

**Ordernummer 001 775**

**Meetcampagnes dioxines en PAK's:  
emissies door open vuren, open tonnetjes,  
kachels en allesbranders  
en analyses van roetstalen uit schouwen**

**Eindrapport**

**M. Wevers, R. De Fré**

**Onderzoek uitgevoerd in opdracht van AMINAL/Aminabel  
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel**

Projectcoördinator : R. De Fré

Projectleider: M. Wevers

m.m.v. : W. Aerts

R. Brabers

E. Damen

J. Weckx

F. Vanhoof

Analysediensten

**2002/MIM/R/108**

**SEPTEMBER 2002**

## INHOUDSTAFEL

1	INLEIDING .....	2
2	MEETPROGRAMMA EN MEETMETHODIEK .....	3
2.1	Meetprogramma .....	3
2.2	Beschrijving van de meetopstelling .....	6
2.3	Gebruikte meettechnieken .....	9
2.3.1	Bepaling van debiet, temperatuur en watergehalte van het gas .....	9
2.3.2	Bepaling van de zuurstofconcentratie .....	9
2.3.3	Bepaling van CO en CO <sub>2</sub> .....	10
2.3.4	Bepaling van stikstofdioxiden .....	10
2.3.5	Bepaling van zwaveldioxide .....	10
2.3.6	Bepaling van het stofgehalte .....	10
2.3.7	Bepaling van het totaal gehalte aan koolwaterstoffen .....	11
2.3.8	Bepaling van de polyaromatische koolwaterstoffen in het rookgas .....	11
2.3.9	Bepaling van de polychloordibenzodioxines en polychloordibenzofuranen in het rookgas .....	13
2.3.10	Analyse van de brandstof .....	15
2.3.10.1	Watergehalte .....	15
2.3.10.2	Calorische waarde van de brandstof .....	15
2.3.10.3	Bepaling van het S-gehalte in de brandstof .....	16
2.3.10.4	Bepaling van het Cl-gehalte in de brandstof .....	16
2.3.10.5	Bepaling van het gehalte aan totaal C in de brandstof .....	16
2.3.10.6	Bepaling van het N-gehalte in de brandstof .....	16
2.3.11	Gebruikte ijk-gasmengsels .....	16
2.3.11	Elementaire analyse van C, S, en Cl en bepaling van PAK's en dioxines in het roet .....	17
3	EMISSIEMETINGEN OP TONNETJES VOOR AFVAL-VERBRANDING .....	18
3.1	Resultaten van de verbrandingsproeven in tonnetje 1 op 15 en 17 okt 2001 .....	20
3.1.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en verloop van de concentraties van O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en KWS in functie van de tijd .....	20
3.1.2	Bepaling van het stofgehalte en de concentraties van PAK's en dioxines in het afgas .....	23
3.1.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof .....	25
3.2	Resultaten van de verbrandingsproeven in tonnetje 1 op 23 en 26 okt 2001 .....	26
3.2.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> en KWS in functie van de tijd .....	26
3.2.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines in het afgas tijdens de verbrandingsproeven van 15 en 17 oktober .....	29
3.2.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	31
3.3	Resultaten van de verbrandingsproeven in tonnetje 1 op 6 en 13 november .....	32
3.3.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> en KWS in functie van de tijd .....	32
3.3.2	Bepaling van de concentraties van stof PAK's en dioxines in de emissies .....	35
3.3.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof .....	37

