

Miljøprojekt Nr. 679 2002

Teknologiudviklingsprogrammet for  
jord- og grundvandsforurening

# Airsparging og jordventilation med vandrette boringer

Afslutningsrapport

Lisbeth Walsted og Anders G. Christensen  
NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammenfatning og konklusioner</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary and conclusions</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Indledning</b> .....	<b>11</b>
1.1 Baggrund.....	11
1.2 Forurenings- samt jord- og grundvandsforhold.....	11
1.3 Formålet med teknologiudviklingsprojektet .....	13
1.4 Tidligere publicerede rapporter .....	13
<b>2 Opnåede erfaringer med etablering og drift</b> .....	<b>14</b>
2.1 Vandrette boringer .....	14
2.1.1 Design.....	14
2.1.2 Etablering .....	16
2.1.3 Drift .....	17
2.2 Monitoringsboringer.....	19
2.2.1 Design.....	19
2.2.2 Etablering .....	20
2.2.3 Drift .....	21
2.3 Behandlingsanlæg .....	23
2.3.1 Design.....	23
2.3.2 Etablering .....	25
2.3.3 Drift .....	25
2.4 Økonomi .....	27
2.4.1 Design.....	27
2.4.2 Etablering .....	27
2.4.3 Drift .....	27
<b>3 Effekt af afværgeprojekt</b> .....	<b>29</b>
3.1 Effekt af afværgeprojekt registreret i behandlingsanlæg.....	29
3.1.1 Resultater .....	29
3.1.2 Flow for vakuumventilationsdelen .....	29
3.1.3 Udskiftning af poreluft .....	30
3.1.4 Koncentration i ekstraheret poreluft .....	30
3.1.5 Fjernelsesrater.....	30
3.1.6 Massefjernelse .....	31
3.1.7 Driftsform af behandlingsanlægget .....	32
3.2 Effekt af afværgeprojekt registreret i monitoringsboringer.....	33
3.2.1 Datapræsentation og validering .....	33
3.2.2 Jord .....	33
3.2.3 Grundvand .....	34
3.2.4 Poreluft .....	42
3.3 Effekt af afværgeprojekt registreret under gulv.....	47
3.3.1 Poreluft .....	47
3.3.2 Tolkning af resultater .....	48
3.4 Sammenfatning .....	49

<b>4</b>	<b>Konklusion.....</b>	<b>51</b>
4.1	<i>Design.....</i>	<i>51</i>
4.2	<i>Etablering.....</i>	<i>52</i>
4.3	<i>Drift.....</i>	<i>53</i>
4.4	<i>Oprensningseffekt.....</i>	<i>54</i>
4.5	<i>Økonomi.....</i>	<i>56</i>
<b>5</b>	<b>Referencer.....</b>	<b>57</b>

# Bilag

Bilag 1: Situationsplan .....	59
Bilag 2: Tracerforsøg i umættet zone .....	61
Bilag 3: Tracerforsøg i mættet zone .....	65
Bilag 4: Monitoringskema .....	69
Bilag 5: Flow og koncentration .....	71
Bilag 6: Fjernelsesrate .....	73
Bilag 7: Massefjernelse .....	75
Bilag 8: Jordanalyser .....	77
Bilag 9: Horisontal optegning af udvalgte stoffer i moniteringsfiltrene i grundvandet .....	79
Bilag 10: Baggrund for datapræsentation .....	85
Bilag 11: Udvikling af koncentrationen af udvalgte stoffer i grundvandet .....	89
Bilag 12: Horisontal optegning af udvalgte stoffer i moniteringsfiltrene i poreluften .....	115
Bilag 13: Udvikling af koncentrationen af udvalgte stoffer i poreluften .....	121
Bilag 14: Respirationstest .....	143
Bilag 15: Appendix til statusrapport .....	147

# Forord

På baggrund af et stigende antal fund af chlorerede opløsningsmidler i grundvandet, samler interessen sig for at undersøge nye og eksisterende afværgeteknikkers anvendelighed over for denne stofgruppe. På mange lokaliteter påvises stofferne både i den umættede og den mættede zone, hvor de kan udgøre en vedvarende kilde til forurening af inde- og udeklima samt grundvand.

For at dokumentere teknologien under danske forhold er der under Miljøstyrelsens Teknologiprogram og i samarbejde med Miljøkontrollen, Københavns Kommune foretaget en afprøvning af teknikken.

I dette teknologiudviklingsprojekt belyses emner som design, etablering, drift og effekt af kombineret airsparging og vakuumventilering fra vandrette borer til fjernelse af flygtige organiske komponenter fra både den umættede og mættede zone. Kombineret airsparging og vakuumventilering fra vandrette borer har ikke tidligere været anvendt i Danmark.

Kendetegnende for lokaliteten er, at den tidligere har huset farveri- og renserivirksomhed med forurening af jord, vand og luft til følge. De anvendte opløsningsmidler har været mineraloliebaserede produkter (terpentin, benzin og petroleum) og chlorerede opløsningsmidler (perchlorethylen).

Arbejdet er udført af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S.

Rapporten vil give en oversigt over de erfaringer og konklusioner, der er kommet frem under teknologiprojektet.

# Sammenfatning og konklusioner

Dette projekt er udført under Miljøstyrelsens Teknologiprogram for jord- og grundvandsforurening i samarbejde med Miljøkontrollen, Københavns Kommune. Projektet er udført som kombineret airsparging og vakuumventilering fra vandrette borer på lokaliteten Drejøgade 3-5, Østerbro, København, som tidligere har huset farveri- og renserivirksomhed med forurening af jord, vand og luft til følge. De anvendte opløsningsmidler har været mineraloliebaserede produkter (terpentin, benzin og petroleum) og chlorerede opløsningsmidler (perchloroethylen). De geologiske forhold er domineret af fint-sand med et frit grundvandsspejl ca. 8,5 m u.t., og er således fundet velegnet til både airsparging og vakuumventilation. Grundens areal er ca. 7000 m<sup>2</sup>, og er bebygget med et plejehjem med kælder på en del af grunden.

De vandrette borer er installeret ved "blind-hole" teknik, hvorved der fra en grube udenfor selve grunden har kunnet installeres filtre op til 130 m ind under lokaliteten. Der er installeret i alt 4 airspargingfiltre 2,5 m under grundvandsspejlet og 5 vakuumventilationsfiltre ca. 2,5 m over grundvandsspejlet, i alt ca. 375 m filter. På grund af stenede horisonter i visse områder, der ikke kunne gennembøres, blev et enkelt filter væsentlig kortere end planlagt. Dette understreger vigtigheden af en tilstrækkelig geologisk karakterisering langs boretracéer. På grund af de stenede horisonter, blev det desuden opgivet at bruge filtre med pålimet væv. Ved fremtidige projekter anbefales i stedet at bruge slidsele filtre.

Behandlingsanlægget er opbygget i en 20 fods container og er designet med en vakuumventilationskapacitet på 1000 m<sup>3</sup>/t og en airsparging kapacitet på 375 m<sup>3</sup>/t samt 2x260 kg aktiv-kul filtre. En on-line gaschromatograf (GC) var installeret til overvågning af koncentrationen i poreluften fra vakuumventilationssystemet, men denne har ikke fungeret tilfredsstillende og kan ikke anbefales til andre lignende projekter. Anlægget har generelt fungeret teknisk tilfredsstillende, og har været i drift i ca. 80% af den 2 år lange driftsperiode.

Airspargingdelen i behandlingsanlægget har i driftsperioden været drevet ved forskellige driftscykler, for at vurdere effekten af pulserende hhv. kontinuerlig airspargingdrift. Erfaringerne har vist, at der ved pulserende driftsform generelt ses en tendens til, at der som funktion af driftstiden oprenses poreluft med et højere fastholdt koncentrationsniveau, ligesom der opnås større fjernelsesrater ved denne driftsform end ved kontinuerlig airspargingdrift. I driftsperioden er der ekstraheret totalt ca. 500 m<sup>3</sup> poreluft pr. time, svarende til, at poreluften på det sydlige forureningsområde (overvejende chl.opl. forurenede område) er udskiftet ca. 900 gange, mod forventet ca. 1.500. På det nordlige forureningsområde (overvejende olieforurenede område) er poreluften udskiftet ca. 600 gange mod forventet ca. 1.500-5.000. De gennemførte beregninger af luftstrømningerne og vakuumudbredelse omkring de vandrette borer i jorden i designfasen er verificeret ved tracerforsøg og vakuummålinger.

Koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler i den umættede zone er reduceret væsentligt (75-98%), men der observeres et vist tilbageslag i et ”hot-spot” område.

I området med fri fase terpentin på grundvandet ses ingen væsentlig reduktion i poreluftens indhold af total kulbrinter lige over grundvandspejlet. Dette skyldes, at terpentinen er ”fanget” i den kapilære zone, der ikke ventileres effektivt på grund af en næsten 100% mætning af porerne med vand og terpentin. Udenfor dette område fjernes total kulbrinter til under detektionsgrænsen.

Effekten af airsparging er mest markant i området med fri fase terpentin på grundvandet, idet den her bevirker en kraftig frigivelse og fordampning af flygtige kulbrinter fra den kapilære zone. Der ses ikke samme markante forøgelse i fjernelsesraten for de chlorerede opløsningsmidler. Der er således ingen indikationer på, at der skulle have været fri fase af chlorerede opløsningsmidler indenfor området påvirket af airspargingen. I de tre diskrete filterniveauer i den mættede zone ses generelt en reduktion på 60-95% af de flygtige forbindelse som chlorerede opløsningsmidler og nedbrydningsprodukter samt BTEX, mens den lavt flygtige andel af kulbrinterne fra terpentinen kun reduceres i mindre grad. I området med fri fase terpentin ses ingen reduktion i koncentrationen af den mindre flygtige andel af kulbrinter i filterniveauerne i den kapilære zone, mens der ses en markant stigning i de dybere filterniveauer. En forøgelse af iltkoncentrationen under drift af airsparging kan måles i alle filterniveauer – dog mest markant i det øverste.

De niveauspecifikke vandprøver indikerer, at der som effekt af start/stop af airsparging sker en vertikal transport og opblanding af grundvand fra nær grundvandsspejlet og til det dybeste filterniveau ca. 5 m under grundvandsspejlet. Denne effekt er kun markant for de lavt flygtige stoffer i terpentinen samt ilt, mens de let flygtige stoffer som chlorerede opløsningsmidler og BTEX tilsyneladende når at fordampe, inden grundvandet når denne dybde. Den effektive virkningsradius er således stærkt stofafhængig, men for de chlorerede opløsningsmidler er den i størrelsesordenen 5-6 m horisontalt fra filtret og til en dybde af ca. 2,5 m under injektionsniveauet (5 m under grundvandsspejlet).

Da oprensningens væsentligste målsætning var at reducere indeklimapåvirkningen til et acceptabelt niveau, blev anlægget stoppet efter 2 års drift, idet poreluftkoncentrationerne i den umættede zone viste et stabilt reduceret niveau. Koncentrationen af PCE i det kapilarbrydende lag under kældergulv er umiddelbart efter stop (1 døgn) af anlæg reduceret 1000 gange (fra ca. 5-100 mg/m<sup>3</sup> til 0,004-0,018 mg/m<sup>3</sup>). Gentagne målinger i løbet af året efter stop viser en stigning til et niveau omkring 0,1-0,2 mg/m<sup>3</sup>, således at nettoeffekten tilsyneladende er en 100 gange reduktion af koncentrationen.

Koncentrationen af miljøfremmede stoffer efter oprensningen overholder generelt ikke de gældende kvalitetskrav – trods de nævnte markante reduktioner af specielt de mest flygtige komponenter.

De samlede udgifter til projektet er ca. 8 mill. kroner, og beregnes en behandlingspris for det samlede jordvolumen under hele ejendommen (mættet og umættet zone), ligger den i størrelsesordenen 50-75 kr./ton.



En tilsvarende kommerciel oprensning i dag vurderes at kunne udføres for ca. 5 mill. kr.

# Summary and conclusions

This project has been carried out under The Danish Environmental Protection Agency's Technology programme for soil and groundwater contamination in co-operation with The Environmental Control Department of the Municipality of Copenhagen. The project concerns the remediation of contaminated groundwater by combined air sparging and vacuum ventilation from horizontal wells at the locality at Drejøgade 3-5, Østerbro, Copenhagen. At this site, a former dyeing and dry cleaning site has caused contamination of soil, water and air due to spills of solvents based on mineral oil (turpentine, petrol and kerosene) and chlorinated solvents (perchloroethylene). The geology of the site is dominated by fine sands with a free groundwater level at approx. 8.5 m under ground level thereby allowing the use of both air sparging and vacuum ventilation cleanup techniques. The area is approx. 7,000 m<sup>2</sup> and is partly covered by a building (a nursing home) with a cellar.

The horizontal wells have been installed using the "blind-hole" technique, whereby filters up to 130 m can be installed in the underground from an excavation pit outside the site. A total of 4 air sparging filters have been installed 2.5 m below groundwater level and 5 vacuum ventilation filters 2.5 m above groundwater level, a total of approx. 375 m filter. Due to impermeable stony horizons in certain areas, one of the filters was installed significantly shorter than planned. This indicates the importance of accurate underground geological characterisation before planning and installation of the filters. The use of filters with pre glued screens was abandoned due to problems caused by the stony horizons, In future projects, filters with slits can be recommended.

The treatment system has been build up in a 20 ft container with a vacuum ventilation capacity of 1,000 m<sup>3</sup>/hour, an air sparging capacity of 375 m<sup>3</sup>/hour and 2 x 260 kg active carbon filters. An on-line gas chromatograph (GC) monitored the soil gas concentration from the vacuum ventilation system, but the on-line GC-monitoring was unsatisfactory and cannot be recommended for similar projects. In general, the treatment system has functioned satisfactorily over the course of approx. 80% of the 2-year operation period.

In the operation period, the effect of pulsating and continuous air sparging operation cycles has been evaluated. There is a general tendency that the pulsating operation cycle maintains a higher overall soil gas concentration, and furthermore higher removal rates are obtained by this form of operation as compared to continuous air sparging. During the operation period, approx. 500 m<sup>3</sup> soil gas/hour has been extracted, corresponding to 900 times (instead of the expected 1,500 times) the volume of soil gas at the southern area predominantly polluted with chlorinated solvents. At the northern area predominantly plotted with petroleum contaminants the soil gas volume has been changed approx. 600 times in comparison to approx. 1,500 - 5,000 times as expected. The calculations of the airflow and the extent of vacuum around the horizontal borings in the soil throughout the design phase have been verified by tracer tests and vacuum measurements.

The concentration of chlorinated solvents in the unsaturated zone has been reduced significantly (75-98%), however after termination of the treatment, some rebound has been observed in one of the “hot-spot” areas.

In the area with free phase turpentine on the ground water table, no significant reduction in the content of total hydrocarbons in the soil air just above the groundwater level has been observed. This is due to the fact that the turpentine is caught in the capillary zone, which is not sufficiently ventilated due to an almost 100% saturation of the pores by water and turpentine. Outside this area, treatment has lowered the content of total hydrocarbons to a level below the detection limit.

The effect of air sparging is most apparent in the area with free phase turpentine trapped on the ground water table, as evaporation rates and soilgas concentrations of volatile hydrocarbons in the capillary zone are high.

A similar marked increase in the removal rate for the chlorinated solvents has not been observed. Thus, there are no indications that free phase chlorinated solvents are present within the area affected by the air sparging. In the 3 separate filter levels in the saturated zone, a general reduction of 60-95% of the volatile compounds such as chlorinated solvents and their degradation products as well as BTEX is observed, while reduction of the less volatile components of the turpentine hydrocarbons is less apparent. In the area with free phase turpentine, reduction in the concentration of the less volatile turpentine components in the filter levels in the capillary zone is not observed, but a significant increase has been observed in the deeper filter levels. In all filter levels - but most significantly in the upper level – an increase in the oxygen concentration was measured during operation of the air sparging system.

As an effect of start/stop of the air sparging, water samples taken at specific depths in the soil profile indicate that a vertical transport and mixing of ground water from near the groundwater table to the deepest filter level approx. 5 m below groundwater level occurs. This effect is only significant for the less volatile turpentine components and for oxygen, while the most volatile components such as the chlorinated solvents and BTEX apparently evaporate before the groundwater penetrates to this depth. Thus, the effective radius of effect is extremely dependent on the contaminant, but for chlorinated solvents the radius of effect is 5-6 m in a horizontal plane from the filter and extending to a depth of approx. 2.5 m below the level of injection (5 m below groundwater level).

Since the main objective of the cleanup is to achieve an acceptable indoor climate for the buildings above the contaminated zone, the system was stopped after 2 years operation, as the soil gas concentrations in the unsaturated zone showed a stable and reduced content of contaminants. The concentration of PCE in the capillary layer under the cellar floor was immediately after shut down of the system (24 hours) reduced 1,000 times compared to the initial concentrations before treatment (from approx. 5-100 mg/m<sup>3</sup> to 0.004-0.018 mg/m<sup>3</sup>). Several measurements carried out over the 1st year after the shut down show a slight increase to a level

approx. 0.1-0.2 mg/m<sup>3</sup>, and thus the net effect is a 100 times reduction of the initial concentrations.

In general, the concentration of xenobiotic contaminants after treatment does not comply with the existing groundwater quality criteria – in spite of the significant reductions of especially the most volatile components.

The total costs of the project are approx. 8 mio. kr., and a treatment price for the total soil volume at the locality (saturated and unsaturated zones) would be approx. 50-75 kr./ton. A similar commercial clean up is estimated at approx. 5 mio. kr.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

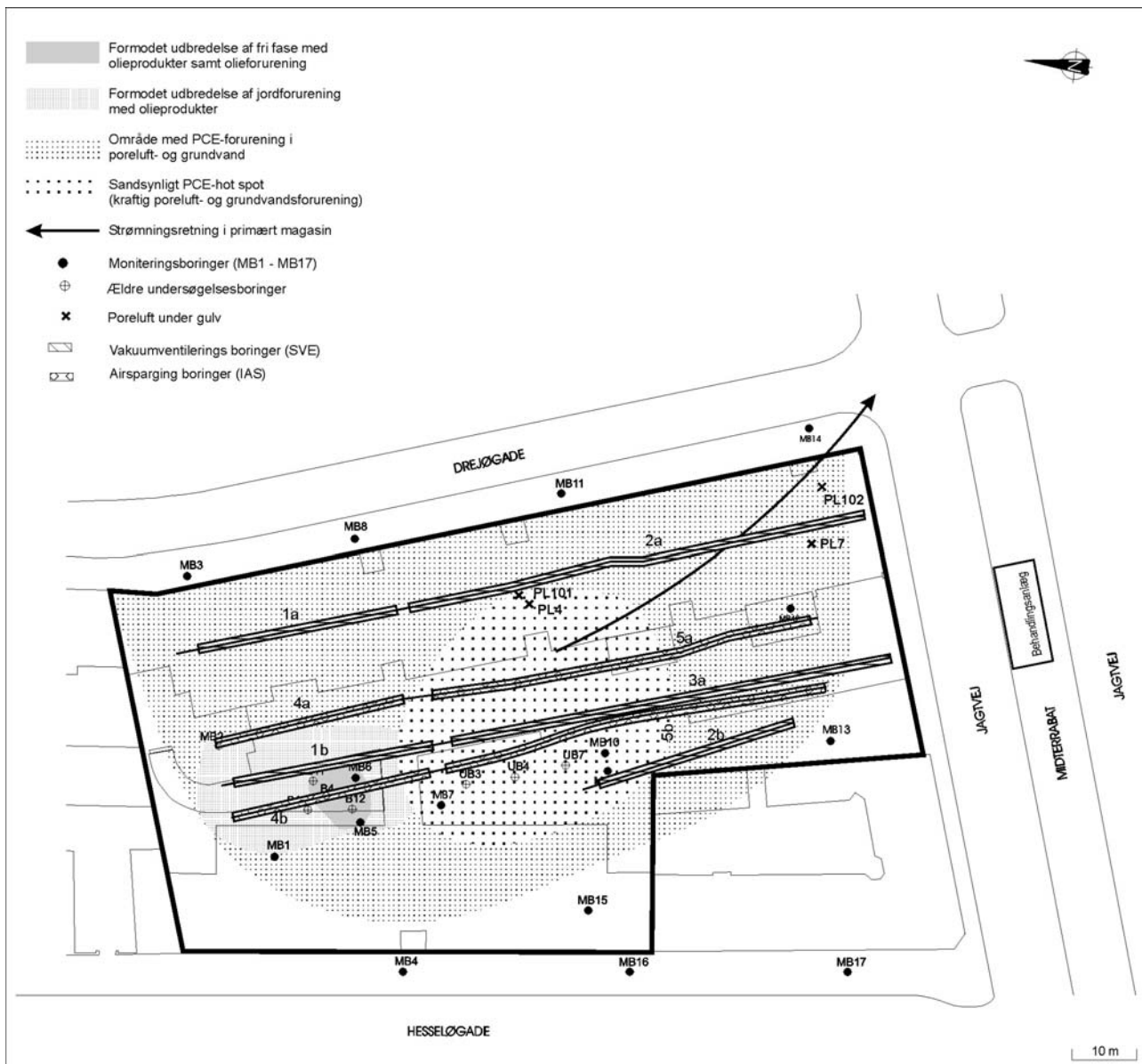
Lokaliteten på Drejøgade 3-5, Østerbro, København, har dannet ramme for aktuelle teknologiudviklingsprojekt.

På lokaliteten har der i perioden 1900-1965 været forskellig renseri/farveriaktivitet med anvendelse af terpentin samt chlorerede opløsningsmidler. Grunden er på ca. 7000 m<sup>2</sup> og de tidligere fabriksbygninger er revet ned og erstattet med et plejehjem, opført i 5 etager. Der er kælder i den del af plejehjemmet, som vender ud mod Drejøgade, jf. figur 1.1.

## 1.2 Forurenings- samt jord- og grundvandsforhold

Ved forureningsundersøgelser forud for projektets opstart blev der påvist et forhøjet indhold af PCE (tetrachlorethylen) i indeluften samt i poreluften umiddelbart under gulvene. Det blev ud fra en risikovurdering anbefalet at gennemføre afværgetiltag for at nedbringe afdampningen til plejehjemmet til et acceptabelt niveau. I den aktuelle sag er der ingen grundvandskonflikt, men der vil i det aktuelle teknologiprojekt blive vurderet ligeligt på oprensningseffekten i poreluft, jord og grundvand, for herved at kunne vurdere oprensningseffekten ved kombineret airsparging- og vakuumventilationsteknik.

Forureningsudbredelsen på lokaliteten forud for oprensningens start er gengivet i figur 1.1. De planlagte (projekterede) i alt 4 vandrette airspargingfiltre og 5 vandrette vakuumventilationsfiltre samt det tilhørende behandlingsanlægs placering fremgår ligeledes af figuren. Som nærmere uddybet senere i rapporten, kom airspargingfilter 4a aldrig i drift.



Figur 1.1 Situationsplan – planlagte afværgetiltag og fastlagte forureningsudbredelse forud for oprensningens start (se også bilag 1) /ref.1/

### Geologi og hydrologi

Terrænet på lokaliteten er beliggende i kote ca. 12. Øverst findes et fyldlag, som har en mægtighed på op til 3 m, underlejret af ca. 2 m morænesand og -ler. Fra kote ca. 7 træffes en relativ homogen smeltevandsaflejring af sand, der fortsætter ned i den umættede zone til kote -4 (svarende til ca. 16 m.u.t.) eller dybere.

Det primære magasin udgøres af smeltevandsaflejringen, der formodes at stå i hydraulisk kontakt med kalken. Magasinet har et frit vandspejl, som findes i kote ca. +3,5, svarende til ca. 8,5 m.u.t. Den overordnede strømningsretning er i sydøstlig retning ud mod Øresund.

### 1.3 Formålet med teknologiudviklingsprojektet

Formålet med dette teknologiudviklingsprojekt har været, med lige vægt på airsparging og vakuumventilation, at:

- Fastlægge dimensionsgivende parametre for design af airsparging- og vakuumventilationsfiltre samt tilhørende behandlingsanlæg
- Fastlægge nødvendigt monitoringsprogram for indkøring og afslutning af oprensning
- Udarbejde retningslinier for dimensionering, drift og afslutning af oprensning
- Vurdere anvendelsen af horisontale filtre installeret ved ”Blind-hole” boretæknik til injektion henholdsvis ekstraktion af luft under varierende geologiske forhold. Dette delformål er medtaget, da boreteknikken ikke tidligere er anvendt i Danmark
- Skaffe økonomiske nøgletal for anlægs- og driftsfasen

### 1.4 Tidligere publicerede rapporter

I nærværende afslutningsrapport sammenfattes hovedkonklusioner for design, etablering samt den gennemførte drift på lokaliteten. For mere uddybende beskrivelse af hver af disse faser i teknologiudviklingsprojektet henvises til følgende publikationer, som er tilgængelige på Miljøstyrelsens hjemmeside:

- Teknologiudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Airsparging og vakuumventilation med vandrette boringer, Drejøgade 3-5: Design og anlæg. Miljøprojekt nr. 480, 1999
- Teknologiudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Airsparging og vakuumventilation med vandrette boringer, Drejøgade 3-5: Statusrapport nr. 1 – Rapportering af drift og monitorering. Miljøprojekt nr. 487, 2000.
- Teknologiudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Airsparging og vakuumventilation med vandrette boringer, Drejøgade 3-5: Statusrapport nr. 2 – Rapportering af drift og monitorering. Miljøprojekt in prep, 2001.
- Teknologiudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Naturlig nedbrydning af olie og chlorerede opløsningsmidler i grundvandet på Drejøgade 3. Miljøprojekt nr. 544, 2000

Teknologiudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen, ”Airsparging og vakuumventilation med vandrette boringer, Drejøgade 3-5: Statusrapport nr. 3 – Rapportering af drift og monitorering” vil ikke blive publiceret særskilt, men appendix er vedlagt denne afslutningsrapport som bilag 15.

## 2 Opnåede erfaringer med etablering og drift

### 2.1 Vandrette boringer

#### 2.1.1 Design

Inden for selve lokaliteten er forureningsområdet opdelt i 2 zoner, hvor PCE henholdsvis terpentin udgør de dominerende forureningskomponenter, jf. figur 1.1. Det blev vurderet, at der totalt kunne oprensnes ca. 1000 kg chlorerede opløsningsmidler samt ca. 2000 kg oliekomponenter fra lokaliteten, men det blev også angivet, at disse estimer var behæftet med en væsentlig usikkerhed.

Da disse 2 forureningstyper er væsentligt forskellige mht. bl.a. flygtighed, bionedbrydelighed og opløselighed, var det i forbindelse med design-fastlæggelsen nødvendigt at vurdere hver zone for sig.

Den dominerende fjernelsesproces ved vakuumventilationen (SVE) vurderes at være fordampning, mens der dog for terpentin også forventes en vis acceleret bionedbrydning som følge af tilførsel af ilt fra atmosfæren til den umættede zone.

Ved airsparging (IAS) forventes den dominerende fjernelsesproces at være stripping. I området med terpentinforurening forventes også en væsentlig aerob nedbrydning som følge af tilførslen af ilt med den injicerede atmosfæriske luft.

#### *Vakuumventilationsboringer*

Design af disse boringer er baseret på følgende overordnede grundlag:

- For at sikre opsamling af frigivne stoffer fra IAS-systemet, skal ydelsen på SVE-systemet erfaringsmæssigt være 2-3 gange større end ydelsen på IAS-systemet.
- Vakuumventilationstest i 2 lodrette boringer på lokaliteten med henblik på fastlæggelse af pneumatiske parametre i den umættede zone. Permeabiliteten i den mættede zone beregnes til ca. 10 darcy.
- Amerikanske erfaringer /ref. 2/, på baggrund af hvilke det nødvendige antal udskiftninger af porevolumenet over en oprensningsperiode på 2 år blev estimeret til maksimalt 5000 porevolumener inden for området med olieforurening og 1500 porevolumener inden for området forurennet med chlorerede opløsningsmidler.
- Beregning af forventet flow og vakuum i de vandrette boringer ved brug af simpel og analytisk løsning og opstilling af en numerisk 2D flow-model.



På baggrund af ovenstående blev filterlængde samt flowmængde for hvert filter i vakuumentilationsboringerne efterfølgende benævnt SVE-filtre, fastlagt som anført i tabel 2.1.

SVE-filter	Længde (m)	Flow (m <sup>3</sup> /t)
1a	35	100
1b	35	100
1c	35	100
2a	60	200
3a	60	300
2b	60	200
Total	285	1000

Tabel 2.1: Designgrundlag for vandrette SVE-filtre.

Af tabel 2.1 fremgår, at det skønnede total flow på vakuumentilationsdelen blev fastsat til 1000 m<sup>3</sup>/t, svarende til, at der over en 2-årig driftsperiode kunne gennemføres mindst 1500 poreluftsudskiftninger i både området med olieforurening og området forurenede med chlorerede opløsningsmidler.

For at opnå mulighed for forskellige flow i de 2 forskellige forureningsområder på lokaliteten, jf. figur 1.1, blev det ud fra en anlægsøkonomisk betragtning valgt at installere 2 filtre i samme boring ved at sektionere hvert installeret filter i 2 selvstændige afsnit.

Filterdimensionen for SVE-filtrene blev efter detailberegning fastsat til ø 150 mm i samarbejde med en ekstern konsulent (Dana Brock, Veizades and Ass. San Francisco, USA), som ligeledes anbefalede specialfiltre med pålimet filtervæv. For yderligere detaljer omkring design af filtrene henvises til /ref. 1/.

