0,1 g/m<sup>3</sup>) is in dit geval te danken aan de geconstateerde relatief lage luchtsnelheden in het rookgaskanaal ( $v \approx 1$  m/s, ten opzichte van  $\approx 4$  m/s bij andere installaties). Door deze lage snelheden wordt het stof niet met de rookgassen meegevoerd maar 'zakt uit' en wordt onder in het rookgaskanaal verzameld.



### 3.6 Evaluatie

#### *Informatieformulieren*

Een samenvatting van de informatieformulieren is weergegeven in tabel 3.18.

Tabel 3.18 Samenvatting informatieformulieren

| Kenmerk                      | Bedrijf                  |                        |                         |                         |                    |
|------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
|                              | A                        | B                      | C                       | D                       | E                  |
| <b>Installatie</b>           |                          |                        |                         |                         |                    |
| merk                         | Vyncke                   | Weiss                  | Danstoker               | WVT-Bioflamm            | Heizomat           |
| systeem                      | inblaas                  | inblaas                | onderschroef            | doorschroef             | onderschroef       |
| vermogen [MW <sub>th</sub> ] | 0,85                     | 1,74                   | 1,40                    | 0,42                    | 0,29               |
| bouwjaar                     | 1982                     | 1979                   | 1968                    | 1984                    | 1988               |
| onderhoudsfreq. [1/jr]       | 1                        | 1                      | 1                       | incidenteel             | 12                 |
| <b>Regeling</b>              | aan/uit                  | aan/uit                | aan/uit                 | aan/uit                 | aan/uit-modulerend |
| <b>Brandstof</b>             |                          |                        |                         |                         |                    |
| houtsoort <sup>1)</sup>      | rood                     | wit                    | wit/rood                | wit                     | wit/rood           |
| verontreinigd                | nee                      | nee/ja                 | nee                     | nee                     | nee                |
| vochtigheid [%]              | ≈ 10                     | max. 20                | ≈ 11                    | 10 - 45                 | ≈ 16               |
| <b>Rookgasreiniging</b>      | cycloon                  | multicycloon           | multicycloon            | cycloon                 | geen               |
| <b>Energiebenutting</b>      | droogkamers vernietiging | ruimteverw. betontafel | ruimteverw. droogkamers | ruimteverw. droogkamers | ruimteverw. extern |

<sup>1)</sup> wit = zacht hout (voornamelijk niet-tropisch)  
rood = hard hout (voornamelijk tropisch).

Uit deze tabel blijkt dat de leeftijd van de in het onderzoek betrokken installaties varieert van 5 tot 25 jaar. De installaties zijn allen uitgerust met een eenvoudige aan-/uitregeling. Bij één installatie wordt tevens de hoeveelheid primaire lucht geregeld. De onderhoudssituatie varieert van incidenteel tot het maandelijks schoonmaken van de installatie. Uit de bedrijfsbezoeken en ervaringen opgedaan tijdens de uitvoering van de metingen is geconcludeerd dat het inzicht in de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies slechts in beperkte mate aanwezig is. Apparatuur voor de controle van het verbrandingsproces (bijvoorbeeld CO-analyser) is in geen van de gevallen aangetroffen.

Het brandstofpakket van de installaties bestaat uit wit-, rood- of uit een combinatie van wit- en rood-hout. Op één installatie na, wordt bij alle installaties een (multi)cycloon toegepast. Energiebenutting vindt over het algemeen plaats door het toepassen



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

van ruimteverwarming van gebouwen en (eventueel) droogkamers. De geproduceerde warmte wordt ook afgezet naar het proces, extern en/of naar een energievernieter.

### *Emissies*

In tabel 3.19 worden de resultaten van de concentratiemetingen vergeleken met de gegevens afkomstig uit eerder onderzoek en met de bij de leveranciers ingewonnen informatie. Tevens zijn in de tabel emissies vermeld die met moderne verbrandings- en filtertechnieken momenteel als technisch en economisch haalbaar worden geacht. Onder technisch en economisch haalbaar wordt in dit verband verstaan: bereikbaar met de nieuwste ontwikkelde verbrandingssystemen, met alleen een stofvanger, bijvoorbeeld een (multi)cycloon of een doekfilter, als reinigingstechniek. Verder wordt in dit kader aangenomen dat de installatie modulerend is geregeld, overwegend continu in werking is en automatisch wordt gestookt [1].

Tabel 3.19 *Vergelijking resultaten met reeds beschikbare gegevens<sup>1)</sup>*

| Component                     | Onderhavig<br>onderzoek<br><br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Conventioneel,<br>automatisch gestookt           |                                                       | Technisch<br>haalbaar<br><br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                               |                                                     | Metingen in<br>Nederland<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Metingen in<br>het buitenland<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |                                                   |
| CO                            | 464 - 6.450                                         | 56 - 3.727                                       | 284 - 8.119                                           | < 100                                             |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | 14 - 309                                            | 1 - 585                                          | 1 - 731                                               | < 20                                              |
| NO <sub>x</sub>               | 111 - 211                                           | 85 - 300                                         | 55 - 589                                              | < 250                                             |
| SO <sub>2</sub>               | 10 - 67                                             | 17 - 42                                          | 1 - 38                                                |                                                   |
| PAK [µg/m <sup>3</sup> ]      | 407 - 1.672                                         | -                                                | 5 - 1.644                                             |                                                   |
| Stof                          | 87 - 2.397                                          | 78 - 349                                         | 68 - 749                                              | < 125 <sup>2)</sup><br>< 10 <sup>3)</sup>         |
| CH <sub>4</sub>               | n.a.                                                |                                                  |                                                       |                                                   |
| N <sub>2</sub> O              | 1 - 3                                               |                                                  |                                                       |                                                   |
| Luchtvermaat [-]              | 2 - 15                                              | 2 - 3                                            | 2 - 7                                                 | 2                                                 |

<sup>1)</sup> Concentraties in mg(µg)/m<sup>3</sup>, ind bij 11% O<sub>2</sub> (behalve luchtvermaat).

<sup>2)</sup> Bij toepassing (multi)cycloon.

<sup>3)</sup> Bij toepassing doekenfilter.

n.a. Niet aantoonbaar.

Uit deze tabel blijkt dat er relatief grote onderlinge verschillen bestaan tussen de resultaten van de concentratiemetingen bij de onderzochte installaties.

Bij de in [1] uitgevoerde inventarisatie van meetgegevens van een achttal automatisch gestookte installaties werd geconcludeerd dat de bij twee installaties geconstateerde relatief hoge CO-concentratie (respectievelijk 1.425 en 3.727 mg/m<sup>3</sup>) niet representatief was voor de Nederlandse situatie. Deze conclusie was gebaseerd op het feit dat



bij deze installatie brandstof met relatief grote afmetingen werd toegepast. Uit onderhavig onderzoek blijkt echter dat dergelijke CO-concentraties in de praktijk regelmatig voorkomen. Derhalve zijn in tabel 3.19 alle in [1] geïnventariseerde gegevens opgenomen.

Uit tabel 3.19 blijkt tevens dat de in het kader van dit onderzoek gemeten concentraties van CO en stof in sommige gevallen hoog zijn ten opzichte van de in een eerder stadium in Nederland vastgestelde concentraties. Wanneer deze waarden worden vergeleken met de in het buitenland vastgestelde concentraties moet worden opgemerkt dat deze, met uitzondering van de concentratie van stof, overeenkomen.

De emissieconcentratie van PAK bedraagt voor de geïnventariseerde installaties 400 - 1.700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit komt globaal overeen met de in het buitenland bij conventionele houtverbrandingsinstallaties vastgestelde concentraties. Bij buitenlandse installaties worden echter ook lagere PAK-concentraties (laagst gemeten waarde: 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) geconstateerd. De omstandigheden waarbij deze waarden zijn vastgesteld, zijn niet bekend.

Bij een vergelijking met wat tegenwoordig als technisch haalbaar wordt geacht (laatste kolom tabel 3.19), vormt globaal genomen de emissie van  $\text{NO}_x$  bij oudere toestellen geen probleem. Bij verlaging van de emissie van CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  bestaat echter de mogelijkheid dat de  $\text{NO}_x$ -emissie toeneemt door het uitblijven van NO-reducerende reacties met CO en/of  $\text{C}_x\text{H}_y$ .

De emissies van stof (incidenteel laag), CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  liggen veel hoger dan wat momenteel als technisch haalbaar wordt beschouwd.

In de NER (Nederlandse Emissie Richtlijnen Lucht) zijn enkele algemene richtlijnen gesteld voor de emissie van stof en  $\text{NO}_x$ ; deze zijn ( $\text{mg}/\text{m}^3$ , ind 11%  $\text{O}_2$ ):

- **stof:** 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  bij een massastroom < 0,5 kg/h;  
25  $\text{mg}/\text{m}^3$  bij een massastroom > 0,5 kg/h;  
10  $\text{mg}/\text{m}^3$  als (doek)filters worden toegepast;
- **$\text{NO}_x$ :** 200  $\text{mg}/\text{m}^3$  bij een massastroom > 5 kg/h.

Vertaalt men deze richtlijnen naar de schaalgrootte van houtgestookte installaties dan betekent dit dat in het algemeen reeds bij relatief kleine vermogens ( $\approx 0,5 \text{ MW}_{\text{th}}$ , afhankelijk van de constructie van de installatie) de stofemissie slechts 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  mag bedragen. Dit impliceert dat multicyclonen volgens deze algemene richtlijnen niet ingezet kunnen worden, omdat met dit soort stoffilters een stofrestemissie van maximaal 125  $\text{mg}/\text{m}^3$  gehaald kan worden.

Vertaling van de algemene NER-Richtlijn ten aanzien van  $\text{NO}_x$  betekent dat geen eisen worden gesteld bij vermogens < 12  $\text{MW}_{\text{th}}$ . In Nederland komen de vermogens van met schoon houtgestookte installaties boven 5  $\text{MW}_{\text{th}}$  momenteel niet voor [1]. Opgemerkt wordt dat het voornemen bestaat het verbranden van (afval)hout bij bedrijven te reglementeren in Hoofdstuk 3 (Bijzondere Regelingen) van de NER.

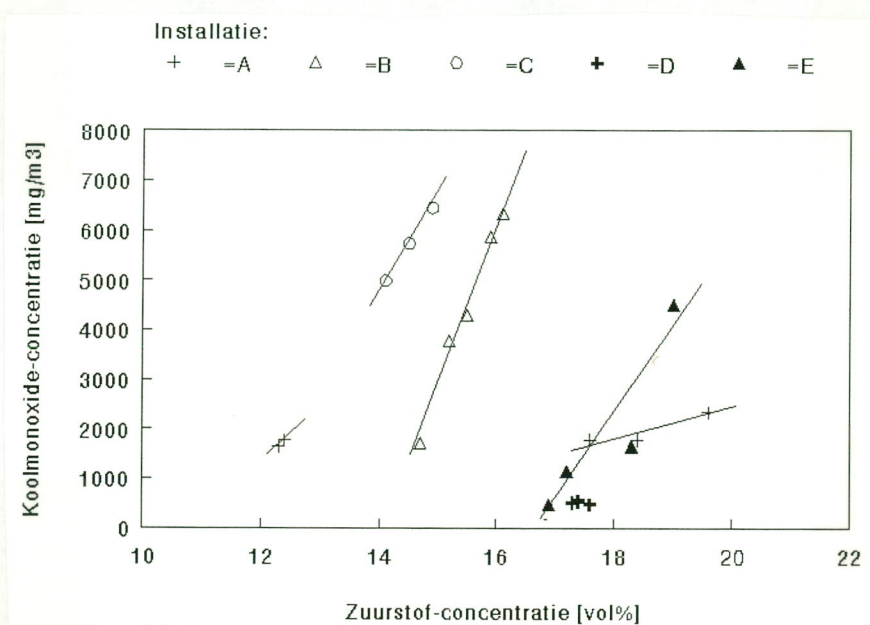
*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Luchtovermaat*

Opvallend is de in dit onderzoek bij alle betrokken bedrijven geconstateerde hoge luchtovermaat. De luchtovermaat van de in [1] geïnventariseerde installaties bedroeg, op één installatie na, 1,6 - 2,8.

Een te hoge luchtovermaat heeft, door het optreden van te lage verbrandingstemperaturen en te korte verblijftijden, een onvolledige verbranding (hoge emissie van CO,  $C_xH_y$ ) tot gevolg. Daarnaast neemt het energetisch rendement bij toenemende luchtovermaat af. Dit doordat de schoorsteenverliezen toenemen.

In figuur 3.2 zijn de in het kader van dit onderzoek vastgestelde CO-concentraties weergegeven als functie van de  $O_2$ -concentratie.



Figuur 3.2 CO-concentratie als functie van de  $O_2$ -concentratie

Uit deze figuur blijkt dat de CO-concentratie voor toestel B, C en E sterk afhankelijk is van het  $O_2$ -percentage in de rookgassen. Bij een toename van de  $O_2$ -concentratie (luchtovermaat) neemt de CO-concentratie sterk toe. Het niveau waarop deze sterke toename optreedt is afhankelijk van de constructie van de installatie. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van berekeningen van de adiabatische vlamtemperatuur [6]. Hieruit volgt dat om een temperatuur van 850 °C in de verbrandingsruimte te handhaven, de zuurstofconcentratie (bij niet-getrapte luchttoevoer) niet meer mag bedragen dan 14 - 16%. Uit figuur 3.2 blijkt echter dat bij een aantal van de onderzochte toestellen een zuurstofpercentage hoger dan 16% voorkomt, waarbij nog steeds van een relatief goede verbranding sprake is. Dit is mogelijk in het geval dat, door slechte brandstof-/luchtmenging of door inlek na de verbrandingszone, slechts een gedeelte van de toegevoerde lucht aan het verbrandingsproces deelneemt. Uit figuur 3.2 kan worden geconcludeerd dat de brandstof-/luchtmenging bij de installatie van bedrijf E slechter is en/of dat de inlek van lucht later in het proces plaatsvindt dan bij bedrijf C en B.



Voor bedrijf A en D is voor de verbrandingsinstallatie geen afhankelijkheid van de CO-concentratie met de O<sub>2</sub>-concentratie aangetoond.

In het geval van bedrijf A is dit het gevolg van het feit dat de metingen bij verschillende bedrijfsomstandigheden zijn uitgevoerd;

- houtmot op vollast: O<sub>2</sub>-concentratie ≈ 12%;
- stukhout op deellast: O<sub>2</sub>-concentratie ≈ 18%.

In het geval van bedrijf D vindt luchtinlek plaats, voornamelijk op een punt waar de verbranding al grotendeels is verlopen. Het hoge O<sub>2</sub>-gehalte heeft daarom weinig invloed op dit proces en dus ook niet op het CO- en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-gehalte. De hoge O<sub>2</sub>-concentratie veroorzaakt wel relatief grote schoorsteenverliezen.