3.4	Resultaten van de verbrandingsproeven in tonnetje 2 op 15 en 20 november .....	38
3.4.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en KWS in functie van de tijd.....	38
3.4.2	Bepaling van de stofconcentratie en de gehalten aan PAK's en dioxines in de emissies.....	41
3.4.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	43
3.5	Resultaten van de verbrandingsproeven in ton 3 op 22 november en 11 december.....	44
3.5.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , KWS en brandstofverbruik op 22-11 en 11-12-2002.....	44
3.5.2	Bepaling van de stofconcentratie en de gehalten aan PAK's en dioxines in de emissies .....	47
3.5.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	50
3.6	Resultaten van de verbrandingsproeven in tonnetje type 1 op 13 en 14 december.....	50
3.6.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>2</sub> KWS en brandstofverbruiken.....	50
3.6.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines in de emissies .....	53
3.6.3	Bepaling van samenstelling van de brandstof.....	55
4	EMISSIEMETINGEN OP OPEN VUREN.....	56
4.1	Resultaten van de verbrandingsproeven van 14 en 15 januari 2002.....	57
4.1.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en KWS in de rookgassen .....	57
4.1.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines .....	61
4.1.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	63
4.2	Resultaten van de verbrandingsproeven van 21 en 22 januari 2002.....	64
4.2.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en KWS .....	64
4.2.2	Bepaling van het stofgehalte en de concentraties van PAK's en dioxines .....	68
4.2.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	70
4.3	Resultaten van de verbrandingsproeven van 4 en 11 februari 2002.....	71
4.3.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en KWS .....	71
4.3.2	Bepaling van het stofgehalte en de concentraties van PAK's en dioxines .....	75
4.3.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	77
4.4	Resultaten van de verbrandingsproeven van 19 en 25 februari 2002.....	78
4.4.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en KWS .....	78
4.4.2	Bepaling van het stofgehalte en de concentraties aan PAK's en dioxines .....	82
4.4.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	84
5	EMISSIEMETINGEN OP KACHELS VOOR VASTE BRANDSTOF .....	85
5.1	Emissiemetingen op de Dovre 750 GM kolenkachel .....	87
5.1.1	Emissies van de Dovre 750 GM tijdens het stoken van antraciet op 05-03-2002.....	87
5.1.1.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en concentraties van de gasvormige componenten O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> en KWS.....	87
5.1.1.2	Bepaling van de concentraties van PAK's en dioxines .....	90

5.1.1.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling van 05-03-2002.....	91
5.1.2	Emissies van de Dovre 750 GM tijdens de stookproef met Rheinbraun briketten 100% op 11-03-2002 .....	92
5.1.2.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en concentraties van de gasvormige componenten O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> en KWS in het meetkanaal.....	92
5.1.2.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines .....	95
5.1.2.3	Bepaling van de samenstelling van de brandstof.....	96
5.1.3	Verbrandingsproeven met de Dovre 750GM kolenkachel op 22, 23 en 29 april 2002 (klein vermogen) .....	97
5.1.3.1	Debiet temperatuur, watergehalte en continue opvolging van de concentraties aan CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> en KWS tijdens elk van de drie meetdagen .....	97
5.1.3.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in de emissies op 22, 23 en 29 april 2002 .....	104
5.1.3.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling gebruikt voor de experimenten op 22, 23 en 29-04-2002 .....	108
5.2	Emissiemetingen op de Dovre 750 GH houtkachel.....	109
5.2.1	Emissies van de Dovre 750 GH tijdens het stoken van droog naald- en loofhout op 18-03-2002 .....	109
5.2.1.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en concentraties van de gasvormige componenten O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> en KWS .....	109
5.2.1.2	Bepaling van de concentratie aan stof, PAK's en dioxines .....	112
5.2.1.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	113
5.2.2	Verbrandingsproeven met de Dovre 750 GH houtkachel op 19-03-2002 .....	114
5.2.2.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en KWS .....	114
5.2.2.2	Bepaling van stof, PAK's en dioxines op 19-03-2002 .....	117
5.2.2.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	118
5.2.3	Verbrandingsproeven met de Dovre houtkachel op 06-05-2002.....	119
5.2.3.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, KWS en brandstofverbruiken op 06-05-25002.....	119
5.2.3.2	Bepaling van stof, PAK's en dioxines op 06-05-2002 .....	122
5.2.3.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	123
5.2.4	Verbrandingsproeven met loofhout, jonger dan 1 jaar op 07-05-2002.....	124
5.2.4.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van gasvormige componenten en brandstofverbruik op 07-05-2002.....	124
5.2.4.2	Bepaling van stof, PAK's en dioxines in het rookgas op 07-05-2002.....	127
5.2.5	Verbranding van droog naaldhout in de Dovre 750 GH kachel op 08-05-2002.....	129
5.2.5.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , KWS en brandstofverbruik op 08-05-2002.....	129
5.2.5.2	Bepaling van stof, PAK's en dioxines in het rookgas op 08-05-2002.....	132
5.2.5.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	133
5.2.6	Verbranding van behandeld hout in de Dovre 750 GH houtkachel op 13-05-2002.....	134
5.2.6.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en opvolging van de concentraties van CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , KWS en brandstofverbruiken in functie van de tijd.....	134

