

# FENOL EN FENOLISCHE KOOLWATERSTOFFEN

## 1 DOEL EN TOEPASSINGSGBIED

Deze procedure vervangt de procedure CMA/3/K van april 2002.  
In deze procedure wordt een methode beschreven voor de extractie, derivatisering, zuivering en analyse van fenolen in bodem, afvalstoffen, sediment en water.  
De lijst van verbindingen is hieronder weergegeven:

Fenol	2-Chloorfenol
2-Methylfenol (o-Cresol)	3-Chloorfenol
3-Methylfenol (m-Cresol)	4-Chloorfenol
4-Methylfenol (p-Cresol)	2,6-Dichloorfenol
2,3-Dimethylfenol	2,5-Dichloorfenol
2,4-Dimethylfenol	2,4-Dichloorfenol
2,5-Dimethylfenol	3,5-Dichloorfenol
2,6-Dimethylfenol	2,3-Dichloorfenol
3,4-Dimethylfenol	3,4-Dichloorfenol
3,5-Dimethylfenol	2,4,6-Trichloorfenol
2-Ethylfenol	2,3,6-Trichloorfenol
3-Ethylfenol	2,3,5-Trichloorfenol
4-Ethylfenol	2,4,5-Trichloorfenol
4-Chloor-3-methylfenol	2,3,4-Trichloorfenol
2-Isopropylfenol	3,4,5-Trichloorfenol
2,3,5-Trimethylfenol	2,3,5,6-Tetrachloorfenol
	2,3,4,6-Tetrachloorfenol
	2,3,4,5-Tetrachloorfenol
	Pentachloorfenol

De hier beschreven methode is gevalideerd voor de bovenstaande verbindingen. Het toepassingsgebied is mogelijk uit te breiden tot andere fenolverbindingen zoals nitrofenolen.

## 2 PRINCIPE

### 2.1 Extractie

Bodem-, sediment- en vaste afvalmonsters worden na dopering met interne standaard ultrasoon geëxtraheerd met methanol. Watermonsters worden direct gederivatiseerd, behalve sterk verontreinigde stalen : deze worden eerst geëxtraheerd met dichloormethaan in zuur midden en daarna teruggeëxtraheerd in waterig milieu met base.

## 2.2 Derivatisering

De basisch gemaakte waterstalen of de waterige basische extracten van vaste stalen en van verontreinigde waterstalen worden gederiviseerd met azijnzuuranhydride, na toevoeging van  $K_2CO_3$  als katalysator. De gevormde fenylacetaatesters worden met hexaan geëxtraheerd.

## 2.3 Zuivering

Na de derivatisering wordt het hexaanextract gewassen met water om polaire derivatisatie-residu's te verwijderen.

## 2.4 Analyse

Aan de ingedampde extracten wordt een recovery standaard toegevoegd. De extracten worden geanalyseerd met een gaschromatograaf uitgerust met een massaspectrometrische detector (GC/MS). De detectie gebeurt in SIM-modus. De identificatie gebeurt aan de hand van de retentietijden in de ionenchromatogrammen en door vergelijking van de relatieve intensiteiten van de m/z signalen van de isotoopclusters. De kwantificering gebeurt door integratie van de piekoppervlakken behorend bij de chromatogrammen van de meest intense ionen. Er wordt gebruik gemaakt van de inwendige standaard methode, waarbij gekende hoeveelheden van koolstof-13 of deuterium gemerkte componenten als interne standaard voor de extractie aan het staal worden toegevoegd.

Gezien het sterk uiteenlopend extractierendement van de alkylfenolen en de beperkte keuze aan gemerkte alkylfenolen moet de kalibratiestandaard de volledige analyse doorlopen. Bij de analyse van vaste matrices en van verontreinigde waterstalen die eerst aan extractie onderworpen worden, kan het recuperatierendement van de interne standaarden berekend worden ten opzichte van een zogenaamde controlestandaard. Dit is een standaard die bekomen wordt door een mengsel van de gebruikte interne standaarden te derivatiseren zonder voorafgaandelijke extractie. Minstens vier isotoop-gemerkte fenolen worden als interne standaard gebruikt waarbij de volgende steeds aanwezig zijn :  $^{13}C_6$ - of  $D_5$ - of  $D_6$ -fenol,  $D_3$ -2,4-dimethylfenol,  $^{13}C_6$ -pentachloorfenol en een andere gemerkte gechloroerde fenol. Bijkomend kan gebruik gemaakt worden van o.a.  $^{13}C_6$ -4-chloorfenol,  $D_5$ -2-chloorfenol,  $^{13}C_6$ -2,4-dichloorfenol,  $^{13}C_6$ -2,4,5-trichloorfenol,  $^{13}C_6$ -2,4,6-trichloorfenol,  $^{13}C_6$ -2,3,4,5-tetrachloorfenol,  $D_8$ -o-cresol.

Als recovery standaard komt elke apolaire verbinding in aanmerking die niet in de stalen aanwezig is en vergelijkbare retentietijd heeft als de fenolderivaten. Voorbeelden zijn :

$^{13}C_{12}$ -4,4'-dichloorbifenyyl (=  $^{13}C_{12}$ -PCB-15), D10-bifenyyl en  $^{13}C_6$ -dichloorbenzeen.

Het gebruik van verbindingen zoals D4-dichloorfenol (als interne standaard) of D4-dichloorbenzeen (als recovery standaard) moet vermeden worden wegens interferentie op de ionenclusters door eventueel aanwezige natieve componenten.