### **Airspargingboringer**

Design af disse boringer er baseret på følgende overordnede grundlag:

- Airspargingstest i lodrette boringer på lokaliteten med henblik på fastlæggelse af virkningsradius og nødvendigt injektionsstryk. Virkningsradien blev ud fra forsøget vurderet til 3-4 m ved injektionsrater på 1-10 m<sup>3</sup>/time.
- I området forurenede med chlorerede opløsningsmidler blev det nødvendige injektionsflow skønnet til 5-20 m<sup>3</sup>/time for en vertikal boring, mens det i området med olieforurening blev skønnet til 1-5 m<sup>3</sup>/time. Ud fra disse flow og en optimistisk skønnet virkningsradius på 5 m, kunne det totale flow inden for hele området skønnes.
- Ud fra en virkningsradius på 5-6 m omkring et horisontalt airspargingfilter i Aalestrup /ref. 3/ skønnes det, at 2 vandrette filtre kunne dække det nødvendige område.
- De 2 boringer skulle drives på skift, hvor hver boring skulle bestå af en filtersektion i det olieforurenede område (4a, 4b) og en sektion i området med chlorerede opløsningsmidler (5a, 5b)

- Injektionsflowet skal være balanceret (2-3x mindre) i forhold til flowet fra SVE-systemet

På baggrund af ovenstående blev filterlængde samt flowmængde for hvert filter i airspargingboringerne, efterfølgende benævnt IAS-filtre, fastsat som anført i tabel 2.2:

IAS-filter	Længde (m)	Flow (m <sup>3</sup> /t)
4a	35	35
4b	35	35
5a	40	340
5b	40	340
Total	150	375 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Boringerne (4a og 5a) og (4b og 5b) drives på skift

Tabel 2.2: Designgrundlag for vandrette IAS-filtre.

På baggrund af amerikanske erfaringer /ref. 2/ blev en filtertype med pålimede special spargeinserts valgt. Disse hindrer partikler i at trænge ind i denne filtertypes huller og fordeler udstrømningen af luft jævnt langs rørets fulde længde.

Filterdimensionen blev efter detailberegning fastsat til ø 150 mm i samarbejde med en ekstern konsulent (Dana Brock, Veizades and Ass., San Francisco, USA), jf. /ref. 1/.

For at opnå mulighed for forskellige flow i de 2 forskellige forureningsområder på lokaliteten, jf. figur 1.1, blev det ud fra en anlægsøkonomisk betragtning valgt at installere 2 filtre i samme boring ved at sektionere hvert installeret filter i 2 selvstændige afsnit. For yderligere detaljer omkring design af IAS-filtrene henvises til /ref. 1/.

### 2.1.2 Etablering

Ved etablering af SVE- og IAS-filtrene ved blind-hole boreteknik blev der høstet en række erfaringer:

- Forekomst af uforudsete jordbundsforhold medførte at et planlagt SVE-filter (1c) på den vestlige del af lokaliteten aldrig blev etableret, idet lokale stenforekomster i boretraceet ikke kunne gennembøres.
- Borearbejdet var til stærk gene for den lokale trafik samt påførte de nærmeste ejendomme støjgener, da en del af arbejdet forløb om aftenen. Disse gener bør minimeres gennem valg af hensigtsmæssige arbejdsprocedurer og information til naboejendomme.
- SVE-filtre med pålimet filtervæv blev revet itu i forbindelse med installation. Brug aldrig filtre med pålimet filtervæv ved installation af filtre i stenede formationer, hvis ikke installationen kan ske ved anvendelse af foringsrør. Benyt i stedet slidseede filtre, som er slidset i langsgående retning, for at opnå størst mulig trækstyrke i de installerede filtre. Slidsebredden vurderes i hver enkelt sag, og det anbefales, at der opnås et effektivt filterareal på 4-5%

- Brug rørføringer med bøjninger, der kan passeres med spule/resegrej. IAS-filter 4a blev under anlægsarbejdet tilklogget og kom aldrig i drift, da tilslutningen til behandlingsanlægget er udført med uhensigtsmæssig rørføring. I et forsøg på at oprense det tilkloggede IAS-filter 4a blev det valgt at søge at udsyre dette med saltsyreopløsning. Grundet uhensigtsmæssige rørføringer med mange bøjninger, samt grundet de dårlige adgangsforhold i midterrabatten af Jagtvej, som det var nødvendigt at etablere for at forbinde filtre til behandlingsanlægget, måtte planlagte udsyring opgives og IAS-filter 4a forblive ude af drift.
- Håndtering af boremudder skal overvejes nøje, før projektet opstartes. Ca. 90% af de i alt 250 m<sup>3</sup> boremudder blev returledt til modtagergrube og efterfølgende slutdeponeret på behandlingsanlæg (forurennet) henholdsvis i havnebassin (rent boremudder). Grundet bl.a. den stenhellige moræne blev boremudderforbruget væsentligt større end forventet, hvilket påførte projektet en merudgift på kr. 150.000, svarende til en budgetoverskridelse på denne post på 2,5 gang.

### 2.1.3 Drift

Ved drift af SVE- og IAS-filtrene etableret ved blind-hole boreteknikken blev der gjort følgende observationer:

- Pumpetest på SVE-filtre umiddelbart efter installation viste, at der kun kunne ekstraheres små luftmængder (5-10 m<sup>3</sup>/time/filter) fra det pågældende filter. Dette skyldtes sandsynligvis, at formationen omkring filtrene stadig var delvist vandmættet efter gennemført boringsudvikling med hypokloritopløsning. Igennem de første 2 måneders drift af SVE-filtrene steg ydelsen på hvert SVE-filter til 80-160 m<sup>3</sup>/time ved fastholdt frekvens på frekvensomformerne opkoblet til sidekanalblæserne. Ændringen vurderes at kunne tilskrives ændret formationsmodstand, bl.a. grundet lokal udtørring af formationen.
- Den samlede ekstraktionsmængde fra de 5 SVE-filtre var i ca. 33% af den samlede driftsperiode på ca. 400 m<sup>3</sup>/t, mens der i den resterende periode blev ekstraheret 500-600 m<sup>3</sup>/t. Sammenholdt med designgrundlaget (1000 m<sup>3</sup>/t) kunne der således ekstraheres 40-60% af den forventede mængde poreluft.
- Pumpetest på IAS-filtre viste, efter at vandspejlet var kollapsede, et flow på 50 m<sup>3</sup>/time/filter ved 0,3 bar, hvilket er i overensstemmelse med det fastsatte designgrundlag (35-40 m<sup>3</sup>/t/filter) for disse.
- Alle SVE- og IAS-filtre, bortset fra SVE-filter 1c og IAS-filter 4a, har været i drift i hele perioden ved ydelser som anført i tabel 2.3. De opnåede max. driftflow for SVE-filtre 1a, 1b, 2a og 2b er generelt i god overensstemmelse med aktuelle flow fastsat i designfasen. Derimod er opnåede max. driftflow for SVE-filtre 3a kun på godt 50% af det i designfasen fastsatte. Denne markante afvigelse vurderes dog ikke at skyldes filtrets kapacitet, men snarere, at den monterede sidekanalblæser, opkoblet til dette filter, var væsentligt underdimensioneret. Generelt kan det konkluderes, at alle IAS-filtre har ydet et væsentligt lavere flow en designet, da det blev valgt ikke at drive an-

lægget alternerende mellem de to boringer, men kontinuer på alle filtre.

Filter nr.	Længde (design) (m)	Længde (udført) (m)	Tryktab i filter (design) (mBar)	Tryktab i filter (udført) (mBar)	Flow (design) (m <sup>3</sup> /t)	Flow (udført) (m <sup>3</sup> /t)	Max.flow <sup>1)</sup> (testdata) (m <sup>3</sup> /t)
<b>SVE-filtre</b>							
1a	35	30	5-10	~20	100	~100	~120
1b	35	30	5-10	~20	100	~80	~100
1c	35	-	5-10	-	100	-	-
2a	60	66	10-20	~35	200	~130	~160
2b	60	30	10-20	~35	200	~125	~160
3a	60	66	10-20	~35	300	~160	~160
Total	285	222	-	-	1000	~595	~700
<b>IAS-filtre</b>							
4a	35	30	225	Ikke i drift	35	Ikke i drift	Ikke i drift
4b	35	30	225	300	35	~45	~40
5a	40	51	257	300	340	~60	~65
5b	40	51	225	300	340	~60	~60
Total	150	162	-	-	340-375 <sup>2)</sup>	60-105 <sup>2)</sup>	-

<sup>1)</sup>: Flow målt ved max. ydelse på vakuumpumpe henholdsvis kompressor.

<sup>2)</sup>: Filter 5a hhv. 4a + 5b drives på skift.

Tabel 2.3: Filterlængde samt tryktab og flow i filtre (design/udført)

- Der er ikke observeret tilklogning som funktion af tid i SVE- eller IAS-filtrene på baggrund af månedlige aflæsninger af samørende værdier af flow og vakuum henholdsvis tryk, på hvert SVE- henholdsvis IAS-filter.
- Den benyttede metode til tolkning af in-situ ventilationstest og opskalering til vandrette boringer samt konceptuelt design ved brug af 2D-modellering af luftstrømninger er brugbar ved design af anlæg /ref 1/. Et tracerforsøg i den umættede zone, se bilag 2, har således vist, at transporttiden fra MB8 til SVE-filter 1a (ca. 11 m væk) er ca. 1 døgn, hvilket er i god overensstemmelse med den beregnede på 1-2 døgn. Samtidig er de målte vakuum, f.eks. i monitoringsboring MB8, ved drift omkring 4-5 mBar, hvilket er i rimelig overensstemmelse med det beregnede på 2-3 mBar.
- Det samlede vakuum i SVE-filtrene er ved forsøg målt til max. ca. 135 mBar. Heraf udgør enkelttab i filtrene 20-35 mBar, jvf. tabel 2.3, mens skønsmæssigt 10-15 mBar vurderes at kunne henføres til tryktabet i den del af ledningsføringen, som er etableret fra filterafslutningen i jord og frem til flowmåleren monteret ved indløb til behandlingsanlægget. Supplerende er et samlet enkelttab på max. ca. 85 mBar målt over de komponenter, der er monteret fra flowmåleren (indløb) og frem til sidekanalblæseren. Det samlede enkelttab er fordelt som følger:
  - flowmåler: 25-40 mBar
  - snavssamler: 5-10 mBar
  - drosselventil: 0-20 mBar
  - vandudskiller: 10-15 mBar

Et procesdiagram for vakuumventilationsdelen er vist i figur 2.4. Baseret på resultatet af de gennemførte tryktabsmålinger vurderes

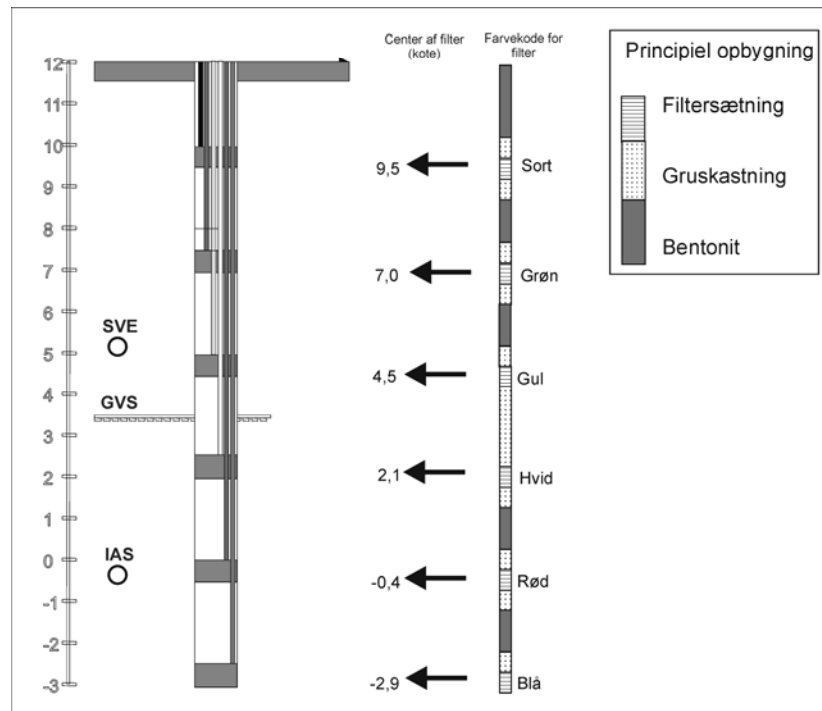
tryktabet i SVE-filerne således at være i størrelsesordenen max. 35 mBar, hvilket er en anelse større end det beregnede på 5-20 mBar.

## 2.2 Monitoringsboringer

### 2.2.1 Design

Monitoringsboringerne blev designet for effektiv overvågning af poreluft og grundvandsforholdene under airsparging og vakuumventilering. Monitoringsboringerne blev designet som følger og placeret som vist på figur 1.1:

- En monitoringsboring, som vist på figur 2.1, består af 3 filtre i den umættede zone og 3 filtre i den mættede zone for udtagning af niveauspecifikke prøver, samt et pejlerør for pejling af grundvandspotentialet og evt. fri fase. Filtrenes længde er 0,5 m og er placeret med en indbyrdes afstand på 2 m, hvor der er placeret en bentonitprop imellem /ref 1/.
- I alt 5 ilt-transducere til kontinuert overvågning af iltindholdet i den umættede zone blev indbygget i 5 forskellige boringer.
- De 3 filtre i den mættede zone er designet omkring det såkaldte Montejus-system, idet der kan udtages vandprøver udelukkende ved påvirkning af filtret med nitrogentryk. Herved kan der udtages vandprøver uden kontakt til atmosfærisk luft.
- Monitoringsboringerne med de 6 filtre samt pejlerør er placeret således, at det er muligt at registrere oprensningseffekten vertikalt ned igennem umættet og mættet zone. Desuden kan effekten på de 2 forskellige forureningstyper samt betydningen af afstanden til de vandrette airsparging- og vakuumventilationsboringer vurderes.



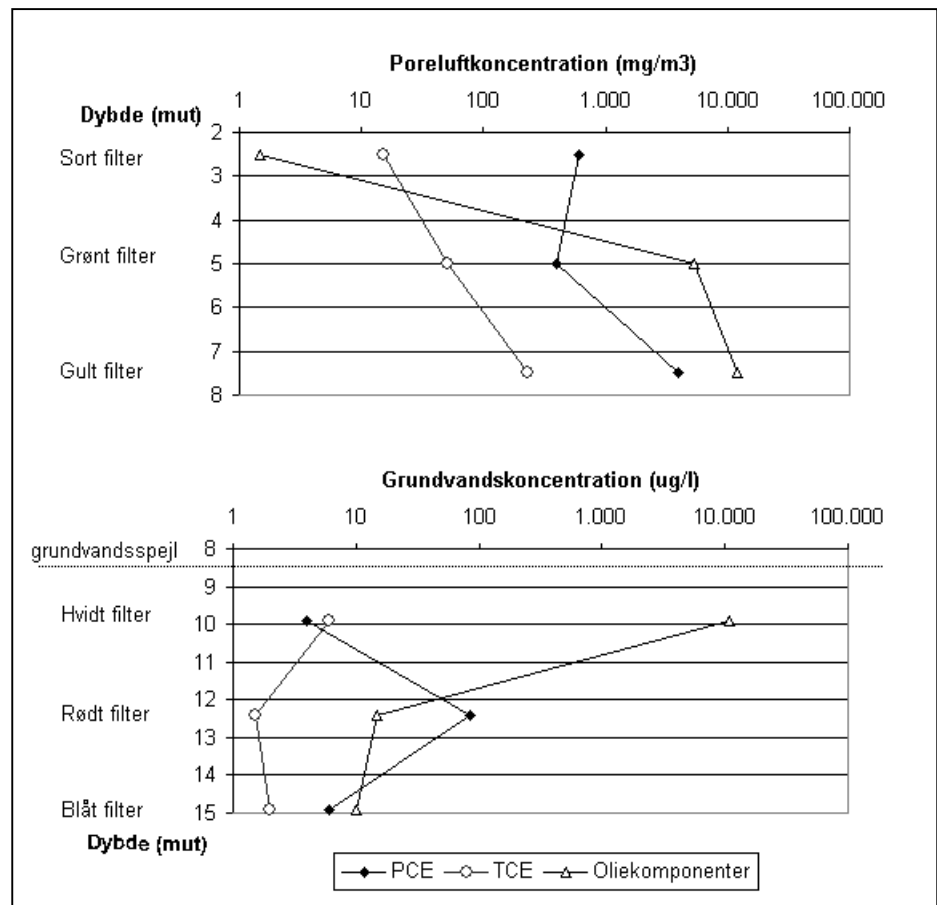
Figur 2.1: Opbygning af en monitoringsboring

### 2.2.2 Etablering

Som led i etableringen af monitoringsboringerne er der gjort følgende erfaringer:

- Der skal iagttages stor forsigtighed ved etablering af filtrene i boringen, og det skal tilses, at slanger ikke bliver klemt. Boringerne blev etableret uden større problemer vha. 7" hulsnegl, men det vurderes, at traditionel boreteknik også kan anvendes. Ud af de 47 etablerede filtre i den umættede zone var der 4 filtre, der aldrig kom til at virke. Ud af de 45 filtre i den mættede zone var der 6 filtre, der aldrig kom til at virke, og 2 filtre, der i løbet af forsøgsperioden blev ubrugelige. Årsagen til de defekte filtre skyldes sandsynligvis, at slanger alligevel er blevet klemt under etableringen, men de kan også have været defekte ved leveringen grundet fabriktionsfejl.
- Etablering af de valgte monitoringsboringer er et præcisionsarbejde, og det anbefales, at arrangementet bestående af filtre, pejlerør samt bentonitpropper præfabrikeres af leverandøren. Den her anvendte filterenhed blev leveret af Jensen Filter, Ølgod. På figur 2.2 er den vertikale variation i koncentrationen i poreluft og grundvand vist i en udvalgt monitoringsboring. Heraf fremgår det, at der er stor forskel i koncentrationen i de 3 filtre i den umættede zone og i de 3 filtre i den mættede zone, hvorfor bentonitpropperne mellem filtrene vurderes effektivt at forhindre kontakt mellem filtrene.
- Under etableringen af monitoringsboringerne kan monteres forskelligt loggerudstyr til kontinuert logning under driften. I forbindelse med etableringen af 5 af boringerne blev der monteret en ilttransducer (Vadoscan) i den umættede zone i en fast dybde. Loggeren blev monteret med plaststrips udenpå pejlerøret og kablet ført til

terræn med de øvrige slanger. Dataloggeren blev placeret i selve afslutningen, som bestod af et 12" kørefast dæksel med betonring.



Figur 2.2: Koncentration af PCE, TCE og oliekomponenter i monitoringsfiltrene i MB7. Hver graf består af data fra samme analyserunde.

### 2.2.3 Drift

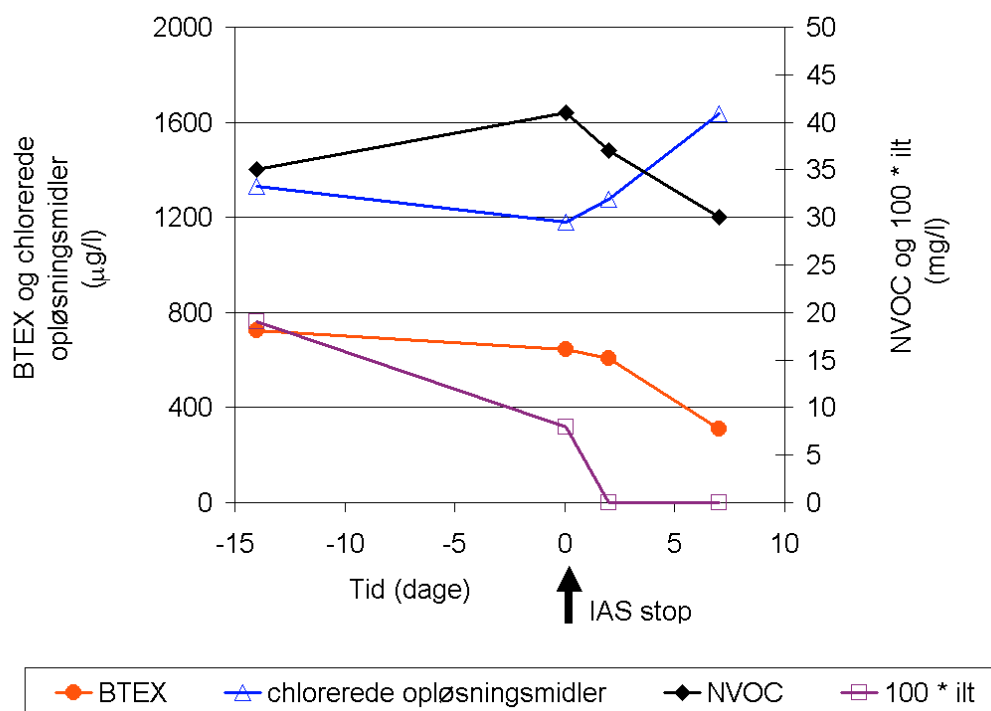
Som led i den gennemførte monitoring er der gjort følgende observationer og erfaringer:

- Ønskes koncentrationsniveauerne i grundvandet under drift registreret, er det vigtigt, at airsparging er i drift, når prøverne tages. Årsagen er, at koncentrationen af ilt falder hurtigt, og at koncentrationen af oliekomponenter og chlorerede opløsningsmidler ændres efter stop af airsparging. Hvis der registreres bobler i boringen, er det dog nødvendigt at stoppe anlægget et par timer før udtagning af prøver. Drift og stop af airsparging i forhold til tidspunkt for udtagning af grundvandsprøver har stor betydning for analyseresultaterne. Et eksempel fra en udført test i grundvandet under airsparging er vist på figur 2.3.
- Ønskes koncentrationsniveauerne i poreluften registreret, udtages prøverne efter, at anlægget har været slukket i 3 dage. Herved opnås en registrering af koncentrationsnivauet i poreluften for de chlorerede opløsningsmidler, efter at der beregningsmæssigt har indstillet sig en ligevægt mellem opløst/adsorberet stof og poreluft. For iltindhol-

det betyder denne procedure imidlertid, at der i områder med kraftig olieforurening når at ske en nedbrydning af den tilstedeværende ilt. Iltmålinger foretaget kontinuert gennem driftsperioden med ilt-transducere viser tydeligt denne effekt, se bilag 14.

- Prøvetagning vha. Montejus-systemet i den mættede zone og vakuumpumper i den umættede zone virkede efter hensigten under hele monitoringsforløbet. En fuld monitoringsrunde, bestående af 43 filtre i den umættede zone og 39 filtre i den mættede zone, kan prøvetages på 4-5 feldage af en tekniker.
- Tilklogning af monitoringsfiltrene i den mættede og den umættede zone har ikke vist sig problematisk. Højest 2 af 39 filtre i den umættede zone er muligvis tilklogget under driften.
- Skal der analyseres for letflygtige forbindelser (vinylchlorid m.m.), er prøvetagningsmetoden meget vigtig. I forbindelse med fastlæggelse af "baseline-niveauet" (niveauet før start på oprensningen), blev der eksperimenteret med forskellige prøvetagningsmetoder til både poreluft og grundvand. Det blev ved forsøgene påvist, at også vinylchlorid kunne tilbageholdes på kulrørene, selv ved et prøvetagningsflow på 1 l/min., /ref. 8/.
- De monterede iltransducere virkede godt, men selve dataloggerenheden (Vadoscan) var ikke robust nok i længden og kunne ikke tåle fugten/vandet i boringsafslutningerne. Det anbefales derfor, at der vælges mere robuste loggere (evt. i vandtætte bokse), eller at selve dataloggeren ikke placeres i den fugtige/våde boringsafslutning.
- Det viste sig yderst relevant at kunne følge koncentrationen af forureningskomponenter i flere niveauer i poreluften og i grundvandet, for, som det fremgår af bl.a. figur 2.2, kan der ske store ændringer af koncentrationen af oliekomponenter og chlorerede opløsningsmidler i alle 6 filterniveauer med tiden.





Figur 2.3: Prøvetagningstidspunktets betydning for stofkoncentrationen (MB7 – hvidt filter)

## 2.3 Behandlingsanlæg

### 2.3.1 Design

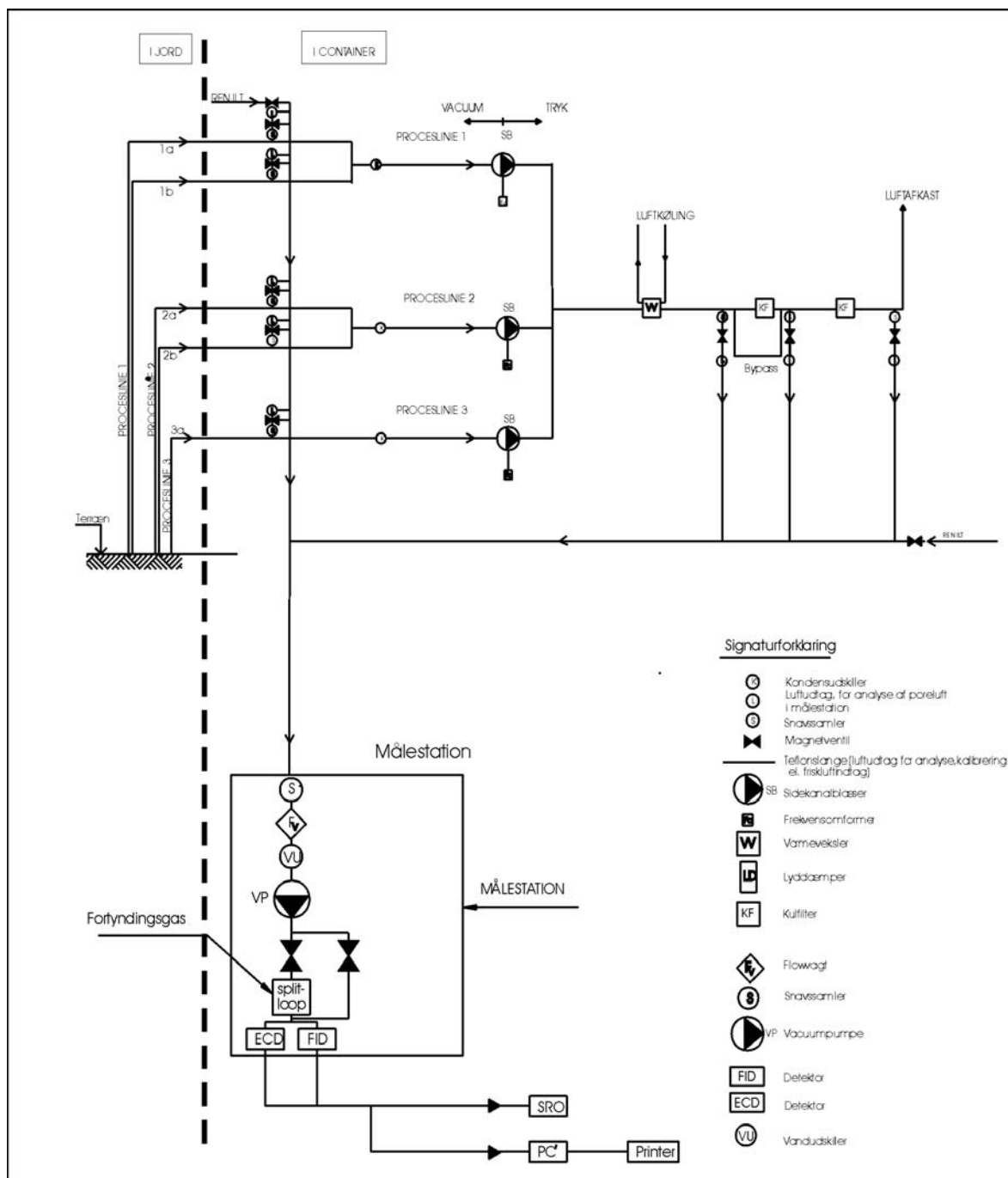
Behandlingsanlægget var designet for oprensning af max. 1000 m<sup>3</sup> poreluft pr. time, med en maksimal startkoncentration på 20.000 mg PCE/m<sup>3</sup>, 1.000 mg TCE/m<sup>3</sup> og 25.000 mg oliekomponenter/m<sup>3</sup>. Injektionen blev designet til maksimalt 375 m<sup>3</sup> atmosfærisk luft pr. time, jf. afsnit 2.1.1.

Proceslinierne på airsparging- og vakuumentilationsdelen blev designet i henhold til praksis for denne anlægstype, jf. udbudsmaterialet /ref. 7/ samt procesdiagrammer for airsparging- og vakuumentilationsdelen, som præsenteret i fig. 2.4 og 2.5. Det er valgt at anvende sidekanalblæsere frem for kapselblæsere til SVE-systemet, og herved er opnået en anlægsbesparelse på ca. kr. 100.000 mod en øget driftsudgift på ca. kr. 50.000 for en 2-årig driftsperiode.