In onderstaande tabel worden de (vermoedelijke) oorzaken van de geconstateerde relatief hoge emissies samengevat.

Tabel 3.20 Samenvatting van de (vermoedelijke) oorzaken van de geconstateerde relatief hoge emissies

| Bedrijf: emissie              | Verklaring                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A: CO; 2 g/m <sup>3</sup>     | 1. Toepassing van aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag<br>2. Ontbreken van aanpassing van de hoeveelheid verbrandingslucht bij het stoken op deellast |
| Stof; 0,2 g/m <sup>3</sup>    | Omrekening naar 11% O <sub>2</sub> bij een hoge luchtvermaat                                                                                                                                                                 |
| B: CO; tot 6 g/m <sup>3</sup> | 1. Afkoeling van de vuurhaard door de door de monden van de gasbranders ingeblazen koellucht<br>2. Inblaaspunt brandstof dicht bij de ketel<br>3. Qua deeltjesgrootte inhomogene brandstof                                   |
| Stof; 2 g/m <sup>3</sup>      | Niet tijdig legen van de stofcontainer                                                                                                                                                                                       |
| C: CO; 6 g/m <sup>3</sup>     | 1. Toepassing van aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag<br>2. Hoge luchtvermaat<br>3. Slechte brandstof-/luchtmenging (mogelijk)                       |
| Stof; 0,4 g/m <sup>3</sup>    | 1. Fluctuerend debiet door toepassing van aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag<br>2. Omrekening naar 11% O <sub>2</sub> bij een hoge luchtvermaat     |
| D: CO; 0,5 g/m <sup>3</sup>   | 1. Van ontwerp afwijkende bedrijfsvoering<br>2. Fluctuerend vochtgehalte van de brandstof                                                                                                                                    |
| Stof; 0,4 g/m <sup>3</sup>    | Omrekening naar 11% O <sub>2</sub> bij een hoge luchtvermaat                                                                                                                                                                 |
| E: CO; tot 5 g/m <sup>3</sup> | 1. Hoge luchtvermaat<br>2. Slechte brandstof-/luchtmenging (mogelijk)<br>3. Niet-optimale instelling brandstoftoevoer                                                                                                        |
| Stof; 0,1 g/m <sup>3</sup>    | Niet van toepassing                                                                                                                                                                                                          |

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Uit deze tabel blijkt dat, naast een aantal specifieke oorzaken, een aantal algemene oorzaken kan worden aangegeven voor de relatief hoge emissies van CO (en derhalve ook van  $C_xH_y$ ):

- een ten opzichte van de warmtevraag te grote verbrandingsinstallatie in combinatie met een aan-/uitregeling, en/of
- te hoge luchttoevoer door:
  - niet-optimaal instellen van de luchttoevoerkleppen;
  - lekkage;
- (mogelijk) slechte brandstof-/luchtmenging.





## 4 Emissieverlaging

### 4.1 Algemeen

In het navolgende wordt een algemeen overzicht gegeven van mogelijkheden ter verlaging van de emissies van bestaande industriële houtgestookte installaties. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in gasvormige componenten ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ) en stof.

De emissie van  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  (en PAK) worden voornamelijk beïnvloed door de verbrandingsomstandigheden. Deze worden bepaald door:

- de verbrandingstemperatuur;
- de verblijftijd bij deze temperatuur;
- de menging van de verbrandingsgassen met de verbrandingslucht.

Zowel de verbrandingstemperatuur als de verblijftijd worden onder andere door de hoeveelheid toegevoerde verbrandingslucht (luchtovermaat) beïnvloed. Een te hoge luchtovermaat heeft, door het optreden van te lage verbrandingstemperaturen, slechte menging en te korte verblijftijden, een onvolledige verbranding tot gevolg. Daarnaast neemt het energetisch rendement bij toenemende luchtovermaat af door toename van de schoorsteenverliezen. Bij industriële houtverbranding wordt bij een goed functionerende installatie in het algemeen een luchtovermaat van circa 2 gehanteerd.

De menging van de verbrandingsgassen met de brandstof en verbrandingslucht is afhankelijk van de geometrie van de installatie en van de plaats en de wijze waarop (snelheid/turbulentie) de verbrandingslucht in de installatie wordt gebracht.

De verbrandingsomstandigheden zijn verder afhankelijk van de bedrijfsvoering van de installatie. Bij een fluctuerende warmtevraag speelt de regeling van de installatie een belangrijke rol. De volgende regelsystemen zijn momenteel beschikbaar:

- aan-/uitregeling;
- modulerende regeling van brandstoftoevoer;
- modulerende regeling van de toevoer van brandstof en verbrandingslucht.

De aan-/uitregeling is de meest eenvoudige vorm van regeling. Aan de hand van bijvoorbeeld de ketelwatertemperatuur wordt de brandstoftoevoer aan- respectievelijk uitgeschakeld. In situaties waarbij de capaciteit van de installatie de warmtevraag overtreft leidt toepassing van een dergelijke regeling tot hoge emissies (zie hoofdstuk 3.1.1).

Bij de modulerende brandstofregeling wordt de brandstoftoevoer geregeld aan de hand van het verschil tussen de actuele en de ingestelde waarde van bijvoorbeeld de ketelwatertemperatuur. De hoeveelheid verbrandingslucht wordt bij een dergelijk systeem niet geregeld. Dit heeft tot gevolg dat het regelbereik beperkt is; bij het belangrijk terugnemen van de brandstof zou de luchtovermaat te hoog worden.

Verwacht mag worden dat de emissie van een op deze wijze geregelde installatie lager zal zijn dan de emissie van een installatie met een aan-/uitregeling waarbij frequent geschakeld wordt. Een kwantitatieve schatting van de realiseerbare emissieverlaging is echter vooralsnog niet aan te geven.



De toepassing van een modulerende regeling bij houtverbrandingsinstallaties van zowel de brandstoftoevoer als de toevoer van de verbrandingslucht is vrij recent. Ten opzichte van de modulerende brandstofregeling is deze regeling uitgebreid met een tweede regelkring gericht op het minimaliseren van het aandeel onverbrande gassen in het rookgas. Afhankelijk van bijvoorbeeld de  $O_2$ -concentratie in de rookgassen wordt de hoeveelheid toegevoerde primaire en/of secundaire lucht geregeld. Op deze wijze wordt continu de juiste brandstof-/luchtverhouding ingesteld.

Verwacht mag worden dat een dergelijke regeling een belangrijk effect heeft op de emissie van een installatie waarbij de warmtevraag fluctueert. Voor moderne installaties die met een dergelijke regeling zijn uitgerust zijn voor CO en  $C_xH_y$  emissie respectievelijk  $< 4$  en  $14 \text{ mg/m}^3$ , ind bij 11%  $O_2$  gemeten [7]. Een kwantitatieve schatting van de realiseerbare emissieverlaging bij oudere installaties is echter vooralsnog niet aan te geven.

Opgemerkt wordt dat er modulerende regelingen op de markt beschikbaar zijn die in eerste instantie bestemd zijn voor grotere boilers, maar die met enige aanpassing geschikt gemaakt kunnen worden voor houtgestookte verbrandingsinstallaties [8].

Een globaal kostenoverzicht van de verschillende regelsystemen is weergegeven in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Globale kostenschatting verschillende regelsystemen

| Regelsysteem                          | Globale kostenschatting [Hfl] |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Aan/uit                               | 2.000                         |
| Modulerend brandstoftoevoer           | 4.000 - 9.000                 |
| Modulerend brandstof- en luchttoevoer | 17.000 - 25.000 <sup>1)</sup> |

<sup>1)</sup> Exclusief thyristorregeling.

Voor wat betreft verlaging van de stofemissie van industriële houtverbrandingsinstallaties is een aantal technieken beschikbaar. In tabel 4.2 wordt een overzicht gegeven van deze technieken. Aanvullende informatie kan tevens gevonden worden in [1].

Tabel 4.2 Overzicht stoffiltertechnieken houtverbrandingsinstallaties

| Systeem               | Restemissie<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Investerings <sup>1)</sup><br>[Hfl/m <sup>3</sup> /h] | Levensduur<br>[jaar] |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|
| Cycloon/Multicycloon  | $< 125$                             | 7                                                     | 10                   |
| Doekfilter            | $< 10$                              | 45                                                    | 2 <sup>2)</sup>      |
| Elektrostatischfilter | $< 50$                              | 55                                                    | 10                   |
| Metaalgaasfilter      | $< 25$                              | 45                                                    | 10                   |

<sup>1)</sup> Voor installaties  $< 2 \text{ MW}_{th}$ .

<sup>2)</sup> Geldt voor de doeken.



Met betrekking tot de in tabel 4.2 genoemde investeringskosten wordt er op gewezen dat momenteel metaalgaasfilters en elektrostatische filters op de markt worden gebracht waarbij de investeringskosten aanmerkelijk lager zijn;

- metaalgaasfilter: 28 ten opzichte van 45 Hfl/m<sup>3</sup>/h [9];
- elektrostatisch filter: 12 ten opzichte van 55 Hfl/m<sup>3</sup>/h [10].

Het betreft hier echter nieuwe systemen waarvan de geschiktheid voor houtverbrandingsinstallaties nog nader aangetoond dient te worden.

## **4.2 Specifieke mogelijkheden per bedrijf**

### **4.2.1 Bedrijf A**

De vermoedelijke oorzaken voor de relatief hoge emissie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en stof (respectievelijk tot 2.300, tot 130 en tot 200 mg/m<sup>3</sup>) zijn:

- de toepassing van een aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag;
- het ontbreken van aanpassingsmogelijkheden van de hoeveelheid verbrandingslucht bij het stoken op deellast;
- de relatief hoge luchtvermaat.

Een eerste mogelijkheid om de emissies te verlagen kan afstemming van de warmtevraag op de capaciteit van de verbrandingsinstallatie zijn. Hierdoor wordt het frequent schakelen van de installatie en het stoken op deellast voorkomen. Gedacht kan worden aan verdere toepassing van ruimteverwarming (opslaghal stukhout) en afzet van warmte naar nabij gelegen industrie. Een energetisch onaantrekkelijke oplossing is het toepassen van energievernietiging.

In het geval dat een overcapaciteit van de verbrandingsinstallatie blijft bestaan kunnen de emissies door toepassing van een modulerende brandstof- en luchtregeling worden gereduceerd.

De relatief hoge luchtvermaat kan, naast de toepassing van een modulerende brandstof-/luchtregeling, worden verlaagd door vermindering van de hoeveelheid lucht die bij het inblazen van de brandstof in de installatie wordt gebracht.

Dit is mogelijk door het toepassen van een zogenaamde Awinator, waarbij de brandstof de installatie wordt ingeslingerd in plaats van ingeblazen. De kosten van een dergelijk brandstofdoseerapparaat ligt in de orde grootte van f 15.000,--.

In het geval niet tot modulerende regeling kan worden overgegaan en het stoken op deellast niet kan worden vermeden is het aan te bevelen instelbare luchttoevoerkleppen te installeren. Hierdoor kan de hoge luchtvermaat bij het stoken op deellast worden teruggebracht. Dit komt, mits de menging goed blijft, de verbrandingskwaliteit ten goede.

Een kwantitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is vooralsnog voor CO en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> (en PAK) niet aan te geven. Voor de emissie van stof geldt dat door verlaging van de luchtvermaat, bij de toepassing van de huidige cycloon, een restconcentratie < 125 mg/m<sup>3</sup> haalbaar lijkt.

Een kwalitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is weergegeven in tabel 4.3.



Tabel 4.3 Kwalitatieve inschatting haalbare emissiereductie bij bedrijf A

| Maatregel                                             | Effect op emissie      |      |
|-------------------------------------------------------|------------------------|------|
|                                                       | Gasvormige componenten | Stof |
| Afstemming warmtevraag op capaciteit installatie      | ++                     | 0    |
| Modulerende brandstof- en luchtregeling               | ++                     | +    |
| Verlagen luchtvermaat (Awinator/instelbare luchtklep) | +                      | +    |

- 1) Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

#### 4.2.2 Bedrijf B

De vermoedelijke oorzaken voor de relatief hoge emissie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en stof (respectievelijk tot 6.300, tot 200 en tot 2.400 mg/m<sup>3</sup>) zijn:

- korte verblijftijd van de verbrandingsgassen door de situering van het inblaaspunt van de brandstof dicht bij de ketel;
- afkoeling van de vuurhaard door de door de monden van de gasbranders ingeblazen koellucht;
- qua deeltjesgrootte inhomogene brandstof;
- niet tijdig legen van de stofcontainer.

De emissie van gasvormige componenten kan worden gereduceerd door het inblaaspunt van de brandstof zodanig aan te passen dat de, voor een goede uitbrand van de verbrandingsgassen, noodzakelijke verblijftijd ( $\approx 2$  seconden bij 850 °C) wordt gerealiseerd.

De in de huidige situatie geconstateerde afkoeling van de vuurhaard door het inblazen van koellucht door de monden van de gasbranders kan worden voorkomen door deze monden te voorzien van stralingsschermen. Hierdoor wordt tevens de geconstateerde relatief hoge luchtvermaat teruggebracht.

Bij toepassing van brandstof met een qua deeltjesgrootte wisselende samenstelling zal de hoeveelheid lucht die via het transportsysteem van de brandstof de verbrandingsruimte wordt ingeblazen eveneens fluctueren. Dit heeft tot gevolg dat ook de luchtvermaat fluctueert. Een en ander kan worden voorkomen door uit te gaan van een qua deeltjesgrootte homogene brandstof. Indien dit niet tot de mogelijkheden behoort, kan de toepassing van een zogenaamde Awinator (zie hoofdstuk 4.2.1) worden overwogen.

De stofemissie kan worden teruggebracht door de stofcontainer tijdig te legen.

Zoals reeds bij bedrijf A is aangegeven is een kwantitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is vooralsnog voor de gasvormige componenten niet aan te geven. Voor de emissie van stof geldt dat door tijdig legen van de stofcontainer, bij toepassing van de huidige multicycloon, een restconcentratie < 125 mg/m<sup>3</sup> haalbaar lijkt.