## 3 APPARATUUR EN MATERIALEN

- 3.1 analytische balans met een afleesnauwkeurigheid van 0,1 mg
- 3.2 bovenweger met een afleesnauwkeurigheid van 0,01 g
- 3.3 mortier en stamper (porcelein)
- 3.4 ultrasoonbad
- 3.5 scheidrechters (100-250-500-1000 ml)
- 3.6 injectiespuiten van 50  $\mu$ l voor het doperen met interne standaard en 'recovery' standaard
- 3.7 eenheid voor indampen onder stikstofstroom met regelbaar debiet
- 3.8 gradueerde puntbuizen
- 3.9 pipetten van 1 en 5 ml (Eppendorf)
- 3.10 maatcilinder (50 ml)
- 3.11 trechters
- 3.12 voor de filtratie van peilputwaters: borosilicaatglasvezelfilters conform de specificaties opgelegd in EN 872, d.w.z. vrij van bindmiddel, met een gewicht van 50 tot 100 g/m<sup>2</sup> en getest met 200 ml van een referentiesuspensie van 50 mg/l microkristallijn cellulose (TLC grade of

- equivalent), waarbij de weerhouden hoeveelheid gesuspendeerde deeltjes tussen 90% en 100% moet gelegen zijn
- 3.12 GC-MS bestaande uit een capillaire gaschromatograaf, een autosampler, een lage resolutie massaspectrometer van het quadropool-type en een PC met sturings- en dataverwerkingsprogrammatuur
- 3.13 fused silica GC-kolom met apolaire stationaire fase, bv. DB-XLB, 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm
- 3.14 injectiespuit van 10 µl
- 3.15 glazen monsterflesjes (penicillineflesjes) van 2 ml
- 3.16 glazen monsterflesjes van 20 ml

#### 4 REAGENTIA EN OPLOSSINGEN

- 4.1 dichloormethaan: voor residu-analyse
- 4.2 n-hexaan: voor residu-analyse
- 4.3 methanol: pro analyse
- 4.4 iso-octaan: pro analyse
- 4.5 iso-propanol: pro analyse
- 4.6 azijnzuuranhydride: pro analyse
- 4.7 natriumhydroxide (NaOH): pro analyse 1N en 10N
- 4.8 zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>): pro analyse 1N en 10N
- 4.9 kaliumcarbonaat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>): pro analyse, poeder
- 4.10 natriumsulfaat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>): pro analyse, poeder, watervrij. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> wordt in de droogoven bewaard bij 130°C
- 4.11 blanco water: water dat geen fenolische of andere interfererende componenten bevat

De hieronder beschreven werkwijze vertrekt van vaste producten waarbij de hoofdstandaarden zelf aangemaakt worden. In de handel zijn echter reeds bereide en gecertificeerde oplossingen beschikbaar.

- 4.14 natieve fenolen:
- van elke fenolverbinding wordt vanuit zuiver standaardmateriaal een afzonderlijke hoofdstandaard van bv. 1000 µg/g bereid in iso-octaan
- 4.15 deuterium en koolstof-13 gemerkte fenolen:
- er wordt een afzonderlijke hoofdstandaard bereid van bv. 200 µg/g in iso-octaan, uitgaande van zuiver standaardmateriaal of van oplossingen die verkrijgbaar zijn in de handel
- 4.16 doperingsoplossing interne standaarden:
- uit de bovenstaande hoofdstandaardoplossingen van deuterium en koolstof-13 gemerkte fenolen wordt een verdunning gemaakt in iso-octaan die elke component bevat in een concentratie van bv. 25 µg/g
- 4.17 doperingsoplossing kalibratiestandaards:
- uitgaande van de bovenstaande hoofdstandaardoplossingen van natieve fenolen wordt een verdunning gemaakt in iso-octaan die elke verbinding bevat in een concentratie van bv. 25 µg/g
- 4.18 recovery-standaard:
- <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-4,4'-dichloorbifenyyl is in de handel te verkrijgen als in oplossing. Deze wordt verdund tot bv. 20 µg/g in iso-octaan

#### 5 MONSTERBEWARING EN –VOORBEHANDELING

Bij de monsternamen wordt gebruik gemaakt van bruine glazen flessen, afgesloten met glazen stoppen of plastic stoppen met teflon inlage. Waterstalen mogen in geen geval in plastic recipiënten worden genomen.

De stalen worden geconserveerd door aanzuren met HCl tot pH 4 en additie van CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (1 gram per liter). De bewaring gebeurt bij 4°C en in het donker. Grondwaterstalen (gewoonlijk

bemonsterd in het kader van bodemonderzoek) worden onmiddellijk na aankomst gefiltreerd over een geschikte glasvezelfilter met specificaties zoals vermeld onder 3.

Van bodemstalen worden deeltjes (hout, keien, ...) met een diameter groter dan 4 mm voorafgaandelijk verwijderd. Dit kan handmatig gebeuren (het bodemstaal wordt daarbij uitgespreid in een dunne laag) ofwel door te zeven. Afvalresten worden niet verwijderd.

Bodem en vaste afvalstoffen worden binnen de 14 dagen geanalyseerd, waterstalen binnen de 7 dagen. Diepgevroren zijn waterstalen tot 6 maanden houdbaar. De extracten kunnen 40 dagen bewaard worden.

## 6 ANALYSEPROCEDURE

### 6.1 Extractieprocedure

Waterstalen: directe derivatisering

Weinig verontreinigd water (drinkwater, proper grondwater) kan zonder voorafgaandelijk extractie gederivatiseerd worden. Eerst worden de gemerkte interne standaarden toegevoegd en de pH wordt op 11-12 gebracht met NaOH 10N :

- leg de scheidrechter plat en breng enkele milliliters iso-propanol in de bol van de scheidrechter; voeg vervolgens met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doperingsoplossing interne standaarden toe, zodanig dat de concentratie van elke gemerkte fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen; voeg enkele ml blanco water toe
- weeg de monsterfles tot op 0,1 g nauwkeurig
- breng de volledige inhoud van de monsterfles (typisch 500-1000 ml) over in de scheidrechter
- weeg de lege monsterfles en bepaal het gewicht en hieruit het volume van de oorspronkelijke inhoud
- breng het monster op pH 11-12 met NaOH 10N
- behandel verder zoals beschreven in 6.2

Sterk verontreinigde waterstalen

Waterstalen die niet direct gederivatiseerd kunnen worden omwille van matrixinterferenties worden eerst zuur geëxtraheerd met dichloormethaan, waarna de fenolen teruggeëxtraheerd worden met een NaOH-oplossing:

