

POLYCHLOORBIFENYLEN IN OLIËN

1 DOEL EN TOEPASSINGSGBIED

Deze procedure vervangt de procedure CMA/3A van december 2001.

PCB's werden op industriële schaal in de handel gebracht rond 1930. Hun thermische en chemische stabiliteit, alsook hun lage dampspanning en hoge elektrische weerstand, maakte hen uiterst geschikt om te gebruiken als niet ontvlambare oliën in ondermeer elektrische transformatoren en condensatoren. PCB's werden destijds ook aangewend als weekmakers in rubber, inkt en lijmen. Juist door hun alom gebruik vinden deze stoffen gemakkelijk hun weg naar de omgeving en vervolgens naar de voedselketen, waarin zij omwille van hun grote persistentie, vergelijkbaar met organochloorpesticiden, en hun hoge vetoplosbaarheid geaccumuleerd worden.

PCB's zouden een lage acute toxiciteit vertonen. Langdurige blootstelling leidt echter tot leverschade, verstoring van de stofwisseling, het perifere zenuwstelsel en het immunologisch systeem. PCB's zijn vermoedelijk kankerverwekkend en teratogeen (misvorming-verwekkend). Ook worden aan PCB's oestrogene eigenschappen toegewezen, inwerkend op de mannelijke vruchtbaarheid.

Deze methode beschrijft de PCB-bepaling in oliën met electronenvangstdetectie (ECD) conform NBN-EN-12766-1. Voor laboratoria die massaspectrometrische detectie wensen te gebruiken is een variant opgenomen, afgeleid van DIN 38407-3 (2000).

De hieronder beschreven methode wordt gebruikt voor de bepaling van volgende verbindingen in olie:

- 2,4,4'-trichloorbifenyyl (PCB 28)
- 2,2',5,5'-tetrachloorbifenyyl (PCB 52)
- 2,2',4,5,5'-pentachloorbifenyyl (PCB 101)
- 2,3',4,4',5-pentachloorbifenyyl (PCB 118)
- 2,2',3,4,4',5'-hexachloorbifenyyl (PCB 138)
- 2,2',4,4',5,5'-hexachloorbifenyyl (PCB 153)
- 2,2',3,4,4',5,5'-heptachloorbifenyyl (PCB 180)

Verplichte normmethoden in functie van de matrix en bijhorende definitie.

De bepaling van het PCB-gehalte in isolerende vloeistoffen gebeurt steeds met de normmethode EN-61619. Deze normmethode werd als Belgische norm geregistreerd door het BIN in 1997 en heeft de code NBN EN 61619. Het totaalgehalte wordt aangeduid als de som van alle identificeerbare en kwantificeerbare congenere (maximaal 109).

De bepaling van het PCB-gehalte in aardolieproducten en afgewerkte olie, uitgezonderd de isolerende vloeistoffen, geschiedt via de normmethoden EN 12766-1 en prEN 12766-2, deze methoden zijn opgenomen in de voorliggende procedure CMA/3/A.

De isolerende vloeistoffen zijn vloeistoffen toegepast in transformatoren, condensatoren en andere apparaten om de warmteoverdracht te beperken.

Aardolieproducten zijn alle producten gewonnen uit petroleum, een vloeibaar mengsel van verschillende vluchtige koolwaterstoffen dat in de aardkorst voorkomt, alsook de voormelde basisproducten met additieven.

Afgewerkte olie zijn alle soorten smeer- of industriële olie, op minerale of synthetische basis, in het bijzonder olie voor verbrandingsmotoren, transmissiesystemen alsmede olie voor machines, turbines, warmteoverdracht en hydraulische systemen waarvan de houder zich ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen.

Richtlijn 96/59/EG van de Raad van 16 september 1996 betreffende de verwijdering van polychloorbifenylen en polychoorterfenylen (PCB's/PCT's) en bijhorend normenkader

Een isolerende vloeistof is PCB-houdend indien het PCB-gehalte bekomen met de normmethode EN61619 hoger is dan de grenswaarde van 50 mg/kg, zoals opgenomen in de Europese Richtlijn 96/59/EG en de daaruit omgezette vigerende Vlaamse wetgeving.

Voor de bepaling van het PCB-gehalte in isolerende vloeistoffen in het kader van de verwijdering aan het einde van de gebruiksduur, zoals bepaald in art. 5.5.8.5 van Vlarea, wordt getoetst aan de norm van 500 mg/kg.

Het totaal PCB-gehalte in aardolieproducten en afgewerkte olie, uitgezonderd de isolerende vloeistoffen, wordt gedefinieerd als 5 maal de som van de gehalten van PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153 en PCB-180 (6 congenere).

Aardolieproducten en afgewerkte olie zijn PCB-houdend indien het voornoemde totaal PCBgehalte hoger is dan de grenswaarde van 50 mg/kg, zoals opgenomen in de Europese Richtlijn 96/59/EG en de daaruit omgezette vigerende Vlaamse wetgeving.

2 PRINCIPE

De oliemonsters worden verdund in hexaan.

Een aantal zuiveringsprocedures kan toegepast worden om de invloed van de meeste interferenties op de kwantitatieve bepaling van de PCB congenere te verhinderen.

De detectie gebeurt met een gaschromatograaf, uitgerust met een elektronenvangst detector (ECD) of een massaspectrometrische detector (MS). De identificatie gebeurt aan de hand van retentietijden en, in geval van MS-detectie, op basis van de verhoudingen tussen de intensiteiten van de in de SIM methode (selected ion monitoring) gemeten specifieke ionen.

Voor de kwantificering wordt gebruik gemaakt van de interne standaardmethode. Het gebruik van de MS-detector laat toe 13C-gemerkte inwendige standaarden aan te wenden, waardoor gecorrigeerd kan worden voor mogelijke verliezen tijdens de opwerking.

3 MONSTERBEWARING

Bij de monsternamen wordt gebruik gemaakt van bruine glazen flessen, afgesloten met glazen stoppen of plastic stoppen met teflon inlage.

Bij koele en donkere bewaarcondities zijn de stalen tot één maand houdbaar.

4 APPARATUUR EN MATERIAAL

- 4.1 analytische balans met een afleesnauwkeurigheid van 0,1 mg
- 4.2 bovenweger met een afleesnauwkeurigheid van 0,01 g
- 4.3 injectiespuiten van 250 µl en 50 µl
- 4.4 eenheid voor indampen onder stikstofstroom met regelbaar debiet
- 4.5 maatcilinder (100 ml)
- 4.6 kolfjes van 5 ml, 10 ml en 50 ml
- 4.7 transferpipetten voor het overbrengen van extracten en het afspoelen van de glaswand gedurende het indampen
- 4.8 in geval van zuivering door kolomchromatografie: gesilaniseerde kwartswol en chromatografische kolom met een diameter van 10 mm en een lengte van 15 tot 50 cm en met gefritteerde basis en teflonkraan. De kolommen zijn voorzien van een slijpstuk bovenaan waarop een broomtrechter geplaatst kan worden
- 4.9 GC bestaande uit een capillaire gaschromatograaf, een split/splitless, een on-column of een PTV-injectiepoort, een autosampler, een lage resolutie massaspectrometer van het

quadrupool-type (MS) of een elektronenvangstdetector (ECD) en een PC met sturings- en dataverwerkingsprogrammatuur.

Indien groot-volume injectie toegepast wordt, moeten de concentraties van alle staal- en standaardoplossingen in verhouding aangepast worden.

- 4.10 capillaire kolom met apolaire fase (5% fenylmethylsilicone of overeenkomstige carboraancopolymeer) met een lengte van 25 tot 60 m, een inwendige diameter van 0,22 tot 0,32 mm en een filmdikte van 0,1 tot 0,33 µm.