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Een kwalitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is weergegeven in tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kwalitatieve inschatting haalbare emissiereductie bij bedrijf B

| Maatregel                                          | Effect op emissie      |      |
|----------------------------------------------------|------------------------|------|
|                                                    | Gasvormige componenten | Stof |
| Aanpassing inblaaspunt brandstof                   | ++                     | 0    |
| Plaatsen stralingsschermen voor monden gasbranders | ++                     | +    |
| Homogene brandstof/Awinator                        | +                      | +    |
| Tijdig legen stofcontainer                         | 0                      | ++   |

<sup>1)</sup> Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

#### 4.2.3 Bedrijf C

De vermoedelijke oorzaken voor de relatief hoge emissie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en stof (respectievelijk tot 6.400, tot 310 en tot 410 mg/m<sup>3</sup>) zijn:

- de toepassing van een aan-/uitregeling bij een te grote capaciteit van de verbrandingsinstallatie ten opzichte van de warmtevraag;
- de relatief hoge luchtvermaat;
- (mogelijk) de slechte brandstof-/luchtmenging.

Een eerste mogelijkheid om zowel de gasvormige emissies als de emissie van stof te verlagen kan afstemming van de warmtevraag op de capaciteit van de verbrandingsinstallatie zijn. Hierdoor wordt het frequent schakelen van de installatie en het stoken op deellast voorkomen. Gedacht kan worden aan verdere toepassing van ruimteverwarming (opslaghal stukhout) en afzet van warmte naar nabij gelegen industrie. Een energetisch onaantrekkelijke oplossing is het toepassen van energievernietiging. In het geval dat een overcapaciteit van de verbrandingsinstallatie blijft bestaan kunnen de gasvormige emissies door toepassing van een modulerende brandstof- en luchtregeling worden gereduceerd. Voorwaarde hierbij is dat de brandstof-/luchtmenging voldoende blijft.

Door de installatie van een omloop bij de rookgasventilator kan fluctuatie van het rookgasdebiet door de cyclonen worden voorkomen, hetgeen het verwijderingsrendement ten goede komt.

De relatief hoge luchtvermaat kan, naast de toepassing van een modulerende brandstof-/luchtregeling, worden verlaagd door een betere instelling van de primaire en secundaire lucht ventilatoren.

De menging van de verbrandingsgassen en de verbrandingslucht wordt voornamelijk bepaald door de constructie van de installatie en door de hoeveelheid en snelheid



van de ingebrachte verbrandingslucht. Mogelijk kan de menging door een betere instelling van de primaire en secundaire lucht ventilatoren worden verbeterd.

In het geval van bedrijf C kan, mede gezien de leeftijd van de installatie, overwogen worden om de installatie te vervangen door een installatie met een op de warmtevraag afgestemde capaciteit.

Ook hier geldt dat een kwantitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie door aanpassingen aan de huidige installatie vooralsnog voor CO en  $C_xH_y$  (en PAK) niet aan te geven is.

Voor de emissie van stof geldt dat door de installatie van een omloop bij de rookgas-ventilator en verlaging van de luchtvermaat, bij toepassing van de huidige cyclonen, een restconcentratie  $< 125 \text{ mg/m}^3$  haalbaar lijkt.

Een kwalitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is weergegeven in tabel 4.4.

Tabel 4.5 Kwalitatieve inschatting haalbare emissiereductie bij bedrijf C

| Maatregel                                        | Effect op emissie      |      |
|--------------------------------------------------|------------------------|------|
|                                                  | Gasvormige componenten | Stof |
| Afstemming warmtevraag op capaciteit installatie | ++                     | ++   |
| Modulerende brandstof- en luchtregeling          | ++                     | ++   |
| Omloop bij rookgasventilator                     | 0                      | +    |
| Betere instelling ventilatoren verbrandingslucht | +                      | +    |
| Vervanging installatie                           | +++                    | ++   |

- <sup>1)</sup> Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

#### 4.2.4 Bedrijf D

De vermoedelijke oorzaken voor de relatief hoge emissie van CO en stof (respectievelijk tot 550 en tot 390  $\text{mg/m}^3$ ) zijn:

- de van het ontwerp van de installatie afwijkende procesvoering;
- het fluctuerende vochtgehalte van de brandstof;
- de relatief hoge luchtvermaat.

Het ontwerp van de installatie is er op gericht om de verbranding in twee van elkaar gescheiden stappen te laten plaatsvinden (twee-trapsverbranding). In de eerste stap wordt de brandstof ontgast onder zuurstof-arme condities. De ontstane gassen worden vervolgens in de tweede stap onder zuurstof-rijke condities verbrand. Bij bedrijf D is de bedrijfsvoering zodanig dat de verbranding reeds in de eerste stap plaatsvindt. Door aanpassing van de instelling van de hoeveelheid primaire en secundaire lucht



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

kan wederom twee-trapsverbranding worden gerealiseerd, hetgeen een verlaging van de gasvormige emissies tot gevolg zal hebben.

Door het mengen van de houtmot afkomstig van vers hout met de houtmot afkomstig van gedroogd hout, kan een brandstof van homogene samenstelling worden verkregen. Het verstoken van een homogene brandstof heeft een constant verbrandingsproces tot gevolg waardoor de emissies over het algemeen beperkt kunnen blijven.

De relatief hoge luchtvermaat wordt bij de installatie van bedrijf D veroorzaakt door luchtinlek. Door reparatie van onder andere de vuurvaste bekleding kan luchtinlek worden voorkomen.

Uit ervaringen bij soortgelijke installaties kan worden geconcludeerd dat bij een goed functionerende installatie de CO-emissie beperkt kan blijven tot circa 250 mg/m<sup>3</sup>. Voor de emissie van stof geldt dat door verlaging van de luchtvermaat, bij toepassing van de huidige cycloon, een restconcentratie < 125 mg/m<sup>3</sup> haalbaar lijkt.

Een kwalitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is weergegeven in tabel 4.4.

Tabel 4.6 Kwalitatieve inschatting haalbare emissiereductie bij bedrijf D

| Maatregel                               | Effect op emissie      |      |
|-----------------------------------------|------------------------|------|
|                                         | Gasvormige componenten | Stof |
| Aanpassing instelling luchthoeveelheden | ++                     | +    |
| Mengen brandstof                        | +                      | 0    |
| Voorkomen luchtinlek                    | +                      | +    |

<sup>1)</sup> Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

#### 4.2.5 Bedrijf E

De vermoedelijke oorzaken voor de relatief hoge emissie van CO en stof (respectievelijk tot 4.500 en tot 140 mg/m<sup>3</sup>) zijn:

- de relatief hoge luchtvermaat;
- een slechte brandstof-/luchtmenging;
- niet-optimale instelling brandstoftoevoer.

De hoge luchtvermaat kan worden teruggebracht door de instelling van de luchtklep/ventilatoren te verbeteren en inlek (voornamelijk na de verbrandingsinstallatie) te voorkomen. Mogelijk kan door verbeterde instelling van de luchttoevoer ook de brandstof-/luchtmenging worden verbeterd.



De brandstoftoevoer vindt bij de installatie van bedrijf E discontinu plaats. In de perioden dat geen brandstoftoevoer plaatsvindt, vindt ook geen toevoer van secundaire verbrandingslucht plaats. Een dergelijke bedrijfsvoering komt globaal overeen met de bij bedrijf A geschetste situatie van een aan-/uitregeling bij een verbrandingsinstallatie met een, ten opzichte van de warmtevraag, te grote capaciteit. Door het zodanig aanpassen van de brandstoftoevoer dat een continu proces wordt verkregen kan de emissie van gasvormige componenten worden gereduceerd.

Een kwalitatieve inschatting van de te realiseren emissiereductie is weergegeven in tabel 4.4.

Tabel 4.7 Kwalitatieve inschatting haalbare emissiereductie bij bedrijf E

| Maatregel                                 | Effect op emissie      |      |
|-------------------------------------------|------------------------|------|
|                                           | Gasvormige componenten | Stof |
| Aanpassing instelling luchttoevoerkleppen | +                      | 0    |
| Aanpassing instelling brandstoftoevoer    | ++                     | 0    |
| Voorkomen luchtinlek                      | 0                      | +    |

- <sup>1)</sup> Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

### 4.3 Evaluatie

Een overzicht van de verschillende mogelijkheden om de emissies te verlagen en een kwalitatieve inschatting van het effect van deze maatregelen op de emissies is weergegeven in tabel 4.8.

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 4.8 Overzicht van mogelijkheden om emissies te reduceren

| Bedrijf | Mogelijkheid emissie te verlagen                            | Effect op emissie                |      |
|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|------|
|         |                                                             | CO/C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | Stof |
| A       | 1. Afstemming warmtevraag op capaciteit installatie         | ++                               | 0    |
|         | 2. Modulerende brandstof-/luchtregeling                     | ++                               | +    |
|         | 3. Verlagen luchtvermaat<br>(Awinator/instelbare luchtklep) | +                                | +    |
| B       | 1. Aanpassing inblaaspunt brandstof                         | ++                               | 0    |
|         | 2. Plaatsen stralingsschermen voor monden gasbranders       | ++                               | +    |
|         | 3. Homogene brandstof/andere brandstofdosering              | +                                | +    |
|         | 4. Tijdig leden van de stofcontainer                        | 0                                | ++   |
| C       | 1. Afstemming warmtevraag op capaciteit installatie         | ++                               | ++   |
|         | 2. Modulerende brandstof-/luchtregeling                     | ++                               | ++   |
|         | 3. Omloop bij rookgasventilator                             | 0                                | +    |
|         | 4. Betere instelling ventilatoren verbrandingslucht         | +                                | +    |
|         | 5. Vervanging installatie                                   | +++                              | ++   |
| D       | 1. Aanpassing instelling luchthoeveelheden                  | ++                               | +    |
|         | 2. Mengen brandstof                                         | +                                | 0    |
|         | 3. Voorkomen luchtinlek                                     | +                                | +    |
| E       | 1. Aanpassing instelling luchttoevoerkleppen                | +                                | 0    |
|         | 2. Aanpassing instelling brandstoftoevoer                   | ++                               | 0    |
|         | 3. Voorkomen luchtinlek                                     | 0                                | +    |

1) Toegepaste beoordelingsschaal:  
 +++ zeer groot effect (technisch haalbaar);  
 0 geen effect.

Uit deze tabel blijkt dat de benodigde aanpassingen veelal procesgeïntegreerde maatregelen betreffen.

Een kwantitatieve schatting van de haalbare emissiereductie is voor de gasvormige componenten vooralsnog niet aan te geven. Wel kan worden gesteld dat emissiereductie tot het in tabel 3.19 genoemde technisch haalbare emissieniveau, bij de in dit onderzoek betrokken installaties niet haalbaar is.

Voor de emissie van stof geldt dat bij toepassing van de huidige (multi)cyclonen een restconcentratie < 125 mg/nm<sup>3</sup> (bij 11% O<sub>2</sub>) haalbaar lijkt. Hiertoe dient voornamelijk de luchtvermaat teruggebracht te worden.

Emissieverlaging kan worden bevorderd door het bedienend personeel meer inzicht te verschaffen in het effect van de verbrandingsomstandigheden op de emissies. Hierbij is de toepassing van eenvoudige rookgasanalyse-apparatuur gewenst. Structurele voorlichting op dit gebied wordt van belang geacht.





## 5 Conclusies

- De leeftijd van de in het onderzoek betrokken installaties varieert van 5 tot 25 jaar. De installaties zijn allen uitgerust met een eenvoudige aan-/uitregeling. Bij één installatie wordt tevens de hoeveelheid primaire lucht geregeld. Het brandstofpakket van de installaties bestaat uit wit-, rood- of uit een combinatie van wit- en roodhout. Op één installatie na, wordt bij alle installaties een (multi)cycloon toegepast. Energiebenutting vindt over het algemeen plaats door het toepassen van ruimteverwarming van gebouwen en (eventueel) droogkamers. De geproduceerde warmte wordt ook afgezet naar het proces, extern en/of naar een energievernietiger.
- De onderhoudssituatie varieert van incidenteel tot het maandelijks schoonmaken van de installatie. Uit de bedrijfsbezoeken en ervaringen opgedaan tijdens de uitvoering van de metingen is geconcludeerd dat het inzicht in de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies slechts in beperkte mate aanwezig is. Apparatuur voor de controle van het verbrandingsproces (bijvoorbeeld CO-analyser) is in geen van de gevallen aangetroffen.
- Er blijken bij de onderzochte installaties relatief grote onderlinge verschillen te bestaan tussen de resultaten van de concentratiemetingen.
- In het kader van dit onderzoek gemeten concentraties van CO en stof zijn in sommige gevallen hoog ten opzichte van de in een eerder stadium in Nederland vastgestelde concentraties. Wanneer deze waarden worden vergeleken met de in het buitenland vastgestelde concentraties moet worden opgemerkt dat deze, met uitzondering van de concentratie van stof, overeenkomen.
- De emissieconcentratie van PAK bedraagt voor de geïnventariseerde installaties 400 - 1.700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit komt globaal overeen met de in het buitenland bij conventionele houtverbrandingsinstallaties vastgestelde concentraties.
- Bij een vergelijking met wat tegenwoordig als technisch haalbaar wordt geacht, vormt globaal genomen de emissie van  $\text{NO}_x$  geen probleem. Bij verlaging van de emissie van CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  bestaat echter de mogelijkheid dat de  $\text{NO}_x$ -emissie toeneemt door het uitblijven van NO-reducerende reacties met CO en/of  $\text{C}_x\text{H}_y$ . De emissies van stof (incidenteel laag), CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  liggen veel hoger dan wat momenteel als technisch haalbaar wordt beschouwd.
- Naast een aantal specifieke oorzaken kan een aantal algemene oorzaken worden aangegeven voor de relatief hoge emissies van CO (en derhalve ook van  $\text{C}_x\text{H}_y$ ):
  - een ten opzichte van de warmtevraag te grote verbrandingsinstallatie in combinatie met een aan-/uitregeling, en/of
  - te hoge luchtvermaat door:
    - niet-optimaal instellen van de luchttoevoerkleppen;
    - lekkage;
  - (mogelijk) slechte brandstof-/luchtmenging.



Per installatie kan een pakket van verbeteringen aangegeven worden. Belangrijke aspecten hierbij zijn:

- afstemming van de warmtevraag op de capaciteit van de installatie;
- toepassen van modulerende brandstof-/luchtregeling;
- verlagen van de luchtvermaat.

De benodigde aanpassingen betreffen veelal procesgeïntegreerde maatregelen.

- Een kwantitatieve schatting van de haalbare emissiereductie is voor de gasvormige componenten vooralsnog niet aan te geven. Wel kan worden gesteld dat emissiereductie tot het bij nieuwe installaties technisch haalbare emissieniveau, bij de in dit onderzoek betrokken installaties zonder toepassing van vergaande rookgasreiniging niet haalbaar is.
- Voor de emissie van stof geldt dat bij toepassing van de huidige (multi)cyclonen een restconcentratie  $< 125 \text{ mg/nm}^3$  (bij 11%  $\text{O}_2$ ) haalbaar lijkt. Hiertoe dient voornamelijk de luchtvermaat te worden verminderd. Voor verdergaande ontstopping dienen andere, duurdere, filtersystemen toegepast te worden.
- Emissieverlaging kan worden bevorderd door het bedienend personeel meer inzicht te verschaffen in het effect van de verbrandingsomstandigheden op de emissies. Toepassing van eenvoudige rookgasanalyse-apparatuur is hierbij gewenst. Structurele voorlichting op dit gebied wordt van belang geacht.