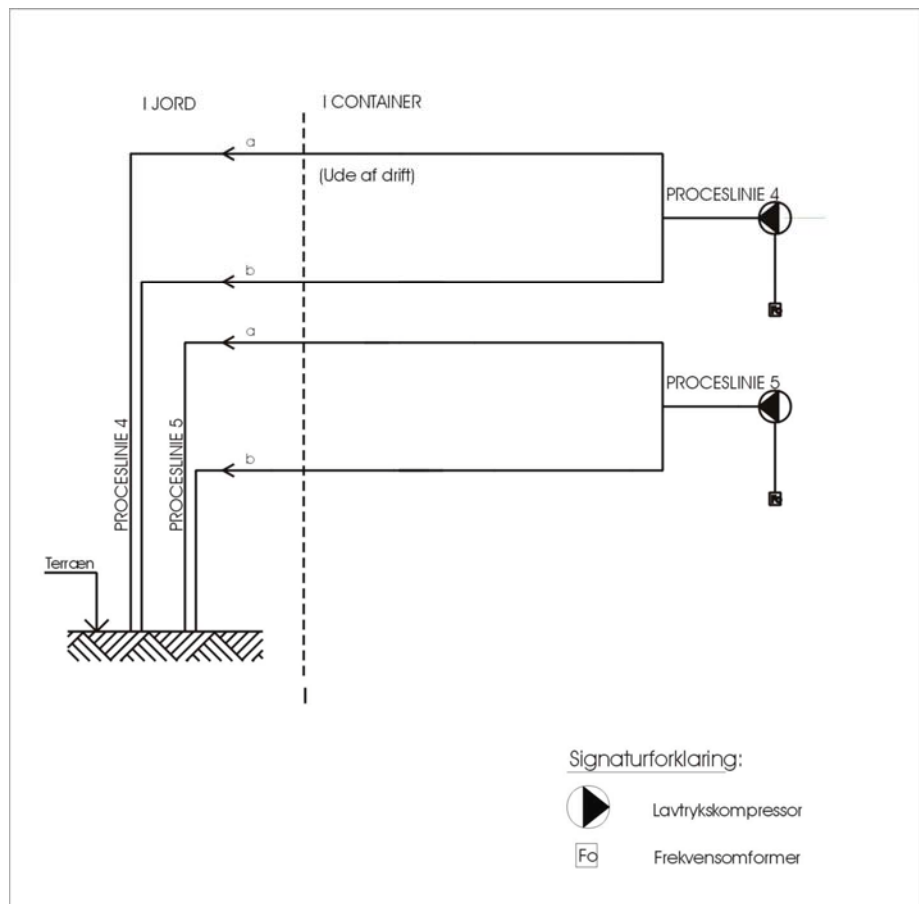
Der er installeret en varmeveksler til køling af luften før indløb i kulfiltret, idet opsuget poreluft før passage af varmeveksleren typisk har en temperatur på 40-60°C /ref 6/. Som eksempel kan i den forbindelse anføres, at mætningsgraden for PCE på den anvendte type aktive kul typisk ville være faldet fra ca. 20% til ca. 10%, hvis ikke en varmeveksler var blevet monteret. Et så markant fald i adsorbtionsevne ville således have påført projektet en ekstra driftsudgift til kul på 90-100%, svarende til kr. 550.000- 600.000, excl. moms. Til sammenligning kan det anføres, at den monterede varmeveksler repræsenterede en anlægsværdi på ca. kr. 50.000 og en årlig driftsudgift på ca. kr. 20.000. Priser er anført excl. moms.

Som led i teknologiudviklingsprojektet var der ekstraordinært installeret en målestation, hvor en gaschromatograf (GC) on-line skulle måle koncentrationeniveauet af PCE, TCE henholdsvis total kulbrinter (total-C) i den ekstraherede poreluft fra de i alt 5 SVE-filtre. GC'en er udstyret med kombineret FID- og ECD-detektor.

Procesdiagram for airsparging- og vakuumentilationsdelen, incl. målestationen, er gengivet på figur 2.4 og 2.5.



Figur 2.4: Procesdiagram, vakuumentilationsdelen og tilhørende målestation /ref.1/



Figur 2.5: Procesdiagram, airsparging /ref. 1/

### 2.3.2 Etablering

Etableringen forløb uden væsentlige afvigelser i forhold til det projekterede design.

### 2.3.3 Drift

I driftsfasen blev der udført månedligt tilsyn på behandlingsanlægget i henhold til monitoringskemaet, som vist i bilag 4. Supplerende blev der udført "on-line" GC-analyser af ekstraheret poreluft på den installerede målestation.

Igennem den godt 2-årige driftsperiode blev der gjort følgende observationer og følgende overordnede driftserfaringer med behandlingsanlægget:

#### **Vakuumentilation**

Erfaringerne er opsummeret herunder:

- I løbet af den første driftsuge indeholdt den ekstraherede poreluft, vanddråber, sandsynligvis forårsaget af, at formationen langs SVE-filtrene var delvist vandmættet efter den udførte boringsudvikling med hypokloritopløsning. Vanddråberne blev udskilt i vandudskiller og efterfølgende afledt til kloak. Efter 1. driftsuge blev der ikke længere konstateret vand i SVE-filtrene.
- Snavssamlere, monteret før flowmålerne for at forhindre sand m.m. i at nå sidekanalblæseren, skulle i den første tid tømmes hyppigt, da

sand og spåner fra gevindsamlede rør blev suget ind i anlægget. Efter 3 måneders drift var dette ikke længere nødvendigt.

- Flowmålere af typen ”Rotametre” anbefales ikke til tilsvarende projekter. Rotametrene ”hopper” meget og er derfor svære at aflæse, bliver hurtigt defekte, og tryktabet over denne måler type ligger på 25-40 mbar. Ved gennemførte test, hvor der er kørt uden henholdsvis med Rotameter monteret på hvert SVE-filter, blev der målt et totalt max. flow på 605 m<sup>3</sup>/time henholdsvis 561 m<sup>3</sup>/t, svarende til en ydelsesnedgang på godt 9% med Rotametre monteret. Ved fremtidig luftflowmåling kunne det alternativt vælges at montere varmetrådsanemometre (fx fabrikat TSI), som ikke medfører væsentligt enkelttab (< 1 mBar). Denne type måler kan anvendes for såvel on-line som periodisk måling af luftafkast.
- Afkøling af poreluften i en varmeveksler før tilledning til kulfilter vurderes at have en væsentlig effekt på den opnåede mætningsgrad på kullene. Mætningsgraden for oliekomponenter på det opbrugte kul har ligget på 27-34%, hvilket tilskrives, at den ekstraherede poreluft blev afkølet til ca. 20°C før tilledning til 1. kulfilter.
- De installerede sidekanalblæsere har kørt uden driftsproblemer.
- ”On-line” måling af poreluftskoncentrationen med den installerede GC har skabt alvorlige problemer. Sammenfattende har problemerne omfattet hyppig rensning af kolonner, udskiftning og recalibrering samt udskiftning af diverse driv- og kalibreringsgasser. Desuden har GC’en i længere sammenhængende perioder ikke kunnet ”nul-stilles” imellem hver analyserunde. ”On-line” måling af denne type kan ikke anbefales på fremtidige projekter. Hertil er teknikken alt for følsom over for ændringer i forureningssammensætning og koncentrationsniveauerne i den analyserede poreluft samt ydre påvirkninger (fugt, temperatur, rystelser, træk m.v.). For dokumentation af oprensingsforløbet, er der i stedet udtaget poreluftsprøver til kulrør.
- Anlægget har haft uprovokerede stop med en samlet varighed på ca. 135 døgn, svarende til 20% af den samlede mulige driftstid. Problemer med GC’en har været den altovervejende årsag til disse driftsstop.

### ***Airsparging***

Erfaringerne er opsummeret herunder:

- De monterede kompressorer har kørt uden driftsproblemer og svingningsdæmpende foranstaltninger har været korrekt udført.

## 2.4 Økonomi

De økonomiske nøgletal for det gennemførte teknologiudviklingsprojekt er gengivet i tabel 2.4 og 2.5.

### 2.4.1 Design

I forbindelse med projektet er der udført en række in-situ test på lokaliteten, og på baggrund heraf er selve afværgeprojektet detailprojekteret. Udgiften til forundersøgelser var ca. 200.000 kr. og detailprojektering var ca. 300.000 kr.

### 2.4.2 Etablering

De økonomiske nøgletal for etablering af afværgeprojektet fremgår af tabel 2.4.

Ydelse	Rådgiverhonorar samt udgift til driftsansvarlige	Eksterne udgifter Entreprenør, analyselaboratorium og deponeringsanlæg
Vandrette borer (SVE og IAS)	125	2.665
Test af etablerede filtre (SVE og IAS)	80	-
Behandlingsanlæg	100	1.425
Målestation (on-line GC analyse) incl. ekstra styring	-	450
Tilsyn ved amerikansk rådgiver i forbindelse med etablering af vandrette borer	135	-
Etablering af monitoringsboringer (17 stk.)	50	300
<b>I alt, etablering<sup>1)</sup></b>	<b>490</b>	<b>4.840</b>

1) excl. udgift til erstatninger til lodsejer

Tabel 2.4: Økonomiske nøgletal for etablering af afværgeprojekt angivet i 1.000 kr., excl. moms

Det skal bemærkes, at afholdte udgifter i relation til aktiviteter i forbindelse med vurdering af naturlig nedbrydning på lokaliteten /ref. 4/ ikke er indregnet i nøgletallene i tabel 2.4.

### 2.4.3 Drift

De økonomiske nøgletal for indkøring og drift af afværgeprojektet fremgår af tabel 2.5.

Ydelse	Rådgiverhonorar samt udgift til driftsansvarlige	Eksterne udgifter Entreprenør, analyselaboratorium og deponeringsanlæg
Indkøring af anlæg	75	-
Tilsyn med drift, incl. serviceaftaler med driftsansvarlige	360	-
Kulforbrug, incl. deponeringsafgift og analyse af opbrugte kul	-	600
El og telefon	-	350
Afvikling af monitoringsprogram i monitoringsboringer, udtag af poreluftprøver under gulv samt bioaktivitetsmålinger	320	650
Rapportering af design, etablering, drift og afslutning	310	-
<b>I alt, indkøring og drift<sup>1)</sup></b>	<b>1.065</b>	<b>1.600</b>

1) excl. udgift til TV-inspektion af dræn, overmaling af graffiti o.a. driftsudgifter

*Tabel 2.5: Økonomiske nøgletal for indkøring og drift af afværgeprojekt angivet i 1.000 kr., excl. moms*

## 3 Effekt af afværgeprojekt

### 3.1 Effekt af afværgeprojekt registreret i behandlingsanlæg

I det følgende omtales den fjernelse af forurening, som afværgeanlægget direkte har forårsaget ved ventilationen. Sideeffekter som f.eks. øget naturlig nedbrydning forårsaget af indblæsning af atmosfærisk luft i den mættede zone omtales ikke i dette afsnit.

#### 3.1.1 Resultater

I bilag 5 præsenteres en graf, der viser den totale poreluftmængde, samt dets indhold af chlorerede opløsningsmidler (PCE+TCE) og oliekomponenter, der som funktion af driftstiden ekstraheres og oprensnes fra lokaliteten.

I bilag 6 præsenteres en graf, der viser de opnåede fjernelsesrater for chlorerede opløsningsmidler (PCE+TCE), oliekomponenter og total kulbrinter som funktion af driftstiden.

I bilag 7 præsenteres graf, der viser akkumuleret massefjernelse for chlorerede opløsningsmidler (PCE+TCE), oliekomponenter og total kulbrinter som funktion af driftstiden.

#### 3.1.2 Flow for vakuumventilationsdelen

Nøgletallene for flow i driftsperioden er sammenfattet i tabel 3.1

	Flow i 1/3 af driftsperioden	Flow i 2/3 af driftsperioden
Målt	400	500-600
Designgrundlag	1000	

Tabel 3.1: Flow under drift ( $m^3/time$ )

I den første ca. 1/3 af oprensingsforløbet blev der ekstraheret ca. 400  $m^3$  poreluft/time, mens der i det resterende ca. 2/3 af oprensingsforløbet blev ekstraheret 500-600  $m^3$  poreluft/time. Årsagen til, at de estimerede 1000  $m^3/time$  ikke blev opnået, skønnes væsentligst at være betinget af:

- at tryktabet i ledningsføringer og komponenter, her specielt i flowmålere, var større end forventet, jf. afsnit 2.1.3.
- at sidekanalblæseren tilkoblet SVE-filter 3a var underdimensioneret
- at naturlige inhomogeniteter i jorden kan have medført, at formationsmodstanden generelt på grunden var større end forudsat ved designet af vakuumventilationssystemet. Designet var baseret på to insitu test, der kun dækker en lille del af grundens samlede areal.

### 3.1.3 Udskiftning af poreluft

Nøgletallene for antal af udskiftede porevolumener i driftsperioden er sammenfattet i tabel 3.2.

	Målt på sydlige del af lokalitet (SVE-filter 2a,2b,3a)	Målt på nordlige del af lokalitet (SVE-filter 1a,1b)	Total (Alle SVE-filtre)
Målt	1025	725	900
Designgrundlag	1500	1500-5000	1500-2500

Tabel 3.2: Porevolumener udskiftet i løbet af driftsperioden

I alt er udskiftet ca. 1025 poreluftvolumener på den sydlige del af lokaliteten og ca. 725 poreluftvolumener på den nordlige del af lokaliteten, svarende til en udskiftning af totalvolumenet ca. 900 gange.

Årsagen til, at der på den nordlige del af lokaliteten er opnået en væsentlig mindre luftudskiftning end forventet, skyldes primært, at der reelt mangler et filter, som ikke kunne installeres pga. sten.

### 3.1.4 Koncentration i ekstraheret poreluft

Nøgletallene for koncentrationen i den ekstraherede poreluft er sammenfattet i tabel 3.3.

	PCE		TCE		Oliekomponenter	
	konc.	filter	konc.	filter	konc.	filter
Målt max.	1400	2b	62	2b	4.300	1b
Målt min.	i.p.	2b	i.p.	2a+3a	1,4	2a
Designgrundlag <sup>1)</sup>	20.000	-	1.000	-	25.000	-

*i.p. Ikke påvist*

*1) Skønnede max. koncentrationer ved opstart*

Tabel 3.3: Koncentration i ekstraheret poreluft i de enkelte filtre ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Sammenholdes de anførte data i tabel 3.3 med figur 1.1. ses, at de højeste koncentrationer i den ekstraherede poreluft af PCE, TCE henholdsvis olie påvises i filtre placeret i de områder af lokaliteten, hvor disse forureningskomponenter også er påvist dominerende. Samtidig fremgår det af tabel 3.3, at der i oprensningsforløbet aldrig er opnået de i designgrundlaget fastsatte max. koncentrationer, hvilket primært vurderes at skyldes det utilstrækkelige undersøgelsesgrundlag, som ligger til grund for fastlæggelsen af design. I den forbindelse bør det nævnes, at monitoringsboringerne (MB1-MB17) først blev etableret efter, at anlægget var designet.

### 3.1.5 Fjernelsesrater

Nøgletallene for fjernelsesrater er sammenfattet i tabel 3.4.



	PCE		TCE		Oliekomponenter	
	konc.	filter	konc.	filter	konc.	filter
Max.	70	2b	10 <sup>1)</sup>	2b	458,6	1b
Min.	0,009	1a	i.p.	1a+1b+ 2a+3a	0,18	2a

*i.p. Ikke påvist*

*1) Er en vurderet værdi. Den maksimale fjernelsesrate for TCE er målt til 456 g/time, men vurderes at kunne tilskrives en fejl på den udførte GC "online" måling.*

*Tabel 3.4: Fjernelsesrater i de enkelte filtre (g/time)*

Der blev i forbindelse med designgrundlaget ikke vurderet nærmere med hensyn til forventede max. opnåelige fjernelsesrater og en evt. udvikling over tid.

Sammenholdes de anførte data i tabel 3.4 med figur 1.1. ses, at de højeste fjernelsesrater i den ekstraherede poreluft af PCE, TCE henholdsvis olie påvises i filtre placeret i de områder af lokaliteten, hvor disse forureningskomponenter også er påvist dominerende.

De højeste fjernelsesrater for de enkelte forureningskomponenter ses, som forventet, i de pågældende kildeområder.

Der kan overordnet identificeres en eksponentielt aftagende fjernelsesrate over tid, hvilket er forventet. For både PCE/TCE og oliekomponenter opnås der efter ca. 6 måneders drift af vakuumventilation uden samtidig drift af airsparging, et relativt stabilt koncentrationsniveau i den oppumpede poreluft, jf. bilag 5.

### 3.1.6 Massefjernelse

Nøgletallene for massefjernelse i driftsperioden er sammenfattet i tabel 3.4.

	Chlorerede opløsningsmidler	Oliekomponenter
Før opstart <sup>1)</sup>	100	0
I driftsperioden	372	3422
Total	~ 450-500	~ 3400-3500
Designgrundlag	1000	2000

*1): I forbindelse med in-situ test.*

*Tabel 3.5: Massefjernelse (kg)*

Der er i alt fjernet 450-500 kg chlorerede opløsningsmidler og 3400-3500 kg olie. Af bilag 7 fremgår det, at ca. 95% af de oprensede chlorerede opløsningsmidler udgøres af PCE, mens ca. 100% af de oprensede oliekomponenter udgøres af et terpentinlignende produkt.

Før opstart blev det estimeret, at der kunne oprenses ca. 1000 kg chlorerede opløsningsmidler samt ca. 2.000 kg olieprodukt fra lokaliteten. Afvigelsen mellem forventet og faktisk oprenset stofmængde vurderes primært at kunne tilskrives:

- at det uanset forundersøgelsens omfang er svært på forhånd at estimere den totale stofmængde, herunder den andel, der kan fjernes in-situ

- at der sandsynligvis har været en større masse af terpentintilførsel omkring grundvandspejlet, som kun vanskeligt fjernes ved IAS og SVE
- at antallet af poreluftsudskiftninger har været mindre end forventet

og sekundært, at:

- oprensningsforløbet har været behæftet med utilsigtede driftsstop i ca. 20% af den faktiske driftsperiode
- SVE-filter 1c samt IAS-filter 4a aldrig har været i drift
- fjernelsen af specielt PCE har været diffusionsbegrænset allerede efter 6 måneders drift

### 3.1.7 Driftsform af behandlingsanlægget

Airspargingdelen i behandlingsanlægget har været drevet ved forskellige driftscykler, for at vurdere effekten af pulserende kontra kontinuerlig airspargingdrift. Af bilag 5, 6 og 7 fremgår det, hvornår behandlingsanlægget har været drevet under hvilken driftsform. Grundet de mange utilsigtede driftsstop, er der ikke testet så mange driftscykler som ønskeligt.

Efter 6 måneders drift af vakuumventilation alene blev airspargingdelen startet, og der ses herefter en markant stigning (5 gange) i den ekstraerede porelufts indhold af primært oliekomponenter (terpentin). Derimod ses kun en svag stigning (2 gange) i poreluftens indhold af PCE/TCE, hvilket indikerer, at airspargingen medfører en fordampning af en væsentlig mængde fri fase terpentintilførsel, mens der ikke er tegn på samme proces for PCE, jf. bilag 6.

På det foreliggende grundlag vurderes, at der ved pulserende driftsform generelt ses en tendens til, at der som funktion af driftstiden oprenses poreluft med et højere fastholdt koncentrationsniveau, end tilfældet er ved oprensning under kontinuerlig driftform.

Ligeledes opnås større fjernelsesrate ved pulserende end ved kontinuerlig airspargingdrift.

Ved kontinuerlig airspargingdrift ses således et hurtigere eksponentielt aftag i koncentrationsniveauet, som funktion af driftstiden. Ved såvel pulserende som kontinuerlig driftform ses dog generelt et nogenlunde stabilt forureningsniveau mod hver driftsperiodes afslutning, hvilket indikerer, at der som funktion af tiden, opstår diffusionsbegrænsninger i den mættede zone, kombineret med, at forureningsniveauet i den umættede zone generelt falder som funktion af driftstiden.

Årsagen til den generelt højere oprensningseffekt ved pulserende airspargingdrift vurderes at være, at der ved "on"/"off" injektion af atmosfærisk luft opnås en mere ensartet beluftning og større influenszone, pga. en dynamisk proces med dannelse af stadig nye kanalstrukturer. Ved kontinuerlig airspargingdrift viser erfaringer, at der efter kort tids drift opstår en tilnærmet stabil situation med foretrukken strømning langs kanaler i de mest højpermeable zoner, og herved en væsentlig ringere beluftning af de mellemliggende jord- og grundvandsvolumener /ref. 5/.

## 3.2 Effekt af afværgeprojekt registreret i monitoringsboringer

I nærværende afværgeprojekt er det fra start besluttet at følge oprensningen ud fra poreluft- og vandprøver, idet sådanne prøver vurderes at repræsentere et større område end f.eks. jordprøver. For hver analyserunde (6 i alt) er der fra i alt 45 filtre i den umættede zone og 47 filtre i den mættede zone udtaget prøver til analyse for op til 21 parametre.

### 3.2.1 Datapræsentation og validering

Det er vigtigt at overveje, hvordan data kan tolkes og præsenteres således, at det er muligt at besvare relevante spørgsmål stillet i forbindelse med afværgeprojektet. Data er bl.a. præsenteret både horisontalt og vertikalt, stof- eller stofgruppevis og til forskellige tider, f.eks. baseline, driftsituation, stop og efter tilbageslag. Forud for denne tolkning og præsentation er der derfor gennemført en omfattende databearbejdning og validering. Vigtige overvejelser og principielle valg, som er foretaget i forbindelse hermed, fremgår af bilag 10.

### 3.2.2 Jord

#### *Præsentation af data*

Antallet af jordanalyser (6 stk.) er som planlagt væsentligt begrænset i forhold mængden af poreluft- og grundvandsanalyser. I bilag 8 er resultater af jordanalyserne fra 3 boringer, hvorfra der er analyseret prøver både før og efter afværgeprojektets, vist. Ligeledes er de målte PID-niveauer i jordprøverne udtaget efter afslutning af afværgeprojektet angivet.

#### *Tolkning af resultater*

Af bilag 8 fremgår det, at det generelt har været vanskeligt at gentage de 3 udvalgte boringer. Det er kun ved MB7, at det efter stop af anlæg har været muligt at gentage den indledende boring til fuld dybde, og dermed findes der kun ét prøvesæt, der er direkte sammenligneligt.

Dette ene prøvesæt fra MB7 (8,0 og 8,5 m u.t.) viser, at der er sket en væsentlig reduktion i koncentrationen af de tilstedeværende forureningskomponenter under drift af afværgeanlægget. Efter stop af afværgeanlægget er total kulbrinter, BTEX og TCE nu under detektionsgrænsen, mens der stadig er lidt PCE til stede i jordprøven.

Ovenstående viser, hvor problematisk det kan være at gentage udtagningen af en jordprøve, samt at jordmatrixen erfaringsmæssig er langt mere inhomogen end poreluft og vand.

### 3.2.3 Grundvand

#### Præsentation af data

I bilag 9 er den horisontale udbredelse af udvalgte stoffer/stofgrupper i de 3 filterniveauer tolket ud fra koncentrationen i de enkelte filtre. De udvalgte stoffer/stofgrupper er total kulbrinter, BTEX, chlorerede opløsningsmidler, nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler og ilt. For ilt er yderligere medtaget udbredelsen under drift. Udbredelsen er tolket ved baseline (analyserunde 2) og 5 mdr. efter stop af anlægget (analyserunde 6). Et eventuelt tilbageslag skulle således kunne erkendes.

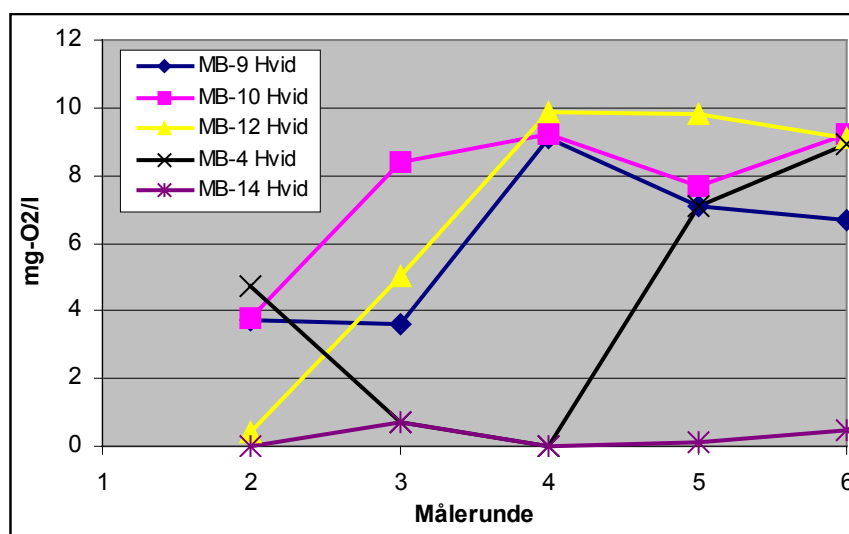
For hvert filterniveau er den gennemsnitlige startkoncentration, antal filtre med reduktion/forøgelse, gennemsnitlig koncentrationsreduktion/-forøgelse samt procentvis reduktion for udvalgte stoffer og stofgrupper beregnet. Denne statistiske bearbejdning er sammenfattet i en samlet figur i bilag 10, hvoraf også fremgår den metodiske angrebsvinkel.

#### 3.2.3.1 Tolkning af resultater

##### Ilt

Af bilag 10-1 fremgår det, at koncentrationen af ilt i perioden med airsparging i gennemsnit er øget 2,1 mg/l i det hvide filterniveau, 0,7 mg/l i det røde filterniveau og 0,4 mg/l i det blå filterniveau. Dette skal sammenholdes med de gennemsnitlige startkoncentrationer 1,36 mg/l, 0,36 mg/l, 0,36 mg/l henholdsvis 0 mg/l i de 3 filterniveauer. I ingen filtre er der sket en reduktion af iltkoncentrationen.

På figur 3.1 er koncentrationen af ilt optegnet for en række udvalgte filtre før start, under drift og efter stop af airsparging.



Figur 3.1: Mættet zone. Iltindhold i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

I filtrene MB9, MB10 og MB12, som er 3 af de 8 boringer, der ligger maksimalt 7 m fra airspargefiltrene, ses i det hvide filterniveau den største forøgelse af iltkoncentrationen i alle analyserunderne. Koncentrationen øges her fra omkring 0,5-4 mg/l til 7-9 mg/l. I de resterende filtre øges koncentrationen fra ca. 0 mg/l til ca. 0,5 mg/l. Fælles for de 3 filtre, hvor der er set den største forøgelse af iltkoncentrationen, er, at de er placeret uden for området med fri terpentin på grundvandet, hvor iltforbruget ikke er kraftigt.

I områder, hvor der fra før start af airsparging var høje iltkoncentrationer, forøges iltkoncentrationen også. Et eksempel herpå er filtret MB4-Hvid, jf. figur 3.1. De høje iltkoncentrationer i enkelte boringer før start og efter stop af airsparging kan forklares ved, at disse boringer ligger opstrøms eller sideværts for selve olieilden, og derfor viser baggrundsniveauet i det grundvand, der strømmer ind under grunden.

Nedstrøms airsparging filtrene, kan der i filtrene MB11-Hvid- og -Rød samt MB14-Hvid, konstateres enkelte målerunder med iltindhold på op til 0,5-1,5 mg/l, jf. figur 3.1 og bilag 9-5.

Generelt er følgende observeret:

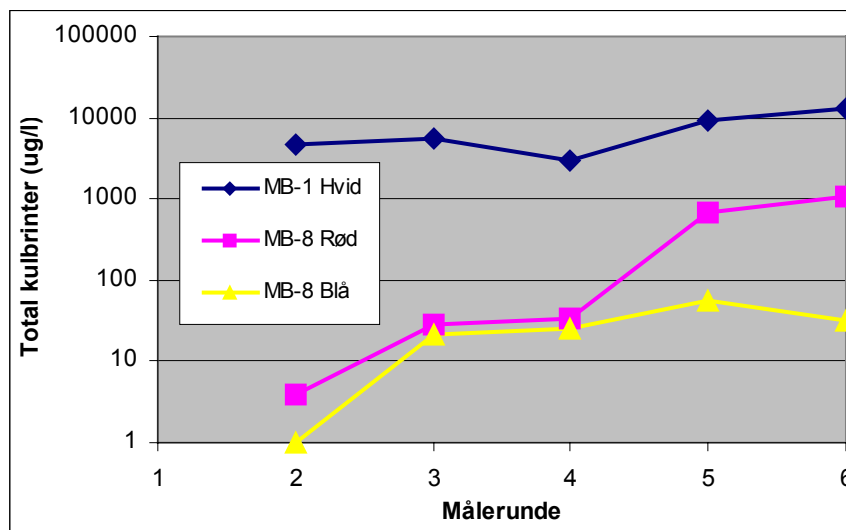
- Airsparging øger iltkoncentrationen i grundvandet både over og under airspargingfiltret, dog med den største forøgelse i det ovenforliggende grundvand. En forøgelse af iltkoncentrationen er i dette airspargeprojekt også konstateret 2 m under airspargefiltret.
- Iltkoncentrationen i grundvandet øges mest i filtre placeret uden for olieilden og inden for 7 m fra airspargefiltrene.
- Der er dog konstateret en mindre forøgelse af iltkoncentration på den resterende del af lokaliteten i en afstand på op til 30 m i både opstrøms og nedstrøms retning. Forklaringen kan være diffusion af ilt fra den umættede zone og ind i den øverste del af den kapilære zone, samt transport med grundvandet i nedstrøms retning.