Opmerkingen in verband met de resolutie van de chromatografische kolom:

De meest geschikte kolommen zijn DB5-ms en HT-5. Bij gebruik van DB5-ms is er coëlutie van PCB 28 en PCB 31. PCB 138 en PCB 163 zijn op beide kolommen niet volledig gescheiden. PCB 101 coëluëert op HT-5 met PCB 56 en PCB 60. Dit maakt de HT-5 kolom minder geschikt voor ECD-gebruikers. In geval van MS-detectie kan door selectie van specifieke ionen voor pentachloorbifenylen PCB 101 onderscheiden worden van PCB 56 en PCB 60 (tetrachloorbifenylen). Bijkomende reden voor het gebruik van HT-5 in geval van MS-detectie is dat de HT-5 kolom gelijkwaardige scheiding van de PCB congenere toelaat bij kortere kolomlengten (25 m i.p.v. 60 m), waardoor kortere analysetijden mogelijk zijn.

In elk geval moet de kolom voldoen aan de eisen i.v.m. resolutie gesteld in 10.2.

5 REAGENTIA EN OPLOSSINGEN

Reagentia en materialen voor clean-up:

- 5.1 n-hexaan, n-heptaan, iso-octaan, cyclohexaan of nonaan van hoge zuiverheid, vrij van PCB verontreiniging en van verbindingen die op ECD interfereren
- 5.2 natriumsulfaat (Na₂SO₄): granulair en watervrij; een geopende verpakking wordt uitgegoten in een schaal en bewaard bij 130°C in een droogoven
- 5.3 zwavelzuur (H₂SO₄): 96% – 98% (m/m)
- 5.4 natriumhydroxide (NaOH): p.a
- 5.5 blanco-olie: niet gebruikte olie, vrij van PCB; geschikt is bvb. Castrol RL 110

Zuiveringsstap voor GC/MS:

- 5.6 silica: een laag van ongeveer 25 mm silica (70-230 mesh) wordt in een schaal verwarmd gedurende minstens 16 u op 130 °C en vervolgens bewaard bij 130 °C in de droogoven; voor gebruik laat men de schaal in een exsiccator tot kamertemperatuur afkoelen
- 5.7 silica/H₂SO₄ 44%: giet 28 g geactiveerde silica en 22 g geconcentreerd zwavelzuur in een erlenmeyer en schud het geheel tot alle agglomeraten verdwenen zijn
- 5.8 silica/NaOH (1N) 33 %: voeg aan 33,5 g geactiveerde silica 16,5 g 1 N NaOH oplossing toe, sluit de erlenmeyer luchtdicht af en schud het geheel tot alle agglomeraten verdwenen zijn

Zuiveringsstap voor ECD:

- 5.9 silica/H₂SO₄ 44%: (5.7)
- 5.10 Solid Phase Extraction: adaptor voor het in serie plaatsen van SPE patronen en een afzuigeenheid (optioneel)
- 5.11 silica/benzeensulfonzuur SPE adsorbens: patroon van 3 ml, beladen met 500 mg adsorbens met korrelgrootte 40 mesh
- 5.12 silicagel SPE adsorbens : patroon van 3 ml, beladen met 500 mg adsorbens met korrelgrootte 40 mesh

Alternatieve opzuiveringen:

- 5.13 Florisil : 70 tot 140 mesh, wordt geactiveerd in een droogoven bij 140°C gedurende 16 u.; voor gebruik laat men in een exsiccator tot kamertemperatuur afkoelen
- 5.14 koperpoeder
- 5.15 dimethylsulfoxyde (DMSO) : p.a.
- 5.16 acetonitrile: p.a.
- 5.17 aceton: voor residu-analyse
- 5.18 isopropanol p.a.
- 5.19 natriumsulfiet, watervrij.
- 5.20 salpeterzuur p.a.

- 5.21 tetrabutylammoniumwaterstofsulfietreagens (TBA-reagens):
- voeg 5 natriumsulfiet toe aan een 0,1 M oplossing van tetrabutylammoniumwaterstofsulfiet in isopropanol.

Bij het aanmaken van de standaardoplossingen wordt bij voorkeur nonaan gebruikt om verdampingsverliezen te beperken. In plaats van nonaan mag ook ander alkaan gebruikt worden (5.1). Bij voorkeur wordt voor het eindconcentraat en de kalibratiestandaard hetzelfde solvent gebruikt. Alle oplossingen kunnen zowel volumetrisch als gravimetrisch aangemaakt worden

Natieve PCB congenen

Van de onderstaande PCB-congenen worden, uitgaande van zuivere producten, moederoplossingen van ongeveer 100 µg/ml in nonaan gemaakt:

- 5.22 2,4,4'-trichloorbifenyyl (PCB 28)
5.23 2,2',5,5'-tetrachloorbifenyyl (PCB 52)
5.24 2,2',4,5,5'-pentachloorbifenyyl (PCB 101)
5.25 2,3',4,4',5-pentachloorbifenyyl (PCB 118)
5.26 2,2',3,4,4',5'-hexachloorbifenyyl (PCB 138)
5.27 2,2',4,4',5,5'-hexachloorbifenyyl (PCB 153)
5.28 2,2',3,4,4',5,5'-heptachloorbifenyyl (PCB 180)

Dergelijke moederoplossingen zijn ook in de handel verkrijgbaar

Inwendige standaarden voor MS-detectie

Er wordt gebruik gemaakt van moederoplossingen van de onderstaande C13-gemerkte PCB congenen. Deze oplossingen zijn in de handel verkrijgbaar en bevatten ongeveer 50 µg/ml PCB congener in nonaan.

- 5.29 C13-2,4,4'-trichloorbifenyyl (C13-PCB 28)
5.30 C13-2,2',5,5'-tetrachloorbifenyyl (C13-PCB 52)
5.31 C13-2,2',4,5,5'-pentachloorbifenyyl (C13-PCB 101)
5.32 C13-2,3',4,4',5-pentachloorbifenyyl (C13-PCB 118)
5.33 C13-2,2',3,4,4',5'-hexachloorbifenyyl (C13-PCB 138)
5.34 C13-2,2',4,4',5,5'-hexachloorbifenyyl (C13-PCB 153)
5.35 C13-2,2',3,4,4',5,5'-heptachloorbifenyyl (C13-PCB 180)

5.36 recuperatiestandaard voor MS-detectie:

- als recuperatiestandaard kan gelijk welke C13-gemerkte PCB congener gebruikt worden zolang deze niet interfereert met één van de bovenstaande C13-gemerkte inwendige standaarden. Oplossingen hiervan zijn in de handel verkrijgbaar in concentraties van ongeveer 50 µg/ml in nonaan. Een voorbeeld is :
13C-2,2',3,3',5,5',6-heptachloorbifenyyl (C13-PCB 178)

5.37 inwendige standaarden voor ECD-detectie:

- voor ECD detectie wordt decachlorobifenyyl (PCB-209) gebruikt als interne standaard voor de berekening van het PCB-gehalte. 2,4,6-Trichlorobifenyyl (PCB-30) wordt toegevoegd om de experimentele relatieve retentietijden vast te stellen. PCB-30 wordt eveneens gebruikt als interne standaard bij de lineariteitstesten. Uitgaande van de zuivere producten of van aangekochte oplossingen worden van PCB-30 en PCB-209 moederoplossingen aangemaakt van ongeveer 100 µg/ml in nonaan.

Standaard-werkoplossingen voor MS-detectie:

5.38 doeringsoplossing interne standaard:

- door menging van de individuele hoofdstandaardoplossingen van de C13-gemerkte PCB's wordt een doeringsoplossing interne standaard aangemaakt in nonaan die elke interne standaard bevat in een concentratie van ongeveer 2 µg/ml.

5.39 kalibratie-oplossing

- voor de bepaling van de experimentele relatieve responsfactoren wordt gebruik gemaakt van een standaard-werkoplossing in n-nonaan die de te analyseren PCB's en de C13-gemerkte PCB's (interne standaarden en recuperatiestandaard) bevat in een concentratie van ongeveer 0.5 µg/ml.