## 6 Aanbevelingen

Omdat nauwelijks ervaring bestaat op het gebied van emissiereductie bij bestaande houtverbrandingsinstallaties, kan geen kwantitatieve schatting worden gegeven van de haalbare emissiereductie.

**Aanbevolen wordt derhalve om de effecten van de aangegeven maatregelen ter verlaging van emissies in de praktijk vast te stellen.** Resultaat van dergelijk onderzoek dient te zijn:

- inzicht in haalbare minimale emissies bij bestaande houtverbrandingsinstallaties in relatie tot (verwachte) emissie-eisen;
- een pakket van maatregelen waarmee deze emissies kunnen worden gehaald;
- inzicht in de kosteneffectiviteit van dit pakket van maatregelen.

De bestaande installaties zijn in het algemeen uitgerust met een eenvoudige aan-/uit-regeling. Het uitvoeren van een studie naar de toepassing van regelsystemen bij houtverbrandingsinstallaties regelsystemen is derhalve wenselijk. **Naast een inventarisatie van beschikbare systemen wordt aanbevolen het effect van het regelsysteem op de emissies van houtverbranding in de praktijk vast te stellen.**

**De ontwikkelingen naar goedkopere systemen op het gebied van stoffiltratie (metaalgaasfolie- en elektrofilters) dient nauwgezet te worden gevolgd. De geschiktheid voor houtverbrandingsinstallaties dient te worden gedemonstreerd.**

Kennis van de relatie tussen verbrandingsomstandigheden en emissies is bij het bedienend personeel over het algemeen in beperkte mate aanwezig. **Aanbevolen wordt:**

- in samenwerking met fabrikanten **een gebruiksvriendelijke methode te ontwikkelen om het verbrandingsproces te kunnen volgen;**
- **mogelijkheden te scheppen om tot gestructureerde voorlichting op het gebied van houtverbranding te komen.**

Een aantal installaties heeft een te grote capaciteit ten opzichte van de warmtevraag. Voor die installaties wordt aanbevolen de mogelijkheden van warmte-afzet binnen en buiten de bedrijfsgrenzen te onderzoeken. Ook **de mogelijkheid om in een samenwerkingsverband te komen tot een centrale WKK-installatie dient te worden onderzocht.**





## 7 Referenties

- [1] Sulilatu, W.F.;  
Kleinschalige verbranding van schoon afvalhout in Nederland;  
IMET-TNO, ref. nr. 92-278;  
november 1992.
- [2] Atkins, R.;  
Wood products in the waste stream; characterisation and combustion  
emissions;  
Environmental Risk Limited;  
November 1992.
- [3] Karlsson, M.L.;  
Emissioner fran biobransleldade anlaggninbar mellen 0.5 och 10 MW;  
Swedish National Testing and Research Institute;  
1992.
- [4] Brem, G.;  
Onderzoek naar N<sub>2</sub>O emissies door verbranding; fase 1;  
IMET-TNO, ref. nr. 90-411;  
november 1990.
- [5] EPA norm 45; Analysis of Nitrous-oxide from Combustion sources;  
EPA-600/8-90-053;  
June 1990.
- [6] Von Obering, Walter Wagner;  
Berechnung von Holzfeurungen für Wärmeträgeranlagen;  
Wärme Band '85.
- [7] Dipl.Ing.Dr.Techn. Wilhelm Glaser;  
Verleihung des österreichsen Staatspries für Energieforschung, März 1993.
- [8] Mondelinge informatie Yokogawa Nederland.
- [9] Informatie betreffende KNA-filter;  
Naaykens Luchttechnische Apparatenbouw B.V.
- [10] Mondelinge informatie Fa. Vyncke, België.





## 8 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem b.v.

Drs. G.J.J. Smakman

Postbus 8242

3503 RE Utrecht

Ministerie van VROM

DGM/LE, code 640

Ing. H. Holtring

Postbus 30945

2500 GX Den Haag

Namen en functies van de medewerkers

Ing. S. van Loo, wetenschappelijk medewerker

W.F. Sulilatu, research medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

april - september 1993

Ondertekening

Ing. S. van Loo  
onderzoekleider

Goedgekeurd door

Ir. J. de Koning  
werkgroep leider



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

## **Inhoudsopgave bijlagen**

### **Bijlage 1    Informatieformulier**

### **Bijlage 2    Meetmethoden**

- 2.1    O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, temperatuur
- 2.2    Stofgehalte en rookgasdebiet
- 2.3    PAK
  - 2.3.1    Monstername
  - 2.3.2    Analyse
- 2.4    CH<sub>4</sub>
- 2.5    N<sub>2</sub>O

### **Bijlage 3    Informatieformulieren**

- 3.1    Informatieformulier bedrijf A
- 3.2    Informatieformulier bedrijf B
- 3.3    Informatieformulier bedrijf C
- 3.4    Informatieformulier bedrijf D
- 3.5    Informatieformulier bedrijf E

### **Bijlage 4    Resultaten concentratiemetingen**

- 4.1    Resultaten metingen bedrijf A
- 4.2    Resultaten metingen bedrijf B
- 4.3    Resultaten metingen bedrijf C
- 4.4    Resultaten metingen bedrijf D
- 4.5    Resultaten metingen bedrijf E

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

## Bijlage 1 Informatieformulier

### Bedrijfsgegevens

Naam :  
 Adres :  
 Postcode :  
 Tel. nr. :  
 Contactpersoon :  
 Omschrijving :

### Gegevens verbrandingsinstallatie

Merk :  
 Type :  
 Systeem<sup>1)</sup> : inblaas  
 onderschroef  
 doorschroef  
 gecombineerd rooster  
 ander, nml.  
 Bouwjaar :  
 Capaciteit : kW  
 Ondersteuningsbranders : ja  
 nee  
 Regeling<sup>1)</sup> : T-regeling  
 Vermogensregeling  
 Procesregeling  
 Rookgasreiniging :  
 Bedrijfsvoering<sup>1)</sup> : continu  
 semi-continu  
 Bedrijfsuren : hr/jr  
 Onderhoudsfrequentie :

### Gegevens brandstof

Houtverbruik : kg/h  
 Houtsoort<sup>1)</sup> : wit  
 rood  
 Verontreiniging<sup>1)</sup> : schoon  
 verontreinigd  
 Afmetingen<sup>1)</sup> : houtmot  
 chips (l \* b \* d) : mm  
 spaanders  
 stukhout (l \* b \* d) : mm  
 Vochtigheid : %  
 Herkomst<sup>1)</sup> : eigen voorraad  
 aangekocht  
 Opslag : m<sup>3</sup>  
 Andere energiebronnen :



---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

**Energiebenutting**

|                     |   |                                                                                                 |
|---------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ketel <sup>1)</sup> | : | geïntegreerd<br>in serie<br>afzonderlijk                                                        |
| Energiebenutting    | : | warm water<br>ruimteverwarming<br>proceswarmte, nml. :<br>energievernietiging<br>anders, nml. : |

**Bedrijfservaringen**

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Emissiegegevens               | : |
| Bedrijfservaringen            | : |
| Mogelijkheden ter verbetering | : |

**Overige opmerkingen**

---

<sup>1)</sup> = doorhalen wat niet van toepassing is.

## **Bijlage 2    Meetmethoden**

### **2.1    O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, temperatuur**

### **2.2    Stofgehalte en rookgasdebiet**

### **2.3    PAK**

#### **2.3.1    Monstername**

#### **2.3.2    Analyse**

### **2.4    CH<sub>4</sub>**

### **2.5    N<sub>2</sub>O**



## 2.1 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, temperatuur

De bemonsterde rookgassen worden door een temperatuurgeregelde teflonleiding (> 120 °C) naar de gasanalyse ruimte gevoerd.

In deze ruimte wordt de monsterstroom in twee deelstromen verdeeld.

Een deelstroom wordt gekoeld waarbij de waterdamp condenseert. Het droge rookgas wordt vervolgens naar de diverse analysers geleid.

Het niet gekoelde deel wordt aan een verwarmde koolwaterstof (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) analyser aangeboden. Hiermee wordt voorkomen dat vroegtijdig koolwaterstoffen condenseren en daardoor niet gedetecteerd worden.

De volgende continu registrerende meetapparatuur is tijdens de experimenten gebruikt:

|                  |                               |                                                                                          |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| zuurstof         | O <sub>2</sub>                | Taylor Servomex, paramagnetisch;                                                         |
| kooldioxide      | CO <sub>2</sub>               | Beckman model 864, infrarood, 0 - 20%;                                                   |
| koolmonoxide     | CO                            | Beckman model 8640, infrarood, 0 - 2500/3000/5000 ppm;                                   |
| koolwaterstoffen | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | Ratfisch model RS55, vlamionisatie, brandstof H <sub>2</sub> /He mengsel, 0 - 10000 ppm; |
| stikstofoxiden   | NO <sub>x</sub>               | Beckman model 951, chemiluminescent, 0 - 2500 ppm;                                       |
| zwaveldioxide    | SO <sub>2</sub>               | Rosemount Binos type 1004, UV-absorptie, 0 - 1000 ppm;                                   |
| temperatuur      | °C                            | Chromel Alumel Thermokoppel, type K, 0 - 1200 °C.                                        |

De rookgasanalyse-apparatuur wordt dagelijks met behulp van ijkgasen geverifieerd en zonodig afgesteld.

## 2.2 Stofgehalte en rookgasdebiet

Gebruikte meetapparatuur:

- Een 'Goldschmidt'-filterhouder (voorzien van kwartswoldieptefilter en/of micro-kwartsvlakfilter) of een Sartorius-filterhouder (voorzien van een micro-kwartsvlakfilter);
- Micromanometer, fabrikaat Airflow Developments Ltd.;
- Pitotbuis volgens Prandtl;
- Cr/Al-thermokoppel;
- Afzuig-unit bestaande uit condenstrap, rookgaspomp, flowregelaars, flowmeter en droge gasmeter.

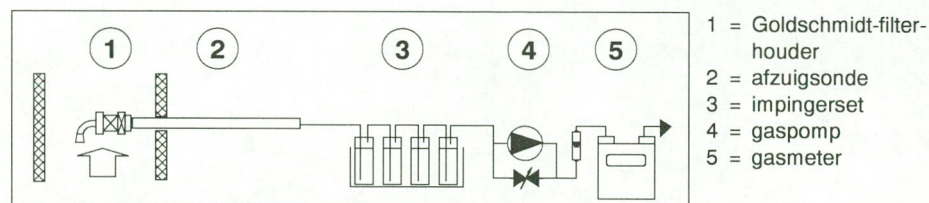
Met de Goldschmidt/Sartorius stofmeetset werd over twee meetassen in het rookgas kanaal een aantal stofmonsters verzameld overeenkomstig NPR 2788. De meetpunten bevinden zich zoveel mogelijk op de zwaartepunten van een aantal deelvlakken gelijkvormig aan het totale meetvlak. Figuur 2.1 is een schets van de toegepaste apparatuur.

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

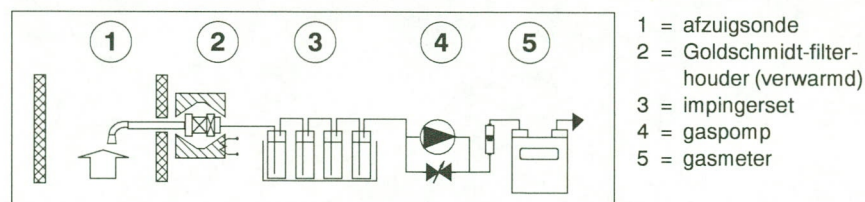
Voordat tot bemonstering van de rookgassen wordt overgegaan, wordt de snelheidsverdeling in het rookgaskanaal en het vochtgehalte van de rookgassen bepaald. Het meten van de snelheid (zie NPR 2788) geschiedt met een pitotbuis, een micromanometer en een thermokoppel. Aan de hand van deze gegevens kan de isokinetische afzuigsnelheid van de stofmeetset worden ingesteld.

Bij het uitvoeren van de stofmetingen bevinden zich de filterhouder in het rookgaskanaal ('in stack') of daarbuiten ('out stack') en in dat geval elektrisch verwarmd. Bij het afzuigen van de rookgassen worden achtereenvolgens het grove stof in het dieptefilter en het zeer fijne stof op het vlakfilter afgescheiden. Bij gebruik van enkel een vlakfilter wordt alle stof daarop afgescheiden. De rookgassen worden vervolgens door een aantal in smeltend ijs geplaatste Greenburg-Smith impingers ontvochtigd.

Het afgezogen rookgasvolume wordt met een droge gasmeter bepaald. Door weging van de filters voor en na de meting kan de hoeveelheid afgescheiden stof worden bepaald. Uit het quotiënt van de stofhoeveelheden en de afgezogen hoeveelheid droge rookgassen wordt het stofgehalte berekend. Uit het quotiënt van de gewichtshoeveelheid afgevangen water en de afgezogen hoeveelheid rookgassen wordt het waterdampgehalte berekend.