- leg de scheidrechter plat en breng enkele milliliters iso-propanol in de bol van de scheidrechter; voeg vervolgens met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doperingsoplossing interne standaarden toe, zodanig dat de concentratie van elke gemerkte fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen; voeg enkele ml blanco water toe
- weeg de monsterfles tot op 0,1 g nauwkeurig
- breng de volledige inhoud van de monsterfles (typisch 500-1000 ml) over in de scheidrechter
- weeg de lege monsterfles en bepaal het gewicht en hieruit het volume van de oorspronkelijke inhoud
- zuur het water aan tot een pH tussen 1 en 2 met H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N
- spoel de monsterfles na met 40 ml dichloormethaan en breng de spoelvloeistof over naar de scheidrechter
- schud het geheel krachtig gedurende ca. 2 min; laat de fasen ontmengen en vang de dichloormethaanfase op in een tweede scheidrechter
- extraheer de waterfase nog twee keer met 30 ml dichloormethaan
- extraheer de fenolen terug uit de verzamelde dichloormethaanfasen met drie keer 20 ml NaOH 1N
- behandel de NaOH-oplossing verder zoals beschreven in 6.3

Bodem en vast afval

Het monster wordt eerst gehomogeniseerd door omroeren en/of langdurig schudden.

- weeg 1 tot 5 gram bodem af in een vial van 20 ml en voeg een gekende hoeveelheid interne standaardoplossing toe, zodanig dat de concentratie van elke gemerkte fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen (indien hoge concentraties fenolen verwacht worden kan minder staal ingewogen worden)

- voeg 10 ml methanol toe en soniceer de vial gedurende 1 uur; schud de oplossing af en toe op
- laat bezinken en breng de bovenstaande methanolfase over in een scheitrechter die 60 ml NaOH (1N) bevat
- was de NaOH-oplossing met 20 ml dichloormethaan
- behandel de NaOH-oplossing verder zoals beschreven in 6.3

#### Kalibratiestandaard voor waterstalen (directe derivatisering)

- leg de scheitrechter plat en breng enkele ml iso-propanol in de bol van de scheitrechter; voeg met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doeringsoplossing interne standaarden toe aan de iso-propanol, zodanig dat de concentratie van elke gemerkte fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen
- voeg daarna met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doeringsoplossing kalibratiestandaard toe aan de iso-propanol, zodanig dat de concentratie van elke natieve fenol in het eindextract ca. 1000 ng/g zal bedragen
- voeg 500 ml blanco water toe
- breng het monster op pH 11-12 met NaOH 10N
- behandel verder zoals beschreven in 6.2

#### Kalibratiestandaard voor waterstalen (derivatisering na extractie)

- leg de scheitrechter plat en breng enkele ml iso-propanol in de bol van de scheitrechter; voeg met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doeringsoplossing interne standaarden toe aan de iso-propanol, zodanig dat de concentratie van elke gemerkte fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen
- voeg daarna met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doeringsoplossing kalibratiestandaard toe aan de iso-propanol, zodanig dat de concentratie van elke natieve fenol in het eindextract ca. 1000 ng/g zal bedragen
- zuur het water aan tot een pH tussen 1 en 2 met H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N
- spoel de monsterfles na met 40 ml dichloormethaan en breng de spoelvloeistof over naar de scheitrechter
- schud het geheel krachtig gedurende ca 2 min; laat de fasen ontmengen en vang de dichloormethaanfase op in een tweede scheitrechter
- extraheer de waterfase nog twee keer met 30 ml dichloormethaan
- extraheer de fenolen terug uit de verzamelde dichloormethaanfasen met drie keer 20 ml NaOH 1N
- behandel de resulterende NaOH-oplossing zoals beschreven in 6.3

#### Kalibratiestandaard voor vaste stalen

- breng 10 ml methanol in een vial van 20 ml
- voeg met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de natieve fenolen en interne standaarden toe, zodanig dat de concentratie van elke fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen
- soniceer de vial gedurende 1 uur; schud de oplossing af en toe op
- breng de methanolfase over in een scheitrechter die 60 ml NaOH (1N) bevat
- was de NaOH-oplossing met 20 ml dichloormethaan
- behandel de NaOH-oplossing verder zoals beschreven in 6.3

#### Controlestandaard

- de controlestandaard laat toe de terugvinding van de interne standaarden te bepalen voor waterstalen (in geval van derivatisering na extractie) en voor vaste stalen
- leg de scheitrechter plat en breng enkele ml iso-propanol in de bol van de scheitrechter; voeg met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de doeringsoplossing interne standaarden toe aan de iso-propanol, zodanig dat de concentratie van elke gemerkte fenol in het eindextract ca. 500 ng/g zal bedragen
- voeg 60 ml NaOH 1N toe
- behandel verder zoals beschreven onder 6.3

## 6.2 Directe derivatisering

- voeg aan het basische gemaakte monster 2,5 g  $K_2CO_3$  toe (0,5g/100 ml)
- derivatiseer de fenolen door aan de waterfase 1 ml azijnzuuranhydride toe te voegen
- schud krachtig gedurende 4 min en laat 10 min rusten
- extraheer de fenolderivaten met 50 ml hexaan; schud krachtig gedurende 4 min
- laat de waterfase af en was de hexaanafase met enkele ml blanco water
- laat de hexaanafase af over een filter gevuld met  $Na_2SO_4$  in een geïnduceerde puntbuis
- damp in onder een stikstofstroom tot 1 ml
- voeg met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de werkoplossing recovery-standaard toe, zodanig dat de concentratie in het eindextract ongeveer 500 ng/g zal bedragen

## 6.3 Derivatisering na extractie

- breng de NaOH-oplossing op pH 7 met  $H_2SO_4$  (voeg eerst 5,5 ml 10N toe en daarna enkele ml 1N). Bij een te hoge pH-waarde zal de derivatiseringsreactie niet doorgaan; het is absoluut noodzakelijk om de pH van de NaOH oplossing op 7 te brengen.
- voeg aan de 60 ml NaOH-oplossing 60 ml  $K_2CO_3$  (0,1M) oplossing toe toe
- derivatiseer de fenolen door aan de waterfase 1 ml azijnzuuranhydride toe te voegen
- schud krachtig gedurende 4 min en laat 10 min rusten
- extraheer de fenolderivaten met 5 ml hexaan; schud krachtig gedurende 4 min
- laat de waterfase af en was de hexaanafase met enkele ml blanco water
- laat de hexaanafase af over een filter gevuld met  $Na_2SO_4$  in een geïnduceerde puntbuis
- damp in onder een stikstofstroom tot 1 ml
- voeg met een injectiespuit een gekende hoeveelheid van de werkoplossing recovery-standaard toe, zodanig dat de concentratie in het eindextract ongeveer 500 ng/g zal bedragen