5.40 werkoplossing van de recuperatiestandaard:

- uitgaande van de moederoplossing wordt een verdunning in n-nonaan gemaakt die de recuperatiestandaard bevat in een concentratie van ca 15 µg/ml.

- 5.41 Arochlor-mengsel:
- Arochlor 1242, Arochlor 1254 en Arochlor 1260 kunnen aangekocht worden als oplossingen in nonaan of een ander alkaan. Maak een Arochlor-mengsel aan met de volgende samenstelling : 1 µg/ml Arochlor 1242 en 5 µg/ml elk van Arochlor 1254 en Arochlor 1260.
- 5.42 werkoplossingen voor de controle van de lineariteit:
- uitgaande van de moederoplossingen worden door verdunning werkstandaarden in nonaan gemaakt die de natieve congenere bevatten in concentraties variërend van 10 ng/ml tot
 - 5 µg/ml. Inwendige standaarden worden hieraan in een constante concentratie van 0.5 µg/ml toegevoegd.

Standaard-werkoplossingen voor ECD-detectie

Doperingsoplossingen interne standaard

- 5.43 doperingsoplossing PCB-30 : bevat 10 µg/ml in nonaan
- 5.44 doperingsoplossing PCB-209 : bevat 10 µg/ml in nonaan
- 5.45 doperingsoplossing interne standaard : bevat 2 µg/ml elk van PCB-30 en PCB-209 in nonaan
- 5.46 kalibratie-doperingsoplossing:
- deze oplossing bevat 10 µg/ml elk van PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180 en PCB-209.
- 5.47 werkoplossingen voor de controle van de lineariteit:
- uitgaande van de kalibratie-doperingsoplossing worden door verdunning werkstandaarden in nonaan gemaakt die de congenere bevatten in concentraties variërend van 1 ng/ml tot
 - 0.5 µg/ml. Voeg PCB-30 toe als inwendige standaard in een constante concentratie van bijvoorbeeld 10 ng/ml.
- 5.48 Arochlor-mengsel:
- Arochlor 1242, Arochlor 1254 en Arochlor 1260 kunnen aangekocht worden als oplossingen in nonaan of een ander alkaan. Maak een Arochlor-mengsel aan met de volgende samenstelling : 0.5 µg/ml Arochlor 1242, 0.25 µg/ml elk van Arochlor 1254 en Arochlor 1260, en 0.02 µg/ml elk van PCB-30 en PCB-209.

6 ANALYSEPROCEDURE

6.1 Monstervoorbehandeling

Indien het oliemengsel een waterlaag bevat dan worden waterlaag en olielaag vooraf gescheiden door centrifugatie of met behulp van een scheidrechtter. Vermeld in het analyseverslag de aanwezigheid van een waterlaag. De analyse wordt uitgevoerd op de olielaag. Druk het eindresultaat uit in mg/kg olielaag.

Geemulsifieerd water kan geadsorbeerd worden door schudden met Na₂SO₄.

Zichtbare vaste deeltjes worden verwijderd, bijvoorbeeld door centrifugatie.

Homogeniseer het staal door te schudden of te soniceren; indien nodig wordt het staal opgewarmd.

6.1.1 monstervoorbereiding voor GC/MS-bepaling

Weeg 0,1 g oliestaal af, voeg 1 ml hexaan toe en homogeniseer.

voeg m.b.v. een injectiespuit 250 µl van de doperingsoplossing interne standaard (5.2.2) toe aan de monsteroplossing. De concentratie van elke gemerkte PCB in het eindextract bedraagt dan ongeveer 0,5 µg/ml.

6.1.2 monstervoorbereiding voor GC/ECD-bepaling

Weeg 1 g oliestaal af in een kolfje van 10 ml, voeg enkele ml hexaan toe en homogeniseer

voeg 1 ml toe van de doperingsoplossing interne standaard (2 µg/ml PCB-30 en PCB-209)

leng aan tot de maatstreep met hexaan; de concentratie van de interne standaarden in het eindextract na opzuivering bedraagt dan 10 ng/ml elk.

6.2 Zuivering

Afgewerkte olie bestaat uit een complex mengsel van alifatische en aromatische koolwaterstoffen en geoxideerde vormen hiervan, uit zwavelverbindingen (van nature aanwezig in aardolie of als additieven toegevoegd), organische solventen en anorganische verbindingen. In geval van ECD detectie zullen vooral de polaire verbindingen een storende invloed hebben. Deze worden verwijderd door behandeling met zuur of adsorbens. In geval van MS-detectie kan een bijkomende extractiestap voor de verwijdering van de overmaat aan alifatische koolwaterstoffen noodzakelijk zijn.

Verschillende zuiveringsprocedures kunnen worden toegepast. Voor het merendeel van de stalen kan steeds gebruik gemaakt worden van dezelfde zuiveringsmethode. In sommige gevallen echter zal het nodig zijn af te wijken van de gebruikelijke procedure. Experimenteel zal vastgesteld moeten worden of een andere procedure niet met meer slaagkans kan toegepast worden.

De meest aangewezen zuiveringsprocedure in geval van MS-detectie is deze op een gecombineerde silica/H₂SO₄-silica/NaOH kolom. Het bekomen extract wordt nadien eventueel ontdaan van de overmaat alifatische koolwaterstoffen door extractie van de PCB's met DMSO.

Voor ECD-bepaling wordt bij voorkeur een opzuivering over gecombineerde SPE-patronen toegepast, conform NBN-EN-12766-1. Alternatief wordt een behandeling met zwavelzuur beschreven, en voor siliconenolie een kolomzuivering over Florisil.

6.2.1 basis opzuivering in geval van MS-detectie

Silica/H₂SO₄ - silica/NaOH:

Vul een kolom van 50 cm lengte en met een diameter van 1 cm achtereenvolgens met 1 g silica/NaOH 33 %, 5 g silica/H₂SO₄ 44 % en 2 cm Na₂SO₄. Spoel de kolom met 20 ml hexaan. Breng vervolgens de monsteroplossing (6.1.1) boven op de kolom en elueer tot de meniscus het NaSO₄-oppervlak raakt. Spoel na met 2 keer 1 ml hexaan en elueer met 60 ml hexaan. Vang het volledige eluaat op en damp in onder stikstofstroom tot 1 ml. Voeg 50 µl van de werkoplossing recuperatiestandaard toe.

6.2.2 basis opzuivering in geval van ECD-detectie

Silica/zwavelzuur-silica/benzeensulfonzuur-silica:

Breng 0,5 g silicagel/H₂SO₄ (5.1) boven op het silicagel/benzeensulfonzuur adsorbens van een SPE patroon. Het geheel wordt met behulp van een adaptor bovenaan een silicagel SPE patroon geplaatst. De eerste kolom dient voor de verwijdering van polyaromaten, hetero-verbindingen en basen. De tweede kolom voor de verwijdering van polaire verbindingen en aromatische koolwaterstoffen. Spoel de gecombineerde kolom met driemaal 2 ml hexaan en droog door vacuümanzuiging. Breng 250 µl monsteroplossing (6.1.2) bovenaan de kolom en spoel na met 0.5 ml hexaan. Laat de oplossing in de kolom zakken door toepassing van een lichte onderdruk. Laat gedurende 30 sec. inwerken en elueer daarna met tweemaal 1 ml solvent toe, met een tussentijd van ongeveer 30 sec. Verwijder het bovenste patroon en elueer de onderste silicakolom met twee keer 0,5 ml hexaan. Vang het eluaat op in een kolfje van 5 ml en leng aan tot de maatstreep met hexaan.

6.2.3 alternatieve en aanvullende zuiveringsmethodes

Zuivering door schudden met zwavelzuur (GC/ECD):

De monsteroplossing (6.1.2) wordt 20 keer verdund in hexaan. Aan 10 ml van deze oplossing wordt 5 ml geconcentreerd zwavelzuur toegevoegd en het geheel wordt gedurende 1 minuut krachtig geschud. De bovenstaande fase wordt afgescheiden en gewassen met 5 ml water. De hexaanfase wordt gedroogd met Na₂SO₄.