#### *Total kulbrinter*

Af bilag 10-1 fremgår det, at koncentrationen af total kulbrinter i gennemsnit er faldet 2.241 µg/l i 8 filtre, mens den i gennemsnit er steget 2.429 µg/l i 5 filtre i det hvide filterniveau. Der er altså set under et ikke sket nogen reel reduktion af koncentrationen af total kulbrinter i dette filterniveau. I det røde og blå filterniveau er der flere filtre med en forøgelse af koncentrationen end med reduktion af koncentrationen. Koncentrationen er i gennemsnit steget meget mere i filtre med en forøgelse end den i gennemsnit er faldet i filtre med reduktion af koncentrationen.

Af bilag 9-1 fremgår det, at koncentrationen af total kulbrinter i det hvide filterniveau øges i området med olieilden og reduceres uden for. I det røde og blå filterniveau ses en forøgelse af koncentrationen under kilden samt nedstrøms for denne. På figur 3.2 er der for udvalgte filtre vist udviklingen i indholdet af total kulbrinter. Filtrene

repræsenterer de påviste tendenser i hhv. selve kildeområdet (MB1-Hvid) og direkte nedstrøms (MB8- Rød+Blå).



Figur 3.2: Mættet zone. Indhold af totalkulbrinter i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

Generelt er det observeret, at:

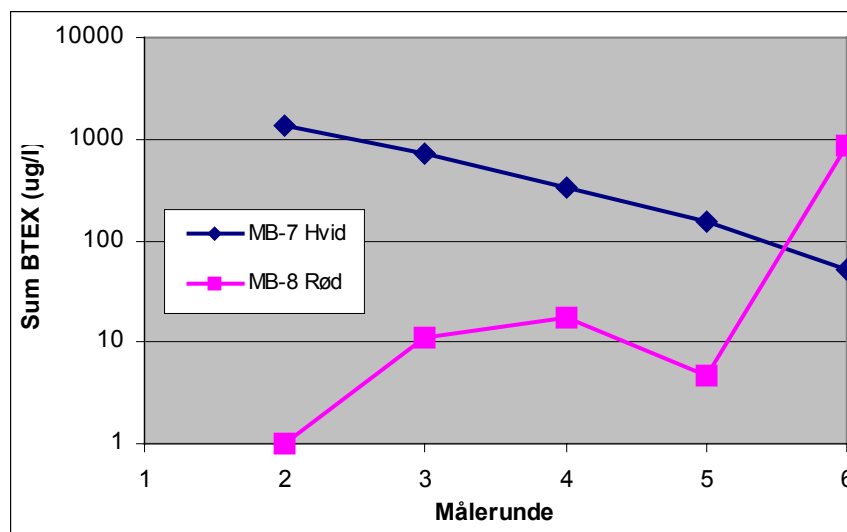
- Airsparging forårsager en mobilisering af totalkulbrinter ved opløsning af fri fase eller opblanding af det mere forurenede øvre grundvand med det mindre forurenede grundvand få meter længere nede.
- Effekten af airsparging ikke erkendes i grundvandet i områder med tilstedeværelse af fri fase af total kulbrinter, idet fjernet stof hurtigt erstattes af stof, der opløses fra den fri fase.
- Effekten af airsparging på total kulbrinter i området med fri fase tydeligst ses på koncentrationen i den ekstraherede poreluft, idet denne stiger markant ved opstart af airsparging (jf. afsnit. 3.1.7).

### BTEX

Af bilag 10-1 fremgår det, at koncentrationen af BTEX i det hvide filterniveau i 8 filtre gennemsnitligt reduceres med 880  $\mu\text{g/l}$  og i 1 filter forøges med 70  $\mu\text{g/l}$ . I det hvide filterniveau ses således en generel reduktion i BTEX-koncentrationen, og den maksimale koncentration er reduceret fra ca. 4400  $\mu\text{g/l}$  til ca. 2100  $\mu\text{g/l}$ . I det røde og blå filterniveau gør samme tendens sig gældende, dvs. stor reduktion i de fleste filtre og lille forøgelse i få filtre. I de 3 filterniveauer er den procentvise reduktion mellem 62 og 77% i filtre, hvor der er observeret en reduktion af koncentrationen af BTEX.

Af bilag 9-2 fremgår det, at koncentrationen af BTEX falder i området med olieilden, stiger nedstrøms kilden og er uændret på den reste-

rende del af grunden. Denne tendens gør sig gældende i alle 3 filterniveauer, dvs. både over og under airspargefiltret. På figur 3.3 er for udvalgte filtre vist udviklingen i indholdet af BTEX. Filtrene repræsenterer de to væsentligste hovedtendenser i hhv. området med olie-kilden (MB7-Hvid) og direkte nedstrøms denne (MB8-Rød).



Figur 3.3: Mættet zone. Indhold af BTEX i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

Generelt er det observeret, at:

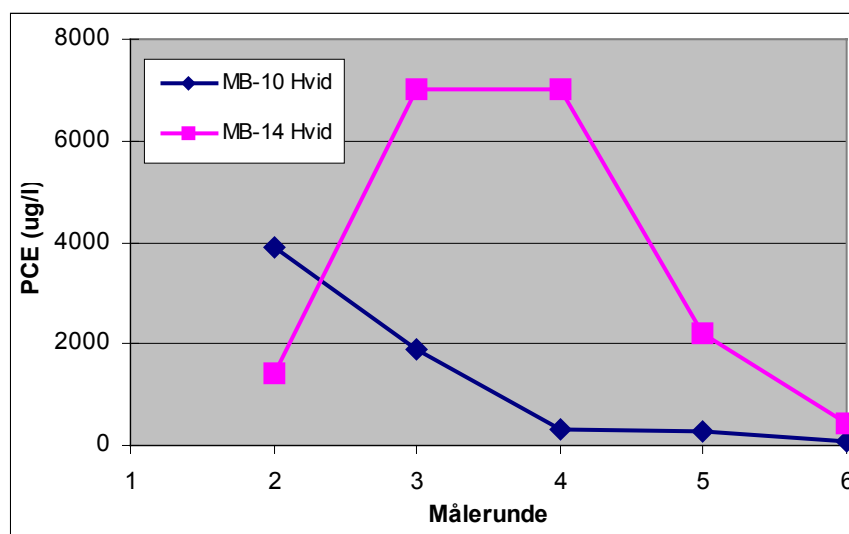
- Airsparging forårsager en fjernelse af BTEX i grundvandet både over og under airspargefiltret. Den procentvise reduktion i filtre, hvor der er observeret reduktion, er mellem 62 og 77%.
- Airsparging forårsager fjernelse af BTEX i kildeområdet, men forårsager samtidig en forøgelse nedstrøms kilden, som følge af en øget opløsning af BTEX.
- Der er som for totalkulbrinter indikation på en mobilisering og spredning over dybden (se senere).

#### Chlorerede opløsningsmidler

Af bilag 10-1 fremgår det, at koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler (PCE, TCE, TCA, PCM, TCM), som hovedsageligt består af PCE, reduceres væsentligt i alle 3 filterniveauer. Det maksimale totalindhold af disse enkeltkomponenter er reduceret fra ca. 4000 µg/l til ca. 450 µg/l. I de 3 filterniveauer er den procentvise reduktion mellem 44 og 74% i filtre med reduktion. Der er meget få filtre i de enkelte filterniveauer (0-4), hvor koncentrationen øges. Koncentrationsforøgelsen er endvidere meget lille. Airsparging vurderes at have meget stor effekt på chlorerede opløsningsmidler, både over og under niveauet for airspargingfiltrene.

På figur 3.4 er for udvalgte filtre vist udviklingen i totalindholdet af PCE. Udviklingen i MB10-Hvid er et eksempel på et jævnt aftagende

koncentrationsniveau i et filter beliggende få meter fra et airsparging-filter – og derfor indenfor det direkte behandlingsvolumen, jf. senere afsnit om effektradius. Udfra de få filtre med høje initiale koncentrationer vurderes koncentrationen generelt at aftage jævnt over den 2-årige driftsperiode.



Figur 3.4: Mættet zone. Indhold af det chlorerede opløsningsmiddel PCE i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

Af bilag 9-3 fremgår det, at der er sket en reduktion af koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler over hele lokaliteten i alle 3 filter-niveauer. Der er observeret et fald i koncentrationen op til 30 m nedstrøms (MB14-Hvid) og 30 m opstrøms (MB15-Hvid). Der er ikke placeret boringer i større afstand fra airspargefiltrene, hvorfor effekten yderligere opstrøms og nedstrøms ikke kan bestemmes, men det vurderes, at effekten vil kunne registreres i større afstande.

Effekten af airsparging i stor afstand (>10 m) fra spargefiltrene vurderes ikke at skyldes direkte påvirkning af den injicerede luft, da der ikke er konstateret bobler i disse afstande. Det vurderes, at effekten opstrøms airspargefiltrene skyldes, at den forurenede poreluft, som formodes at være kilden til opstrøms forurening, fjernes gennem vakuumventilationsfiltrene, og at der derefter strømmer uforurenat vand til området. Det vurderes, at effekten nedstrøms airspargefiltrene skyldes en reduktion af koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler i kilden, og hvorved der strømmer mindre forurenat vand til området nedstrøms.

Der er dog også indikationer på en mobilisering af stoffer som følge af airsparging, idet koncentrationen af PCE i den nedstrøms beliggende boring MB14-Hvid har været maksimal midt i driftsperioden, jf. figur 3.4.



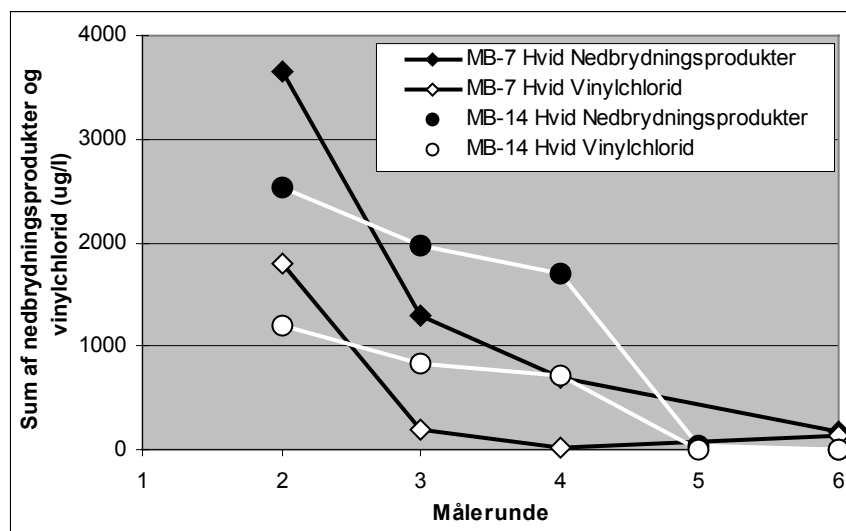
Følgende hovedkonklusioner kan fremhæves:

- Airsparging forårsager fjernelse af chlorerede opløsningsmidler i grundvandet både over og under airspargefiltret. Den procentvise reduktion i filtre, hvor der er observeret reduktion, er mellem 44 og 74%.
- Airsparging forårsager fjernelse af chlorerede opløsningsmidler i både kildeområdet og på sigt nedstrøms kilden.
- Koncentrationsniveauet af chlorerede opløsningsmidler aftager generelt jævnt til et stabilt niveau efter 1-2 års drift, men der ses lokalt temporære stigninger der sandsynligvis skyldes mobilisering af adsorberet eller evt. fri fase.

#### *Nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler*

Af bilag 10-1 fremgår det, at koncentrationen af nedbrydningsprodukter (vinylchlorid og 3 isomere af DCE) i 9 filtre i det hvide filterniveau gennemsnitligt reduceres med 1100 µg/l, mens der kun observeres forøgelse af koncentrationen i 1 filter med 258 µg/l. Det maksimale indhold af nedbrydningsprodukter er reduceret fra ca. 3730 µg/l til ca. 530 µg/l. Der sker således en generel fjernelse af chlorerede nedbrydningsprodukter i dette filterniveau. I det røde og blå filterniveau er der kun sammenhørende analyser fra meget få filtre (4 henholdsvis 3 filtre), hvorfor en egentlig tolkning i disse niveauer udelades. Tendensen er dog, at der sker en forøgelse af koncentrationen.

Af bilag 9-4 fremgår det, at der er sket en reduktion i koncentrationen af nedbrydningsprodukter til mindre end 10 µg/l over hele lokaliteten og i alle filterniveauer inden for både kilden med chlorerede opløsningsmidler og kilden med olieforurening samt nedstrøms disse. På figur 3.5 er for udvalgte filtre vist udviklingen i hhv. summen af nedbrydningsprodukter og enkeltstoffet vinylchlorid. Filtret MB14-Hvid er et eksempel på udviklingen udenfor kildeområderne, og viser et jævnt aftagende koncentrationsniveau for begge. I området mellem de 2 kildeområder konstateres der i MB7-Hvid stadig et indhold af nedbrydningsprodukter på 10-100 µg/, jf. figur 3.5.



Figur 3.5: Mættet zone. Totalindhold af nedbrydningsprodukter af chlorerede opløsningsmidlet og enkeltstoffet vinylchlorid i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

Det vurderes, at dette skyldes en stadig dannelse af nedbrydningsprodukter ved reduktion af de chlorerede opløsningsmidler under de anaerobe forhold, der opstår ved iltforbruget i området med olieforurening. Samtidig ses en hurtigt aftagende koncentration, som følge af den lille afstand til selve airspargingfiltret – hvorved filtret ligger indenfor det direkte behandlingsvolumen, jf. næste afsnit. Sammenfattende vurderes, at:

- Airsparging forårsager en væsentlig fjernelse af nedbrydningsprodukter i grundvandet over airspargefiltrene.
- Effekten af airsparging over for nedbrydningsprodukter reduceres i områder, hvor der både er chlorerede opløsningsmidler og olie til stede, idet denne kombination vurderes at medføre en produktion af nedbrydningsprodukter.

#### Effektradius

Af bilag 9 ses, at der sker en påvirkning af grundvandet i boringer placeret 30 m opstrøms og 30 m nedstrøms airspargefiltrene. Effekten er tydelig for koncentrationen af ilt, som stiger, og koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler, som falder, i de nævnte afstande. Effekten ud til disse afstande er dog ikke med sikkerhed en direkte effekt af airspargingen, men mere sandsynligt en indirekte effekt, som beskrevet under afsnittet ”chlorerede opløsningsmidler”.

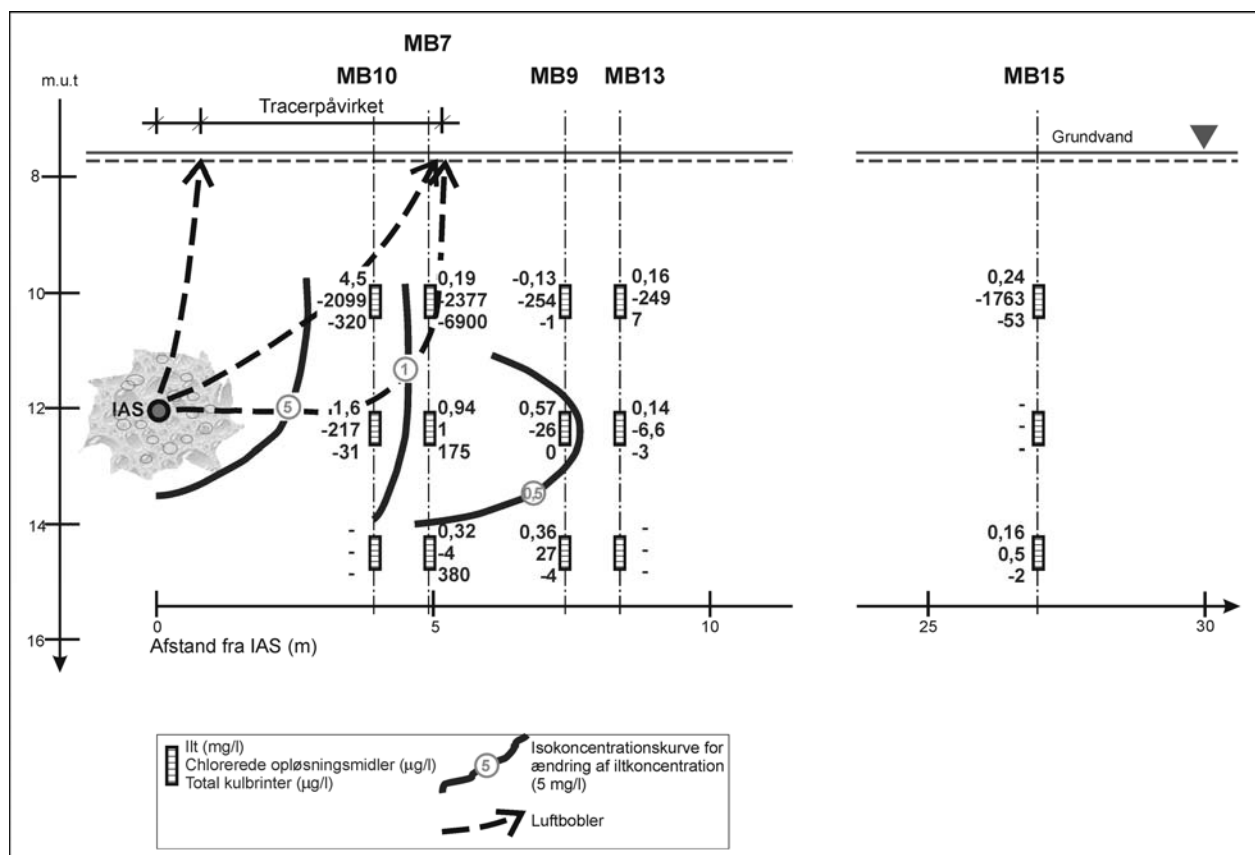
Af bilag 9-5 ses, at der sker en påvirkning af iltkoncentrationen i filtre placeret i niveau med og oven over airspargeboringerne, mens påvirkningen i filtre placeret 2,5 m under airspargeboringerne er meget begrænset, men dog målbar.

For yderligere at vurdere i hvilken afstand fra IAS-filtret den injicerede luft forlader den mættede zone, er der gennemført et tracerforsøg med systemet i drift. Testen er udført i området omkring IAS-filter 5a,

idet der her er placeret monitoringsboringer i varierende afstand fra IAS-filtret. For detaljer omkring testen henvises til bilag 2.

Sammenfattende vurderes det, at den injicerede luft når ud i en afstand af ca. 6-7 m fra det vandrette IAS-filter. Det oprindelige skøn på influensradius i designfasen var ca. 5-6 m. Den faktiske influensradius må forventes at variere noget langs filtret, men dette kan ikke påvises ved tracerforsøget på grund af de relativt få målepunkter.

Udover den horisontale "effektradius" giver de niveauspecifikke prøver en mulighed for vurdering af effektiviteten over dybden. For boringerne anvendt i tracerforsøget er ændringen i en række parametre, som er centrale for forståelsen af airspargingprocessen, optegnet som funktion af afstand og dybde til IAS-filtret, jf. figur 3.6.



Figur 3.6: Sandsynlig transportvej for injiceret tracergas samt ændring i koncentrationer i forhold til dybde og afstand til IAS filter fra 2.-3. analyserunde (Positive tal angiver en stigning, mens negative tal angiver en reduktion).

To fysiske processer vurderes at spille en afgørende rolle. Inden for en afstand af 5-6 m fra IAS-filtret sker den væsentligste stoffjernelse ved en direkte stripping af de flygtigste stoffer (PCE, TCE, BTEX og VC/DCE) ned til ca. 2,5 m under grundvandsspejlet, svarende til dybden af IAS-filtret.

Inden for en afstand af 5-6 m fra IAS-filtret bevirker de gentagne start og stop, at der sker en vis vertikal grundvandstransport og opblanding

over dybden. I en vis afstand vil bevægelsen være nedadrettet og i andre afstande opadrettet. Nettoeffekten er, at specielt de mindre flygtige komponenter, her udtrykt ved total kulbrinter, bliver transporteret til større dybde i magasinet. Denne effekt observeres på figur 3.6, hvor indholdet af totalkulbrinter stiger i både det midterste og dybeste niveau ca. 7 m under grundvandsspejlet.

Overordnet vurderes det således at:

- Den vandrette effektradius for airspargeboringer er ca. 5-6 m, både opstrøms og nedstrøms.
- Den lodrette effektradius for airspargeboringer er generelt fra grundvandsspejlet og ned til ca. 2,5 m under niveauet for airsparging, men er stærkt afhængig af forureningskomponentens flygtighed.

### *Tilbageslag*

Ved at sammenligne koncentrationerne målt i slutningen af driftsperioden (analyserunde 5) og ca. 5 mdr. efter stop af anlægget (analyserunde 6), kan omfanget af tilbageslag vurderes. Af bilag 11 fremgår det, at koncentrationen af total kulbrinter i 4 af de 47 filtre stiger efter stop af afværgeanlægget. Disse filtre er beliggende i udkanten af området med olieilden, og stigningen skyldes sandsynligvis opløsning af fri fase. Koncentrationen af PCE og TCE stiger ikke i nogle af de 47 filtre. Der vurderes således ikke at være tegn på, at der er residual fri fase opløsningsmidler i umiddelbar nærhed af filtrene. Der kan således konstateres et begrænset omfang af tilbageslag i koncentrationen af total kulbrinter, men intet tilbageslag i koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler (PCE og TCE).

I området omkring filtret MB7-Hvid, beliggende i området med både chlorerede opløsningsmidler og olie, ses en stigning i indholdet af vinylchlorid efter stop af anlægget, jf. figur 3.5. Dette skyldes sandsynligvis, at den anaerobe nedbrydning af PCE/TCE restforureningen er blevet genetableret.

Overordnet vurderes det, at der:

- Efter 6 måneders stop af airsparging generelt ikke observeres tilbageslag i koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler
- Tilsvarende observeres et meget begrænset tilbageslag i koncentrationen af total kulbrinter

### **3.2.4 Poreluft**

#### *Præsentation af data*

I bilag 12 er den horisontale udbredelse af udvalgte stoffer/stofgrupper i de 3 filterniveauer tolket ud fra koncentrationen i de enkelte filtre. Udbredelsen er tolket ved baseline og 6 mdr. efter stop for total kulbrinter, BTEX, chlorerede opløsningsmidler, nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler og ilt (angivet i vol%).

For hvert filterniveau er den gennemsnitlige startkoncentration, antal filtre med reduktion/forøgelse, gennemsnitlig koncentrationsreduktion/-forøgelse samt procentvis reduktion for udvalgte stoffer/stofgrupper beregnet. Denne statistiske bearbejdning er sammenfattet i en samlet figur i bilag 10, hvoraf også fremgår den metodiske angrebsvinkel.

### ***Tolkning af resultater***

#### ***Ilt***

Af bilag 10-2 fremgår det, at koncentrationen af ilt i poreluften i filtret MB-2 gul, som er placeret i området med olieilden, er 15-20% under drift, og at koncentrationen falder hurtigt ved stop af airsparging. Det konstaterede iltforbrug benævnes også den aerobe respirationsrate, og denne rate er fulgt i en række filtre gennem forløbet, jf. bilag 14. Respirationsraten vurderes at have aftaget gennem projektet, hvilket sandsynligvis skyldes, at det lettest omsættelige stof er nedbrudt først. Inden for det kraftigt olieforurenede jordområde i den umættede zone (~200 m<sup>3</sup>) kan den gennemsnitlige aerobe respirationsrate i driftsperioden skønnes til ca. 12 mg olie/kg jord/dag. Der henvises til /ref. 1/ for yderligere metodebeskrivelse.

Antages, at der har været tilstrækkeligt ilt i 5-50% af oprensningsperioden på 2 år og at denne ilt er omsat ved aerob respiration, vil dette have medført en omsætning af ca. 100-1000 kg kulbrinter. Størrelsen af bionedbrydeligheden indikerer, at processen er væsentlig i forhold til den fysiske fjernelse ved selve ventilationen.

Det bemærkes, at data fra alle analyserunder, som er behandlet i den resterende del af dette afsnit, er udtaget efter stop af airsparging, hvilket betyder, at iltforbrugende processer når at reducere koncentrationen af ilt, jf. afsnit 2.2.3.

Af bilag 10-2 fremgår det endvidere, at koncentrationen af ilt i 11 filtre i det gule filterniveau er faldet gennemsnitligt med 5,8% ilt og i 4 filtre steget med 1,3% ilt, og at koncentrationen af ilt i 10 filtre i det sorte filterniveau er faldet gennemsnitligt med 2,2% ilt og steget i 1 filter med 0,4% ilt.

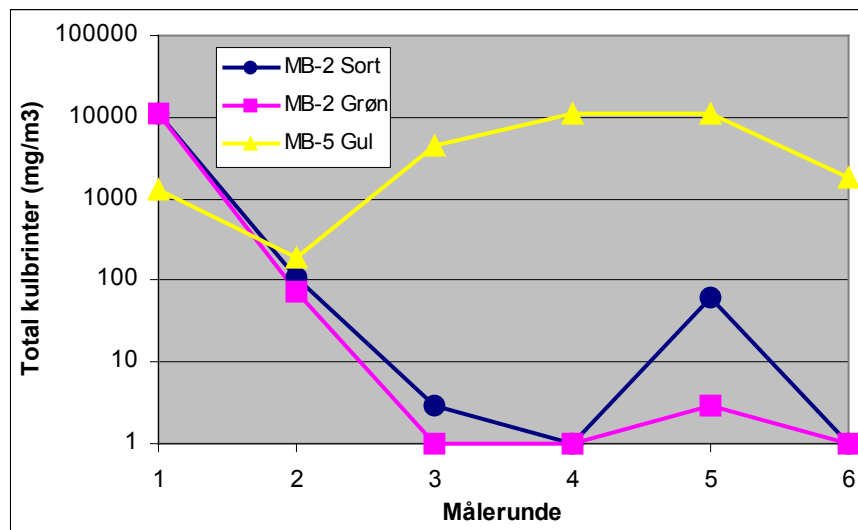
Koncentrationen af ilt er faldet i langt flere filtre end den er steget, og den gennemsnitlige koncentrationsreduktion er større end den gennemsnitlige koncentrationsforøgelse. Denne tendens er gældende i alle 3 filterniveauer, men den gennemsnitlige reduktion af iltkoncentrationen er større des dybere filterniveau.

Af bilag 12 ses det, at koncentrationen af ilt i alle filterniveauer generelt er 15-20% ilt i området uden for olieforureningen både før og efter airsparging. I området med olieforurening er koncentrationen af ilt faldet til <5% i det gule filterniveau, <10% i det grønne filterniveau og <15% i det sorte filterniveau.

- Under airsparging og vakuumentilering forøges koncentrationen af ilt i poreluften til 15-20%.
- Iltforbrugende processer (aerob respiration) forårsager en hurtig reduktion af koncentrationen af ilt efter stop af airsparging og vakuumentilering.
- Der kan være omsat 100-1000 kg total kulbrinter ved aerob respiration.

#### Total kulbrinter

Af bilag 10-2 fremgår det, at koncentrationen af total kulbrinter i 9 filtre i det gule filterniveau gennemsnitligt reduceres med  $643 \text{ mg/m}^3$  og i 3 filtre gennemsnitligt forøges med  $1234 \text{ mg/m}^3$ . I det grønne og sorte filterniveau er der observeret reduktion af koncentrationen i endnu flere filtre og med en endnu større gennemsnitlig reduktion, samt forøgelse af koncentrationen i endnu færre filtre med en endnu mindre gennemsnitlig forøgelse. I de 3 filterniveauer er den procentvise reduktion 84-100% i filtre, hvor der er observeret en reduktion. På figur 3.7 er for udvalgte filtre vist udviklingen i indholdet af total kulbrinter.



Figur 3.7: Umættet zone. Indhold af total kulbrinter i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

Af bilag 12 fremgår det, at der er sket en fjernelse af total kulbrinter til under detektionsgrænsen i det grønne og sorte filterniveau samt i det gule filterniveau uden for olieilden. Eksempler på enkeltfiltre med denne udvikling fremgår af figur 3.7 (MB2-Sort+Grøn). I det gule filterniveau i området med olieilden, ses umiddelbart ingen tendens i koncentrationsændringen fra start (analyserunde 1) til 6 måneder efter stop (analyserunde 6), jf. figur 3.7 (MB5-Gul). Der ses dog efter start af vakuumentilering alene (analyserunde 2) et markant fald, hvorefter der ved driften af airsparging (analyserunde 3,4 og 5) ses en markant forøgelse.

- Vakuumentilering (og sekundært airsparging) forårsager en permanent reduktion i indholdet af total kulbrinter i alle dybder i poreluften på nær uden for området umiddelbart over olie-kilden.
- Airsparging (og vakuumentilering) medfører, at der frigives oliekomponenter fra olie-kilden, som spredes op i den dybe del af den umættede zone (gult filterniveau), hvorfra det fjernes ved vakuumentileringen.

### *BTEX*

Af bilag 12 fremgår det, at koncentrationen af BTEX før og efter afværgeprojektet er meget dårligt bestemt, hvilket skyldes meget høje indhold af total kulbrinter, som medfører, at detektionsgrænsen for BTEX forhøjes væsentligt.

I de 5 filtre, hvor der positivt er konstateret BTEX før igangsættelse af afværgeprojektet, er disse ”fuldstændigt fjernet” efter afværgeprojek-tets ophør.