## 6.4 GC-MS analyse

### Meting

De staaextracten, het extract van de kalibratiestandaard en het extract van de controlestandaard worden geanalyseerd met GC-MS. Daarbij wordt 1  $\mu$ l splitless in de gaschromatograaf geïnjecteerd. Alternatieve injectietechnieken zoals on-column of groot-volume injectie kunnen toegepast worden, eventueel met aanpassing van de concentraties van kalibratiestandaard, recoverystandaard en interne standaarden. De chromatografische scheiding van de componenten wordt normaal uitgevoerd op een apolaire capillaire kolom met chemisch gebonden fase.

De detectie van de componenten gebeurt met een lage resolutie massaspectrometer. De massaspectrometer wordt ingesteld naar maximale respons voor de ionen 131, 219, 264 en 414 m.b.v. het referentiegas PFTBA. De opname van het chromatogram gebeurt in SIM met selectie en registratie van de karakteristieke ionen (bijlage 1). De typische GC-MS werkvoorwaarden voor de analyse zijn weergegeven in bijlage 2.

Uit het totale geregistreerde signaal worden specifieke ionenchromatogrammen van de te analyseren fenolen, de isotoop-gemerkte interne standaarden en de 'recovery'-standaard geëxtraheerd. Voor elke verbinding worden 2 ionen gekozen behorende bij de isotoop cluster van het moleculaire ion of een meer intens fragmention. Typische ionenchromatogrammen zijn voor de kalibratie-oplossing weergegeven in bijlage 3.

### Kalibratie

De kwantitatieve bepaling van de verschillende fenolen gebeurt volgens de zgn. interne standaard-methode. Hierbij wordt elke verbinding gekwantificeerd t.o.v. een bepaalde isotoop-gemerkte verbinding die bij het begin van de extractie aan het monster werd toegevoegd. Voor de keuze van de inwendige standaarden zie bijlage 1.



Minstens in het begin en aan het einde van elke analysereeks, en verder om een welbepaald aantal preparaten (bv. 8), wordt het kalibratie-extract geïnjecteerd. Van elke verbinding, natief of gemerkt, wordt de piekoppervlakte in het overeenkomstige meest intense ionenchromatogram gemeten. Relatieve responsfactoren voor elke te bepalen fenolverbinding worden vervolgens bepaald uit de verhouding van de oppervlakten van de natieve componenten en de overeenkomstige interne standaarden (zie 7.1).

In geval van derivatisering na extractie wordt het extract van de controlestandaard geïnjecteerd aan het begin van de meetreeks. Hiermee worden de relatieve responsfactoren van de isotoop-gemerkte interne standaarden bepaald uit de verhouding van de oppervlakten van de interne standaarden en de recovery-standaard (zie 7.3).

#### Identificatie

De aanwezigheid van natieve fenolen in de monsters wordt bevestigd op basis van de onderstaande gegevens en criteria:

- de registratie van een piek bij de karakteristieke m/z, met piekhoogte groter dan 3 keer de ruishoogte (helft van de 'peak-to-peak' ruis)
- de retentietijd in monster (RT') t.o.v. kalibratie-oplossing (RT), waarbij een maximale afwijking van 5 sec, vermeerderd met de waargenomen verschuiving voor de overeenkomstige interne standaard, wordt gehanteerd  $[RT + \Delta RT(IS) - 5 \text{ sec} \leq RT' \leq RT + \Delta RT(IS) + 5 \text{ sec}]$

De identificatie van interne standaarden is eveneens gebaseerd op de bovenstaande criteria. In bijlage 1 zijn de karakteristieke m/z van de natieve en gemerkte fenolen weergegeven, en staat voor elke natieve verbinding de overeenkomstige interne standaard vermeld. Van de geïdentificeerde pieken wordt de oppervlakte of alternatief de piekhoogte bepaald.

#### Kwantificering

Voor de monsterextracten worden de ionenchromatogrammen geregistreerd op identieke wijze als hierboven beschreven voor de standaardoplossingen. Van de geïdentificeerde fenolen worden de piekoppervlakten behorende bij het meest intense ion berekend. Uitgaande van de integratiewaarden voor het monster en de relatieve responsfactoren bepaald voor de kalibratiestandaard worden de gehalten van de verschillende verbindingen in het monster berekend (zie 7.2). De terugvindingen van de inwendige standaarden worden berekend aan de hand van hun relatieve responsfactor (zie 7.4).

## 7 BEREKENINGEN

### 7.1 Directe derivatisering (waterstalen)

Responsfactor van de natieve fenolen

Op basis van de geïntegreerde piekoppervlakten van de fenolen en de inwendige standaarden in de respectievelijke ionenchromatogrammen van de kalibratiestandaard wordt voor elke fenol de relatieve responsfactor (RRF) met behulp van onderstaande formule berekend.

$$RRF_x = \frac{A_x}{C_x} \cdot \frac{C_{IS}}{A_{IS}}$$

met

$A_x$  = piekoppervlakte van de component x in de kalibratiestandaard

$C_x$  = hoeveelheid van de component x gedopeerd in de kalibratiestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$C_{IS}$  = hoeveelheid van de inwendige standaard gedopeerd in de kalibratiestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$A_{IS}$  = piekoppervlakte van de inwendige standaard in de kalibratiestandaard