Zuivering door adsorptie met Florisil (voor siliconenolie):

0,5 g geactiveerde florisil wordt in een met glaswol afgesloten pasteurpipet gebracht. Bovenaan het florisil kolommetje wordt 5 mm watervrij Na₂SO₄ gebracht en het geheel wordt afgesloten met een weinig glaswol. Het kolommetje wordt gedroogd bij 130°C en voor gebruik afgekoeld in een exsiccator.

Het florisil kolommetje wordt eerst gespoeld met 2 ml hexaan, waarna de GC/MS-monsteroplossing (6.1.1) of 0,5 ml van de GC/ECD-monsteroplossing (6.1.2) bovenaan het kolommetje gebracht wordt. Men laat de olie penetreren en elueert nadien met 8 ml hexaan, waarbij het volledige eluaat opgevangen wordt. Voor MS-bepaling wordt het eluaat ingedampt tot 1 ml, voor ECD-bepaling wordt aangelengd tot 10 ml.

De ervaring leert dat het adsorptievermogen van florisil verschilt van lot tot lot. Het is dan ook aan te bevelen het PCB recuperatierendement te controleren voor elk nieuw lot.

Zuivering over alumina/KOH gevolgd door fractionering (GC/ECD):

Met deze methode worden over het algemeen zuiverder extracten bekomen dan met de basis clean-up (6.2.2), maar ze is tijdrovend. Er worden twee kolomzuiveringen na elkaar toegepast: basisch aluminiumoxide gevolgd door fractionering op silica. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode wordt verwezen naar NBN-EN-12766-1(Annex B).

Verwijdering van storende minerale olie (GC/MS):

- verwijdering door extractie met DMSO:
Leng het ingedampde extract van de kolomzuivering (6.2.1) aan tot 10 ml met hexaan en breng over in een scheitrechtere van 100 ml. Extraheer de PCB's met drie keer 25 ml DMSO. Verzamel de DMSO extracten in een scheitrechter van 500 ml en voeg vervolgens 100 ml blanco water toe. Extraheer de PCB's terug met twee keer 50 ml hexaan en damp de verzamelde hexaanextracten in tot 1 ml onder een stikstofstroom.
- verwijdering door extractie met acetonitrile :
Voeg aan het ingedampde eluaat van de kolomzuivering (6.2.1) ongeveer 1 ml hexaan-verzadigde acetonitrile toe. Laat 5 minuten krachtig schudden. De hexaanlaag wordt van de acetonitrilelaag gescheiden en met een nieuwe hoeveelheid acetonitrile geëxtraheerd. De extractie gebeurt driemaal, waarna de verzamelde acetonitrile-extracten ingedampt worden tot 1 ml.

De zuivering met DMSO geeft hogere rendementen dan deze met acetonitrile (80-100% vergeleken met 30-60%). De procedure is echter omslachtiger.

Verwijdering van storend zwavel:

In sommige gevallen kan het noodzakelijk zijn om het in de olie aanwezige zwavel te verwijderen. Zwavel verstoort door de vorming van een brede piek het PCB-chromatogram.

- verwijdering van zwavel met koper:
Koperpoeder wordt voor gebruik geactiveerd door een behandeling met verdund salpeterzuur, gevolgd door overvloedig wassen met water en nadien aceton. De aceton wordt verwijderd door droogblazen met stikstof. 2 g koperpoeder wordt toegevoegd aan 1 ml eindextract (ontdaan van eventuele kristallijne zwavel door filtratie) en het geheel wordt gedurende 1 minuut geschud. Onmiddellijk hierna wordt met behulp van een wegwerppipet het extract van het koperpoeder gescheiden. Koper kan immers bij langdurig contact de degradatie van PCBs en aanverwante verbindingen bevorderen.
- verwijderen van zwavel met TBA-reagens:
Voeg aan 1 ml extract achtereenvolgens 1 ml isopropanol, 1 ml TBA reagens en een spatelpunt natriumsulfiet toe. Sluit af en schud gedurende 1 minuut. Voeg 5 ml water toe en schud gedurende 2 minuten. Scheid de hexaanfase af en was de waterfase tweemaal na met 1 ml hexaan. Voeg de hexaanfasen samen , droog met Na₂SO₄ en damp in door droogblazen met stikstof tot een eindvolume van 1 ml.

6.3 Analysetechniek

6.3.1 injectors

split/splitless:

injectievolume : 0,5µl tot 2 µl

injectortemperatuur : 250 °C tot 280 °C

splitless time : tussen 0,5 en 1,5 min.

on-column en PTV:

injectievolume : 10 µl tot 100 µl

temperatuurprogramma : afhankelijk van merk en type

6.3.2 oven temperatuur programma

Voorbeeld van een typisch programma voor de bepaling van PCB :

begintemperatuur : 50 °C tot 150 °C

gradient 1 : 10 °C/min. tot 50 °C/min.

eindtemperatuur 1 : 130 °C tot 250 °C
 gradient 2 : 2.5 °C/min. tot 5 °C/min.
 eindtemperatuur 2 : 290 °C tot 325 °C
 eindtijd isotherm : 5 min. tot 15 min.

De chromatografische scheiding van de PCB componenten wordt uitgevoerd op een capillaire kolom met apolaire fase (hoofdstuk 4). Als draaggas wordt helium of waterstof gebruikt.

6.3.3 MS-detector

In geval van MS-detectie wordt de massaspectrometer ingesteld naar maximale respons voor de ionen 218, 264, 414 en 502 (met als referentiegas heptacosyl (PFTBA)). Het kwantificeren van de componenten wordt uitgevoerd in SIM(SIR)-modus, gebruik makend van de inwendige standaardmethode. In tabel 1 zijn de specifieke massa's van de moleculaire ionen in functie van de substitutiegraad weergegeven. Deze ionen (minimum 2 per congener) worden in SIM-groepen ondergebracht, naargelang de retentietijdgebieden van de verschillende PCB-groepen. De PCB congenen worden elk gekwantificeerd t.o.v. hun overeenkomstige ¹³C-verbinding.

De interface temperatuur bedraagt typisch 275 °C, en de brontemperatuur 250 °C.

In figuur 1 is een GC-MS ionenchromatogram weergegeven voor de hexachloorbifenyyl-congeneren in een Arochlormengsel. In figuur 2 zijn de overeenkomstige inwendige standaarden weergegeven.

6.3.4 ECD-detector

- ECD-temperatuur : tussen 300 °C en 350 °C
- make-up gas : stikstof of argon/methaan (95/5) met een debiet van 20 ml/min. tot 40 ml/min.

In figuur 3 is een typisch GC/ECD-chromatogram weergegeven dat bekomen wordt voor het Arochlormengsel (5.2.3) na injectie op een 5%fenyl-methylsilicone kolom..

Tabel 1 : m/e-waarden en relatieve intensiteiten voor de verschillende PCB-congeneren

PCB-congener	m/e natieve	m/e ¹³ C-gemerkte	relatieve intensiteit
trichloro PCB 28, 31	256 258 260	268 270 272	100 98 32
tetrachloro PCB 52	290 292 294	302 304 306	77 100 49
pentachloro PCB 101, 118	324 326 328	336 338 340	62 100 65
hexachloro PCB 138, 153, 163	358 360 362	370 372 374	51 100 81
heptachloro PCB 178, 180	394 396 398	406 408 410	100 98 53

7 KALIBRATIE

7.1 GC/MS-bepaling

Analyseer de kalibratie-oplossing (5.2.2) en bereken de experimentele relatieve respons-factoren als volgt:

$$ERRF_i = \frac{A_i \cdot C_{IS}}{A_{IS} \cdot C_i}$$

met

$ERRF_i$ = experimentele relatieve responsfactor van congeneer i.