5.2.6.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in het afgas tijdens de verbranding van behandeld hout op 13-05-2002 .....	137
5.2.6.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	138
5.2.7	Verbrandingsproeven met halfgroot eiken hout op 14-05-2002.....	139
5.2.7.1	Bepaling van debiet, temperatuur en watergehalte en continue opvolging van CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , KWS en brandstofverbruiken op 14-05-2002.....	139
5.2.7.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in het afgas tijdens de verbranding van middelgroot eikenhout op 14-05-2002 .....	142
5.2.7.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	143
5.2.8	Verbrandingsproeven met klein hout op 15-05-2002.....	144
5.2.8.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van de gasvormige parameters en brandstofverbruiken.....	144
5.2.8.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in het afgas tijdens de verbranding van middelgroot eikenhout op 14-05-2002 .....	145
5.2.8.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	147
5.2.9	Verbrandingsproeven met de Dovre 750 GH houtkachel met naaldhout, beuk en eik op 16, 17 en 21 mei 2002 .....	148
5.2.9.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , KWS en brandstofverbruik op 16, 17 en 21 mei.....	148
5.2.9.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in de emissies op 16, 17 en 21 mei 2002 .....	155
5.2.9.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling tijdens de proefnemingen op 16, 17 en 21 mei 2002.....	159
5.3	Emissiemetingen met de Flam Kameleon 44/70 houtkachel.....	160
5.3.1	Verbrandingsproeven met naaldhout, beuk en eik, jonger dan 1 jaar, op 08-04-2002.....	160
5.3.1.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , KWS en brandstofverbruiken op 08-04-2002.....	160
5.3.1.2	Stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Flam kachel;op 08-04-2002.....	163
5.3.1.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	164
5.3.2	Verbrandingsproeven met de Flam kachel met hout en huishoudelijk afval als brandstof op 09-04-2002 .....	165
5.3.2.1	Debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van de gasvormige componenten en de brandstofverbruiken in de emissies van de Flam op 09-04-02.....	165
5.3.2.2	Stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Flam kachel op 09-04-2002.....	168
5.3.2.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	169
5.3.3	Stookproeven met de Flam kachel bij klein vermogen met naaldhout, eik en beuk van minder dan 1 jaar op 15-04-2002 .....	170
5.3.3.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , KWS en brandstofverbruiken op 15-04-2002 .....	170
5.3.3.2	Stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Flam kachel op 15-04-2002.....	173
5.3.3.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	174
5.3.4	Verbrandingsproeven met de Flam houtkachel op 29-05-2002.....	175

5.3.4.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue opvolging van de gasvormige parameters .....	175
5.3.4.2	Stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Flam kachel op 29-05-2002.....	178
5.3.4.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	179
5.3.5	Verbrandingsproeven met de Flam houtkachel op 30-05-2002.....	180
5.3.5.1	Bepaling van debiet, temperatuur en watergehalte en continue registratie van gasvormige parameters en brandstofverbruiken .....	180
5.3.5.2	Stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Flam kachel op 30-05-2002.....	183
5.3.5.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	184
5.4	Verbrandingsexperimenten met de Flam Kameleon 44/70 kolenkachel.....	185
5.4.1	Verbrandingsexperimenten met antraciet 20/30 op 28-05-2002 .....	185
5.4.1.1	Bepaling van debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van gasvormige componenten en brandstofverbruiken .....	185
5.4.1.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines .....	188
5.4.1.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling op 28-05-2002.....	189
5.5	Emissiemetingen met een Cardoen type CA4 houtkachel.....	190
5.5.1	Verbrandingsproeven met naald- en loofhout op 25-03-2002.....	190
5.5.1.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en KWS in het rookgas op 25-03-2002 .....	190
5.5.1.2	Bepaling van de concentratie aan stof, PAK's en dioxines .....	193
5.5.1.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	194
5.5.2	Verbrandingsproeven met naald- en loofhout, drankkartons, drankflessen en verpakkingsplastic op 26-03-2002.....	195
5.5.2.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> en KWS.....	195
5.5.2.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Cardoenkachel tijdens de verbrandingsproeven op 26-03-2002.....	198
5.5.2.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	199
5.5.3	Verbrandingsproeven met de Cardoen kachel bij klein vermogen op 16-04-2002.....	200
5.5.3.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en continue registratie van CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, KWS en brandstofverbruiken op 16-04-2002.....	200
5.5.3.2	Concentraties van stof, PAK's en dioxines in de emissies van de Cardoenkachel tijdens de verbrandingsproeven op laag vermogen op 16-04-2002.....	203
5.5.3.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling .....	204
5.6	Emissiemetingen op een houtkachel van Jøtul, model 118 .....	205
5.6.1	Emissiemetingen met een mengsel van naaldhout, eik en beuk, jonger dan 1 jaar op 23-05-2002 .....	205
5.6.1.1	Debiet, temperatuur, watergehalte en statische druk in het rookgaskaal en atmosferische druk .....	205
5.6.1.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines .....	208
5.6.1.3	Bepaling van de brandstofsamenstelling op 23-05-2002.....	209
5.6.2	Verbrandingsproeven met hout en huishoudelijk afval op 24-05-2002 .....	210
5.6.2.1	Bepaling van debiet, temperatuur, watergehalte en statische druk in het afgas en atmosferische druk op 24-05-2002 .....	210
5.6.2.2	Bepaling van de concentraties van stof, PAK's en dioxines .....	213