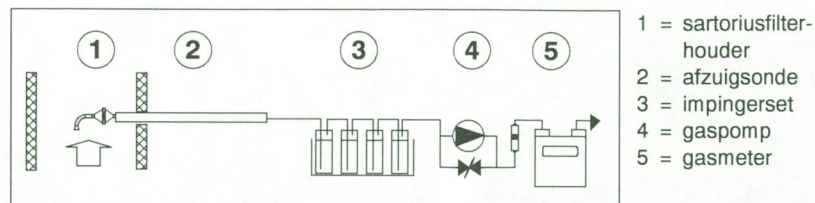
*Figuur 2.1.a Schema monsternameset voor de bepaling van het gehalte aan stof en/of zware metalen (Goldschmidt 'in stack')*



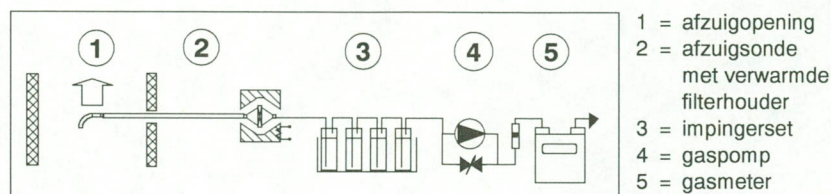
*Figuur 2.1.b Schema monsternameset voor de bepaling van het gehalte aan stof en/of zware metalen (Goldschmidt 'out stack')*



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*



Figuur 2.1.c Schema monsternameset voor de bepaling van het gehalte aan stof en/of zware metalen (Sartorius 'in stack')

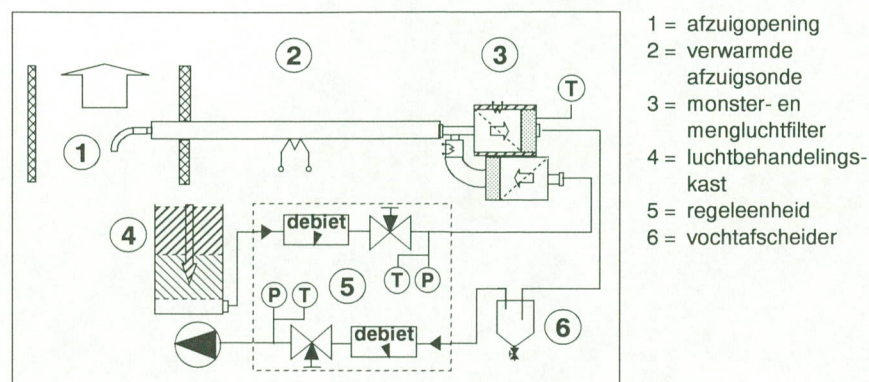


Figuur 2.1.d Schema monsternameset voor de bepaling van het gehalte aan stof en/of zware metalen (Sartorius 'out stack')

## 2.3 PAK

### 2.3.1 Monstername

De monstername vindt plaats met behulp van het Ströhlein verdunningsapparaat, dat schematisch is weergegeven in figuur 2.2. Het principe berust op het afkoelen van een deelstroom rookgassen door verdunning met gedroogde en gefilterde lucht. Hierbij condenseert een gedeelte van de PAK en wordt vervolgens met het stof afgevangen op een absoluut filter. Voor vluchtiger componenten is een vast adsorptiemedium achtergeschakeld. De op het filter en adsorbens aanwezige PAK wordt vervolgens geanalyseerd.



Figuur 2.2 Schema Ströhlein verdunningsapparaat

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

De rookgassen worden met een elektrisch verwarmde monsternamaleiding van titaan, zoveel mogelijk isokinetisch volgens NPR 2788, uit het rookgaskanaal aangezogen. De verdunningslucht wordt aangezogen via een luchtbehandelingskast waarin zich een laag silicagel bevindt. De hoeveelheid verdunningslucht wordt gemeten met een volumestroommeter en kan met een regelklep worden ingesteld.

In een speciaal menggedeelte wordt de verdunningslucht, nadat dit door een hoedfilter is geleid, met de afgezogen rookgassen turbulent gemengd. De menging vindt zodanig plaats, dat de temperatuur van het mengsel tijdens de monsternamaleiding onder de 40 °C blijft. Bij deze temperatuur is het grootste gedeelte van de PAK aan de stofdeeltjes geadsorbeerd. Door deze wijze van afkoelen kan worden voorkomen dat het dauwpunt van de rookgassen wordt overschreden.

Het mengsel passeert daarna een zelfde hoedfilter als wordt toegepast voor reiniging van de verdunningslucht en vervolgens het vaste adsorptiemedium. Tenslotte passeert het mengsel de afzuigventilator.

### **2.3.2 Analyse**

De bemonsterde filters worden als volgt opgewerkt:

- extractie door middel van een sohlet-extractie met tolueen
- indampen van het extract met behulp van een roteerverdamper en tot net niet droogblazen met stikstof;
- opnemen in een hoeveelheid aceton/methanol (1:1).

De opgewerkte extracten worden geanalyseerd op de PAK's van de EPA-lijst (zie tabel 2.1).

Analyse vindt plaats met behulp van Reversed Phase HPLC met fluorescentiedetectie. Concentraties worden bepaald aan de hand van een externe standaardmix. Met deze methode worden de componenten vanaf fenantreen bepaald. De vier componenten naftaleen tot en met fluoreen worden in hetzelfde extract met behulp van gaschromatografie bepaald.



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 2.1 EPA-lijst

| Component            |
|----------------------|
| Naftaleen            |
| Acenaftaleen         |
| Acenafteen           |
| Fluoreen             |
| Fenantreen           |
| Antraceen            |
| Fluoranteen          |
| Pyreen               |
| Benzo(a)antraceen    |
| Chryseen             |
| Benzo(b)fluoranteen  |
| Benzo(k)fluoranteen  |
| Benzo(a)pyreen       |
| Benzo(ghi)peryleen   |
| Dibenzo(ah)antraceen |
| Indeno(123-cd)pyreen |

## 2.4 CH<sub>4</sub>

De monsternamen van CH<sub>4</sub> wordt uitgevoerd met een gasbom van RVS. De gasbom wordt gevuld met een rookgasmonster, dat tijdens deze monsternamen zodanig geconditioneerd wordt, dat waterdamp en SO<sub>2</sub> worden verwijderd. De gasbom heeft een volume van 0.5 liter.

De analyse van CH<sub>4</sub> wordt uitgevoerd met een gaschromatograaf (Hewlett Packard 5890) voorzien van een Thermal Conductivity Detector (TCD). De TCD is geschikt voor gasmoleculen, die normaal in lucht voorkomen (zogenaamde vaste gassen) en eenvoudige alkanen zoals methaan (CH<sub>4</sub>) en wordt gekalibreerd met aardgas (81.3 vol% CH<sub>4</sub>).

De gaschromatograaf is voorzien van een monsternamenklep, die een gasmonster met een volume van 0.25 cm<sup>3</sup> uit een gasbom neemt. Het gasmonster wordt gescheiden op de kolom en de detector registreert de afzonderlijke componenten. De ondergrens van deze analysemethode is 0.1 vol% CH<sub>4</sub>.

De monsternamen en analysecyclus worden geheel gestuurd door een microprocessor (HP 3396A). De meetwaarden worden via een verbinding met het data-acquisitie systeem (HP 3852A) opgeslagen en verwerkt.

## 2.5 N<sub>2</sub>O

De monsternamen van N<sub>2</sub>O wordt uitgevoerd met een gasbom van RVS. De gasbom wordt gevuld met een rookgasmonster, dat tijdens deze monsternamen zodanig geconditioneerd wordt dat waterdamp en SO<sub>2</sub> worden verwijderd. De gasbom heeft een volume van 0.5 liter.

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

De  $\text{N}_2\text{O}$  analyse wordt uitgevoerd met een gaschromatograaf (Hewlett Packard 5890) voorzien van een electron capture detector (ECD). De ECD is specifiek voor gasmoleculen, die de eigenschap van electronenvangst (electron capture) bezitten.  $\text{N}_2\text{O}$  is een van deze gassen. De ECD wordt gekalibreerd met een gasmengsel met bekende  $\text{N}_2\text{O}$  concentratie.

De gaschromatograaf is voorzien van een monsternameteklep, die een gasmonster met een volume van  $1.0 \text{ cm}^3$  uit een gasbom neemt. Het gasmonster wordt gescheiden op de kolom en de detector registreert de afzonderlijke componenten.

Er is gekozen voor toepassing van een gasschromatograaf vanwege de lage detectiegrens ( $0.1 \text{ vppm}$ ) en omdat de methode internationaal aanvaard is als norm [5].

De monsternameteklep en analysecyclus worden geheel gestuurd door een microprocessor (HP 3396A). De meetwaarden worden via een verbinding met het data-acquisitie systeem (HP 3852A) opgeslagen en verwerkt.



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

## **Bijlage 3    Informatieformulieren**

**3.1    Informatieformulier bedrijf A**

**3.2    Informatieformulier bedrijf B**

**3.3    Informatieformulier bedrijf C**

**3.4    Informatieformulier bedrijf D**

**3.5    Informatieformulier bedrijf E**

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### 3.1 Informatieformulier bedrijf A

#### Bedrijfsgegevens

|                |   |                 |
|----------------|---|-----------------|
| Naam           | : | A               |
| Adres          | : |                 |
| Postcode       | : |                 |
| Tel. nr.       | : |                 |
| Contactpersoon | : |                 |
| Omschrijving   | : | Meubelindustrie |

#### Gegevens verbrandingsinstallatie

|                        |   |                       |
|------------------------|---|-----------------------|
| Merk                   | : | Vyncke                |
| Type                   | : |                       |
| Systeem                | : | inblaas               |
| Bouwjaar               | : | 1982                  |
| Capaciteit             | : | 850 kW                |
| Ondersteuningsbranders | : | nee                   |
| Regeling               | : | T-regeling            |
| Rookgasreiniging       | : | cycloon               |
| Bedrijfsvoering        | : | continu               |
| Bedrijfsuren           | : | 8000 hr/jr (deellast) |
| Onderhoudsfrequentie   | : | 1 maal/jr             |

#### Gegevens brandstof

|                       |   |                                                        |
|-----------------------|---|--------------------------------------------------------|
| Houtverbruik          | : | onbekend                                               |
| Houtsoort             | : | rood                                                   |
| Verontreiniging       | : | schoon                                                 |
| Afmetingen            | : | houtmot: 30 * 5 * 5 mm<br>stukhout: 100 * 100 * 200 mm |
| Vochtigheid           | : | ≈ 10%                                                  |
| Herkomst              | : | eigen voorraad                                         |
| Opslag                | : | 200 m <sup>3</sup>                                     |
| Andere energiebronnen | : | geen                                                   |

#### Energiebenutting

|                  |   |                                                                         |
|------------------|---|-------------------------------------------------------------------------|
| Ketel            | : | geïntegreerd                                                            |
| Energiebenutting | : | warm water<br>proceswarmte, nml. : 3 droogkamers<br>energievernietiging |

#### Bedrijfservaringen

|                               |   |                           |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| Emissiegegevens               | : | 13 * 10 <sup>6</sup> ge/h |
| Bedrijfservaringen            | : |                           |
| Mogelijkheden ter verbetering | : |                           |

#### Overige opmerkingen



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### 3.2 Informatieformulier bedrijf B

#### Bedrijfsgegevens

|                |   |             |
|----------------|---|-------------|
| Naam           | : | B           |
| Adres          | : |             |
| Postcode       | : |             |
| Tel. nr.       | : |             |
| Contactpersoon | : |             |
| Omschrijving   | : | Bouwbedrijf |

#### Gegevens verbrandingsinstallatie

|                        |   |                                                  |
|------------------------|---|--------------------------------------------------|
| Merk                   | : | Weiss                                            |
| Type                   | : | drietreksketel DZ-70-USD                         |
| Systeem                | : | inblaas                                          |
| Bouwjaar               | : | 1979                                             |
| Capaciteit             | : | 1.740 kW                                         |
| Ondersteuningsbranders | : | ja                                               |
| Regeling               | : | T-regeling                                       |
| Rookgasreiniging       | : | multi-cycloon;<br>Cornell Schmidt RK 36          |
| Bedrijfsvoering        | : | semi-continu                                     |
| Bedrijfsuren           | : | 7600 hr/jr (deellast)                            |
| Onderhoudsfrequentie   | : | 1 maal/jr schoon maken<br>0,5 maal/jr Stoomwezen |

#### Gegevens brandstof

|                       |   |                                             |
|-----------------------|---|---------------------------------------------|
| Houtverbruik          | : | 240 m <sup>3</sup> /jr, 3 m <sup>3</sup> /h |
| Houtsoort             | : | rood                                        |
| Verontreiniging       | : | schoon<br>verontreinigd                     |
| Afmetingen            | : | houtmot: 50 * 10 * 5 mm<br>spaanders        |
| Vochtigheid           | : | tot max. 20%                                |
| Herkomst              | : | eigen voorraad                              |
| Opslag                | : | 240 m <sup>3</sup>                          |
| Andere energiebronnen | : | gas                                         |

#### Energiebenutting

|                  |   |                                                                   |
|------------------|---|-------------------------------------------------------------------|
| Ketel            | : | in serie                                                          |
| Energiebenutting | : | warm water<br>ruimteverwarming<br>proceswarmte, nml. : betontafel |

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

**Bedrijfservaringen**

Emissiegegevens :

Bedrijfservaringen :

- veel tijd aan onderhoud
- laag rendement ten opzichte van gas
- niet rendabel als houtmot gekocht moet worden
- houtverbranding altijd vollast

Mogelijkheden ter verbetering :

**Overige opmerkingen**



---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### 3.3 Informatieformulier bedrijf C

#### Bedrijfsgegevens

|                |   |               |
|----------------|---|---------------|
| Naam           | : | C             |
| Adres          | : |               |
| Postcode       | : |               |
| Tel. nr.       | : |               |
| Contactpersoon | : |               |
| Omschrijving   | : | Meubelfabriek |

#### Gegevens verbrandingsinstallatie

|                        |   |              |
|------------------------|---|--------------|
| Merk                   | : | Danstoker    |
| Type                   | : | VH           |
| Systeem                | : | onderschroef |
| Bouwjaar               | : | 1968         |
| Capaciteit             | : | 1.400 kW     |
| Ondersteuningsbranders | : | ja           |
| Regeling               | : | T-regeling   |
| Rookgasreiniging       | : | multicycloon |
| Bedrijfsvoering        | : | continu      |
| Bedrijfsuren           | : | 8000 hr/jr   |
| Onderhoudsfrequentie   | : | 1 maal/jr    |

#### Gegevens brandstof

|                       |   |                                      |
|-----------------------|---|--------------------------------------|
| Houtverbruik          | : | $\approx 20 \text{ m}^3/\text{week}$ |
| Houtsoort             | : | rood                                 |
| Verontreiniging       | : | schoon                               |
| Afmetingen            | : | houtmot: $50 * 10 * 10 \text{ mm}$   |
| Vochtigheid           | : | 10 - 12%                             |
| Herkomst              | : | eigen voorraad                       |
| Opslag                | : | $1.600 \text{ m}^3$                  |
| Andere energiebronnen | : | olie                                 |

#### Energiebenutting

|                  |   |                                                                    |
|------------------|---|--------------------------------------------------------------------|
| Ketel            | : | geïntegreerd                                                       |
| Energiebenutting | : | warm water<br>ruimteverwarming<br>proceswarmte, nml. : droogkamers |

#### Bedrijfservaringen

|                               |   |                                                  |
|-------------------------------|---|--------------------------------------------------|
| Emissiegegevens               | : |                                                  |
| Bedrijfservaringen            | : | aanloopproblemen in verband met slecht onderhoud |
| Mogelijkheden ter verbetering | : | onderhoudscontract                               |

#### Overige opmerkingen

---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### 3.4 Informatieformulier bedrijf D