A_i = piekoppervlak van de PCB-congeneer in de kalibratiestandaard

C_i = concentratie van de PCB-congeneer in de kalibratiestandaard ($\mu\text{g/ml}$)

C_{IS} = concentratie van de overeenkomstige C13-inwendige standaard in de kalibratiestandaard ($\mu\text{g/ml}$)

A_{IS} = piekoppervlak van de overeenkomstige C13-inwendige standaard in de kalibratiestandaard

7.2 GC/ECD-bepaling

Om te corrigeren voor eventuele invloed van olie in het monsterextract op het ECD-signaal, moet de kalibratiestandaard aangemaakt worden in olie en onderworpen worden aan de zuiverings-procedure die voor de monsters is gebruikt.

De kalibratiestandaard wordt aangemaakt als volgt : weeg in een kolfje van 50 ml, 5 g blanco olie af. Voeg 1.0 ml van de kalibratie-doperingsoplossing (5.2.3) toe en 1.0 ml van de doperingsoplossing PCB-30 (5.2.3). Onderwerp 250 μl van deze oplossing aan de basis zuiveringsprocedure (6.2) en/of aan eventueel bij de monsters toegepaste aanvullende of alternatieve zuiveringsprocedures. Analyseer het eindextract en identificeer de pieken met de gegevens uit tabel 2. Bereken de experimentele relatieve retentietijd (ERRT) voor elke piek als volgt :

$$ERRT_i = \frac{t_i - t_{30}}{t_{209} - t_{30}}$$

met

i = de beschouwde piek

t = de retentietijd

30 = PCB-30

209 = PCB-209

Bereken de experimentele relatieve responsfactoren van de PCB-congeneren als volgt:

$$ERRF_i = \frac{A_i \cdot C_{IS}}{A_{IS} \cdot C_i}$$

met

$ERRF_i$ = experimentele relatieve responsfactor van congeneer i.

A_i = piekoppervlak van het PCB-congeneer in de kalibratiestandaard

C_i = concentratie van het PCB-congeneer in de 50 ml kalibratiestandaard ($\mu\text{g/l}$)

C_{IS} = concentratie van de interne standaard (PCB-209) in de 50 ml kalibratiestandaard ($\mu\text{g/l}$)

A_{IS} = piekoppervlak van de interne standaard (PCB-209) in de kalibratiestandaard

Stel een tabel op met de ERRTs en de ERRFs van elk congenerer zoals tabel 2.

Tabel 2 : ERRTs en ERRFs van de congenere gebruikt voor calibratie

PCB-congenerer	ERRT (voorbeeld)	ERRF (voorbeeld)
30	0.0000	0.72
28	0.1165	0.74
52	0.1850	0.41
101	0.3557	0.58
118	0.4769	0.76
153	0.5210	0.68
138	0.5744	0.72
180	0.7034	1.13
209	1.0000	1.00

8 IDENTIFICATIE

8.1 GC/MS-bepaling

Voor de congenere wordt een maximale afwijking van de retentietijd in het oliemonster-chromatogram t.o.v. de retentietijd in het chromatogram van de kalibratiestandaard van 0,2 minuten toegestaan. De retentietijd van de native PCB's mag niet meer dan 0.03 minuten afwijken van deze van de koolstof-13 gemerkte PCB's in het oliemonster-chromatogram.

Zeer belangrijk voor de identificatie van PCB's in SIM-modus is de verhouding van de intensiteiten van de gemeten specifieke m/e-waarden voor een welbepaalde PCB-groep bij eenzelfde retentietijd. Tabel 1 (6.3.3) geeft een overzicht van hoe deze verhoudingen theoretisch veranderen in functie van het aantal aanwezige chlooratomen. Bij de identificatie van de PCB's in de SIM-mode zal de verhouding van de gemeten intensiteiten bij eenzelfde retentietijd niet meer dan 20 % afwijken van de theoretische verhoudingen, voor zover het signaal van de pieken groter is dan 10 maal de ruisgrootte. Voor signalen kleiner dan 10 maal de ruisgrootte zijn afwijkingen tot 50% toegestaan.

8.2 GC/ECD-bepaling

Identificeer de pieken aan de hand van de experimentele relatieve retentietijden (ERRT) die vooraf bepaald werden met de kalibratie-oplossing. Voor de PCB-congenere wordt een maximale afwijking toegestaan t.o.v. de ERRTs in de kalibratie-oplossing van 0,0035.

Naast de retentietijd is, zeker in geval van ECD-detectie, de patroonherkenning een belangrijke parameter die tot identificatie van de aanwezige PCB's kan bijdragen. Wordt geen duidelijk PCB-patroon herkend, dan kan geen uitsluitel gegeven worden over de afwezigheid van interferenties en dient de GC-analyse herhaald te worden met een kolom van een andere polariteit of dient overgegaan te worden op MS-detectie.

9 BEREKENING VAN HET PCB-GEHALTE

9.1 GC/MS-bepaling

Het gehalte van de congenere wordt gegeven door de onderstaande formule:

$$C_i = \frac{A_i \cdot g_{IS}}{A_{IS} \cdot ERRF_i \cdot G}$$

met

C_i = concentratie van het PCB-congeneer in mg/kg olie

A_i = de piekoppervlakte van PCB-congeneer i in het monster

A_{IS} = de piekoppervlakte van de overeenkomstige C13-inwendige standaard in het monster

$ERRF_i$ = experimentele relatieve responsfactor van PCB-congeneer i .

g_{IS} = de hoeveelheid inwendige standaard toegevoegd aan de monsteroplossing (6.1.1) in μg

G = de hoeveelheid oliemonster in de monsteroplossing (6.1.1) in gram

9.2 GC/ECD-bepaling

Het gehalte van de congenen wordt gegeven door de onderstaande formule:

$$C_i = \frac{A_i \cdot C_{IS} \cdot 10}{A_{IS} \cdot ERRF_i \cdot G}$$

met

C_i = de congenerconcentratie in mg/kg olie

C_{IS} = de concentratie van de interne standaard (PCB-209) in de 10 ml monsteroplossing (6.1.2) ($\mu\text{g/l}$)

A_i = de piekoppervlakte voor congeneer i in het monster

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

$ERRF_i$ = de experimentele relatieve responsfactor voor het PCB congeneer

G = hoeveelheid oliemonster in de monsteroplossing (6.1.2) (milligram)

9.3 aantoonbaarheidsgrenzen voor niet-gedetectedeerde PCB congenen in het monster

De laagst aantoonbare concentratie die voor de congenen 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 PCB congenen worden “<”-waarden gerapporteerd overeenkomend met of groter dan de aantoonbaarheidsgrenzen. De aantoonbaarheidsgrenzen dienen kleiner te zijn dan de gevraagde rapportagedetectielimieten. De aantoonbaarheidsgrenzen kunnen bepaald worden uitgaande van de “peak-to-peak” ruishoogte in het retentietijdgebied van de betreffende component en de piekhoogte van de overeenkomstige interne standaard :

$$AG_i = \frac{3 \cdot RG_i \cdot g_{IS}}{PH_{IS} \cdot ERRF_i \cdot G}$$

met

AG_i = aantoonbaarheidsgrens in mg/kg olie

RG_i = de “peak-to-peak” ruishoogte in het retentietijdgebied van de PCB congeneer

PH_{IS} = de piekhoogte van de inwendige standaard

$ERRF_i$ = de experimentele relatieve responsfactor voor het PCB congeneer

g_{IS} = de hoeveelheid inwendige standaard toegevoegd aan de monsteroplossing (μg)

G = de hoeveelheid monster opgenomen in de monsteroplossing (g)

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

10 KWALITEITSPARAMETERS

10.1 Responslineariteit

Uitgaande van minimaal 5 standaardoplossingen met verschillende concentraties aan PCB-congeneren, en met een vaste concentratie aan inwendige standaard(en), en vertrekkend van tienmaal de minimum detecteerbare hoeveelheid (zie hieronder), wordt de lineariteit van de ECD of MS detectorrespons gecontroleerd.