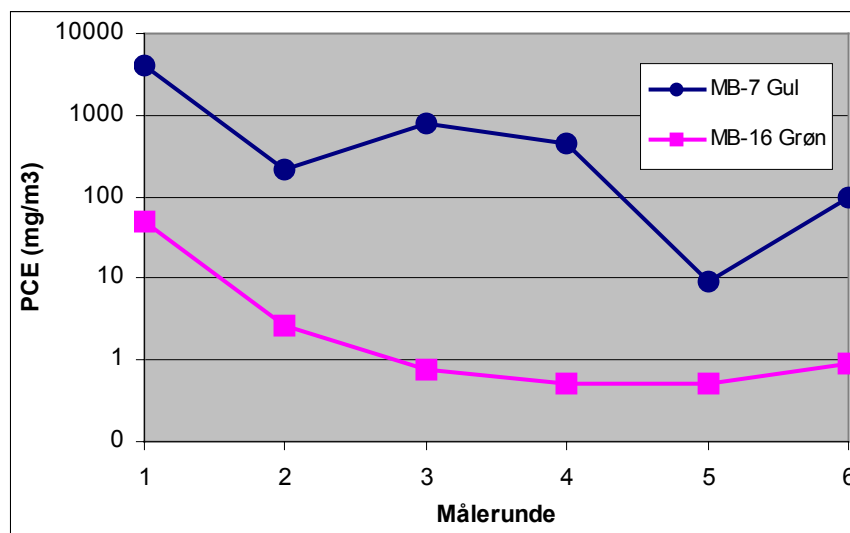
- På et meget spinkelt datagrundlag vurderes det, at vakuumentile-ring (og sekundært airsparging) forårsager fjernelse af BTEX i po-reluften, i hvert fald uden for området med olie-kilden

### *Chlorerede opløsningsmidler*

Af figur 10-2 fremgår det, at koncentrationen af chlorerede opløs-ningsmidler (PCE, TCE, TCM) i 8 filtre i det gule filterniveau gen-nemsnitligt reduceres med  $899 \text{ mg/m}^3$  og i 2 filtre forøges med gen-nemsnitligt  $0,4 \text{ mg/m}^3$ . Samme tendens gør sig gældende i det grønne og sorte filterniveau. I det gule filterniveau er den procentvise reduktion 76% stigende til 98% i det sorte filterniveau. Den maksimale to-talkoncentration er reduceret fra ca.  $4230 \text{ ug/l}$  til ca.  $490 \text{ ug/l}$ . Af figur 10-2 fremgår det ligeledes, at betegnelsen chlorerede opløsningsmid-ler hovedsageligt dækker over PCE, og at TCE udgør en meget lille del af de chlorerede opløsningsmidler.

Af bilag 12 fremgår det, at der er sket en generel reduktion i koncen-trationen af chlorerede opløsningsmidler i poreluften over hele grun-den og i alle filterniveauer. Kun umiddelbart over kilden med chlore-rede opløsningsmidler ses stadig koncentrationer af chlorerede opløs-ningsmidler på mere end  $100 \text{ mg/m}^3$ .

På figur 3.8 er vist udviklingen i PCE-koncentrationen for to udvalgte filtre.



Figur 3.8: Umættet zone. Indhold af PCE i udvalgte filtre før, under og efter stop af airsparging driften.

Filtret MB7-Gul repræsenterer forholdene i kildeområdet for chlorerede opløsningsmidler, og udviser en jævnt aftagende tendens som følge af en diffusionsbegrænset fjernelsesrate i den umættede zone. I perioden umiddelbart efter start af airspargingen (målerunde 3), ses dog en stigning i koncentrationen hvorefter koncentrationen igen falder. Endelig bemærkes de, at der sker et tilbageslag efter 6 måneders stop (målerunde 6).

Filtret MB16-Grøn repræsenterer forholdene i en vis afstand fra kildeområderne – hvortil PCE intielt er spredt til ved gasdiffusion. I dette filter aftager PCE-koncentrationen relativt hurtigt og jævnt under driften, idet hovedparten af PCE-massen findes i poreluften – og således ikke medfører en kraftig diffusionsbegrænset fjernelsesrate.

Overordnet kan følgende observeres:

- Vakuumentilering forårsager reduktion af chlorerede opløsningsmidler i poreluften på hele lokaliteten og i alle dybder.

#### *Nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler*

Af bilag 10-2 fremgår det, at nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler (vinylchlorid, 3 isomerer af DCE) er fundet i relativt få filtre (i alt 10) i de 3 filterniveauer. I i alt 4 filtre er der observeret en reduktion i koncentrationen på gennemsnitligt  $2 \text{ mg/m}^3$  og i i alt 6 filtre er der observeret en forøgelse af koncentrationen på gennemsnitligt  $170 \text{ mg/m}^3$ . Derudover er der mange filtre, hvor der hverken før eller efter airsparging og vakuumentilering blev fundet chlorerede nedbrydningsprodukter.

Af bilag 12 fremgår det, at der efter airsparging og vakuumentilering findes højere koncentrationer af chlorerede nedbrydningsprodukter i det gule og grønne filterniveau end før afværge. Nedbrydningsprodukterne findes i poreluften over kilden med chlorerede opløsningsmidler, og især hvor denne overlapper olie-kilden, hvilket indikerer, at nedbrydningsprodukterne dannes ved reaktiv dechlorering i grundvandet /ref. 4/ eller i en



anaerob zone i den umættede zone umiddelbart over grundvandsspejlet. I det sorte filterniveau findes ikke nedbrydningsprodukter efter afværgeforanstaltningens ophør, hvilket indikerer, at stofferne fjernes ved vakuumventileringen.

- Airsparging forårsager en øget produktion af nedbrydningsprodukter i området, hvor kilderne med olie henholdsvis chlorerede opløsningsmidler overlapper hinanden. Dette medfører en øget mængde nedbrydningsprodukter i poreluften umiddelbart over grundvandet, som dog under drift vurderes at blive fjernet ved vakuumventileringen.

#### *Tilbageslag - poreluft*

Af bilag 13 fremgår det, at koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler (specielt PCE) 6 mdr. efter stop af afværgeanlægget (analyse-runde 6) stiger i 6 af 43 filtre, og at koncentrationen af total kulbrinter ikke stiger i nogen af de 43 filtre. Tilbageslaget i koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler er observeret i det gule og grønne filterniveau, men ikke i det sorte. Tilbageslaget sker i området omkring kilden med chlorerede opløsningsmidler. Koncentrationsniveauet stiger og ikke op i nærheden af koncentrationen før oprensningens start.

På figur 3.8 kan tilbageslaget i kildeområdet tydeligt iagttages, idet filter MB7-Gul repræsenterer dette område. Som repræsentant for området udenfor det egentlige kildeområde udviser MB16-Grøn intet tegn på tilbageslag.

- Efter stop af airsparging og vakuumventilering observeres ikke tilbageslag i koncentrationen af total kulbrinter.
- Efter stop af airsparging og vakuumventilering observeres tilbageslag i koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler – men kun i området over kilden med chlorerede opløsningsmidler.
- Udenfor kildeområdet med chlorerede opløsningsmidler ses intet tegn på tilbageslag.

### **3.3 Effekt af afværgeprojekt registreret under gulv**

For at kunne vurdere effekten af afværgeprojektet på indeklimaet er der før start og flere gange efter stop af afværgeanlægget udtaget poreluftprøver fra et hulrum under kældergulvet i ejendommens midterste og sydlige ende.

#### **3.3.1 Poreluft**

I tabel 3.6 er resultatet af de udførte analyser for det dominerende stof PCE i poreluft vist.

Driftssituation	Dato	Punkter	PL4 / PL101	PL7 / PL 102
Før start	dec.-95	PL4 og PL7	104	4,05
Efter stop (1 dag)	11-05-00	PL101 og PL102	0,018	0,004
Efter stop (6 md)	06-11-00	PL101 og PL102	0,23	0,014
Efter stop (6,5 md)	27-11-00	PL101 og PL102	0,52	0,058
Efter stop (9,5 md)	27-02-01	PL101 og PL102	0,20	0,29
Efter stop (12 md)	11-05-01	PL101 og PL102	0,23	0,09

*Afværgeanlægget er i drift fra 16-03-98 til 10-05-00*

*Tabel 3.6: Koncentrationen af PCE målt under gulv (mg/m<sup>3</sup>).*

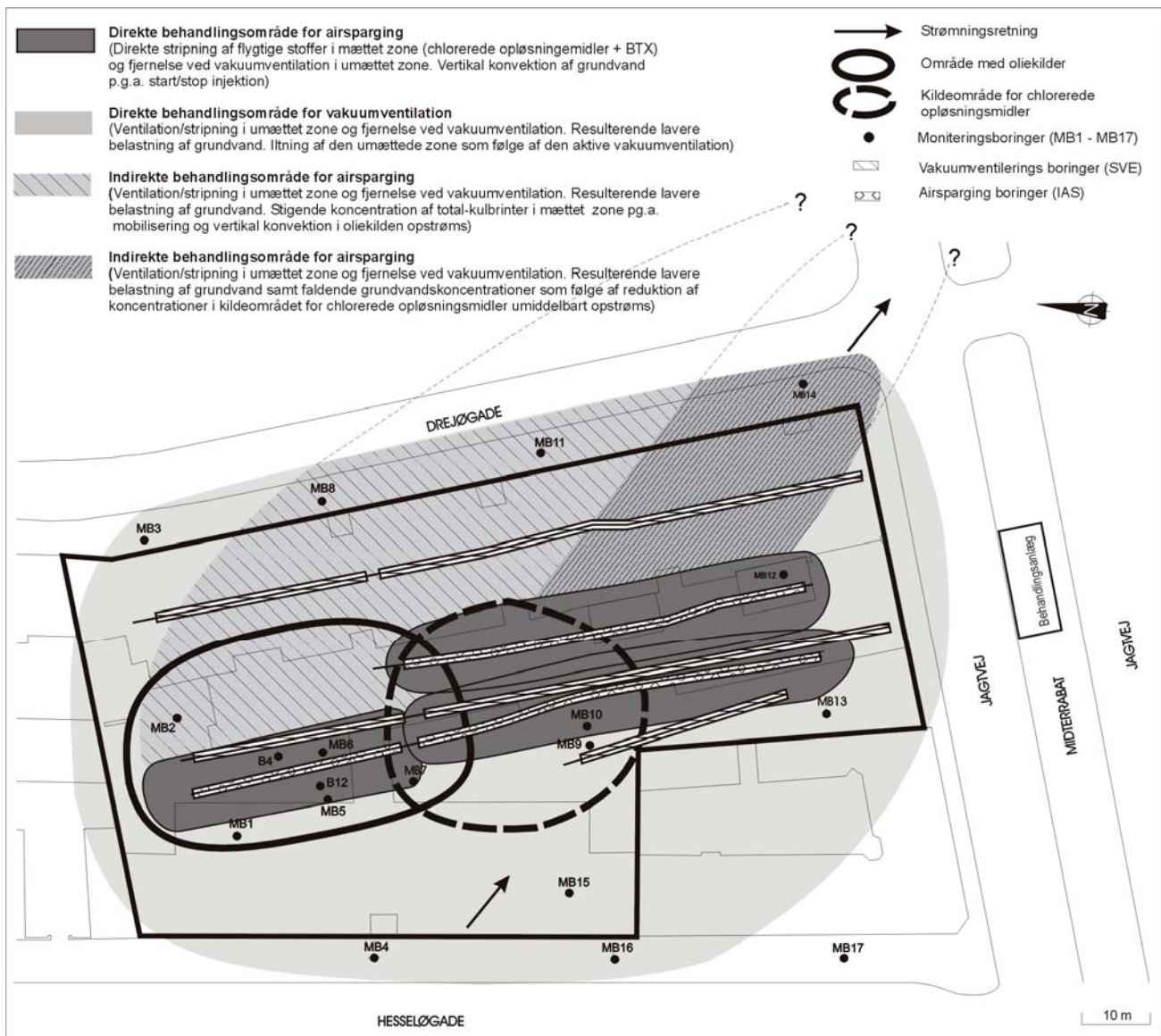
### 3.3.2 Tolkning af resultater

Af tabel 3.1 fremgår det, at der under drift af afværgeanlægget er sket en væsentlig reduktion i koncentrationen af PCE med en faktor  $10^3$ - $10^4$ .

Umiddelbart efter stop (1 dag efter) er niveauerne relativt lave i forhold til udgangskoncentrationerne. Over de næste 12 måneder viser de 4 analyserunder, at niveauet stiger ca. 10 gange, hvorefter det stabiliserer sig på et niveau omkring 0,1-0,2 mg/m<sup>3</sup>.

Der observeres således et mindre tilbageslag i løbet af de 12 måneder, og i forhold til udgangskoncentrationerne vurderes der at være opnået en permanent reduktion i PCE-koncentrationen under gulv på ca. 500 hhv. 10 gange ved PL101 og PL102.

Den resulterende indeklimakoncentration baseret på det opnåede PCE-niveau (0,1-0,2 mg/m<sup>3</sup>) vurderes ud fra beregninger at ligge omkring 0,25 µg/m<sup>3</sup>, svarende til acceptkriteriet eller afdampningskriteriet.



Figur 3.9 Sammenfatning af kildeområder, boringer og direkte/indirekte behandlingsområder for airsparging og vakuumentilation.

### 3.4 Sammenfatning

Med udgangspunkt i de foregående afsnit, er hele lokaliteten opdelt i 4 delområder ud fra observeret oprensningseffekt, styrende fjernelsesmekanismer og placeringen af de to påviste kildeområder med hhv. fri fase terpentiner og chlorerede opløsningsmidler, jf. figur 3.9.

Den direkte effekt af airsparging observeres inden for en horisontal afstand af filtret på 5-6 m, og dette område langs de tre aktive airsparging-filtre vurderes at udgøre det egentlige direkte behandlingsområde. Ser man på dette områdes størrelse i forhold til de to kildeområder, har dækningen været fornuftig – bortset fra at det ene airspargingfilter i området med olieklender viste sig at være defekt. Inden for dette område og til ca. 5 m under grundvandsspejlet viser målingerne, at der er opnået en væsentlig fjernelse af de flygtige stoffer generelt (chl. opløsningsmidler og BTEX). Der sker dog også en vertikal konvektion af grundvand fra top-

pen af grundvandsmagasinet og til ca. 4-5 m's dybde af magasinet, hvilket tydeligt ses af de stigende indhold af lavt flygtige kulbrinter i de nederste niveauspecifikke filtre. Denne konvektion er sandsynligvis en medvirkende årsag til en generel god stripping af flygtige stoffer, men resulterer samtidig i en uønsket spredning af de ikke flygtige stoffer.

De indirekte effekter af airsparging ses direkte nedstrøms for de to forskellige kildeområder, og er en følge af de ovenfor beskrevne processer. Nedstrøms kildeområdet med olieforureningen (fri fase) ses således stigende totalkulbrintekoncentrationer i den dybere del af magasinet, og der sker meget tydeligt en mobilisering af komponenter fra kildeområdet, mens der ikke ses nogen mobilisering af chlorerede opløsningsmidler nedstrøms denne kilde. Denne vertikale konvektion kan kun undgås, hvis man holder anlægget i kontinuert drift, hvilket i praksis er meget vanskeligt.

Den direkte effekt af vakuumventilationsfiltrene kan observeres over hele grunden, dels i form af vakuum i den umættede zone og dels ved en generel reduktion i koncentrationsniveauerne overalt samt lokalt ved de gennemførte tracerforsøg. En yderligere effekt af vakuumventilationen og airspargingen er den aerobe nedbrydning, som stimuleres ved tilførslen af atmosfærisk luft indeholdende 20 vol.% ilt. Denne effekt har primært betydning i området med olieforurening.

# 4 Konklusion

## 4.1 Design

Forundersøgelserne omfattede dels de oprindelige forureningsundersøgelser samt en supplerende SVE-test og en IAS-test på lodrette boringer til fastlæggelse af dels de jordfysiske parametre, men også mere subjektive parametre som ”influenradius”. Udfra en samlet vurdering af vidensniveauet på tidspunktet for designfasen i forhold til efter installation og prøvetagning af de niveauspecifikke filtre i 17 boringer, kan følgende generelle forhold fremhæves:

- I forhold til grundens størrelse og forureningens kompleksitet var vidensniveauet omkring udbredelsen af forureningskomponenter for ringe, hvilket delvist skyldes de vanskelige adgangsforhold.
- På grund af det generelt lave vidensniveau omkring forureningsudbredelsen er der anlagt en konservativ strategi ved designet af SVE- og IAS-systemet, for herved at sikre en vis robusthed over for evt. ukendte hotspots.

Influenradius for IAS blev vurderet til 3-4 m for de lodrette boringer, mens der forventedes en noget større influenradius (5-6 m) for de vandrette boringer. Den gennemførte monitoring og tracerforsøg på IAS-systemet indikerer, at:

- Der ved IAS med vandrette boringer placeret ca. 2,5 m under grundvandspejlet kan opnås en transport af injiceret luft ud i en afstand af ca. 6-7 m vinkelret på filtret.
- Der inden for denne afstand samt fra grundvandspejlet og til 5 m herunder kan konstateres en række både ønskede og uønskede ændringer i vandkemi og forureningssammensætning (se senere), og at dette volumen derfor må beskrives som det egentlige behandlingsvolumen.
- Begrebet ”influenradius” er vanskeligt at definere og operere med, da det er meget afhængigt af selve driftsformen, om der er fri fase og for opløste stoffer, deres flygtighed og samspil indbyrdes.

Vakuumentilations systemet blev designet udfra et generelt kriterie om udskiftning af ca. 1500 porevolumener (PV) over den anslåede driftstid på 2 år, men med en forventning om et nødvendigt større luftskifte i et delområde med terpentin (1500-5000 PV) i forhold til den generelle forurening med primært PCE (1500 PV). Den gennemførte monitoring og tracerforsøg på SVE-systemet indikerer, at:

- Der er god overensstemmelse mellem den indbyrdes placering, længde, flow og vakuum i vandrette SVE-filtre, beregnet ved simulering af de forventede luftstrømninger og målinger foretaget ved de senere gennemførte tracertest.

- Der har kunnet måles et vakuum på mindst ca. 1 mBar i samtlige filtre i den umættede zone, og der er ikke indikationer på nogen markant variation i jordens horisontale permeabilitet. Dette kan ikke generelt antages at være gældende, og det må anbefales at have flere informationer om den arealmæssige variation og geologien end tilfældet var her.
- Kriteriet baseret på udskiftning af porevolumener kan ikke bruges i områder med fri fase terpentin på grundvandet, idet en væsentlig massefjernelse her er styret af stripping i den kapilære zone forårsaget af driften af IAS-systemet.
- Efter 6 måneders indledende drift af SVE-systemet alene, og en fjernelse af 2-300 porevolumener iagttages en næsten konstant koncentration af PCE og terpentin, og det kan konkluderes at der er indtrådt en diffusionsbegrænsning i jorden. Det samme fænomen gør sig også gældende ved afslutningen af driften.

Der er designet en monitoringsboring, der giver mulighed for niveauspecifik prøvetagning i både umættet (3 filtre) og mættet zone (3 filtre), samt mulighed for pejling af grundvandsstand og evt. fri fase. Systemet leveres præfabrikeret på en stor rulle, og nedsættes direkte i et åbent 7"-borehul. Montejus-systemet anvendes i den mættede zone, og muliggør hurtig udtagning af grundvandsprøver af høj kvalitet. Endvidere er in-situ iltransducere integreret i enkelte af filtrene med henblik på udførsel af respirationstest.

Behandlingsanlægget blev dimensioneret til et totalt SVE-flow på 1000 m<sup>3</sup>/t, mens IAS-flowet blev fastlagt til max. 375 m<sup>3</sup>/t. Anlægget blev udbudt med funktionskrav omkring flow, materialer, GC-målestation osv. /ref. 7/. Behandlingsanlægget blev indbygget i en standard 20' container, og blev bestykket med 2 kompressorer til IAS, 3 ventilatorer til SVE, varmeveksler på luftsiden, 2x500 kg kulfiltre samt on-line målesystem på de enkelte SVE-filtre og det samlede afkast. Ud fra de ønskede ydelser til anlægget blev følgende væsentlige valg truffet:

- For at sikre så høj en adsorptionskapacitet i kulfiltret som muligt er der anvendt en varmeveksler på luftsiden mellem sidekanalblæserne og kulfiltre. For et behandlingsanlæg med kapacitet som i dette projekt blev det indledningsvist konkluderet, at varmeveksleren kunne forlænge levetiden af kullene væsentligt.
- Det er ud fra en totaløkonomisk betragtning valgt at anvende sidekanalblæsere frem for kapselbæsere.

## 4.2 Etablering

Monteringsboringerne blev stort set etableret uden de store problemer. Af de 47 enkeltfiltre i den umættede zone var 4 defekte efter installation, mens der i den mættede zone ud af 45 filtre var 6 defekte filtre. Årsagen til de defekte filtre er sandsynligvis klemte slanger under installationen.

Installation af vandrette boringer ved hjælp af "blind-hole" teknik er en kompliceret proces, og følgende væsentlige erfaringer kan fremhæves:

- På grund af meget stenede horisonter lokalt på den nord-vestlige del af grunden, der ikke kunne gennembøres, blev et af de planlagte SVE-filtre aldrig installeret. Det må derfor anbefales, at gennemføre omfattende jordartskarakterisering, idet forekomst af større sten (>100 mm), mindre flintesten samt underjordiske fundamenter kan medføre store ekstraudgifter for bygherren, og at det ønskede antal filtre ikke kan installeres.
- Der bør vælges filtertyper uden pålimet filtervæv, idet dette blev revet itu under indpresningen i borehullet. Ledningsføringer fra filter og til behandlingsanlægget bør laves med så få bøjninger som muligt for at sikre adgang med rens-/spuleudstyr samt for at mindske tryktab.
- Håndteringen og slutdisponering af forurenede boremudder skal overvejes nøje, og i dette tilfælde blev mængden af boremudder væsentlig større end forventet på grund af de stenhellige horisonter.
- Borearbejdet var til stærk gene for den lokale trafik og påførte de nærmeste ejendomme støjgener, da en del af arbejdet foregik om aftenen. Disse gener bør minimeres gennem valg af hensigtsmæssige arbejdsprocedurer og information til naboejendomme.
- Blind-hole boreteknikken vurderes egnet på lokaliteter, hvor det ikke er fysisk muligt at etablere både afsender- og modtagegrube, og hvor andre in-situ teknikker end den her gennemførte ikke vurderes med fordel at kunne tages i anvendelse. Desuden kræves, at der ikke forekommer sten eller andre fysiske obstruktioner, som gør borearbejdet endnu mere vanskeligt end det gennemførte i denne sag, hvor det reelt kun var muligt at etablere 7 af de 9 planlagte vandrette filtre. Dog er teknikken endnu meget ny, og det anbefales, at bygherrer enterer med eksperter inden for denne specielle boreteknik, for at sikre størst mulig chance for succes. Uden amerikansk fagtilsyn ved Dana Brock, Veizades & Ass., ville arbejdet ikke have kunnet gennemføres.

Etableringen af behandlingsanlægget i midterrabbatten af Jagtvejen forløb uden problemer.

### 4.3 Drift

Moniteringsboringerne har teknisk set fungeret tilfredsstillende under hele projektet. En fuld prøverunde med poreluftprøver fra 43 filtre i umættet zone og vandprøver fra 39 filtre i mættet zone har kunnet gennemføres på ca. 4-5 arbejdsdage. I relation til selve prøvetagnings- og analysearbejdet kan følgende fremhæves:

- Forsøg viste, at tilfredsstillende måling af vinylchlorid kunne opnås ved opsamling af poreluft på kulrør ved et luftflow på 1 l/min. Den efterfølgende analyseprocedure for chlorerede opløsningsmidler og terpentin baseret på GC/FID, kombineret med GC/MS på udvalgte prøver, blev tilpasset den specifikke forureningssammensætning på lokaliteten, og en betydelig besparelse blev opnået.

- Prøverne af poreluft blev udtaget efter stop af IAS og SVE i 3 dage, for at opnå en ligevægtssituation mellem adsorberet stof, stof opløst i porevandet og poreluften. Der er ikke gennemført forsøg til belysning af denne problemstilling for de miljøfremmede stoffer, men i området med den kraftige terpentinforurening viser in-situ iltmålingerne, at ilt i den umættede zone forbruges i løbet af få dage.
- Prøverne af grundvand blev udtaget med anlægget i drift, idet forsøg viste at der skete væsentlige ændringer i koncentrationsniveauer indenfor få dage efter stop af anlægget. Det vurderes sandsynligt, at dette problem er helt generelt for airsparging.

Funktionen af de vandrette boringer til IAS og SVE under den 2-årige driftsperiode kan overordnet sammenfattes som følger:

- SVE-boringernes ydelse steg markant (10-20 gange) i løbet af de første par måneder og nåede på nær ét filter stort set op på de forventede flow. Den manglende ydelse fra et enkelt filter skyldes sandsynligvis en kombination af en for lille blæser og store tryktab. Vakuomet i boringerne vurderes at ligge under 35 mBar, hvilket er lidt større end de forventede (5-20 mBar). Selve tryktabet fra filteret i jorden og til kulfilter inden afkastet er i størrelsesordenen 100 mBar. Dette tab vurderes primært at kunne henføre til ledningsføringen i jorden samt de mange enkelttab i selve containeren (flowmålere, vandudskillere, bøjninger, indsvævninger, varmevekslere, kulfilter mv.)
- IAS-boringernes flow steg efter kort tid til et stabilt niveau – og nåede stort set de forventede flow ved de påtrykte tryk fra kompressorerne.
- Der er ikke konstateret tegn på tilklogning af IAS- eller SVE-filtrene under driften.

Funktionen af behandlingsanlægget under den 2-årige driftsperiode kan overordnet sammenfattes som følger:

- Kulfiltre, varmevekslere og pumperne til både IAS og SVE har teknisk set fungeret udmærket, og kun de anvendte flowmetre ("Rotametre") har måttet udskiftes.
- Det installerede on-line system til måling af koncentrationer i poreluften fra de enkelte SVE-strenger har i praksis ikke fungeret, og der er derfor regelmæssigt udtaget kulrørprøver til dokumentation af oprensingsforløbet. Problemerne med on-line systemet har endvidere medført, at anlægget kun har været i drift i 80% af tiden.

#### 4.4 Oprensningseffekt

Ud fra målingerne i behandlingsanlægget kan følgende konkluderes:



- Der er med SVE-systemet totalt fjernet ca. 370 kg chlorerede opløsningsmidler samt ca. 3500 kg terpentin. Fjernelsesraterne har været på maksimalt 70 g chlorerede opløsningsmidler hhv. 460 g terpentin pr. døgn, men er aftaget eksponentielt til et stabilt niveau i løbet af 6 måneders drift.
- Driften af IAS-systemet medfører en markant stripping af flygtige oliestoffer fra den fri fase i området med olie-kilden. Der ses ingen tilsvarende effekt i området med kilden med chlorerede opløsningsmidler, hvilket vurderes at være årsag til, at der ikke erkendes tilsvarende forøgelse i fjernelsen af chlorerede opløsningsmidler.
- SVE-systemet har kørt med et flow på 400-600 m<sup>3</sup>/t, hvilket er lidt lavere end de planlagte 1000 m<sup>3</sup>/t. Det totale antal porevolumen udskiftninger er ca. 900, hvilket også er noget lavere end det planlagte på mindst 1500.

Med hensyn til effekten af airsparging i den mættede zone, kan følgende konkluderes:

- Koncentrationen af flygtige forbindelser som BTEX og chlorerede opløsningsmidler samt disses nedbrydningsprodukter reduceres væsentligt (60-95%), mens den lavt flygtige andel af kulbrinter fra terpentin kun reduceres i mindre grad.
- Der observeres en stofspecifik effekt på koncentrationen i grundvandet ned til 2,5 m under niveauet for airsparging samt i en afstand af 5-6 m både opstrøms og nedstrøms airspargingfiltret. Effekten aftager med aftagende flygtighed.
- Ved tilstedeværelsen af fri fase terpentin ses ingen reduktion i koncentrationen af tungere olieforbindelser, men en øgning af koncentrationen nedstrøms kilden samt under kilden, som følge af en accelereret opløsning og udvaskning.
- I området, hvor kilden med olie og chlorerede opløsningsmidler overlapper hinanden, ses en opretholdelse af koncentrationen af chlorerede nedbrydningsprodukter.
- Koncentrationen af ilt øges over hele lokaliteten, men mest nær airspargefilterne og uden for olie-kilden.
- Driften af IAS bevirker tilsyneladende en vis vertikal grundvandstransport omkring IAS-filtret, hvorved grundvand med et højt indhold af ikke flygtige stoffer transporteres/spredes til ca. 2,5 m under niveauet for IAS-filtret. De flygtige stoffer når tilsyneladende at blive strippet og bliver derfor kun i mindre grad spredt til større dybde.
- Der observeres ikke tilbageslag af nævneværdigt omfang for hverken chlorerede opløsningsmidler, BTEX eller oliekomponenter.