5.6.2	Bepaling van de brandstofsamenstelling op 24-05-2002.....	214
6	METINGEN OP ROETSTALEN.....	215
6.1	Opzet van de bemonstering.....	215
6.2	Beschrijving en fysische eigenschappen van de roetstalen .....	216
6.3	Bepaling van het droge stofgehalte en het totaal gehalte aan zwavel, chloride en koolstof in de verschillende roetstalen.....	220
6.4	Bepaling van het gehalte aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen in het roet. ....	221
6.5	Bepaling van het gehalte aan 2,3,7,8 polygechloreerde dioxines en furanen in het roet. ....	232
6.6	Afleiden van emissiefactoren uit de roetanalyses.....	245
6.6.1	Randvoorwaarden voor toepasbaarheid van de methode .....	245
6.6.2.	Berekeningsmethode.....	246
6.7	Verdere vaststellingen en bespreking .....	247
6.7.1	Algemene eigenschappen van de roetstalen .....	247
6.7.2	Analyse van anorganische bestanddelen.....	247
6.7.3	Dioxinegehalten in roet van verschillende brandstoffen en toestellen.....	248
6.7.3.1	Grote individuele verschillen in dioxines in roet.....	248
6.7.3.2	Verband tussen chloride en dioxines in roet.....	249
6.7.3.3	Houtstook: verband tussen zwavelgehalte en dioxines in roet.....	250
6.7.3.4	Houtstook: voorkomen van dioxines en furanen .....	251
6.7.4	Verband tussen dioxines en PAK's in roet .....	251
6.7.5	Roet als dioxine-houdende afvalstroom .....	252
7	BESPREKING.....	253
7.1	Verbranding van tuin- en huishoudelijk afval in tonnetjes voor afval- verbranding .....	253
7.2	Emissiemetingen op open vuren.....	255
7.3	Emissiemetingen op kachels met vaste brandstof.....	259
7.3.1	Dovre 750 GM kachel voor steenkool.....	259
7.3.2	Dovre 750 GH kachel voor hout.....	261
7.3.3	Verbrandingsexperimenten met een Flam Kameleon 44/70 kachel voor hout.....	265
7.3.4	Verbrandingsproeven met de Flam Kameleon 44/70 voor steenkool.....	267
7.3.5	Emissiemetingen op een Cardoen CA4 houtkachel.....	268
7.3.6	Emissiemetingen op de Jøtul type 118 houtkachel.....	269
7.3.7	Onderlinge vergelijking tussen de verschillende toestellen.....	271
7.3.7.1	Vergelijking tussen de verschillende kolenkachels.....	271
7.3.7.2	Vergelijking tussen de verschillende houtkachels.....	272
7.4	Bespreking van de analyseresultaten van de roetstalen .....	272
7.5	Emissiefactoren voor dioxines, PAK's, stof en CO en vergelijking met vroegere gegevens.....	275
7.6	Toetsing van de emissieconcentraties aan de bestaande normen en reglementering.....	286