De verhouding van de detectorrespons van de PCB-componenten en de inwendige standaard(en) worden uitgezet i.f.v. de verhouding van de concentraties van de PCB-componenten en de inwendige standaard(en); de helling van de rechte is $ERRF_i$.

Voor elke PCB-congeneer dient een rechte bekomen te worden waarvan de variatiecoëfficiënt V_{xo} (zie ISO-8466-1990:1) kleiner is dan 15 % (zie figuur 4).

Bijkomend kan men C_i/A_i uitzetten i.f.v. C_i of $(A_i \cdot C_{IS})/(A_{IS} \cdot C_i)$ i.f.v. C_i . Het lineair bereik wordt gedefinieerd als dat gebied waarvoor de afwijking van C_i/A_i of $(A_i \cdot C_{IS})/(A_{IS} \cdot C_i)$ t.o.v. de gemiddelde waarde maximaal 10 % bedraagt (zie figuur 5).

Een controle van de lineariteit wordt uitgevoerd bij elke ernstige instrumentele ingreep.

10.2 Gaschromatografisch scheidingspercentage

Injecteer op regelmatige basis het Arochlormengsel (5.2.2 voor MS en 5.2.3 voor ECD). Identificeer de onderstaande kritische paren aan de hand van het voorbeeld in figuur 3. De volgende eisen worden gesteld aan de chromatografische kolom :

PCB-84 en PCB-101 moeten volledig gescheiden zijn

de resolutie van het congenerenpaar 28/31 is minstens 0,5 (50%)

In geval van ECD-detectie komt daar nog bij :

de resolutie van het congenerenpaar 141/179 is minstens 0,8 (80%)

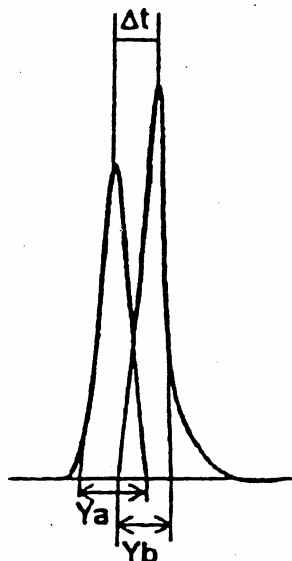
de resolutie van het congenerenpaar 118/149 is minstens 0,5 (50 %)

De laatste twee congenerenparen zijn in geval van GC/MS-bepaling niet kritisch, vermits de congeneren een verschillende substitutiegraad hebben en dus op massa te onderscheiden zijn.

De resolutie wordt gedefinieerd als de verhouding van de afstand tussen de maxima van twee pieken enerzijds en hun gemiddelde piekbreedte aan de basis anderzijds. De resolutie wordt berekend met de volgende formule:

$$\text{Resolutie} = \frac{2 \Delta t}{Y_A + Y_B}$$

met Δt , Y_A en Y_B als weergegeven in onderstaande figuur:



10.3 Solventblanco

Elke analysereeks wordt voorafgegaan door een solventblanco. Het geregistreerde chromatogram dient vrij te zijn van interfererende pieken groter dan 10% van de pieken geregistreerd voor het monster met uitzondering van monsterwaarden kleiner dan 5 maal de gevraagde rapporteergrens, waarvoor de interfererende pieken niet groter mogen zijn dan de helft van de gevraagde rapporteergrens.

10.4 Responsfactoren en relatieve responsfactoren

Aan de hand van een kalibratiestandaardoplossing worden de responsfactoren of de relatieve responsfactoren bepaald die nadien zullen gebruikt worden voor de berekeningen van de concentraties. Binnen éénzelfde analysereeks mogen de responsfactoren en relatieve responsfactoren niet meer dan 10 % van het reeksgemiddelde afwijken. In geval van ECD-detectie mogen zij niet meer dan 20 % afwijken van de waarde bekomen in de laatste lineariteitscontrole.

10.5 Minimum detecteerbare hoeveelheden

Aan de hand van de signaal-ruisverhouding voor de congenen van de kalibratiestandaardoplossing kan de gevoeligheid van het toestel geverifieerd te worden. Deze moet van die aard zijn dat zonder problemen de gevraagde rapportagedetectielimiet kan gehaald worden.

10.6 PCB-gehalten in controlemonsters

Bij elke analysereeks wordt een controlemonster gemeten. Voor elke PCB-congeneer wordt het gehalte bepaald. De waarden worden opgetekend in controlekaarten en moeten voldoen aan de voor controlekaarten geldende criteria. Als controlemonster wordt bij voorkeur een gecertificeerd referentiemonster gekozen. Indien dit niet verkrijgbaar is mag ook een gedopeerd oliestaal gebruikt worden.

10.7 Gevoeligheid van de ECD-detector

De gevoeligheid van de ECD-detector wordt gemeten met een standaard van hexachloorbenzeen in nonaan. De concentratie van de oplossing wordt zodanig gekozen dat bij een injectie van het standaard injectievolume 1 pg hexachloorbenzeen op de kolom gebracht wordt. De signaal/ruisverhouding van de gemeten piek moet minstens gelijk zijn aan 20.

10.8 Recuperatierendement van de inwendige standaarden (enkel GC/MS)

Voor elk monster wordt het recuperatierendement van de inwendige standaarden bepaald dit door vergelijking van de oppervlakten van de inwendige standaarden en de recuperatie- standaard :

$$R\% = \frac{A_{IS} \cdot C_{RS} \cdot 100}{A_{RS} \cdot C_{IS} \cdot ERRF_{IS}}$$

met

A_{IS} = oppervlakte van de inwendige standaard in het staal

A_{RS} = oppervlakte van de recuperatie standaard in het staal

C_{RS} = concentratie van de recuperatiestandaard in het eindextract (6.2.1) ($\mu\text{g/ml}$)

C_{IS} = concentratie van de inwendige standaard in het eindextract (6.1.1) ($\mu\text{g/ml}$)

$ERRF_{IS}$ = experimentele relatieve responsfactor van de inwendige standaard t.o.v. de recuperatiestandaard, bepaald aan de hand van het kalibratiemengsel

Verantwoorde kwantificering is slechts dan toegelaten indien het recuperatierendement van de inwendige standaarden minimaal 50 % bedraagt. Wordt een bijkomende acetonitrilezuiveringsstap doorgevoerd dan zijn in dat geval lagere waarden mogelijk..

11 METHODEKARAKTERISTIEKEN

Alvorens tot de toepassing van de bovenstaande methode over te gaan voor onbekende monsters, dient de analist(e) aan te tonen dat de gebruikte reagentia en materialen interferentievrij zijn, dient hij/zij het lineaire bereik van zijn/haar methode te kennen en dient hij/zij aan de hand van controlemonsters aan te tonen dat hij/zij met voldoende hoge recuperatierendementen accuraat en precies de analyse kan uitvoeren.

De procedure met massaspectrometrische detectie voor de bepaling van PCB's in olie werd gevalideerd in de BCR CRM 420¹ en CRM 449² certificeringsopdrachten. De procedure met ECD-bepaling is conform NBN-EN-12766-1, en is gebaseerd op de DIN 51527, de CEN TC19, de Nederlandse standaardprocedure en op de procedures die gehanteerd worden in de belangrijkste milieulaboratoria in Vlaanderen op gebied van afvalolieanalyse³.

De precisie van de methode, bepaald uitgaande van herhaalde analyses op controlemonsters kan voor elke congener afzonderlijk geraamd worden op 10 à 15 %. De afwijking van de werkelijke congenerconcentratie bedraagt voor congenergehalten van 1 mg/kg maximaal 20 %. De aantoonbaarheidsgrens bedraagt afhankelijk van matrixinterferentie, recuperatierendement, type congener en detectietechniek 0,01 tot 0,1 mg/kg.

12 VEILIGHEID

De scheikundige produkten die bij deze analysemethode gebruikt worden, zijn ondergebracht bij de potentieel giftige en kankerverwekkende stoffen. Dit maakt het noodzakelijk de nodige maatregelen in het laboratorium te voorzien en toe te passen om blootstelling aan of contact met deze produkten tot een minimum te herleiden.