Med hensyn til effekten af vakuumventilationen i den umættede zone, kan følgende konkluderes:

- Iltkoncentrationen forøges under drift af airsparging til 15-20 vol%, men iltforbrugende processer, som nedbryder olien, reducerer i løbet af kort tid efter stop (1 dag) koncentrationen væsentligt.
- Koncentrationen af total kulbrinter reduceres ikke over oliekilden (fri fase), men på den resterende del af lokaliteten reduceres koncentrationen til under detektionsgrænsen.
- Koncentrationen af chlorerede opløsningsmidler reduceres væsentligt i poreluften (75-98%), men der observeres også et tilbageslag over kilden med chlorerede opløsningsmidler.
- Koncentrationen af nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler øges over området, hvor kilden med olie og chlorerede opløsningsmidler overlapper.
- For chlorerede opløsningsmidler og oliekomponenter opnås der allerede efter udskiftning af 2-300 porevolumener en diffusionsbegrænset fjernelsesrate, og det valgte kriterie på 1500 porevolumener er relativt højt i forhold hertil.
- Oliekomponenterne ”fjernes fuldtændigt” alene med SVE uden for området med oliekilden, mens den fri fase i den kapilære zone i kildeområdet først skal mobiliseres ved IAS, før den kan fjernes ved SVE.

Ud fra poreluftprøver i det kapilærbrydende lag under kældergulvet kan det konkluderes, at:

- Airsparging kombineret med vakuumventilering forårsager en væsentlig reduktion af PCE i poreluften under gulv (10-500) gange. Ud fra gentagne poreluftmålinger over 1 år efter stop af afværgeanlægget vurderes denne reduktion at være permanent.

#### 4.5 Økonomi

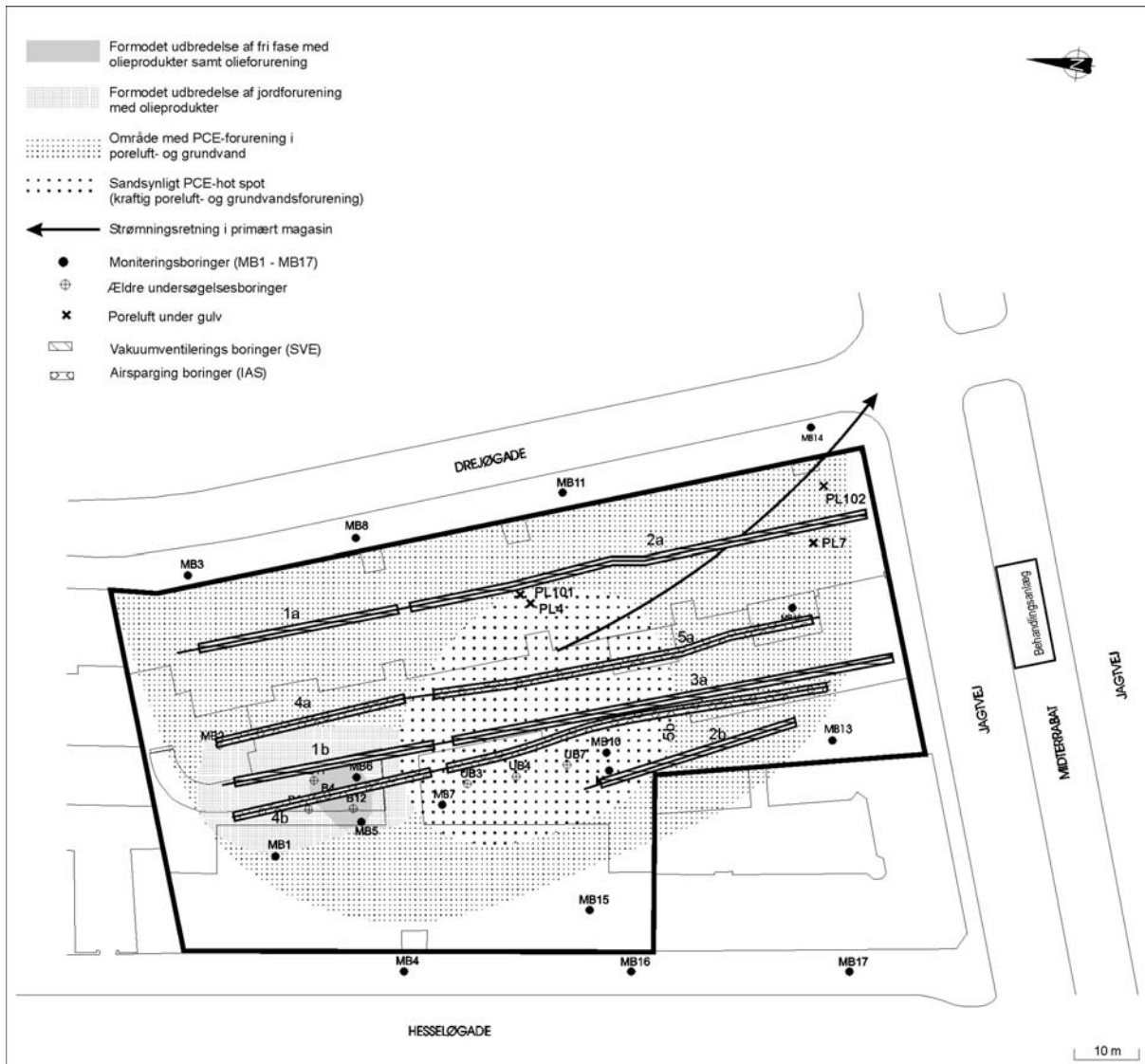
De samlede udgifter forbundet med etablering, indkøring, drift samt afrapportering af teknologiudviklingsprojektet beløber sig til ca. 8 mill. kr., excl. moms. Dette svarer til, at prisen for behandling/oprensning af 1 ton jord i umættet zone har beløbet sig til overslagsmæssigt 140 kr./ton i den aktuelle sag. Medregnes også den mættede zone i behandlingsvolumenet, fås en behandlingspris på 50-75 kr./ton.

I forbindelse med gennemførelse af et størrelsesmæssigt lignende afværgeprojekt uden for teknologiudviklingsregi med tilsvarende geologi, hydrologi og forureningsforhold vurderes det, at den samlede udgift til etablering, indkøring, drift (2 år) samt afslutning overslagsmæssigt vil beløbe sig til 5 mill. kr., excl. moms.

## 5 Referencer

- Ref 1 Teknologiuudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Airsparging og vakuumentilation med vandrette boringer, Drejøgade 3-5: Design og anlæg. Miljøprojekt nr. 480, 1999
- Ref 2 Teknologiuudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Airsparging og vakuumentilation med vandrette boringer, Drejøgade 3-5: Statusrapport nr. 1 – Rapportering af drift og monitoring. Miljøprojekt nr. 487, 2000.
- Ref 3 Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen. Airsparging fra horisontal boring, Arbejdsrapport nr. 9, 1997
- Ref 4 Teknologiuudviklingsprojekt fra Miljøstyrelsen. Naturlig nedbrydning af olie og chlorerede opløsningsmidler i grundvandet på Drejøgade 3. Miljøprojekt nr. 544, 2000
- Ref 5 ATV-komiteen vedrørende grundvandsforurening, Akademiet for de tekniske videnskaber 1998: Pulserende drift af air sparging anlæg: Geolog Tom Heron, Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S, Vintermøde om grundvandsforurening 1998.
- Ref 6 ATV-komiteen vedrørende grundvandsforurening, Akademiet for de tekniske videnskaber 2000: Erfaringer ved anvendelse af aktivt kul til luftrensning af kulbrinter på afværgeprojekter: Kresten L. Andersen og Thomas H. Larsen, Hedeselskabet, ATV møde: Renseteknologier for vand og luft.
- Ref 7 Københavns Kommune, Miljøkontrollen. Udbudsgrundlag for behandlingsanlæg. ”Entreprise E2 – Behandlingsanlæg, SAB og TAG”, dateret 16. juli 1997. Udarbejdet af NNR. Ikke publiceret.
- Ref 8 Miljøkemi. Bestemmelse/Kontrol af gennembrudsvolumen for letflygtige chlorerede komponenter, inkl. Metodebeskrivelse ISO/FDIS 16200-1.

# 1 Situationsplan





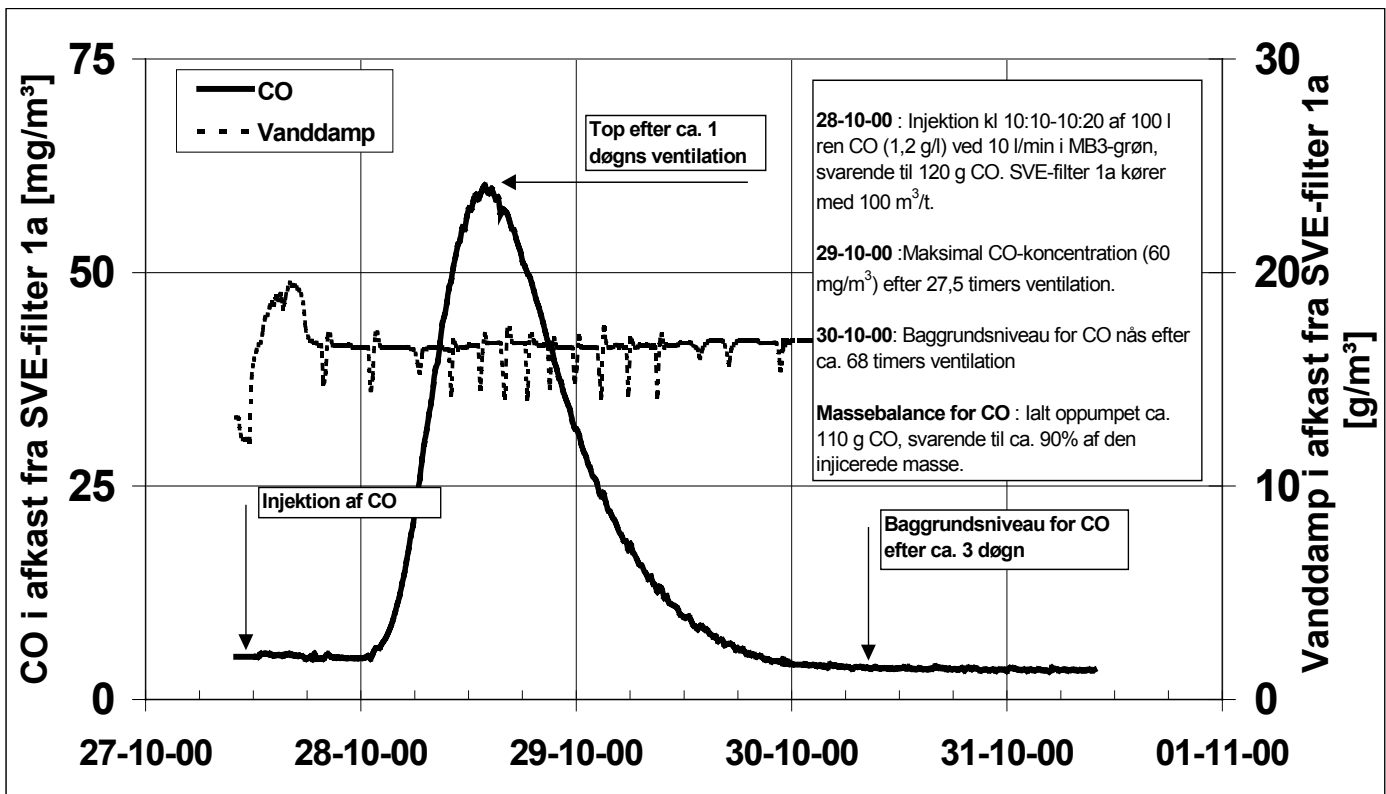
## 2 Tracerforsøg i umættet zone

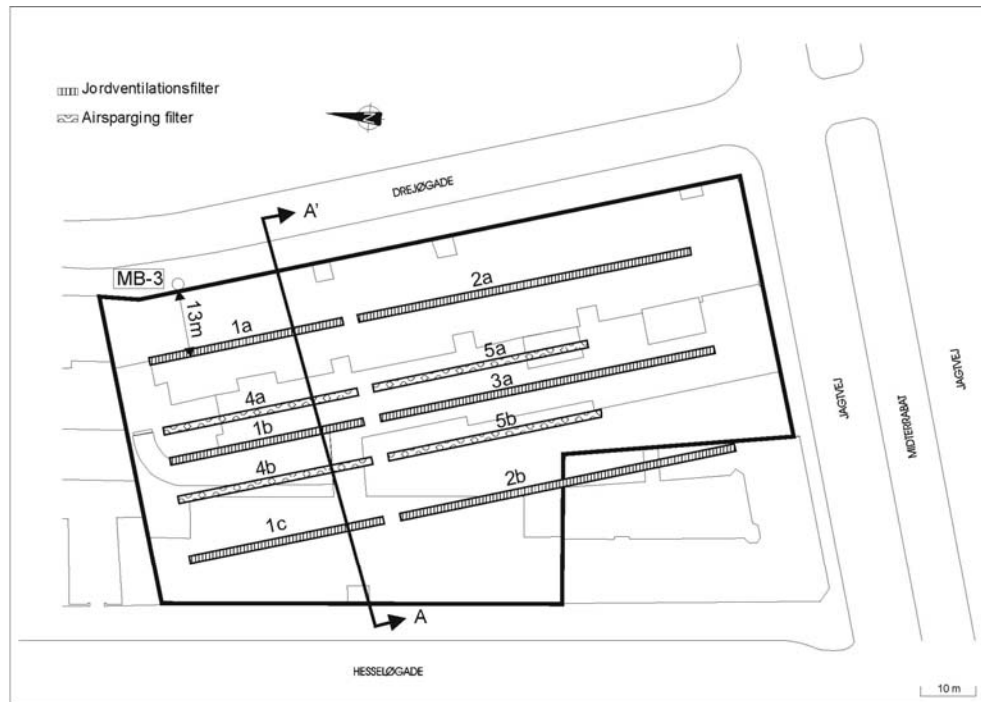
### **Beskrivelse af SVE tracertest**

Der er gennemført en tracertest i den umættede zone, med det formål yderligere at verificere den benyttede fremgangsmåde ved konfigurationen (antal, dybde, afstand) af de vandrette boringer. Testen er gennemført ved at ventilere 100 m<sup>3</sup>/t på SVE-filter 1a samtidig med, at en tracer blev injiceret i en observationsboring (MB3-grøn) 13 m fra SVE-filter 1a.

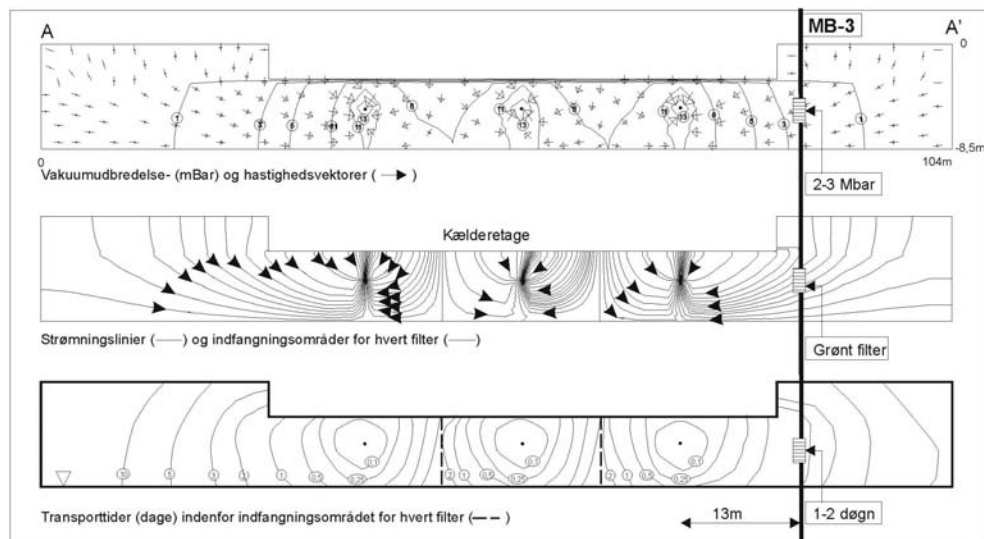
Yderligere detaljer om forsøget og den målte gennembrudskurve samt den forventede transporttid og vakuumbredelse fremgår af vedlagte plot. Den målte transporttid på ca. 1 døgn er i god overensstemmelse med den beregnede på 1-2 døgn. De målte vakuumer i monitoringsboringen ved drift er omkring 4-5 mBar, hvilket er i rimelig overensstemmelse med det beregnede på 2-3 mBar. Selve vakuumer i pumpeboringen er ved forsøget målt til ca. 135 mBar, hvoraf de ca. 100 mBar vurderes at kunne henføres til tryktab i ledningsføringen i jorden og i cointaineren. Selve tryktabet i filtret vurderes således at være i størrelsesordenen 35 mBar, hvilket er en lidt større end det beregnede på 5-20 mBar.

Sammenfattende vurderes det, at den benyttede metode til tolkning af in-situ ventilationstest og opskalering til de vandrette boringer samt konceptuelt design ved brug af 2D-modelering af luftstrømninger er en brugbar fremgangsmåde.





Placering af de enkelte filtersektioner for hhv. jordventilation, airsparging og injektionsfilter MB3-grøn



Beregning af strømningsmonster omkring filtrene ved snit A-A' og injektionsfilter MB3-Grøn

98114.01tegn\Mb3.cdr





## 3 Tracerforsøg i mættet zone

### Beskrivelse af IAS tracertest

Designet af IAS- systemet var baseret på dels en række gennemførte airspargning test samt en forventning om influensradius baseret på udenlandske erfaringer. Senere har monitoringen på grundvandet vist, at der opnås en vis generel reduktion i koncentrationsniveauet, men at det er vanskeligt entydigt at fastlægge indenfor hvilken afstand fra de vandrette borer, at grundvandszonen behandles. Der er derfor som supplement gennemført en tracertest for at kunne skønne i hvilken afstand fra boringen, at den indblæste luft bryder igennem den mættede zone og op i den umættede zone – og herved hvilket aquifer volumen der reelt behandles direkte.

Testen er gennemført ved kontinuert at tilsættes tracergas (CO) til IAS-streng 5b samtidig med, at der ventileres maksimalt fra den ovenliggende SVE-streng 3a. Herved opnås, at lufttransporten i den umættede zone er rettet entydigt indmod IAS-strengen og således ikke spredes til større afstand i den umættede zone, end der hvor den gennembryder den kapillare zone.

Yderligere detaljer om forsøget og en grafisk præsentation af resultaterne fremgår af vedlagte plot. Forsøget viste, at der gik under 1 time fra injektions start, til traceren kunne påvises i afkastluften fra SVE strengen. Først efter ca. 3-3,5 time kunne der konstateres et tracegennembrud i monitoringsboringerne, og gennembruddet skete først i MB7 (5,5 m's afstand fra streng 5b) og lidt senere i MB10 (4,0 m). Der blev ikke observeret noget tracegennembrud i MB9 (7m) , MB13 (9m) og MB12 (13 m). Men som det fremgår af den optegnede figur, er det vanskeligt at afgøre den mere præcise vej som luftboblerne følger i den mættede zone.

### Forløb af tracerforsøget d. 1.11.2001

#### 01.11.00

- Injektion af luft i IAS-filter 5b startet kl. 14.30 – Flow ca.40 m<sup>3</sup>/t
- Ekstraktion af poreluft (SVE) startet fra SVE-filter 3a og SVE-filter 1a – i alt 300 m<sup>3</sup>/t

#### 02.11.00

- Kontinuert tracertilsætning (2 l-CO/min.) til indblæsningsluften i IAS-filter 5b startet 10.30. Injektionsflow ca. 45 m<sup>3</sup>/t.
- Ekstraktion fra SVE-filter 1a stoppet 10.30. Flow fra SVE-filter 3a herefter 80 m<sup>3</sup>/t.
- Tracergassen opbrugt kl. 14.30 efter 6 timers kontinuert injektion.
- Stabile flow kl. 17.10 (injektion ca. 50 m<sup>3</sup>/t og ekstraktion ca. 90-95 m<sup>3</sup>/t).
- Anlæg stoppet kl. 17.15.

Koncentrationer af CO målt med Innova 1312A gasanalyser. Observationer af gennembrudstidspunktet og tracergasen i de enkelte målepunkter fremgår af nedenstående tabel:

Gennembrudstid (min.)	Afkast SVE 3A (mg-CO/m <sup>3</sup> )	MB-7 Gul (mg-CO/m <sup>3</sup> )	MB-10 Gul (mg-CO/m <sup>3</sup> )	MB-9 Gul (mg-CO/m <sup>3</sup> )	MB-12 Gul (mg-CO/m <sup>3</sup> )	MB-13 Gul (mg-CO/m <sup>3</sup> )
75 (540)	127, 445, 650, 650 (500)					
205 (360)	1	700 (650)				
210 (480)	2		25, 150 (80)			
0-590				-	-	-

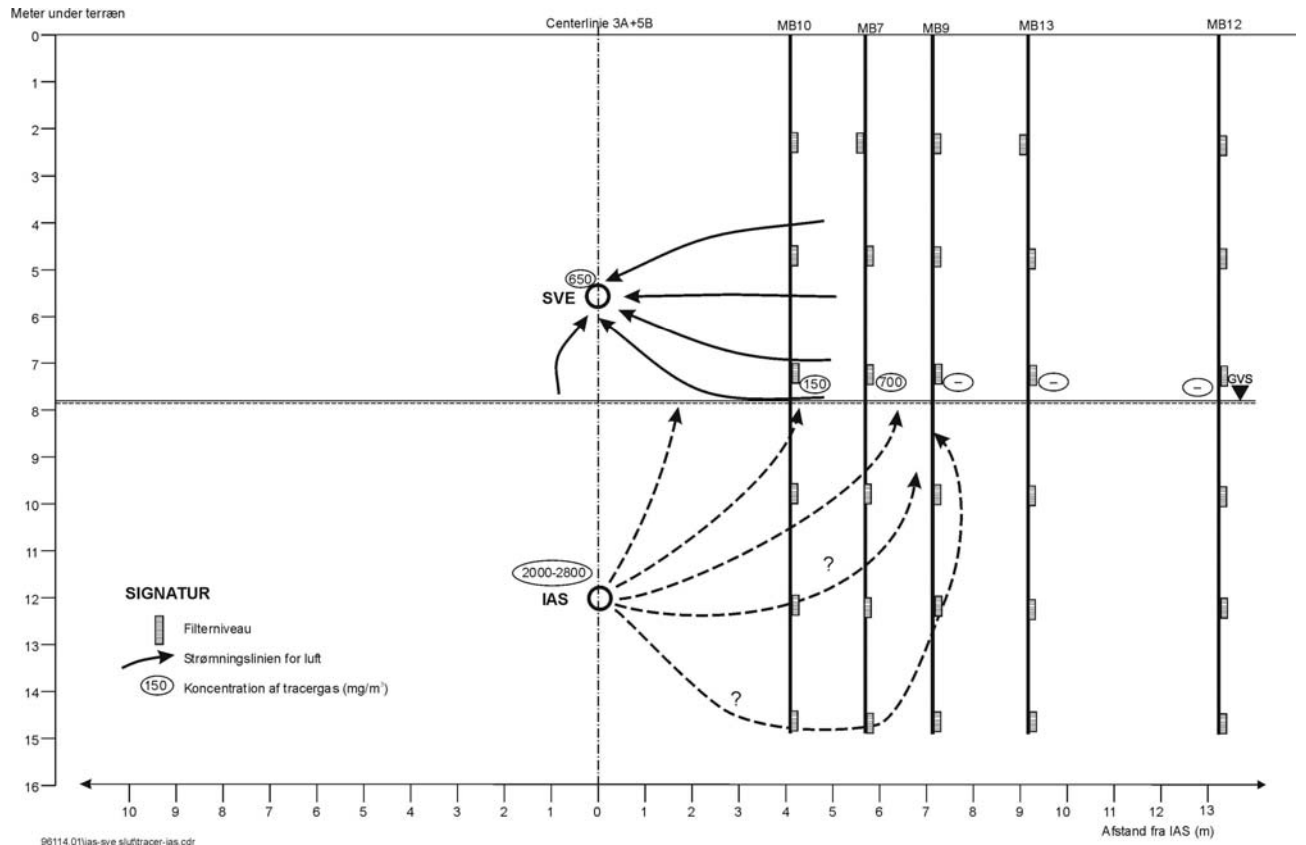
Note: Tal i parentes viser under kolonnen ”gennembrudstid” tiden for sidste måling – og for de resterende kolonner CO-koncentrationen ved sidste måling.

#### Massebalance:

- Injektion (50 m<sup>3</sup>/t luft + 0,12 m<sup>3</sup>/t tracergas) medfører en koncentration af tracer injiceret i magasinet på 2800 mg/m<sup>3</sup>.
- Koncentration i SVE-3A er ca. 25% af den injicerede koncentration, hvilket giver en 4x fortynding.
- Stabil koncentration (650 mg/m<sup>3</sup>) i SVE-3A giver en fjernelsesrate på 65 g/t.
- Injektionskoncentration og flow har varieret lidt gennem tiden og har ligget på ca. 100-140 g/t.
- Der opsamles således tilsyneladende omkring 50% af den injicerede mængde.

Måleresultater og beliggenhed af IAS og SVE filtre samt monitoringsfiltre fremgår af vedlagte skitse.

Sammenfattende vurderes det, at den injicerede luft når ud i en afstand af ca. 6-7 m fra det vandrette filter. Det oprindelige skøn på influensradius i designfasen var ca. 5-6 m. Den faktiske influensradius må forventes at variere noget langs filtret, men dette kan ikke påvises ved tracerforsøget på grund af de relativt få målepunkter.



96114.01ias-sve-sluttracer-ias.cdr



# 4 Moniterings-skema

**TILSYN, DREJØGGADE**

**MASKINRUM**

Dato: 1/10 98 Udført af: LHN (NMR)

Processlinje	CO2, %	O2, %	CH4, %	PID, ppm	Temp, °C	Vaccum, mbar	Tryk, mbar	Vacc., mbar	Tryk, mbar	Rotameter, m3/h	Vortex, m3	Vortex, m3/h	Hz
1a	0,0	20,0	0,0	10,1	20	71		80		~ 50-130			30
1b	0,2	20,2	0,1	20,5	20	71				~ 0-700			
2a	0,1	20,2	0,0	5,8	21	88		106		~ 50-150	1555 481	418	30
2b	0,1	20,4	0,0	5,7	20	88				~ 70-130			
3a	0,0	20,5	0,0	5,0	20	133		138		110			35
4a													
4b													
5a													
5b													
Før KF					8,8								
Mellem KF					4,0								
Efter KF					0,0								
Før Vveksler													
Baggrund	0,0	20,0	0										

**GC-/SRO-RUM**

Tryk i gasflasker	Tryk
Standard, (min 6 bar)	
Nitrogen	
Hydrogen	

D-Firpede: 55 866 kW

Bemærkninger: KULBENSANALYSE VOFØRET (8. UDTRAG) EDNAT-ETRE "HYPPE" 4

Fejl: \_\_\_\_\_

Korrigerende handling: \_\_\_\_\_

**TILSYN, DREJØGGADE  
MASKINRUM**

Dato: 22-01-99

Udført af:

Processkilde	CO2, %	O2, %	CH4, %	PID, ppm	Temp, °C	Vaccum, mbar	Tryk, mbar	Vacc., mbar	Tryk, mbar	Rolameter, m3/h	Vortex, m3	Vortex, m3/h.	Hz
1a	0,4	19,4	0,1	140	18	67		74					30
1b	0,4	19,3	1,7	678	19	68							
2a	0,1	19,9	0	19	19	156		180			2654702	492	40
2b	0,4	19,5	0,1	124	18	150		171					42,5
3a	0,0	20,2	0,2	134	19	158							
4a					17		0,4			0			
4b					22		0,55			50	58605	43	42,5
5a					68		0,95			følger i meter kød			
5b					>70		0,34			100	248537	160	39,5
Før KF							9,1						
Mellem KF							6						
Efter KF							0,3						
Før Vveksler							2,2						
Baggrund	0	19,8	0	0	+3								

**GC-/SRO-RUM**

Tryk i gasflasker	Tryk
Standard, (min 6 bar)	
Nitrogen	
Hydrogen	

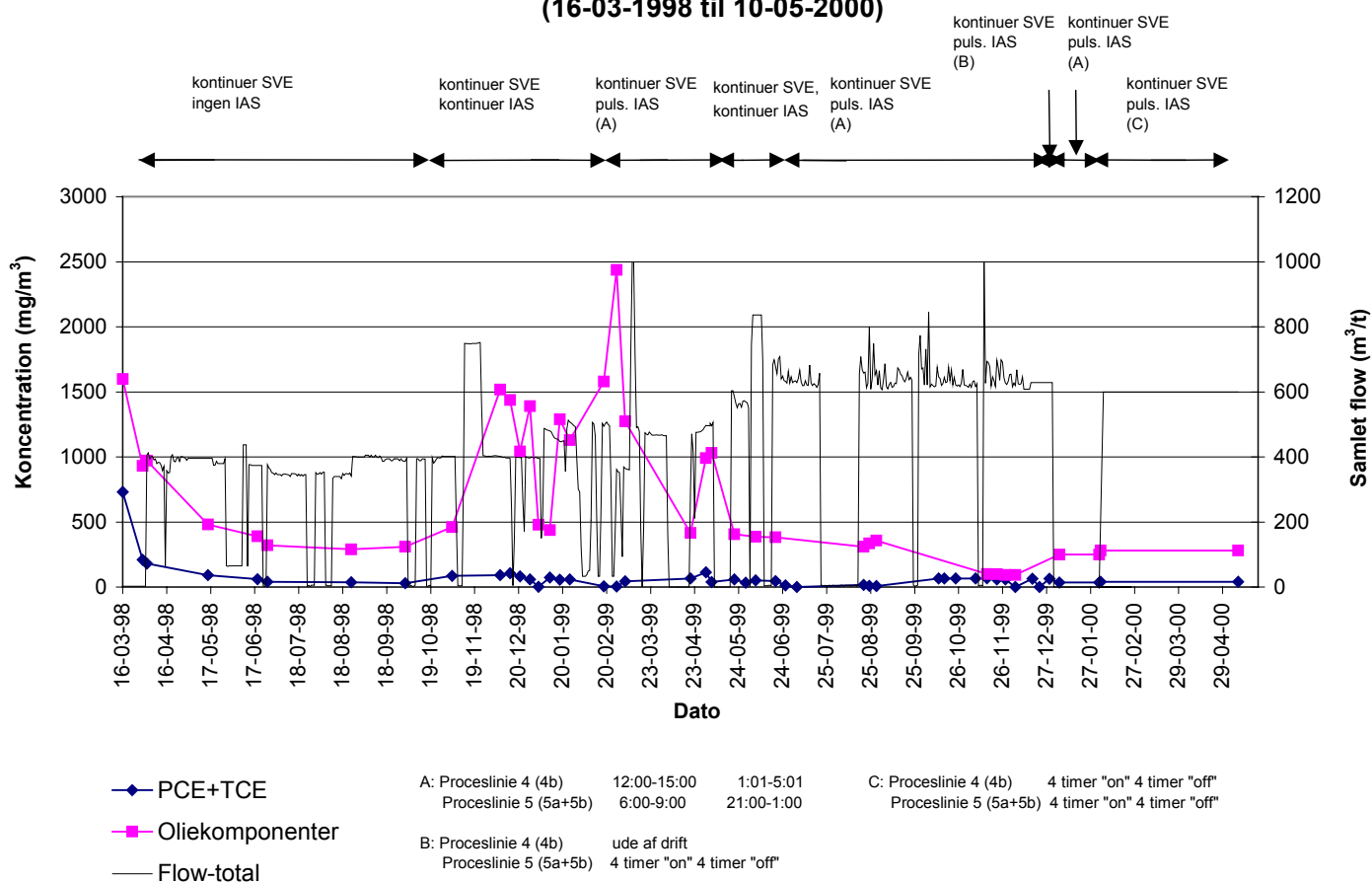
Bemærkninger: SMANS FLIKKE ER RUND: 1a: HANDE PLEJER 1b: inkt 2a: HANDE SPINER 2b: INKT - 3a: INKT.