Responsfactor van de interne standaarden

In geval van directe derivatisering worden de responsfactoren van de interne standaarden berekend op basis van de geïntegreerde piekoppervlakken van de interne standaarden en van de recoverystandaard in de respectievelijke ionenchromatogrammen van de kalibratiestandaard. De RRF van elke interne standaard wordt berekend als volgt :

$$RRF_x = \frac{A_x}{C_x} \cdot \frac{C_{RS}}{A_{RS}}$$

met

$A_x$  = piekoppervlakte van de interne standaard x in de kalibratiestandaard

$C_x$  = hoeveelheid van de interne standaard x gedopeerd in de kalibratiestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$C_{RS}$  = hoeveelheid van de recoverystandaard gedopeerd in de kalibratiestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$A_{RS}$  = piekoppervlakte van de recoverystandaard in de kalibratiestandaard

Gehalte van de natieve fenolen in het monster

Gebruik makend van de geïntegreerde piekoppervlakken van een component en de inwendige standaard in de respectievelijke ionenchromatogrammen van het monster en rekening houdend met de relatieve responsfactor van de beschouwde component, kan de concentratie van de component in het water als volgt berekend worden :

$$C_x = \frac{I}{RRF_x} \cdot \frac{A_x}{A_{IS}} \cdot \frac{g_{IS}}{V}$$

met

$RRF_x$  = relatieve responsfactor van component x

$A_x$  = piekoppervlakte van de component in het monster

$A_{IS}$  = piekoppervlakte van de inwendige standaard in het monster

$g_{IS}$  = toegevoegde hoeveelheid inwendige standaard aan het staal ( $\mu\text{g}$ )

$V$  = volume monster in liter, waaraan de inwendige standaard toegevoegd werd (gravimetrisch bepaald met aanname van een dichtheid = 1000 g/l)

Recuperatierendement van de interne standaarden

De terugvinding van een interne standaard in het staaextract wordt berekend uit de geïntegreerde piekoppervlakken van de interne standaard en recovery-standaard in de respectievelijke ionenchromatogrammen, aan de hand van de relatieve responsfactor van de beschouwde interne standaard :

$$R_x = \frac{I}{RRF_x} \cdot \frac{A_x}{A_{RS}} \cdot g_{RS} \cdot 100$$

met

$R_x$  = terugvinding van interne standaard x in het extract (%)

$RRF_x$  = relatieve responsfactor van interne standaard x

$A_x$  = piekoppervlakte van interne standaard x in het extract

$A_{RS}$  = piekoppervlakte van de recovery-standaard in het extract

$g_{RS}$  = toegevoegde hoeveelheid recovery-standaard aan het extract ( $\mu\text{g}$ )



## 7.2 Derivatisering na extractie (waterstalen en vaste stalen)

Responsfactor van de natieve fenolen

Op basis van de geïntegreerde piekoppervlakken van de fenolen en de inwendige standaarden in de respectievelijke ionchromatogrammen van de kalibratiestandaard wordt voor elke fenol de relatieve responsfactor (RRF) met behulp van onderstaande formule berekend.

$$RRF_x = \frac{A_x}{C_x} \cdot \frac{C_{IS}}{A_{IS}}$$

met

$A_x$  = piekoppervlakte van de component x in de kalibratiestandaard

$C_x$  = hoeveelheid van de component x gedopeerd in de kalibratiestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$C_{IS}$  = hoeveelheid van de inwendige standaard gedopeerd in de kalibratiestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$A_{IS}$  = piekoppervlakte van de inwendige standaard in de kalibratiestandaard

Responsfactor van de interne standaarden

Op basis van de geïntegreerde piekoppervlakken van de interne standaarden en van de recovery-standaard in de respectievelijke ionchromatogrammen van de controlestandaard wordt voor elke gemerkte fenol de relatieve responsfactor (RRF) op de volgende wijze berekend :

$$RRF_x = \frac{A_x}{C_x} \cdot \frac{C_{RS}}{A_{RS}}$$

met

$A_x$  = piekoppervlakte van interne standaard x in de controlestandaard

$C_x$  = hoeveelheid van interne standaard x gedopeerd in de controlestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$C_{RS}$  = hoeveelheid van de recovery-standaard toegevoegd aan het extract van de controlestandaard ( $\mu\text{g}$ )

$A_{RS}$  = piekoppervlakte van de recovery-standaard in de controlestandaard

Gehalte van de natieve fenolen in het monster

Gebruik makend van de geïntegreerde piekoppervlakken van een component en de inwendige standaard in de respectievelijke ionchromatogrammen van het monster en rekening houdend met de relatieve responsfactor van de beschouwde component, kan de concentratie van de component in het bodem- of vaste afvalmonster, uitgedrukt in mg/kg ds, als volgt berekend worden :

$$C_x = \frac{I}{RRF_x} \cdot \frac{A_x}{A_{IS}} \cdot \frac{g_{IS}}{G} \cdot \frac{100}{ds}$$

met

$RRF_x$  = relatieve responsfactor van component x

$A_x$  = piekoppervlakte van de component in het monster

$A_{IS}$  = piekoppervlakte van de inwendige standaard in het monster

$g_{IS}$  = toegevoegde hoeveelheid inwendige standaard aan het staal ( $\mu\text{g}$ )

$G$  = afgewogen hoeveelheid monster in g, waaraan de inwendige standaard toegevoegd werd

$ds$  = droogrest in % (voor de bepaling zie CMA 2/II/A.1)

Voor watermonsters wordt de concentratie, in µg/l, als volgt berekend :

$$C_x = \frac{I}{RRF_x} \cdot \frac{A_x}{A_{IS}} \cdot \frac{g_{IS}}{V}$$

met

$RRF_x$ ,  $A_x$ ,  $A_{IS}$  zoals hierboven en

$V$  = volume monster in liter, waaraan de inwendige standaard toegevoegd werd (gravimetrisch bepaald met aanname van een dichtheid = 1000 g/l)

Recuperatierendement van de interne standaarden

De terugvinding van een interne standaard in een staaextract of in het extract van de kalibratiestandaard wordt berekend uit de geïntegreerde piekoppervlakken van de interne standaard en recovery-standaard in de respectievelijke ionchromatogrammen, aan de hand van de relatieve responsfactor van de beschouwde interne standaard :

$$R_x = \frac{I}{RRF_x} \cdot \frac{A_x}{A_{RS}} \cdot g_{RS} \cdot 100$$

met

$R_x$  = terugvinding van interne standaard x in het extract (%)