#### Bedrijfsgegevens

|                |   |                 |
|----------------|---|-----------------|
| Naam           | : | D               |
| Adres          | : |                 |
| Postcode       | : |                 |
| Tel. nr.       | : |                 |
| Contactpersoon | : |                 |
| Omschrijving   | : | Sandalenfabriek |

#### Gegevens verbrandingsinstallatie

|                        |   |                                                   |
|------------------------|---|---------------------------------------------------|
| Merk                   | : | WVT                                               |
| Type                   | : | Bioflamm, type B SS                               |
| Systeem                | : | doorschroef<br>rooster                            |
| Bouwjaar               | : | ≈ 1984                                            |
| Capaciteit             | : | 420 kW                                            |
| Ondersteuningsbranders | : | nee                                               |
| Regeling               | : | T-regeling                                        |
| Rookgasreiniging       | : | cycloon                                           |
| Bedrijfsvoering        | : | continu                                           |
| Bedrijfsuren           | : | ≈ 6700 hr/jr                                      |
| Onderhoudsfrequentie   | : | stof wordt verwijderd,<br>geen onderhoudscontract |

#### Gegevens brandstof

|                       |   |                       |
|-----------------------|---|-----------------------|
| Houtverbruik          | : | 0,1 m <sup>3</sup> /h |
| Houtsoort             | : | wit                   |
| Verontreiniging       | : | schoon                |
| Afmetingen            | : | houtmot               |
| Vochtigheid           | : | ≈ 11% en 40 - 50%     |
| Herkomst              | : | eigen voorraad        |
| Opslag                | : | 25 m <sup>3</sup>     |
| Andere energiebronnen | : | gas                   |

#### Energiebenutting

|                  |   |                                                                    |
|------------------|---|--------------------------------------------------------------------|
| Ketel            | : | afzonderlijk                                                       |
| Energiebenutting | : | warm water<br>ruimteverwarming<br>proceswarmte, nml. : droogkamers |

#### Bedrijfservaringen

|                               |   |                                                     |
|-------------------------------|---|-----------------------------------------------------|
| Emissiegegevens               | : |                                                     |
| Bedrijfservaringen            | : | goed                                                |
| Mogelijkheden ter verbetering | : | toevoer van houtmot naar de verbrandingsinstallatie |

#### Overige opmerkingen

1 à 2 seizoenen nodig voor het opdoen van stookervaring



---

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

### 3.5 Informatieformulier bedrijf E

#### Bedrijfsgegevens

|                |   |               |
|----------------|---|---------------|
| Naam           | : | E             |
| Adres          | : |               |
| Postcode       | : |               |
| Tel. nr.       | : |               |
| Contactpersoon | : |               |
| Omschrijving   | : | Timmerfabriek |

#### Gegevens verbrandingsinstallatie

|                        |   |                                                                   |
|------------------------|---|-------------------------------------------------------------------|
| Merk                   | : | Heizomat                                                          |
| Type                   | : | model 200, type HSK-A                                             |
| Systeem                | : | onderschroef                                                      |
| Bouwjaar               | : | 1988                                                              |
| Capaciteit             | : | 290 kW                                                            |
| Ondersteuningsbranders | : | ja, bij opstarten                                                 |
| Regeling               | : | T-regeling                                                        |
| Rookgasreiniging       | : | geen                                                              |
| Bedrijfsvoering        | : | continu                                                           |
| Bedrijfsuren           | : | 8000 hr/jr                                                        |
| Onderhoudsfrequentie   | : | toevoer verbr.lucht: 2 maal/jr<br>roet en afvalresten: 12 maal/jr |

#### Gegevens brandstof

|                       |   |                           |
|-----------------------|---|---------------------------|
| Houtverbruik          | : | 6 m <sup>3</sup> /h       |
| Houtsoort             | : | wit; ≈ 15%<br>rood; ≈ 85% |
| Verontreiniging       | : | schoon                    |
| Afmetingen            | : | houtmot                   |
| Vochtigheid           | : | 14 - 18%                  |
| Herkomst              | : | eigen voorraad            |
| Opslag                | : | 250 m <sup>3</sup>        |
| Andere energiebronnen | : | geen                      |

#### Energiebenutting

|                  |   |                                                      |
|------------------|---|------------------------------------------------------|
| Ketel            | : | in serie                                             |
| Energiebenutting | : | warm water<br>ruimteverwarming<br>afzet naar buurman |

#### Bedrijfservaringen

|                               |   |      |
|-------------------------------|---|------|
| Emissiegegevens               | : |      |
| Bedrijfservaringen            | : | goed |
| Mogelijkheden ter verbetering | : |      |

#### Overige opmerkingen

Bediening van de installatie is een leerproces van 1 tot 1,5 jaar

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best  
Fase I: Inventarisatie*

## **Bijlage 4    Resultaten meetprogramma**

**4.1    Resultaten metingen bedrijf A**

**4.2    Resultaten metingen bedrijf B**

**4.3    Resultaten metingen bedrijf C**

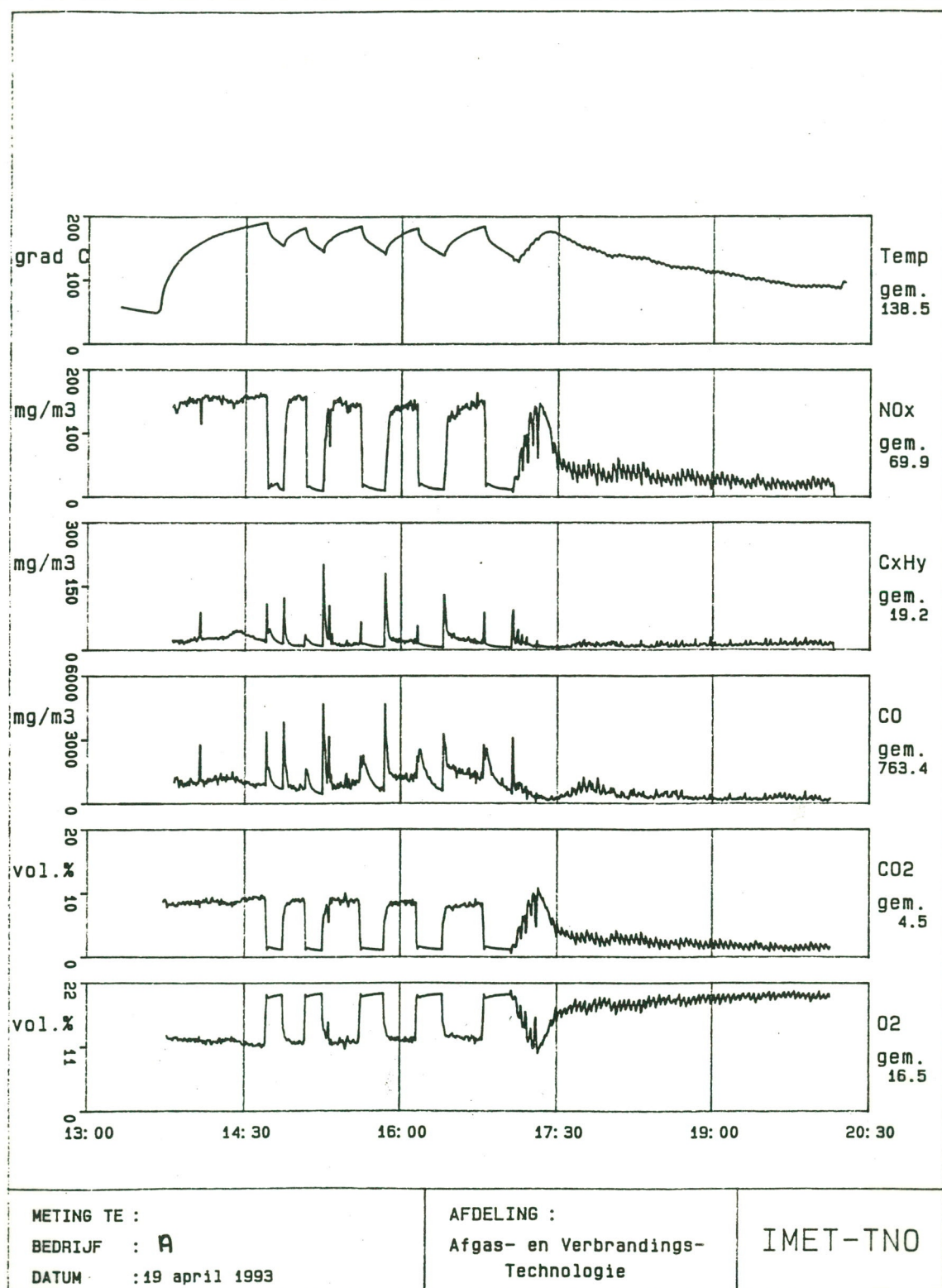
**4.4    Resultaten metingen bedrijf D**

**4.5    Resultaten metingen bedrijf E**



Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best  
Fase I: Inventarisatie

#### 4.1 Resultaten metingen bedrijf A



Figuur 4.1 Grafische weergave concentratieverloop;  
Bedrijf A, 19 april 1993

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.1 Omstandigheden tijdens metingen;*  
*Bedrijf A, 19 april 1993*

| Meting nr. | Monsternamperiode [hr.min] |       | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Temp. | Debiet               | Opmerkingen                                                    |
|------------|----------------------------|-------|----------------|-----------------|-------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
|            | Start                      | Stop  | [vol%]         | [vol%]          | [°C]  | [nm <sup>3</sup> /h] |                                                                |
| Stof/1     | 14.30                      | 16.09 | 12,3           | 8,5             | 176   | 3.609                | tot 17.20 hr; houtmot,<br>na 17.00 hr; stukhout en<br>deellast |
| Stof/2     | 17.20                      | 18.37 | 17,6           | 3,4             | 146   | 3.069                |                                                                |
| Stof/3     | 18.55                      | 19.55 | 19,6           | 1,7             | 101   | 2.838                |                                                                |
| PAK/1      | 14.15                      | 16.43 | 12,4           | 8,3             | 175   | 3.615                |                                                                |
| PAK/2      | 17.20                      | 19.28 | 18,4           | 2,7             | 132   | 3.080                |                                                                |

*Tabel 4.2 Resultaten concentratiemetingen;*  
*Bedrijf A, 19 april 1993*

| Meting nr.               | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Actueel</b>           |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 1.172                   | 26,2                                               | 141,3                                | 7,4                                  |                          | 114                       | 58                                   |
| Stof/2                   | 473                     | 11,4                                               | 46,4                                 | 4,4                                  |                          | 56                        | 23                                   |
| Stof/3                   | 252                     | 13,8                                               | 22,6                                 | 4,8                                  |                          | 29                        | 13                                   |
| PAK/1                    | 1.280                   | 30,2                                               | 138,8                                | 7,6                                  |                          |                           |                                      |
| PAK/2                    | 387                     | 11,9                                               | 37,6                                 | 4,4                                  |                          |                           |                                      |
| <b>11% O<sub>2</sub></b> |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 1.651                   | 37,5                                               | 162,3                                | 9,5                                  |                          | 131                       | 101                                  |
| Stof/2                   | 1.792                   | 44,1                                               | 141,7                                | 16,6                                 |                          | 169                       | 40                                   |
| Stof/3                   | 2.339                   | 129,3                                              | 172,9                                | 41,4                                 |                          | 212                       | 23                                   |
| PAK/1                    | 1.774                   | 42,1                                               | 161,8                                | 9,9                                  | 497                      |                           |                                      |
| PAK/2                    | 1.782                   | 62,2                                               | 151,5                                | 22,2                                 | 1.129                    |                           |                                      |

*Tabel 4.3 Resultaten concentratiemetingen CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O;*  
*Bedrijf A, 19 april 1993*

| Meting nr. | CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | N <sub>2</sub> O [mg/m <sup>3</sup> ] |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1          | n.a.                                 | 2,5                                   |
| 2          | n.a.                                 | 1,2                                   |
| 3          | n.a.                                 | 1,2                                   |

n.a. Niet aantoonbaar.



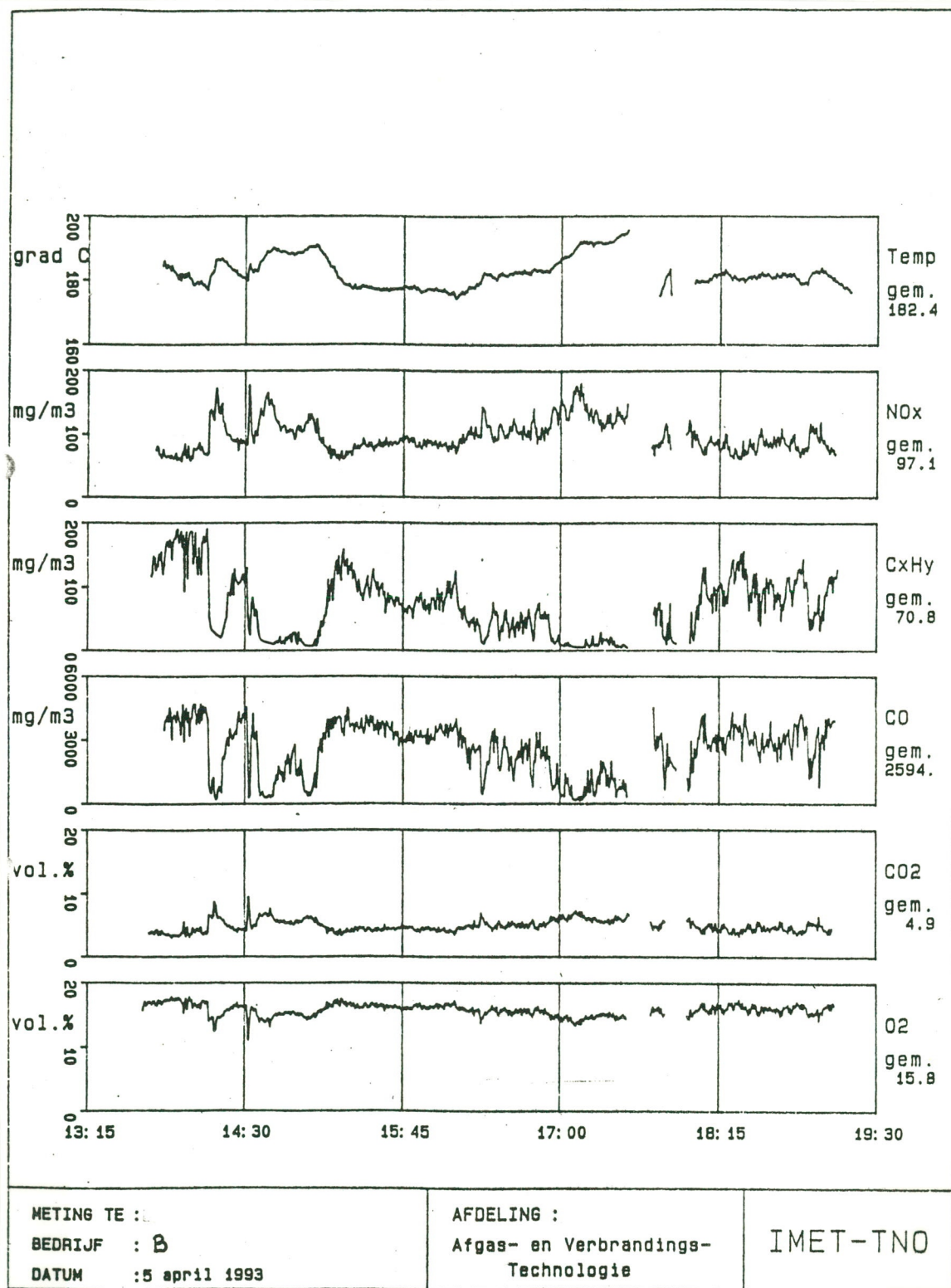
*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.4 Bijdrage van de verschillende componenten aan de totale PAK-emissie, Bedrijf A, 19 april 1993*