Fejl:

Korrigerende handling:

# 5 Flow og koncentration

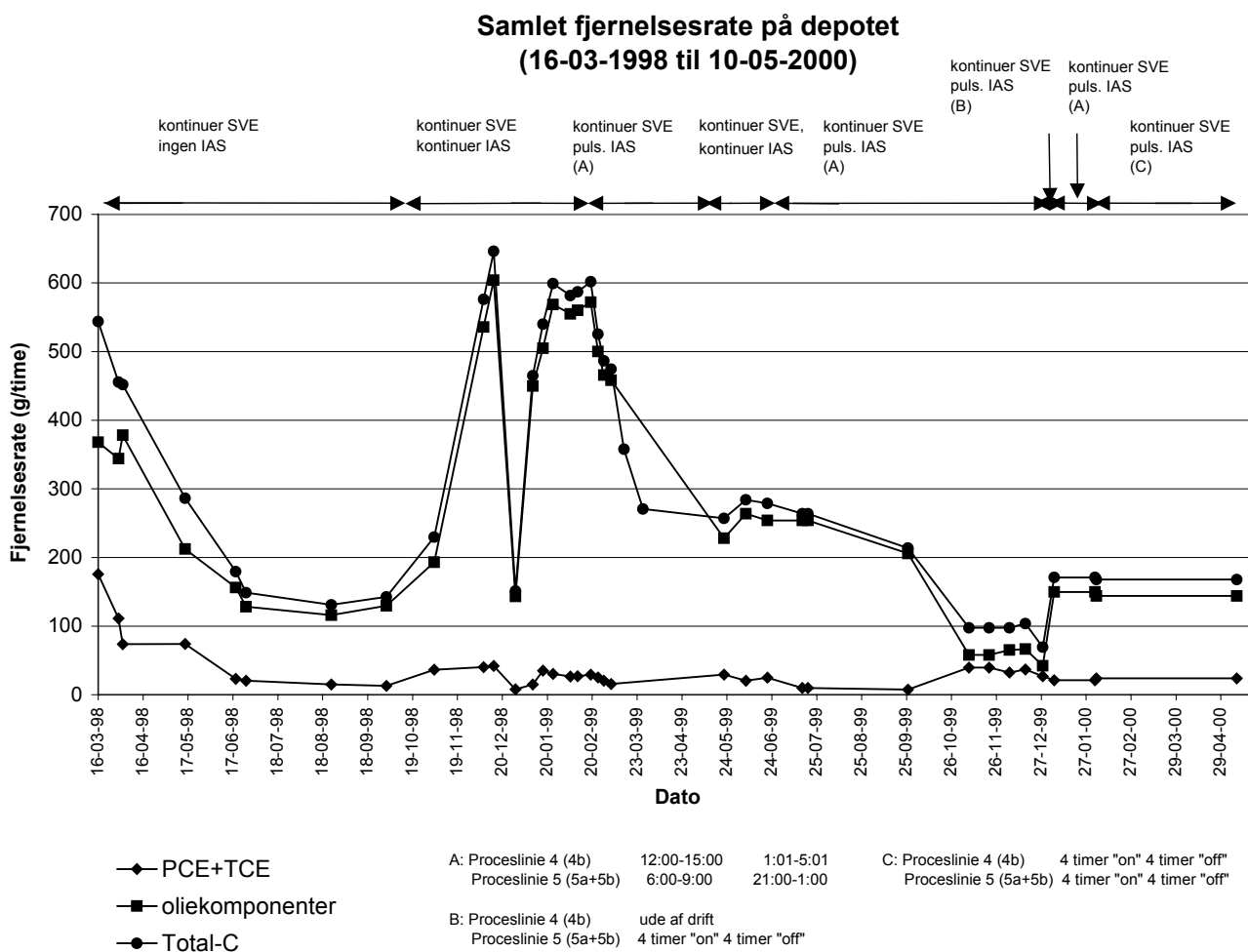
**Koncentration og luftflow fra de i alt 5 SVE-filtre  
(16-03-1998 til 10-05-2000)**







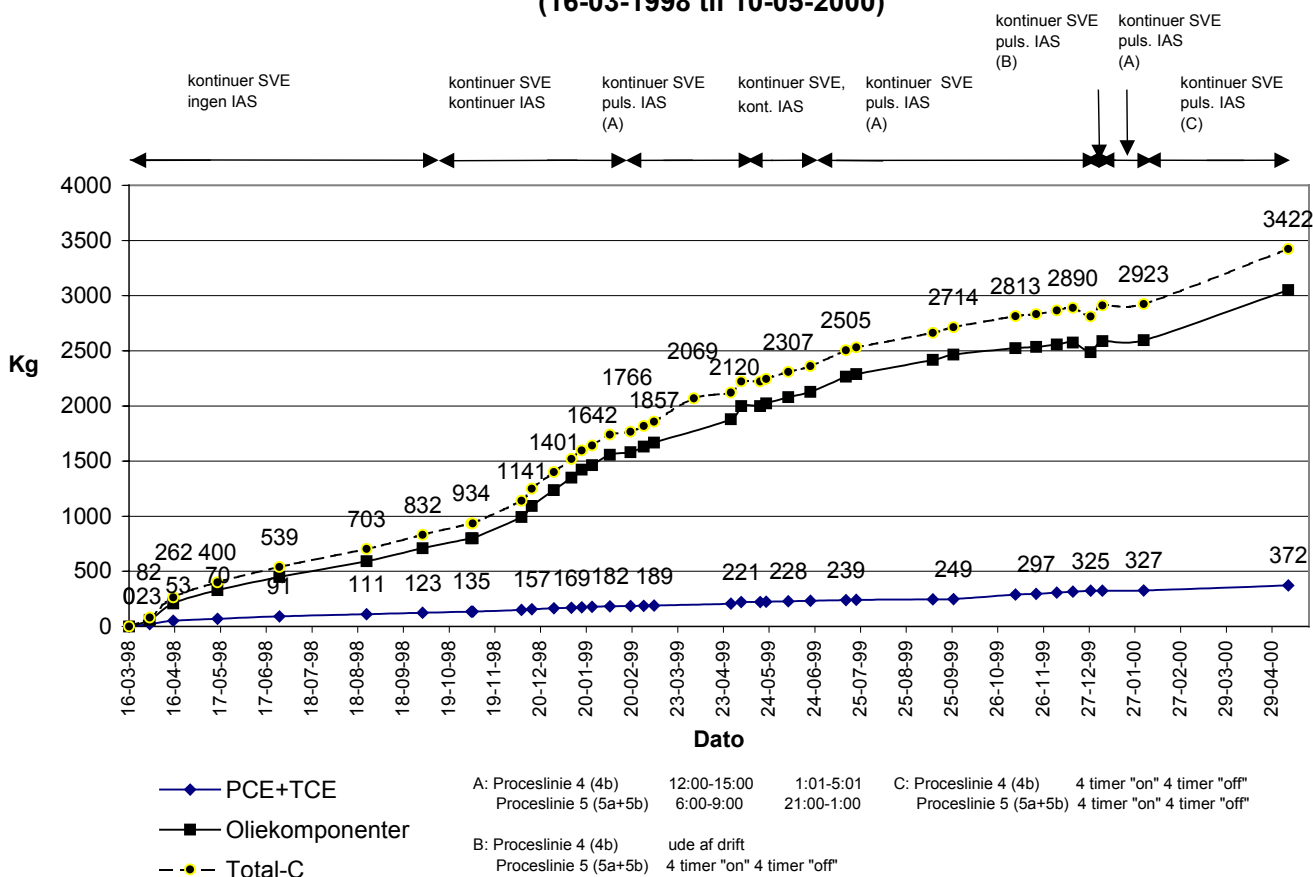
# 6 Fjernelsesrate





# 7 Massefjernelse

**Akkumuleret massefjernelse på depotet  
(16-03-1998 til 10-05-2000)**





## 8 Jordanalyser

	MB1				MB5				MB7			
Dybde (mut)	2,5	4,5	5,0	7,5	1,0	3,5	4,5	7,5	2,5	6,0	8,0	8,5
PID målt efter afvæрге	1,7	0,6	1,1	?	2	1,4	1,5	?	2,9	1,6	5,7	8,0
BTEX	-	-	-	5,6	-	-	-	38,9	-	-	15,2	<0,33
Total kulbrinter	-	-	-	6100	-	-	-	4700	-	-	2600	-
PCE	-	-	-	0,016	0,0056	-	-	0,33	0,032	0,04	5,7	0,024
TCE	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	0,1	-
TCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TCM	-	-	-	0,008	-	-	-	-	-	-	-	-

*Hvide celler: Koncentrationer ved baseline*

***Grå celler: Koncentrationen efter afvæрге***

**Koncentration i jord før og efter afværgetiltag mg/kg TS.**

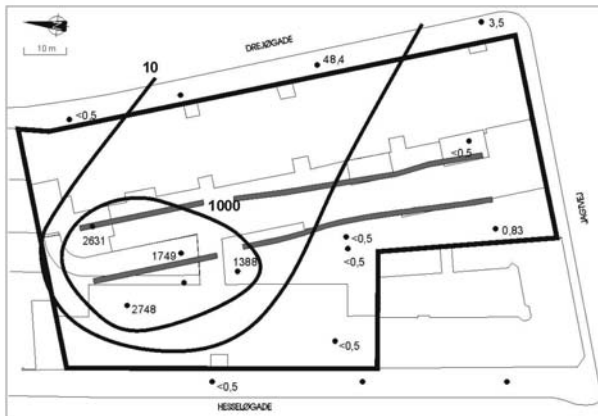


## 9 Horizontal optegning af udvalgte stoffer i monitoringsfiltrene i grundvandet



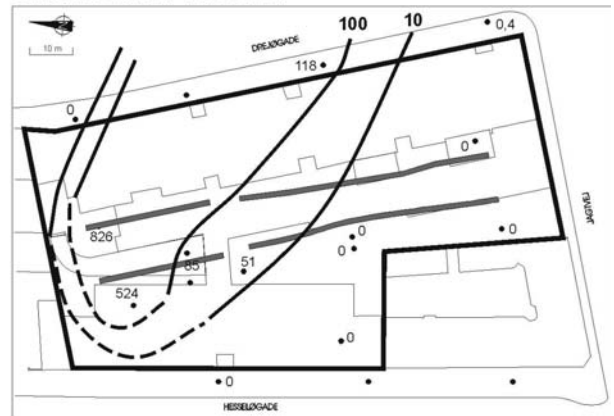


BASELINE FØR AFVÆRGE

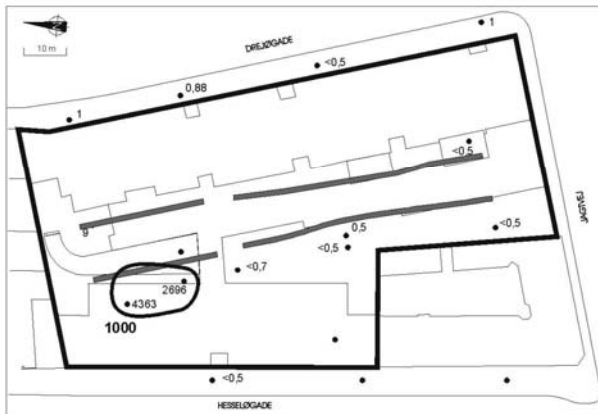


Hvidt filter (kote 2,1)

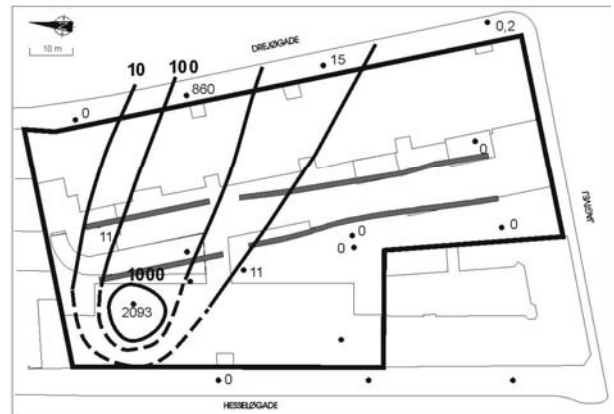
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



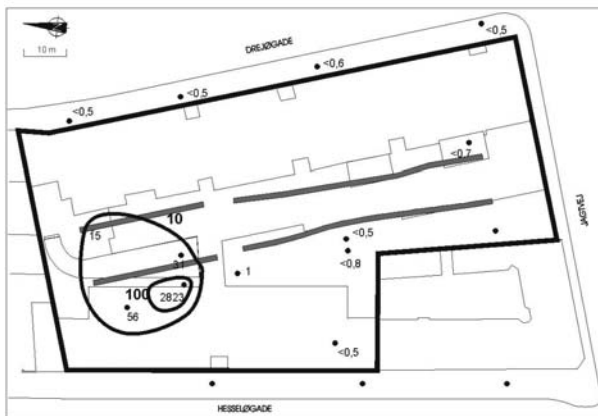
Hvidt filter (kote 2,1)



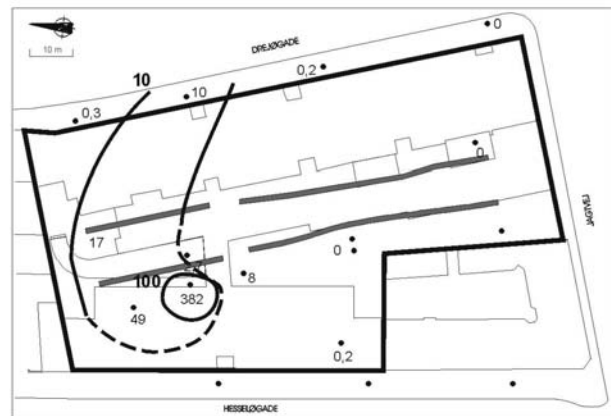
Rødt filter (kote -0,4)



Rødt filter (kote -0,4)



Blåt filter (kote -2,9)

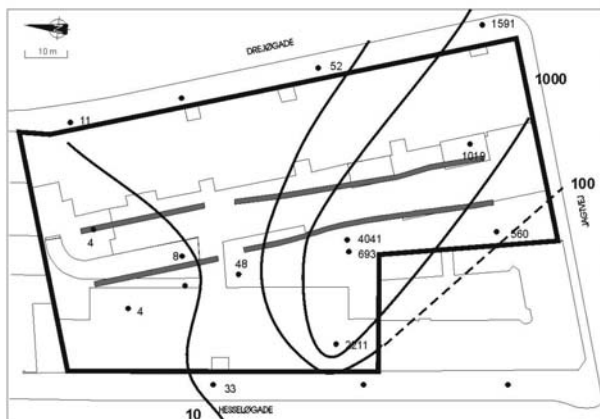


Blåt filter (kote -2,9)

Bilag 9-2

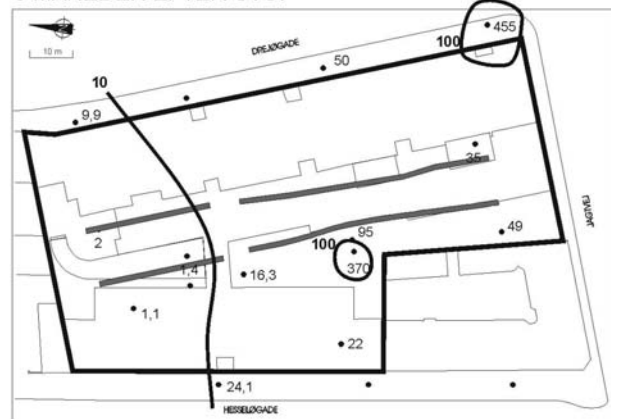
Isokoncentrationskurve: BTEX i monitoringsboringerne ( $\mu\text{g/l}$ )

BASELINE FØR AFVÆRGE

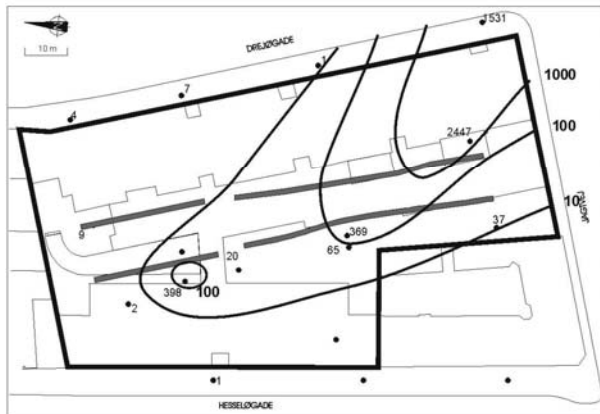


Hvidt filter (kote 2,1)

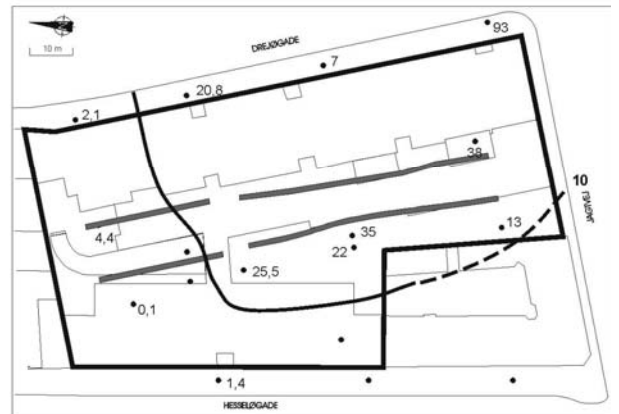
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



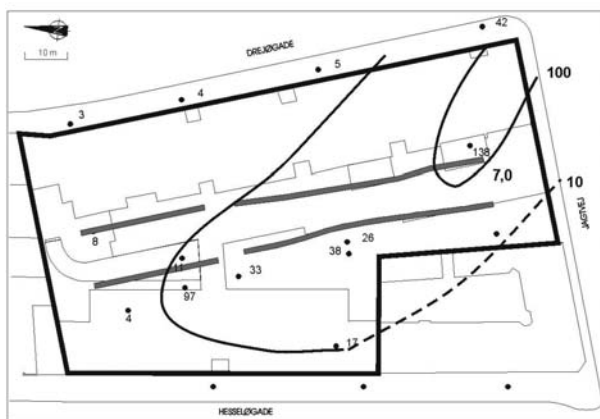
Hvidt filter (kote 2,1)



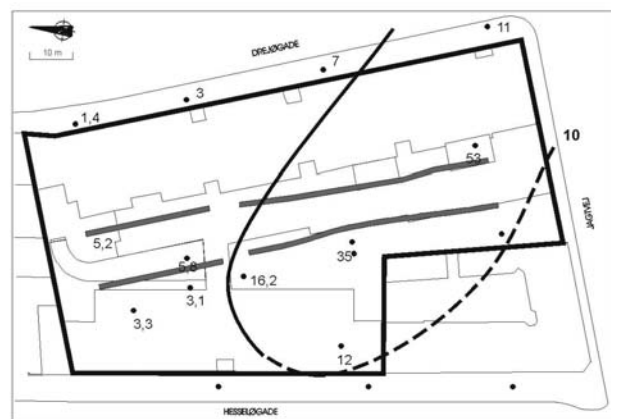
Rødt filter (kote -0,4)



Rødt filter (kote -0,4)



Blåt filter (kote -2,9)



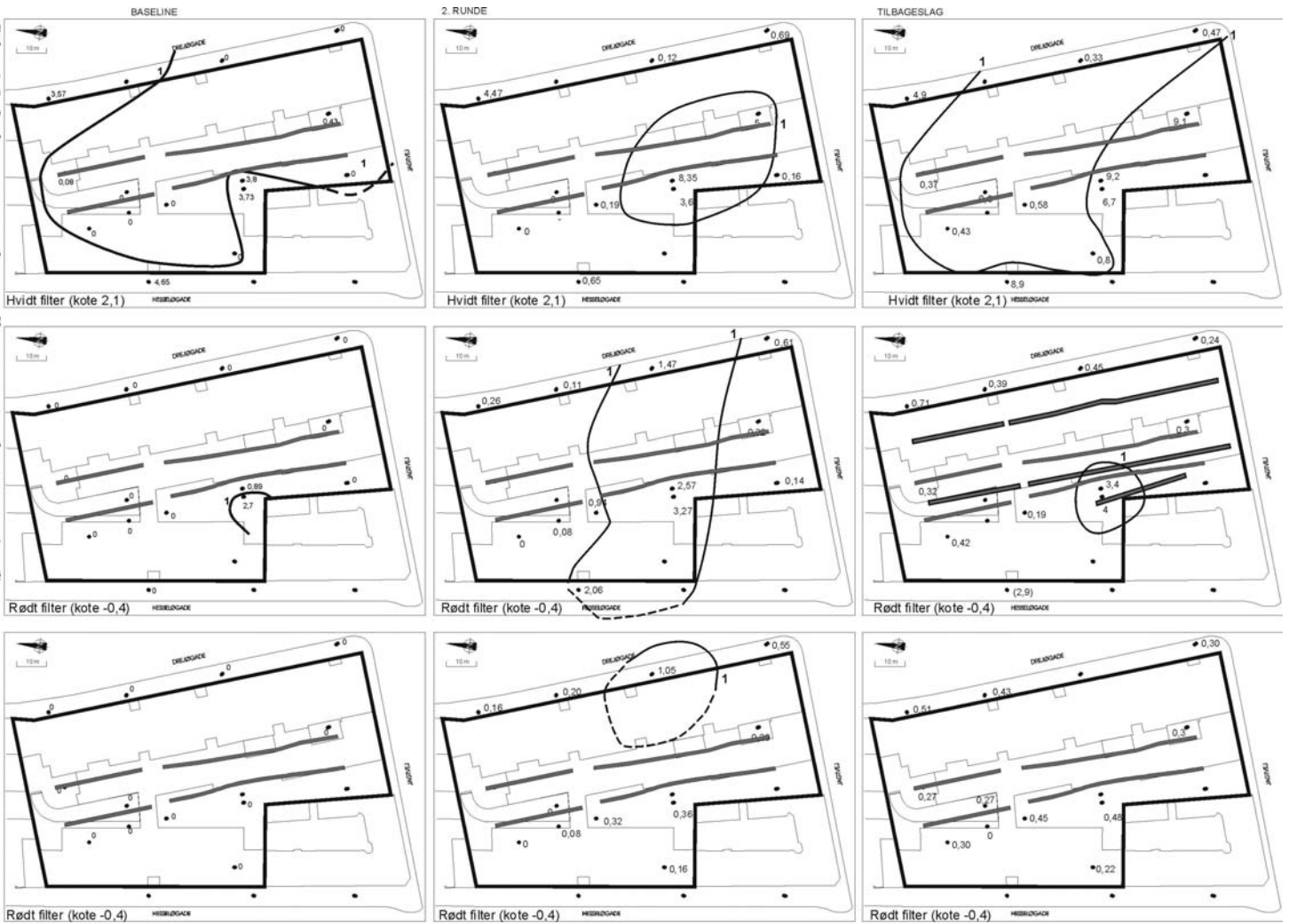
Blåt filter (kote -2,9)

Bilag 9-3

Isokoncentrationskurve: PCE, TCE, PCM, TCA, TCM i monitoringsboringerne ( $\mu\text{g/l}$ )

96114.01\tegn\ladt\ladt2\filtrer.cdr





## 10 Baggrund for datapræsentation

### Baggrund for databehandling, -præsentation og -tolkning

Følgende valg er truffet i forbindelse med behandling af data:

- Angivelse af procentvis reduktion er beregnet som  $(\text{Konc. start} - \text{Konc. slut}) / \text{Konc. start} * 100 \%$

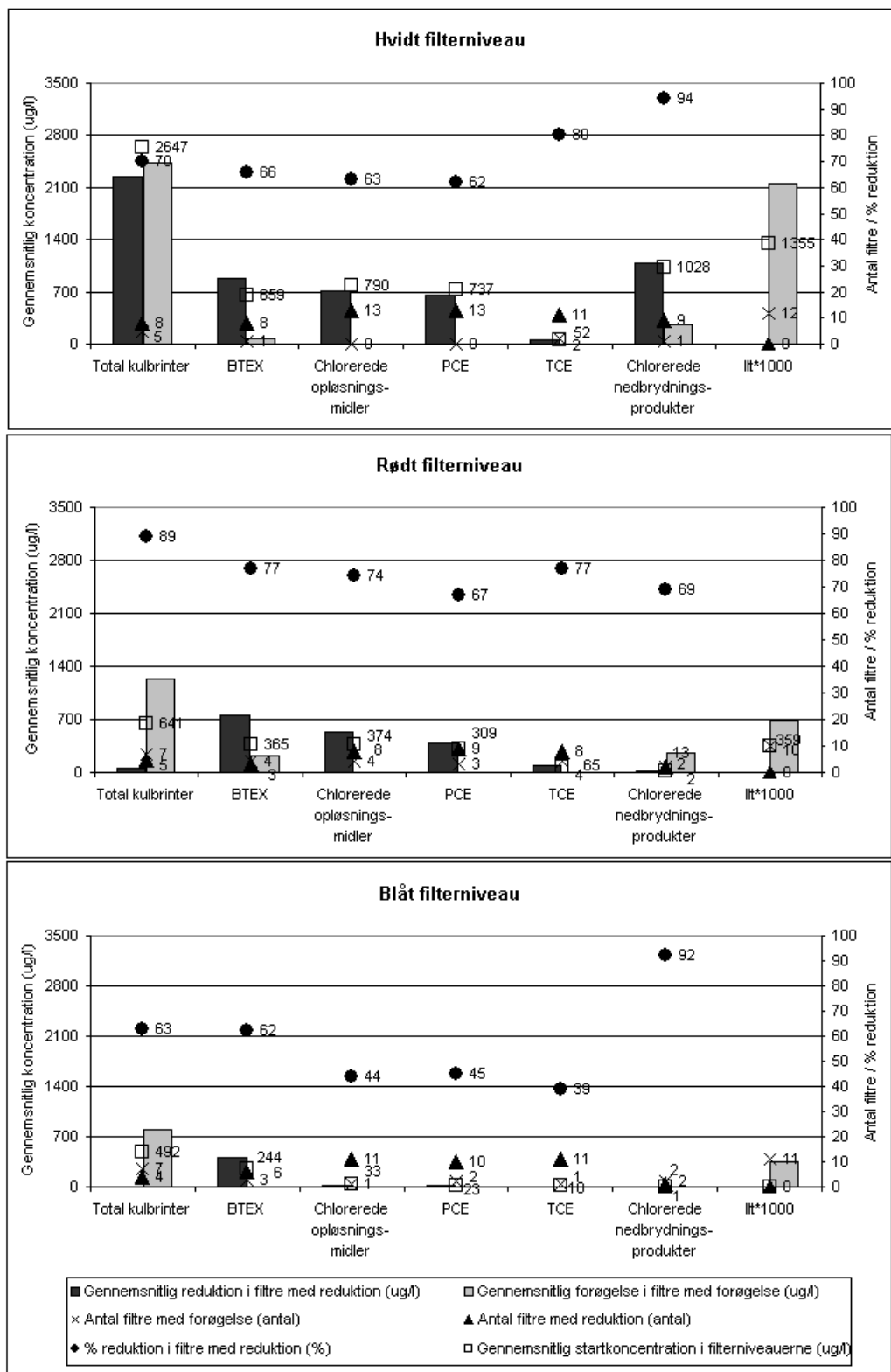
### VANDANALYSER

- Koncentrationer der er angivet som "mindre end" vil blive tolket som følger
  - Hvis koncentrationen både ved start og slut er mindre end  $1 \mu\text{g/l}$  sættes begge koncentrationer til  $0 \mu\text{g/l}$  og den procentvise reduktion beregnes ikke
  - Hvis startkoncentrationen eller slutkoncentrationen er mindre end  $1 \mu\text{g/l}$ , benyttes  $0 \mu\text{g/l}$  for den pågældende koncentration
- Er startkoncentrationen mindre end slutkoncentrationen beregnes den procentvise reduktion ikke, men beskrives i ord
- Kun filtre med analyseresultater fra både 2. og 6. analyserunde medtages i beregningen af reduktion i filtrene