$RRF_x$  = relatieve responsfactor van interne standaard x

$A_x$  = piekoppervlakte van interne standaard x in het extract

$A_{RS}$  = piekoppervlakte van de recovery-standaard in het extract

$g_{RS}$  = toegevoegde hoeveelheid recovery-standaard aan het extract (µg)

### 7.3 Aantoonbaarheidsgrenzen voor de niet-gedetectedeerde fenolen in het monster

De laagst aantoonbare concentratie die voor de verbindingen in een monster kan gemeten worden is afhankelijk van de gevoeligheid van de detector, de aard van de matrix, de hoeveelheid monster die in behandeling genomen werd, het extractierendement, de efficiëntie van de monsterzuivering, de kwaliteit van de gebruikte reagentia, enz.. Voor de niet-gedetectedeerde verbindingen worden "<"-waarden gerapporteerd overeenkomend met of groter dan de aantoonbaarheidsgrenzen. De aantoonbaarheidsgrenzen dienen kleiner te zijn dan de gevraagde rapporteergrenzen. Een inschatting van de laagst detecteerbare concentratie voor de fenolen in het monster kan gebeuren aan de hand van de ruisgrootte en de piekhoogte van de inwendige standaard.

Voor bodem- en vaste afvalmonsters geldt :

$$AG_x = 3 \cdot \frac{1}{RRF_x} \cdot \frac{RG_x}{PH_{IS}} \cdot \frac{g_{IS}}{G} \cdot \frac{100}{ds}$$

Voor watermonsters heeft men :

$$AG_x = 3 \cdot \frac{1}{RRF_x} \cdot \frac{RG_x}{PH_{IS}} \cdot \frac{g_{IS}}{V} \cdot f$$

Hierbij zijn, naast de hierboven reeds gespecificeerde parameters:

$f$  = eventuele verdunningsfactor

$RG_x$  = de "peak-to-peak" ruisgrootte in het retentietijdsgebied van de component x

$PH_{IS}$  = de hoogte van de piek van de overeenkomstige inwendige standaard

Bij de berekening van de aantoonbaarheidsgrenzen wordt gebruik gemaakt van piekhoogten i.p.v. piekoppervlakten, ook al zijn de  $RRF_x$  gedefinieerd op basis van piekoppervlakten; aangezien aantoonbaarheidsgrenzen in wezen altijd maar schattingen zijn wordt deze benadering aanvaardbaar geacht.

## 8 KWALITEITSPARAMETERS

### 8.1 Responslineariteit

De werkwijze voor de bepaling van lineariteit is beschreven in CMA deel 6. Een controle van de lineariteit wordt uitgevoerd bij elke ernstige instrumentele ingreep. Indien niet aan lineariteit is voldaan mag overgeschakeld worden op een andere (bv. kwadratische) functie.

Stelt men bij de monsteranalyse een overschrijding van de bovenste lineaire grens vast, d.i. de hoogste geregistreerde oppervlakte in het lineaire gebied, dan moet de analyse hernomen worden startend van een met hexaan verdunde hoeveelheid monsterextract, voor zover het signaal van de inwendige standaarden nog voldoende intens is, of startend van een geringere hoeveelheid monster.

### 8.2 Gaschromatografische scheiding

De kolomkwaliteit wordt geverifieerd aan de hand van de scheiding van een kritisch paar, bijvoorbeeld 2,3,5,6-tetrachloorfenylacetaat en 2,3,4,6-tetrachloorfenylacetaat in het chromatogram van het kalibratie-extract. De scheiding dient volledig te zijn tot aan de basislijn.

### 8.3 Relatieve responsfactoren

Binnen eenzelfde analysereeks mogen de relatieve responsfactoren bekomen voor twee opeenvolgende injecties van de kalibratiestandaard (met tussentijdse analyse van monsterpreparaten) niet meer dan 20% van mekaar afwijken.

### 8.4 Blanco

Bij elke analysereeks wordt tenminste één procedureblanco bepaald. Hierbij wordt de volledige analyseprocedure gevolgd met blanco water in plaats van monster. Het geregistreerde chromatogram dient vrij te zijn van interfererende pieken die groter zijn dan 10% van de pieken geregistreerd voor het de monsters in de analysereeks. Voor meetwaarden die kleiner zijn dan 5 maal de gevraagde rapporteergrens mogen de interfererende pieken niet groter zijn dan de helft van de gevraagde rapporteergrens.

### 8.5 Minimum detecteerbare hoeveelheden (MDH)

Aan de hand van het chromatogram van de kalibratiestandaard kan voor elke verbinding de minimum detecteerbare hoeveelheid, in pg, berekend worden :

$$MDH_x = 3 \cdot \frac{RG_x}{PH_x} \cdot g_x$$

met

$RG_x$  = de peak-to-peak ruisgrootte aan de voet van de chromatogrampiek van component x

$PH_x$  = de hoogte van de piek van component x

$g_x$  = de hoeveelheid geïnjecteerde component x in pg

De minimum detecteerbare hoeveelheid moet van die aard zijn dat zonder problemen de gevraagde rapporteergrens kan gehaald worden.

### 8.6 Recuperatierendement

Matrixeffecten kunnen een invloed hebben op extractie en derivatisering en zullen zich manifesteren door een lager recuperatierendement van de interne standaarden. Verantwoorde kwantificering is slechts dan toegelaten indien het recuperatierendement van de inwendige standaarden minimaal 70% bedraagt voor directe derivatisering en 50% indien derivatisering na extractie toegepast werd.

### 8.7 Controlemonster

Op regelmatige basis wordt een controlemonster geanalyseerd. Van ten minste drie fenolen (bij voorkeur fenol, pentachloorfenol en een alkylfenol) worden de gehalten opgetekend in controlekaarten. De opgetekende waarden moeten voldoen aan de voor controlekaarten geldende criteria.

Indien geen gecertificeerd referentiemateriaal beschikbaar is mag gebruik gemaakt worden van een gedopeerd monster.