De behandeling van deze produkten en de voorbereiding van standaard-oplossingen worden in een geventileerde kast uitgevoerd.

13 VOORBEELD VAN EEN ANALYSEGANG

Bij elke ernstige instrumentele ingreep (bijv. reiniging van de detector) of op regelmatige basis:

- Injecteer de werkoplossingen voor de controle van lineariteit (5.2.2 en 5.2.3)
- Bepaal V_{xo} van de regressierechte $V_{xo} \leq 15\%$?
- Bepaal lineair bereik
- Analyseer het Arochloormengsel ter controle van de resolutie toets aan de criteria in 10.2
- Gevoeligheid ECD : injecteer 1 pg hexachloorbenzeen $S/N < 20$?

Per analysereeks:

GC/MS:

- Injecteer de kalibratie-oplossing: bepaal voor elke PCB de $ERRF(i)$ (7.1)
- Injecteer de solventblanco
- Injecteer het extract van de procedureblanco
- Injecteer monsterpreparaten (max. 10)
- Injecteer controlemonster
- Injecteer de kalibratie-oplossing: bepaal voor elke PCB $ERRF(i+1)$ $0,8 \leq ERRF(i)/ERRF(i+1) \leq 1.2$?
- Bereken de gehalten voor het controlemonster zet de gehalten uit op controlekaart
- Bepaal de piekoppervlakten voor het monsterpreparaat
 - verifieer m.b.t. lineariteit : piekoppervlakte binnen lineair gebied ?
 - verifieer de recuperatierendementen voor de IS : $R\%(IS) > 50\%$?

- Bereken de gehalten voor het monster

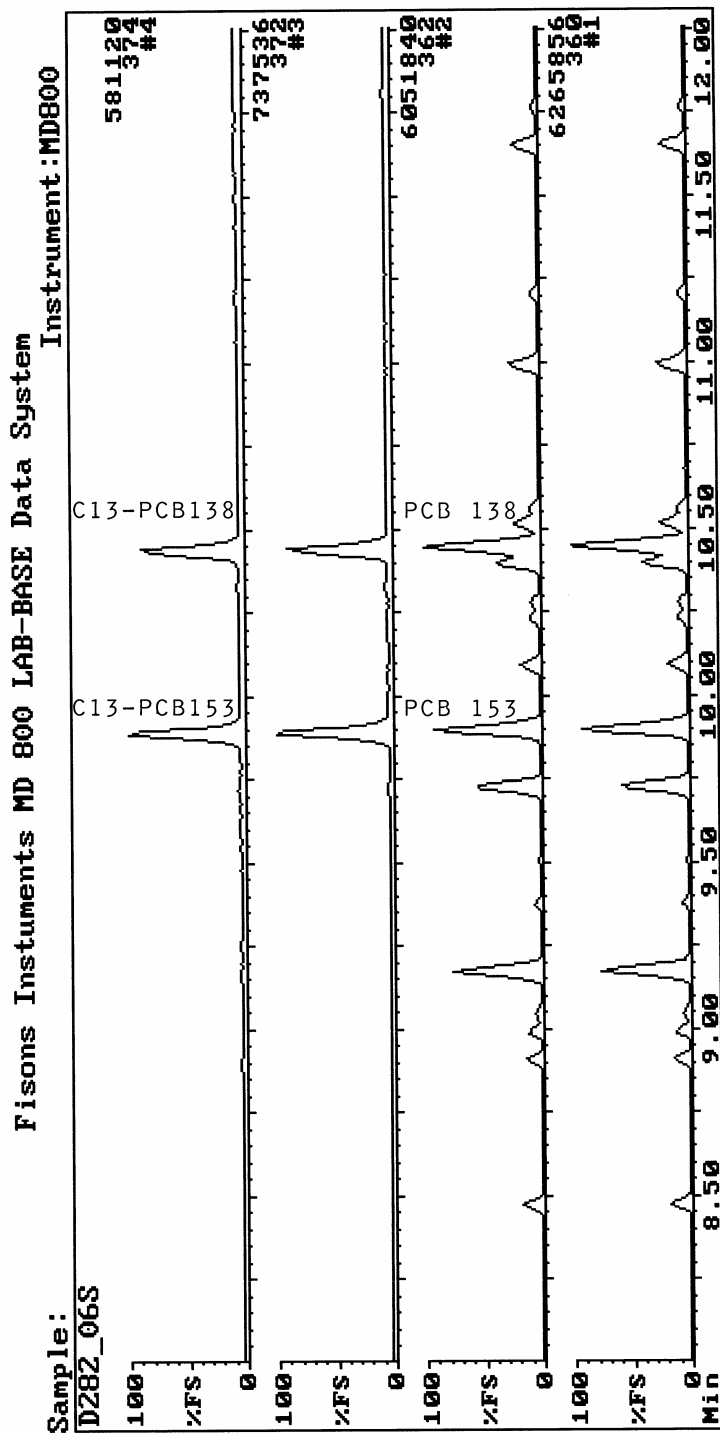
GC/ECD

- Injecteer het extract van de kalibratie-oplossing : bepaal voor elke PCB de ERRF(i) (7.2) ERRF(i) binnen 20% van vorige lineariteitstest ?
- Injecteer de solventblanco
- Injecteer het extract van de procedureblanco
- Injecteer monsterpreparaten (max. 10)
- Injecteer het controlemonster
- Injecteer de kalibratie-oplossing : bepaal voor elke PCB ERRF(i+1) ERRF(i+1) binnen 20 % van vorige lineariteitstest ?
- Bereken de gehalten voor het controlemonster zet de gehalten uit op controlekaart
- Bepaal de piekoppervlakten voor het monsterpreparaat
 - verifieer m.b.t. lineariteit : piekoppervlakte binnen lineair gebied ?
- Bereken de gehalten voor het monster