| Component            | Bijdrage aan totaal [%] |       |
|----------------------|-------------------------|-------|
|                      | PAK/1                   | PAK/2 |
| Naftaleen            | 19,7                    | 45,3  |
| Acenaftyleen         | 13,0                    | 2,7   |
| Acenafteen           | 62,4                    | 39,7  |
| Fluoreen             | 0,6                     | 1,1   |
| Fenantreen           | 1,6                     | 4,2   |
| Antraceen            | 0,1                     | 0,4   |
| Fluoranteen          | 0,5                     | 2,1   |
| Pyreen               | 0,6                     | 2,5   |
| Benzo[a]antraceen    | 0,2                     | 0,2   |
| Chryseen             | 0,3                     | 0,3   |
| Benzo[b]fluoranteen  | 0,2                     | 0,2   |
| Benzo[k]fluoranteen  | 0,1                     | 0,2   |
| Benzo[a]pyreen       | 0,1                     | 0,2   |
| Benzo[ghi]peryleen   | 0,2                     | 0,4   |
| Dibenzo[ah]antraceen | 0,2                     | 0,3   |
| Indeno[123-cd]pyreen | 0,1                     | 0,3   |
| Totaal               | 100,0                   | 100,0 |

Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best  
Fase I: Inventarisatie

#### 4.2 Resultaten metingen bedrijf B



Figuur 4.2 Grafische weergave concentratieverloop;  
Bedrijf B, 5 april 1993



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 4.5 Omstandigheden tijdens metingen;  
 Bedrijf B, 5 april 1993

| Meting nr. | Monsternamperiode [hr.min] |       | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Temp. | Debiet               | Opmerkingen                                                                                                                      |
|------------|----------------------------|-------|----------------|-----------------|-------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | Start                      | Stop  | [vol%]         | [vol%]          | [°C]  | [nm <sup>3</sup> /h] |                                                                                                                                  |
| Stof/1     | 14.30                      | 15.15 | 15,2           | 5,6             | 187   | 2.334                | Tijdens meting nr. Stof/2 werd visueel een kwalitatief betere verbranding geconstateerd; minder gloeiende asdeeltjes in de vlam. |
| Stof/2     | 16.50                      | 17.40 | 14,7           | 6,0             | 190   | 3.290                |                                                                                                                                  |
| Stof/3     | 18.25                      | 19.10 | 16,1           | 4,6             | 181   | 3.721                |                                                                                                                                  |
| PAK/1      | 14.27                      | 16.30 | 15,9           | 4,9             | 181   | 4.142                |                                                                                                                                  |
| PAK/2      | 16.43                      | 18.51 | 15,5           | 5,2             | 184   | 3.259                |                                                                                                                                  |

Tabel 4.6 Resultaten concentratiemetingen;  
 Bedrijf B, 5 april 1993

| Meting nr.               | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Actueel</b>           |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 1.912                   | 37,9                                               | 109,0                                | 16,1                                 |                          | 1.188                     | 37                                   |
| Stof/2                   | 1.010                   | 15,6                                               | 132,3                                | 9,5                                  |                          | 240                       | 41                                   |
| Stof/3                   | 3.024                   | 91,8                                               | 85,7                                 | 32,4                                 |                          | 1.376                     | 27                                   |
| PAK/1                    | 2.772                   | 65,3                                               | 95,5                                 | 21,9                                 |                          |                           |                                      |
| PAK/2                    | 2.144                   | 56,0                                               | 103,9                                | 17,7                                 |                          |                           |                                      |
| <b>11% O<sub>2</sub></b> |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 3.778                   | 78,0                                               | 187,8                                | 28,9                                 |                          | 2.069                     | 64                                   |
| Stof/2                   | 1.711                   | 26,7                                               | 211,4                                | 15,4                                 |                          | 418                       | 71                                   |
| Stof/3                   | 6.353                   | 195,4                                              | 174,5                                | 66,9                                 |                          | 2.397                     | 47                                   |
| PAK/1                    | 5.865                   | 141,5                                              | 186,1                                | 45,2                                 | 624                      |                           |                                      |
| PAK/2                    | 4.303                   | 116,2                                              | 187,0                                | 35,1                                 | 407                      |                           |                                      |

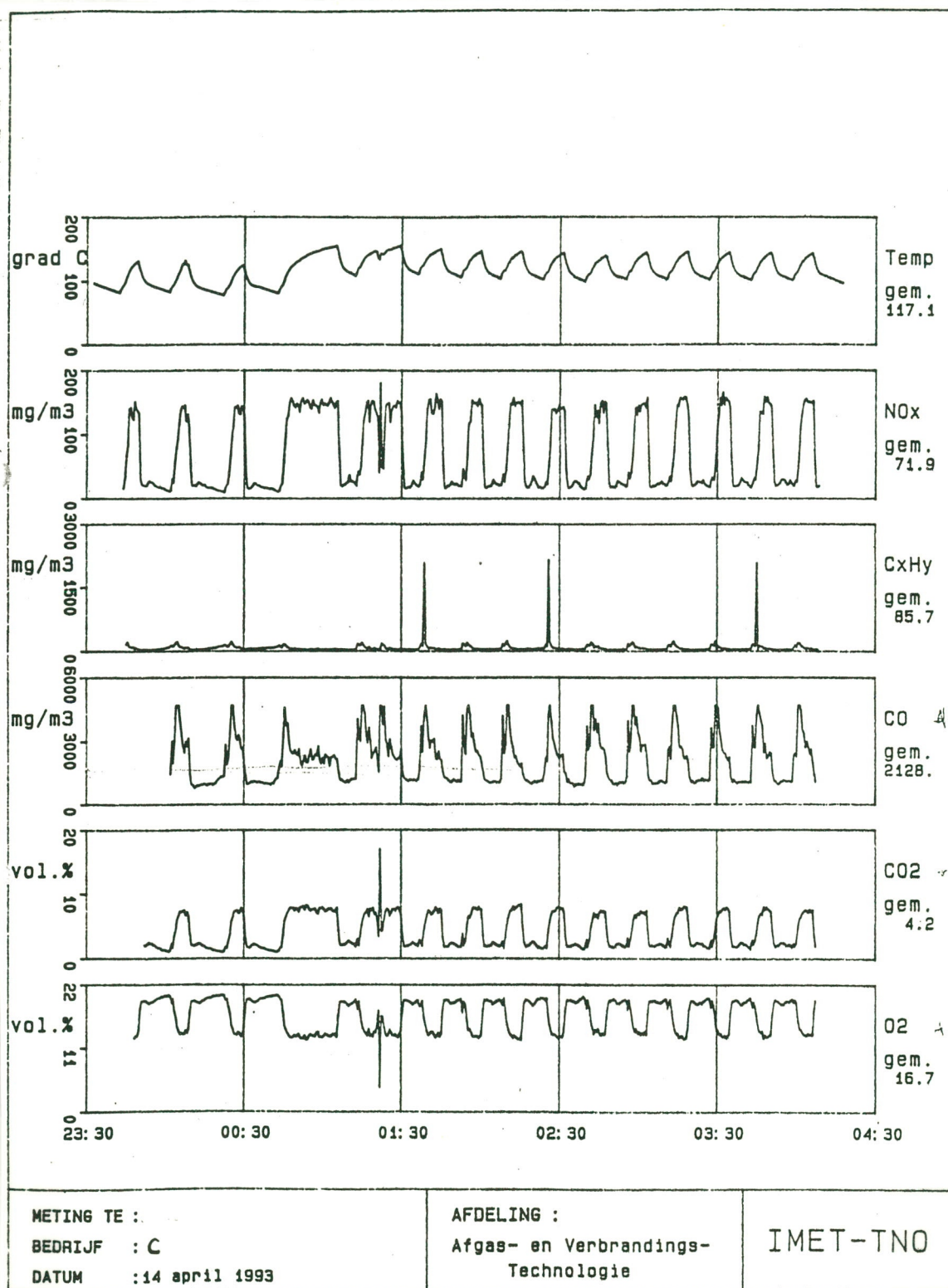
*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.7 Bijdrage van de verschillende componenten aan de totale PAK-emissie, Bedrijf B, 5 april 1993*

| Component            | Bijdrage aan totaal [%] |       |
|----------------------|-------------------------|-------|
|                      | PAK/1                   | PAK/2 |
| Naftaleen            | 29,4                    | 41,1  |
| Acenaftyleen         | 10,1                    | 6,9   |
| Acenafteen           | 52,7                    | 42,4  |
| Fluoreen             | 0,9                     | 3,1   |
| Fenantreen           | 4,8                     | 3,3   |
| Antraceen            | 0,2                     | 0,3   |
| Fluoranteen          | 0,6                     | 1,0   |
| Pyreen               | 0,4                     | 0,7   |
| Benzo[a]antraceen    | 0,1                     | 0,1   |
| Chryseen             | 0,3                     | 0,5   |
| Benzo[b]fluoranteen  | 0,1                     | 0,1   |
| Benzo[k]fluoranteen  | 0,0                     | 0,0   |
| Benzo[a]pyreen       | 0,0                     | 0,1   |
| Benzo[ghi]peryleen   | 0,1                     | 0,1   |
| Dibenzo[ah]antraceen | 0,1                     | 0,1   |
| Indeno[123-cd]pyreen | 0,1                     | 0,1   |
| Totaal               | 100,0                   | 100,0 |



### 4.3 Resultaten metingen bedrijf C



Figuur 4.3 Grafische weergave concentratieverloop;  
 Bedrijf C, 14 april 1993

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 4.8 Omstandigheden tijdens metingen;  
 Bedrijf C, 14 april 1993

| Meting nr. | Monsternamperiode [hr.min] |       | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Temp. | Debiet               | Opmerkingen                                                          |
|------------|----------------------------|-------|----------------|-----------------|-------|----------------------|----------------------------------------------------------------------|
|            | Start                      | Stop  | [vol%]         | [vol%]          | [°C]  | [nm <sup>3</sup> /h] |                                                                      |
| Stof/1     | 00.44                      | 02.24 | 14,1           | 6,7             | 138   | 2.340                | Metingen uitgevoerd tijdens de perioden dat de ketel in bedrijf was. |
| Stof/2     | 02.55                      | 04.06 | 14,9           | 5,9             | 131   | 2.823                |                                                                      |
| PAK/1      |                            |       | 14,5           | 6,3             | 135   | 2.431                |                                                                      |

Tabel 4.9 Resultaten concentratiemetingen;  
 Bedrijf C, 14 april 1993

| Meting nr.               | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Actueel</b>           |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 2.812                   | 97,7                                               | 124,4                                | 9,6                                  |                          | 245                       | 47                                   |
| Stof/2                   | 3.133                   | 127,6                                              | 109,6                                | 16,0                                 |                          | 281                       | 42                                   |
| PAK/1                    | 2.969                   | 120,0                                              | 117,1                                | 12,5                                 |                          |                           |                                      |
| <b>11% O<sub>2</sub></b> |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 4.987                   | 208,7                                              | 177,2                                | 17,4                                 |                          | 356                       | 68                                   |
| Stof/2                   | 6.445                   | 308,8                                              | 171,9                                | 31,0                                 |                          | 408                       | 61                                   |
| PAK/1                    | 5.743                   | 279,4                                              | 174,6                                | 23,8                                 | 1.346                    |                           |                                      |

Tabel 4.10 Resultaten concentratiemetingen CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O;  
 Bedrijf C, 14 april 1993

| Meting nr. | CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | N <sub>2</sub> O [mg/m <sup>3</sup> ] |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1          | n.a.                                 | 2,6                                   |
| 2          | n.a.                                 | 1,8                                   |

n.a. Niet aantoonbaar.