## 9 RAPPORTAGE

Vermeld in het analyseverslag het gehalte van de gedetecteerde verbindingen in mg/kg ds voor bodem- en vaste afval monsters en in µg/l voor watermonsters. Geef voor de niet gedetecteerde verbindingen de waargenomen aantoonbaarheidsgrenzen op ofwel monstertype afhankelijke rapportagegrenzen. Indien door matrixeffecten de terugvinding van de interne standaarden niet voldoet aan de gestelde eis dan moet dit in het verslag vermeld worden.

## 10 PRESTATIEKENMERKEN

Voor de prestatiekenmerken wordt verwezen naar CMA deel 6.

## 11 REFERENTIES

- EN 12673, Water Quality – Gas chromatographic determination of some selected chlorophenols in water.
- ISO 8165, Water Quality - Determination of selected monovalent phenols.

## BIJLAGE 1: Specifieke ionen voor de fenylacetaatesters

Komponent	m/z(1)	m/z(2)	Overeenkomstige IS	m/z(1)	m/z(2)
fenol	<b>94</b>	66	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -fenol	<b>100</b>	70
2-methylfenol	<b>107</b>	108	D <sub>8</sub> -2-methylfenol	<b>113</b>	115
3-methylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
4-methylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
2,3-dimethylfenol	<b>107</b>	108	D <sub>3</sub> -2,4-dimethylfenol	<b>109</b>	110
2,4-dimethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
2,5-dimethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
2,6-dimethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
3,4-dimethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
3,5-dimethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
2-ethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
3-ethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
4-ethylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
4-chloor-3-methylfenol	<b>107</b>	108	"	"	"
2-isopropylfenol			"	"	"
2,3,5-trimethylfenol			"	"	"
2-chloorfenol	<b>128</b>	130	<sup>13</sup> C-4-chloorfenol	<b>134</b>	136
3-chloorfenol	<b>128</b>	130	"	"	"
4-chloorfenol	<b>128</b>	130	"	"	"
2,6-dichloorfenol	<b>162</b>	164	<sup>13</sup> C-2,4-dichloorfenol	<b>168</b>	170
2,5-dichloorfenol	<b>162</b>	164	"	"	"
2,4-dichloorfenol	<b>162</b>	164	"	"	"
3,5-dichloorfenol	<b>162</b>	164	"	"	"
2,3-dichloorfenol	<b>162</b>	164	"	"	"
3,4-dichloorfenol	<b>162</b>	164	"	"	"
2,4,6-trichloorfenol	<b>196</b>	198	<sup>13</sup> C-2,4,5-trichloorfenol	202	<b>204</b>
2,3,6-trichloorfenol	<b>196</b>	198	"	"	"
2,3,5-trichloorfenol	<b>196</b>	198	"	"	"
2,4,5-trichloorfenol	<b>196</b>	198	"	"	"
2,3,4-trichloorfenol	<b>196</b>	198	"	"	"
3,4,5-trichloorfenol	<b>196</b>	198	"	"	"
2,3,5,6-tetrachloorfenol	<b>232</b>	230	<sup>13</sup> C-2,3,4,5-tetrachloorfenol	236	<b>238</b>
2,3,4,6-tetrachloorfenol	<b>232</b>	230	"	"	"
2,3,4,5-tetrachloorfenol	<b>232</b>	230	"	"	"
pentachloorfenol	<b>266</b>	268	<sup>13</sup> C-pentachloorfenol	272	<b>274</b>
Recovery standaard <sup>13</sup> C-PCB 15	<b>234</b>	236			

Voor <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-2,4,5-trichloorfenol, <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-2,3,4,5-tetrachloorfenol en <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-pentachloorfenol worden massa's gekozen die niet overeenstemmen met de meest intense massa's van de isotoopcluster. Om de bijdrage van ionen behorende bij de isotoopcluster van de overeenkomstige natieve fenol bij de ionen van de koolstof-13 gemerkte verbinding te voorkomen, worden voor de gemerkte verbinding de massa's behorende bij het M+2 ion genomen.

De m/z-waarden gebruikt voor kwantificatie zijn in de bovenstaande tabel in vet weergegeven.

BIJLAGE 2: Typische GC/MS werkvoorwaarden voor de bepaling van fenolen

Kolomspecificaties : DB-XLB, 30 m x 0,25 mm x 0,25 mm

Draaggas en druk : Helium, 75 kPa

Injectie :

Modus : splitless  
Injectievolume : 1 µl hexaan eindextract  
Injectietemperatuur: 250°C

GC-oven programmatie :