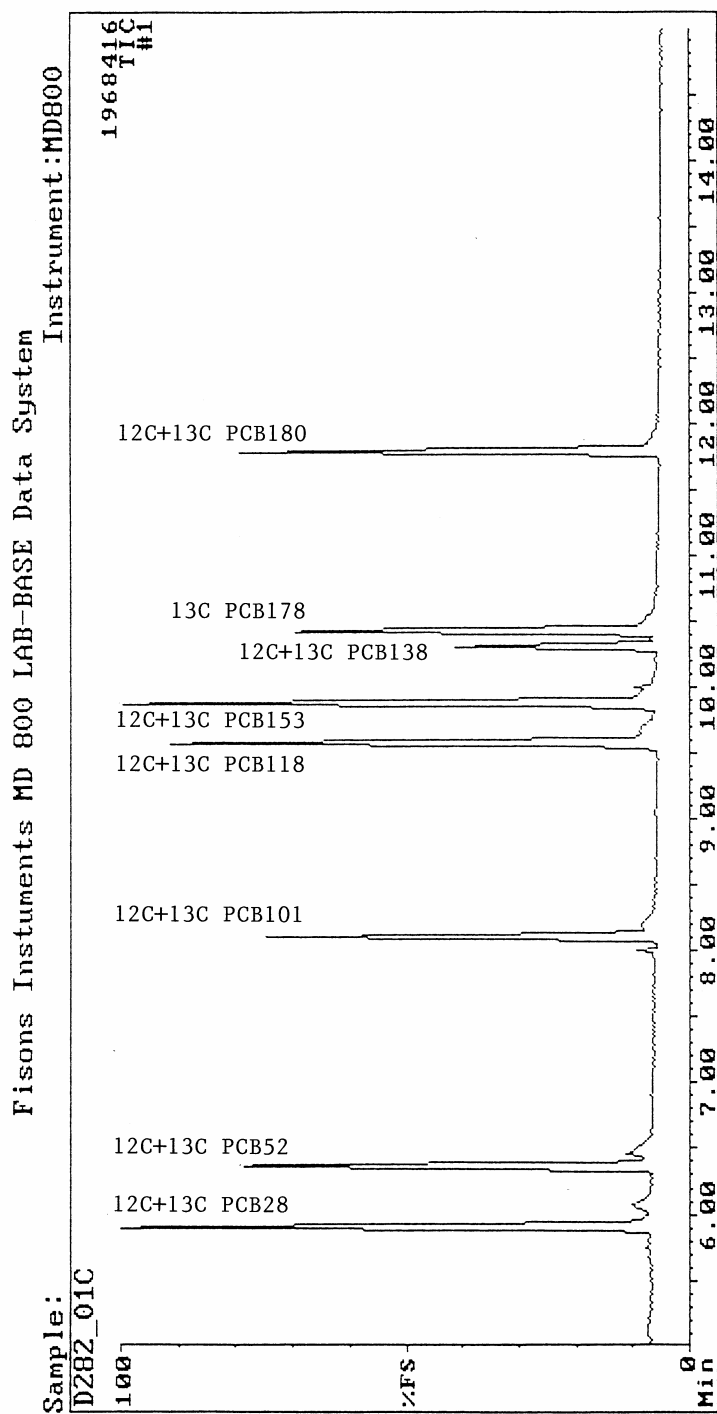
14 REFERENTIES

- The certification of the contents of PCB's N° 28,101,118,153 and 180 in waste mineral oil (low level), CRM 420, BCR/139, 1990
- The certification of the contents of PCB's N° 28,101,118,153 and 180 in waste mineral oil (high level), CRM 449, BCR/19, 1993
 - Deze procedure is het resultaat van ringonderzoeken en besprekingen binnen de werkgroep organische parameters
- Produits pétroliers et huiles usagées – Détermination des PCBs et produits connexes – Partie 1 : Séparation et dosage d'une sélection de congénères de PCB par chromatographie en phase gazeuse (CG) avec utilisation d'un détecteur à capture d'électrons (ECD) (NBN-EN-12766-1, september 2000)
- Gaschromatographische Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (DIN 38407-3, 2000)

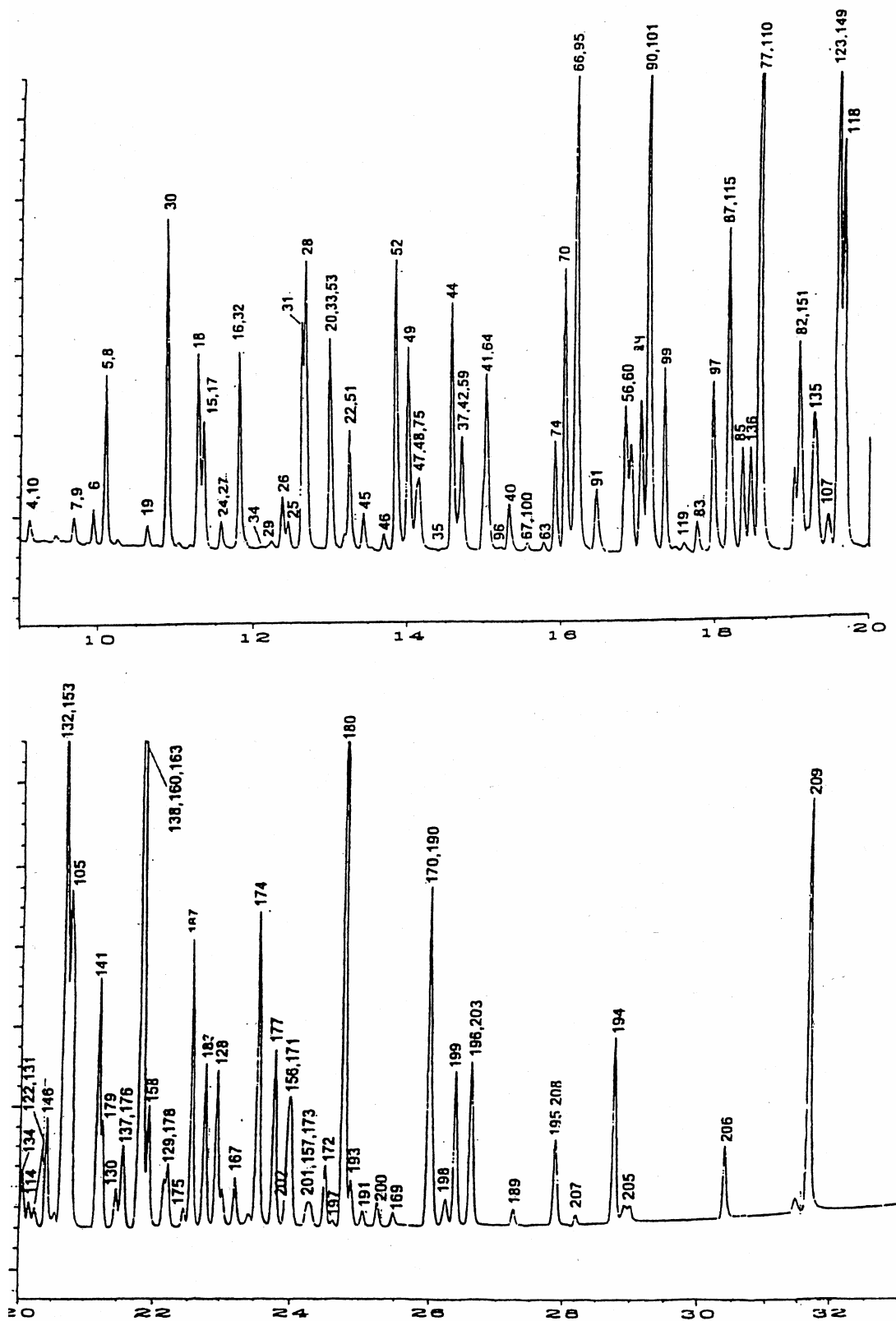
Figuur 1 : GC/MS-ionenchromatogram van de hexachlorobifenylen.



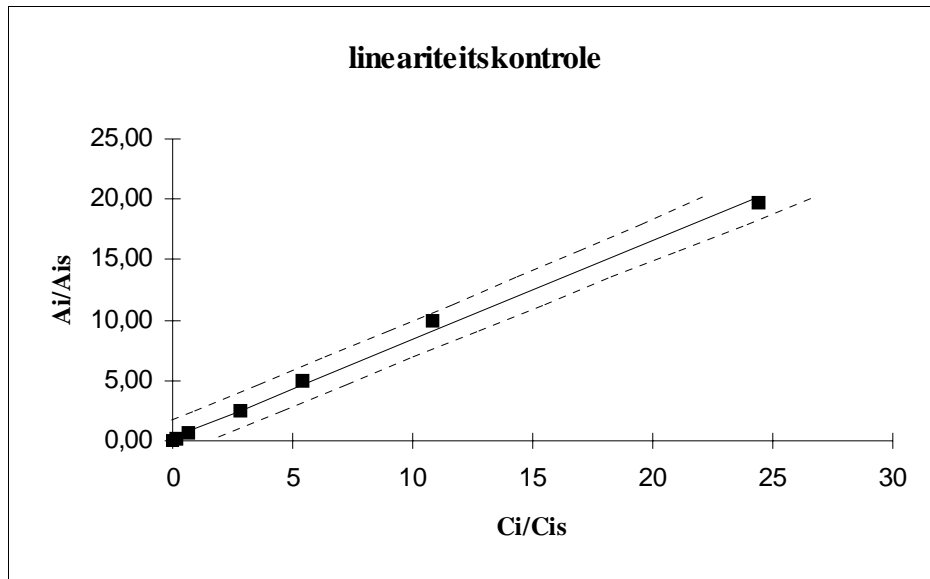
Figuur 2 : GC-MS total ion chromatogram voor een PCB-congenerenstandaard.



Figuur 3 : GC-ECD chromatogram voor het Arochlormengsel (5%fenyl-methylsilicone fase)



Figuur 4



Figuur 5