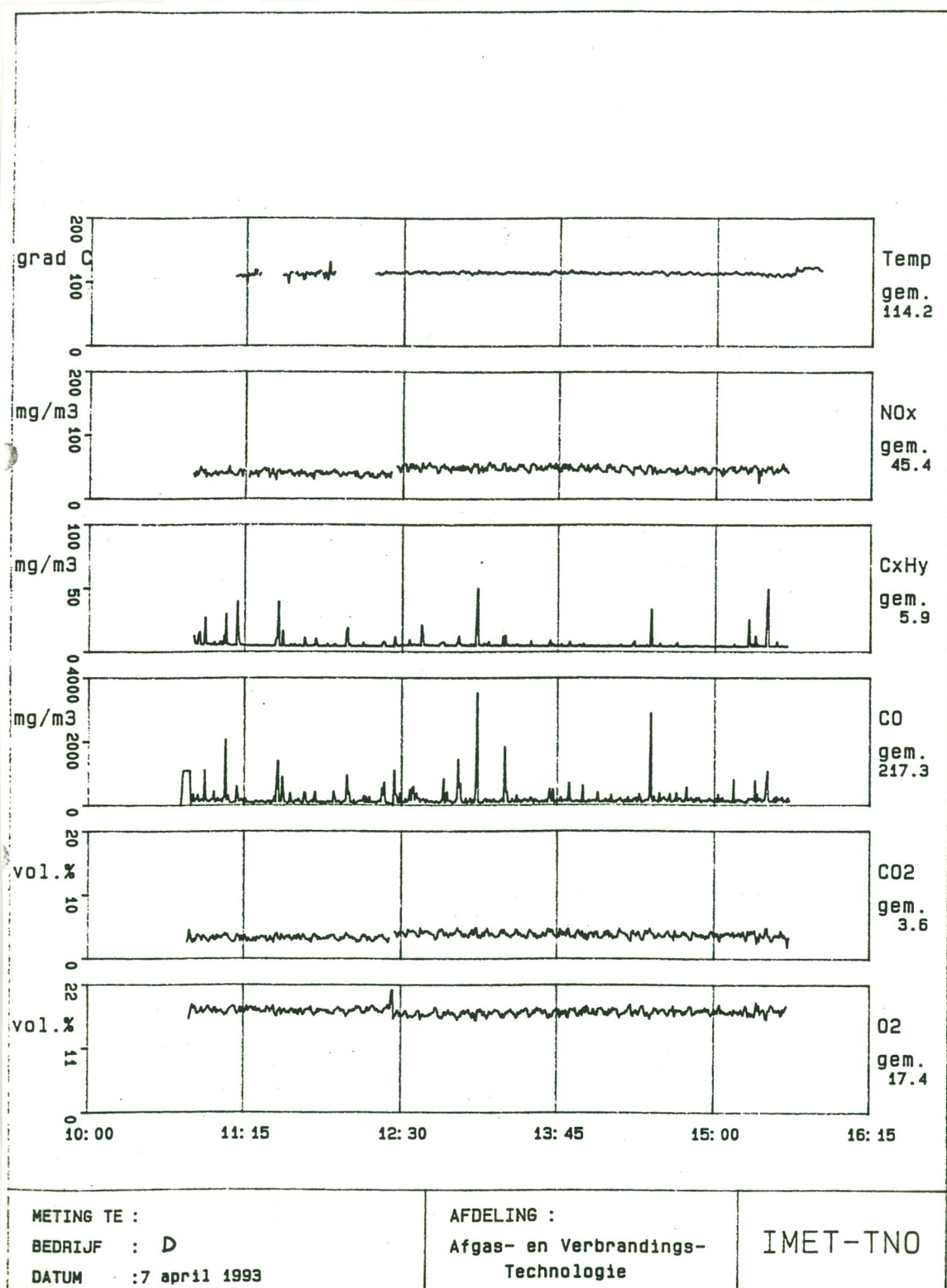


*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best  
Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.11 Bijdrage van de verschillende componenten aan  
de totale PAK-emissie, Bedrijf C, 14 april 1993*

| Component            | Bijdrage aan totaal [%] |
|----------------------|-------------------------|
|                      | PAK/1                   |
| Naftaleen            | 38,4                    |
| Acenaftyleen         | 12,6                    |
| Acenafteen           | 41,6                    |
| Fluoreen             | 0,1                     |
| Fenantreen           | 2,6                     |
| Antraceen            | 0,3                     |
| Fluoranteen          | 1,2                     |
| Pyreen               | 1,2                     |
| Benzo[a]antraceen    | 0,4                     |
| Chryseen             | 0,6                     |
| Benzo[b]fluoranteen  | 0,3                     |
| Benzo[k]fluoranteen  | 0,1                     |
| Benzo[a]pyreen       | 0,1                     |
| Benzo[ghi]peryleen   | 0,1                     |
| Dibenzo[ah]antraceen | 0,3                     |
| Indeno[123-cd]pyreen | 0,2                     |
| Totaal               | 100,0                   |

#### 4.4 Resultaten metingen bedrijf D



Figuur 4.4 Grafische weergave concentratieverloop;  
Bedrijf D, 7 april 1993



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.12 Omstandigheden tijdens metingen;  
 Bedrijf D, 7 april 1993*

| Meting nr. | Monsternamperiode [hr.min] |       | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Temp. | Debiet               | Opmerkingen |
|------------|----------------------------|-------|----------------|-----------------|-------|----------------------|-------------|
|            | Start                      | Stop  | [vol%]         | [vol%]          | [°C]  | [nm <sup>3</sup> /h] |             |
| Stof/1     | 11.40                      | 12.25 | 17,6           | 3,3             | 114   | 702                  |             |
| Stof/2     | 13.40                      | 14.30 | 17,3           | 3,8             | 114   | 772                  |             |
| PAK/1      | 11.20                      | 13.20 | 17,4           | 3,6             | 115   | 606                  |             |
| PAK/2      | 13.30                      | 15.30 | 17,4           | 3,8             | 114   | 764                  |             |

*Tabel 4.13 Resultaten concentratiemetingen;  
 Bedrijf D, 7 april 1993*

| Meting nr.               | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Actueel</b>           |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 167                     | 5,3                                                | 39,2                                 | 5,6                                  |                          | 131                       | 46                                   |
| Stof/2                   | 198                     | 5,1                                                | 48,1                                 | 6,7                                  |                          | 111                       | 47                                   |
| PAK/1                    | 215                     | 6,1                                                | 44,1                                 | 6,6                                  |                          |                           |                                      |
| PAK/2                    | 196                     | 5,3                                                | 47,0                                 | 6,3                                  |                          |                           |                                      |
| <b>11% O<sub>2</sub></b> |                         |                                                    |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 480                     | 15,7                                               | 118,0                                | 17,1                                 |                          | 391                       | 137                                  |
| Stof/2                   | 515                     | 13,8                                               | 133,3                                | 18,6                                 |                          | 331                       | 140                                  |
| PAK/1                    | 554                     | 15,8                                               | 123,6                                | 17,9                                 | 853                      |                           |                                      |
| PAK/2                    | 534                     | 14,6                                               | 133,0                                | 18,0                                 | 835                      |                           |                                      |

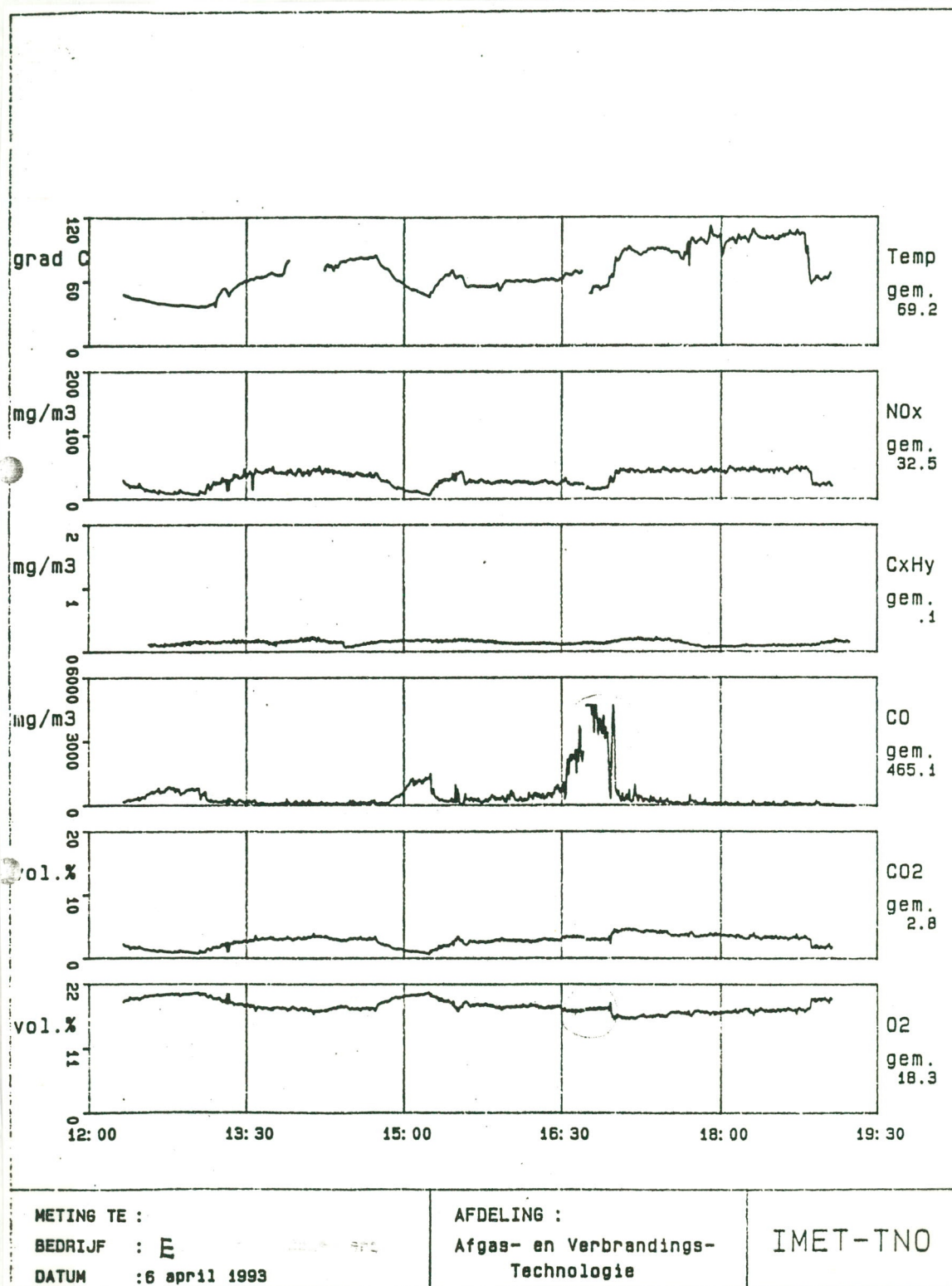
*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.14 Bijdrage van de verschillende componenten aan de totale PAK-emissie, Bedrijf D, 7 april 1993*

| Component            | Bijdrage aan totaal [%] |       |
|----------------------|-------------------------|-------|
|                      | PAK/1                   | PAK/2 |
| Naftaleen            | 8,3                     | 11,5  |
| Acenaftyleen         | 9,5                     | 10,9  |
| Acenafteen           | 76,8                    | 72,5  |
| Fluoreen             | 1,1                     | 1,8   |
| Fenantreen           | 2,2                     | 1,7   |
| Antraceen            | 0,1                     | 0,0   |
| Fluoranteen          | 0,9                     | 0,8   |
| Pyreen               | 0,5                     | 0,3   |
| Benzo[a]antraceen    | 0,1                     | 0,1   |
| Chryseen             | 0,1                     | 0,1   |
| Benzo[b]fluoranteen  | 0,1                     | 0,1   |
| Benzo[k]fluoranteen  | 0,0                     | 0,0   |
| Benzo[a]pyreen       | 0,1                     | 0,0   |
| Benzo[ghi]peryleen   | 0,1                     | 0,1   |
| Dibenzo[ah]antraceen | 0,1                     | 0,2   |
| Indeno[123-cd]pyreen | 0,1                     | 0,1   |
| Totaal               | 100,0                   | 100,0 |



#### 4.5 Resultaten metingen bedrijf E



Figuur 4.5 Grafische weergave concentratieverloop;  
Bedrijf E, 6 april 1993

*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

Tabel 4.15 Omstandigheden tijdens metingen;  
 Bedrijf E, 6 april 1993

| Meting nr. | Monsternamperiode [hr.min] |       | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Temp. | Debiet               | Opmerkingen                                                             |
|------------|----------------------------|-------|----------------|-----------------|-------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|            | Start                      | Stop  | [vol%]         | [vol%]          | [°C]  | [nm <sup>3</sup> /h] |                                                                         |
| Stof/1     | 14.30                      | 15.50 | 19,0           | 2,2             | 64    | 500 <sup>1)</sup>    | Pieken in CO-emissie veroorzaakt door ontregeling primaire luchttoevoer |
| Stof/2     | 17.10                      | 17.55 | 16,9           | 4,0             | 91    |                      |                                                                         |
| PAK/1      | 14.20                      | 14.56 | 18,3           | 2,8             | 66    |                      |                                                                         |
| PAK/2      | 15.16                      | 16.40 |                |                 |       |                      |                                                                         |
|            | 16.50                      | 18.50 | 17,2           | 3,7             | 93    |                      | Meting gestopt tijdens inregelen primaire luchttoevoer                  |

<sup>1)</sup> Door lage rookgassnelheid zijn geen registrerende metingen uitgevoerd.

Tabel 4.16 Resultaten concentratiemetingen;  
 Bedrijf E, 6 april 1993

| Meting nr.               | CO [mg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ] | PAK [µg/m <sup>3</sup> ] | Stof [mg/m <sup>3</sup> ] | H <sub>2</sub> O [g/m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Actueel</b>           |                         |                                                                  |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 425                     | -                                                                | 26,5                                 | 2,5                                  |                          | 17                        | 21                                   |
| Stof/2                   | 196                     | -                                                                | 44,7                                 | 4,0                                  |                          | 28                        | 26                                   |
| PAK/1                    | 443                     | -                                                                | 30,1                                 | 2,8                                  |                          |                           |                                      |
| PAK/2                    | 411                     | -                                                                | 43,4                                 | 3,7                                  |                          |                           |                                      |
| <b>11% O<sub>2</sub></b> |                         |                                                                  |                                      |                                      |                          |                           |                                      |
| Stof/1                   | 4.509                   | -                                                                | 142,9                                | 11,9                                 |                          | 87                        | 107                                  |
| Stof/2                   | 465                     | -                                                                | 110,9                                | 9,8                                  |                          | 143                       | 133                                  |
| PAK/1                    | 1.650                   | -                                                                | 119,2                                | 10,6                                 | 1.672                    |                           |                                      |
| PAK/2                    | 1.152                   | -                                                                | 116,6                                | 9,9                                  | 1.439                    |                           |                                      |

<sup>1)</sup> Door storing geen gegevens omtrent C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> beschikbaar.



*Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best*  
*Fase I: Inventarisatie*

*Tabel 4.17 Bijdrage van de verschillende componenten aan de totale PAK-emissie, Bedrijf E, 6 april 1993*

| Component            | Bijdrage aan totaal [%] |       |
|----------------------|-------------------------|-------|
|                      | PAK/1                   | PAK/2 |
| Naftaleen            | 20,7                    | 11,6  |
| Acenaftyleen         | 11,4                    | 13,6  |
| Acenafteen           | 59,3                    | 47,9  |
| Fluoreen             | 1,6                     | 2,4   |
| Fenantreen           | 3,4                     | 10,8  |
| Antraceen            | 0,3                     | 1,2   |
| Fluoranteen          | 1,2                     | 4,8   |
| Pyreen               | 0,9                     | 4,0   |
| Benzo[a]antraceen    | 0,2                     | 0,6   |
| Chryseen             | 0,2                     | 0,6   |
| Benzo[b]fluoranteen  | 0,2                     | 0,5   |
| Benzo[k]fluoranteen  | 0,1                     | 0,3   |
| Benzo[a]pyreen       | 0,1                     | 0,4   |
| Benzo[ghi]peryleen   | 0,2                     | 0,6   |
| Dibenzo[ah]antraceen | 0,1                     | 0,0   |
| Indeno[123-cd]pyreen | 0,2                     | 0,6   |
| Totaal               | 100,0                   | 100,0 |