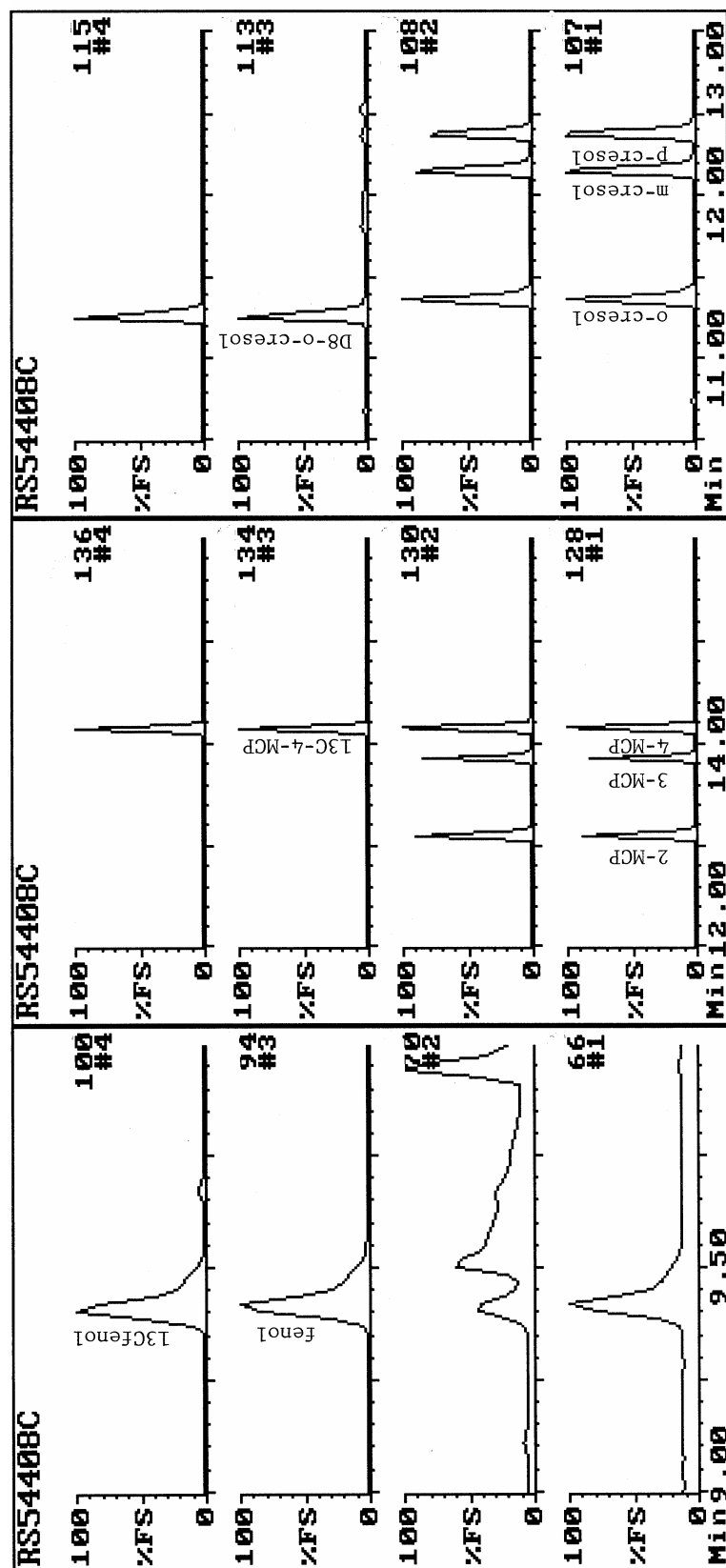
55°C : 1 min  
55°C --> 205°C : 6°C/min  
205°C --> 305°C : 25°C/min  
  
totale duur : 30 min

MS-instellingen :

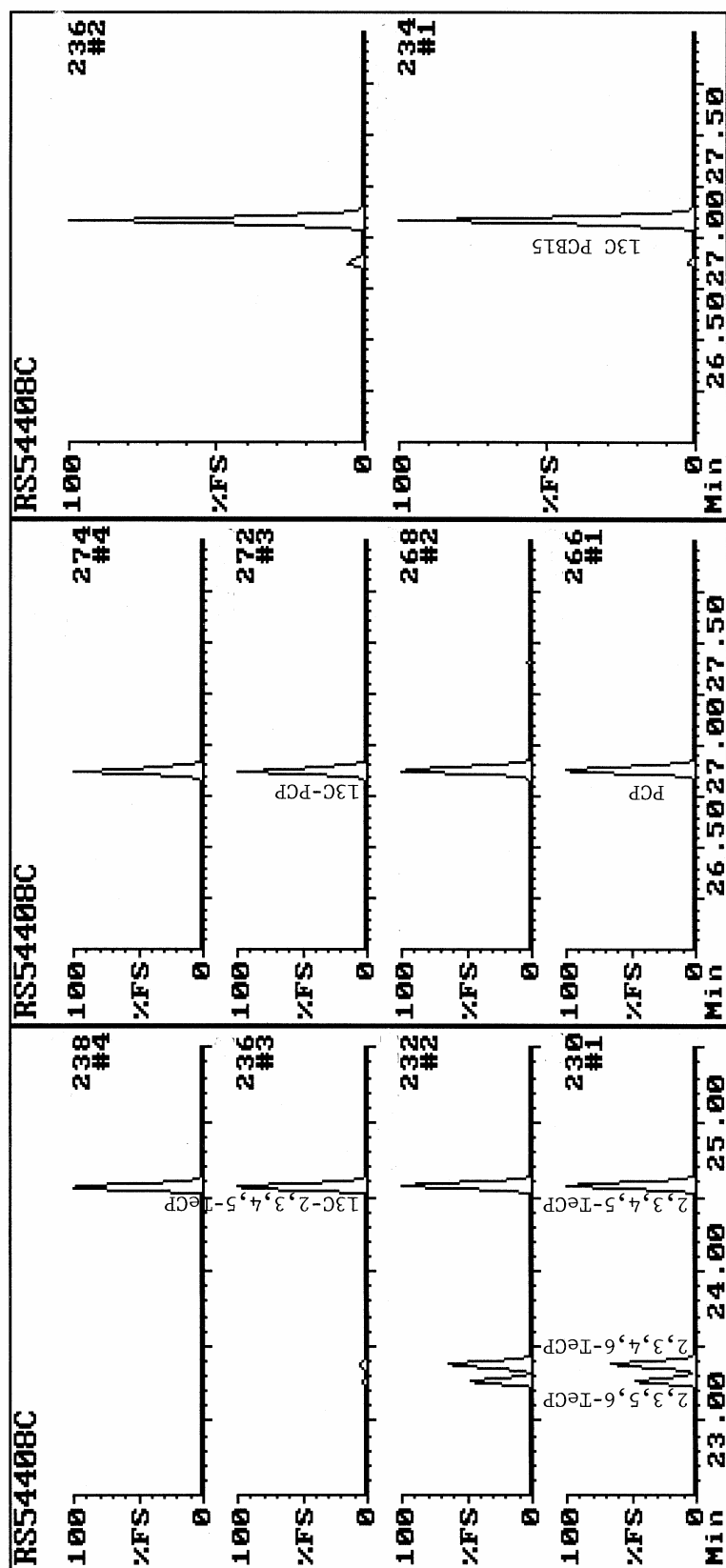
Interfacetemperatuur : 280°C  
Brontemperatuur : 230°C  
Ionen : zie bijlage 1



## BIJLAGE 3: Ionenchromatogrammen van het kalibratie-extract



## Bijlage 3 : (vervolg)



## Bijlage 3: (vervolg)