### PORELUFTANALYSER

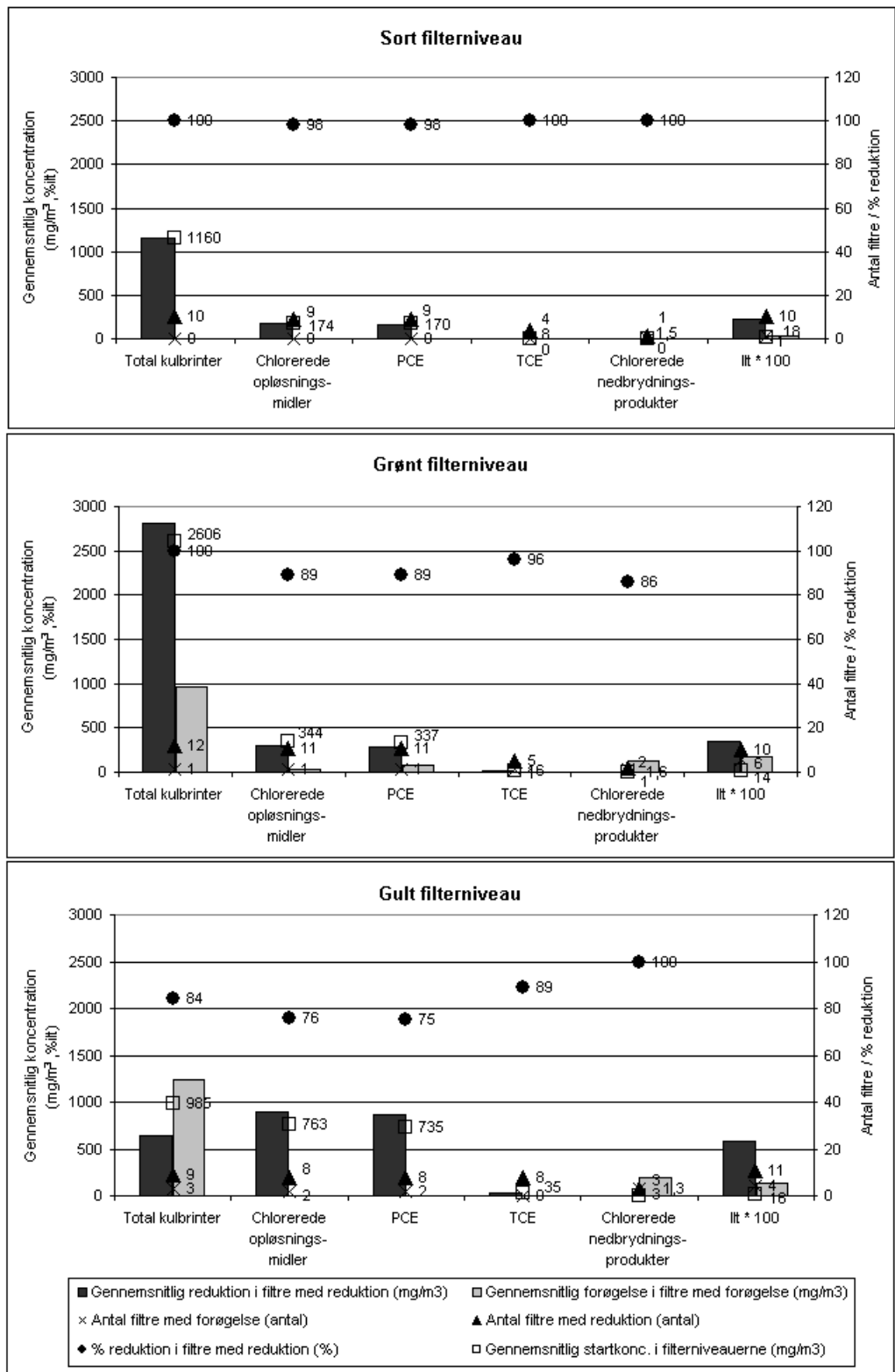
- Tolkning af BTX udelades, da detektionsgrænserne er væsentligt forhøjet, pga. det store indhold af total kulbrinter
- Koncentrationen af PCE, TCE og nedbrydningsprodukter er ikke bestemt i 1. analyserunde, da detektionsgrænserne blev væsentligt forhøjet. Koncentrationen i 1. analyserunde er vurderet ud fra koncentrationen i 2. analyserunde
- Hvis koncentrationen ved slut er mindre end  $0,1 \text{ mg/m}^3$  regnes koncentrationen for  $0 \text{ mg/m}^3$
- I MB17-grøn er koncentrationen ved slut større end  $1100 \text{ mg/m}^3$ . Her benyttes  $1100 \text{ mg/m}^3$  i beregningerne
- Koncentrationer der er angivet som "mindre end" vil blive tolket som følger
  - Hvis der er konstateret en målbar startkoncentration men en slutkoncentration mindre end detektionsgrænsen benyttes den målte startkoncentration men en slutkoncentration på  $0 \text{ mg/m}^3$
  - Hvis der er konstateret en målbar slutkoncentration men en startkoncentration mindre end detektionsgrænsen benyttes den målte slutkoncentration men en startkoncentration på  $0 \text{ mg/m}^3$
  - Hvis både startkoncentrationen og slutkoncentrationen er mindre end detektionsgrænsen da benyttes  $0 \text{ mg/m}^3$  for begge koncentrationer og disse resultater benyttes ikke i beregningen af reduktion i filtrene

- Kun filtre med analyseresultater fra både 1. og 6. analyserunde medtages i beregningen af reduktion i filtrene



Bilag 10-1: Præsentation af data fra den mættede zone  
 Filterniveauerne fremgår af figur 2.1





Itt angives i vol%

Bilag 10-2: Præsentation af data fra den umættede zone  
Filterniveauerne fremgår af figur 2.1

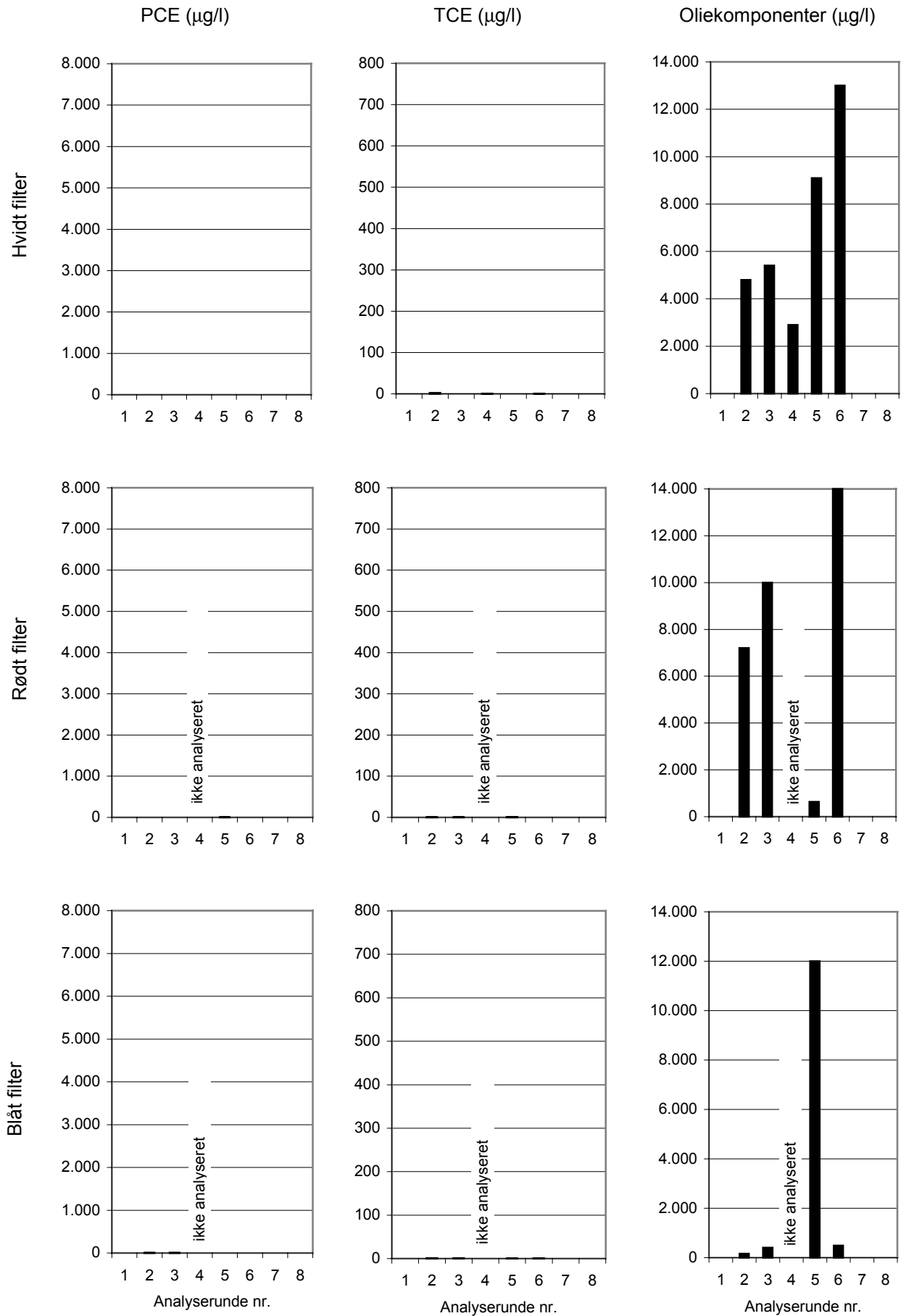


# 11 Udvikling af koncentrationen af udvalgte stoffer i grundvandet

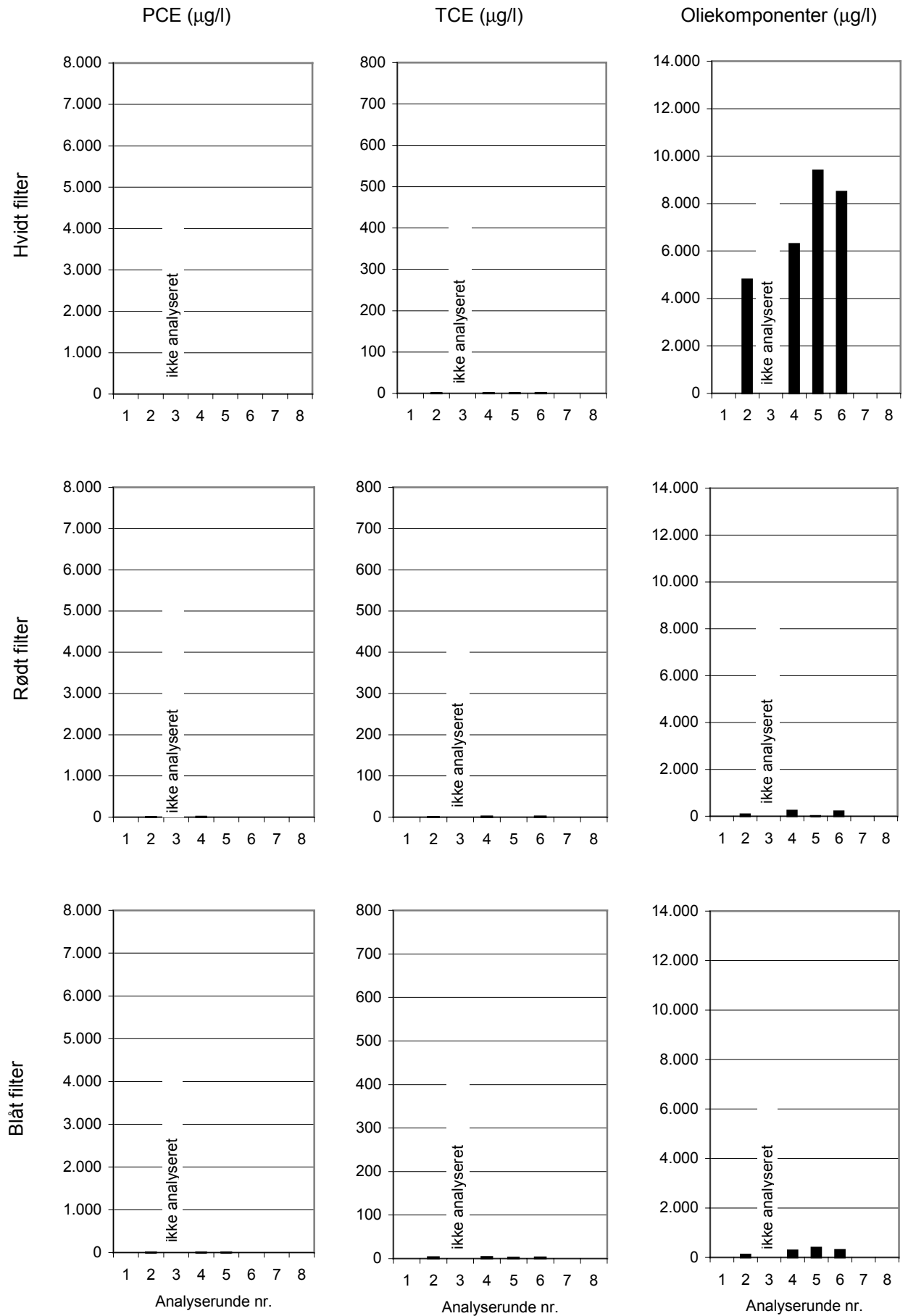
## Analyserunder gennemført fore poreluft henholdsvis grundvand

Analyserunde nr.	Udført (uge nr./årstal)	
	Poreluft	Grundvand
1	51 + 52/1997	Ikke udført
2	24/1998	40/1998
3	51/1998	3/1999
4	19/1999	19/1999
5	4/2000	3/2000
6	42 + 43/2000	42/000

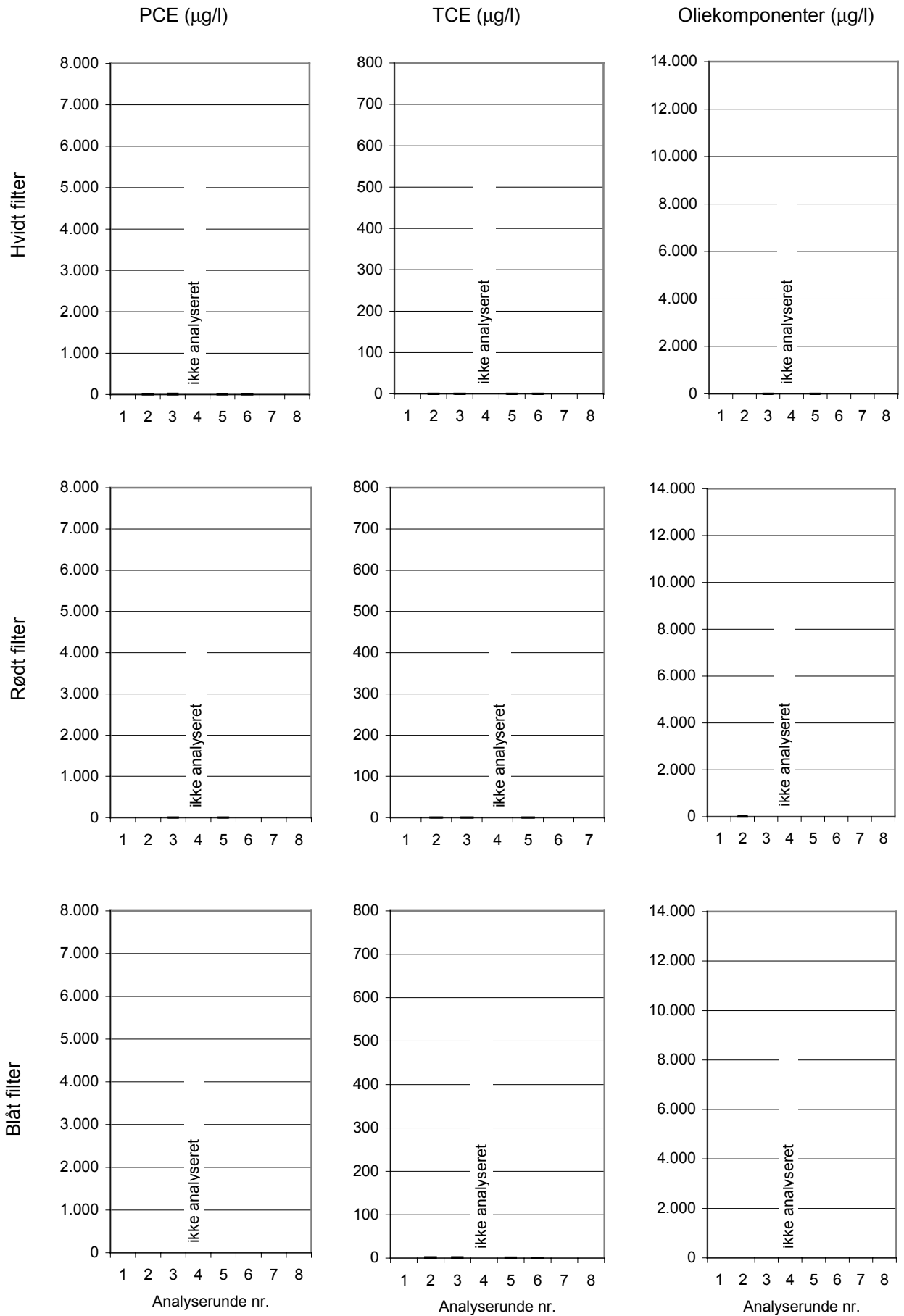
## Moniteringsboring MB1



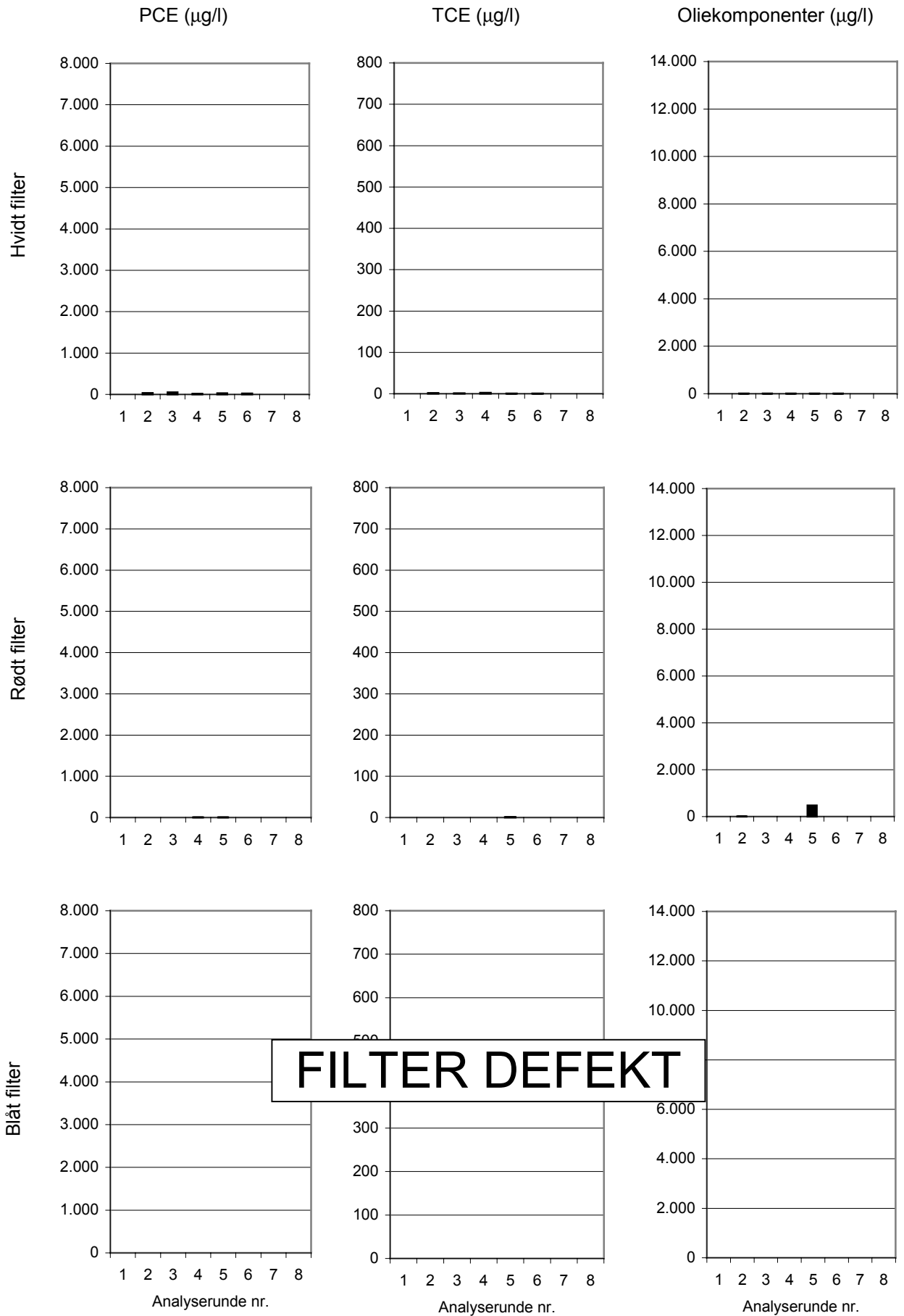
## Moniteringsboring MB2



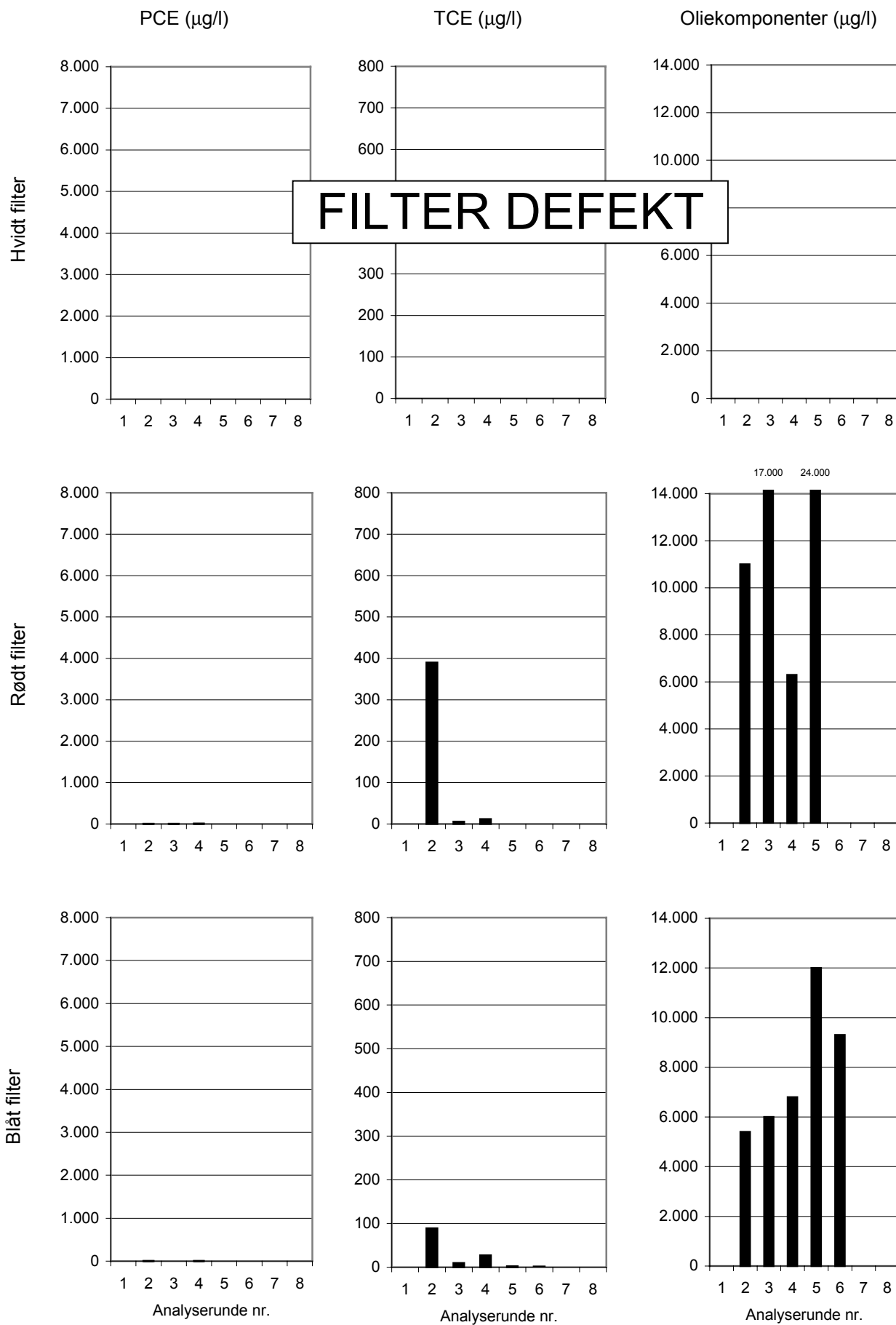
# Moniteringsboring MB3



# Moniteringsboring MB4

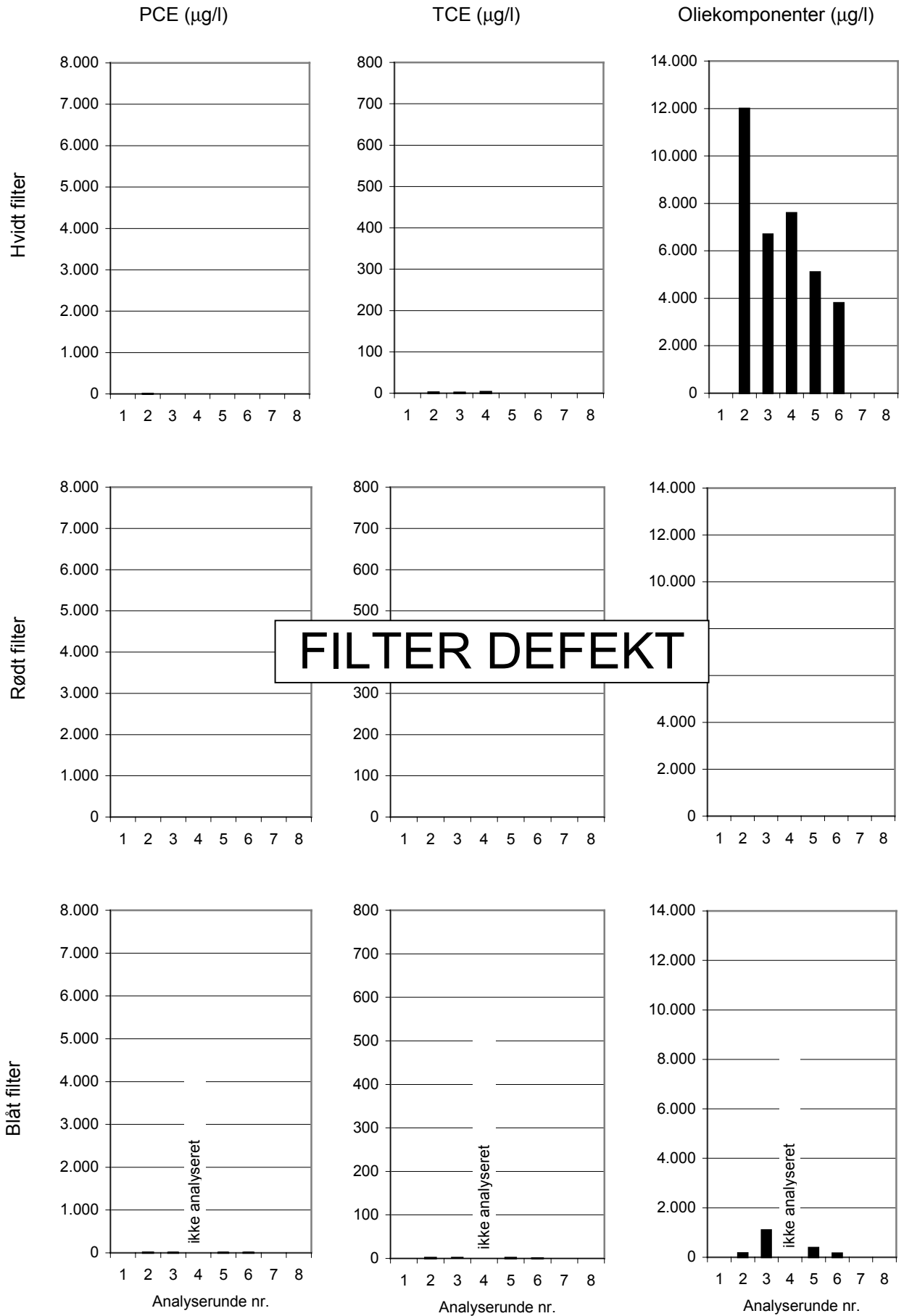


## Moniteringsboring MB5

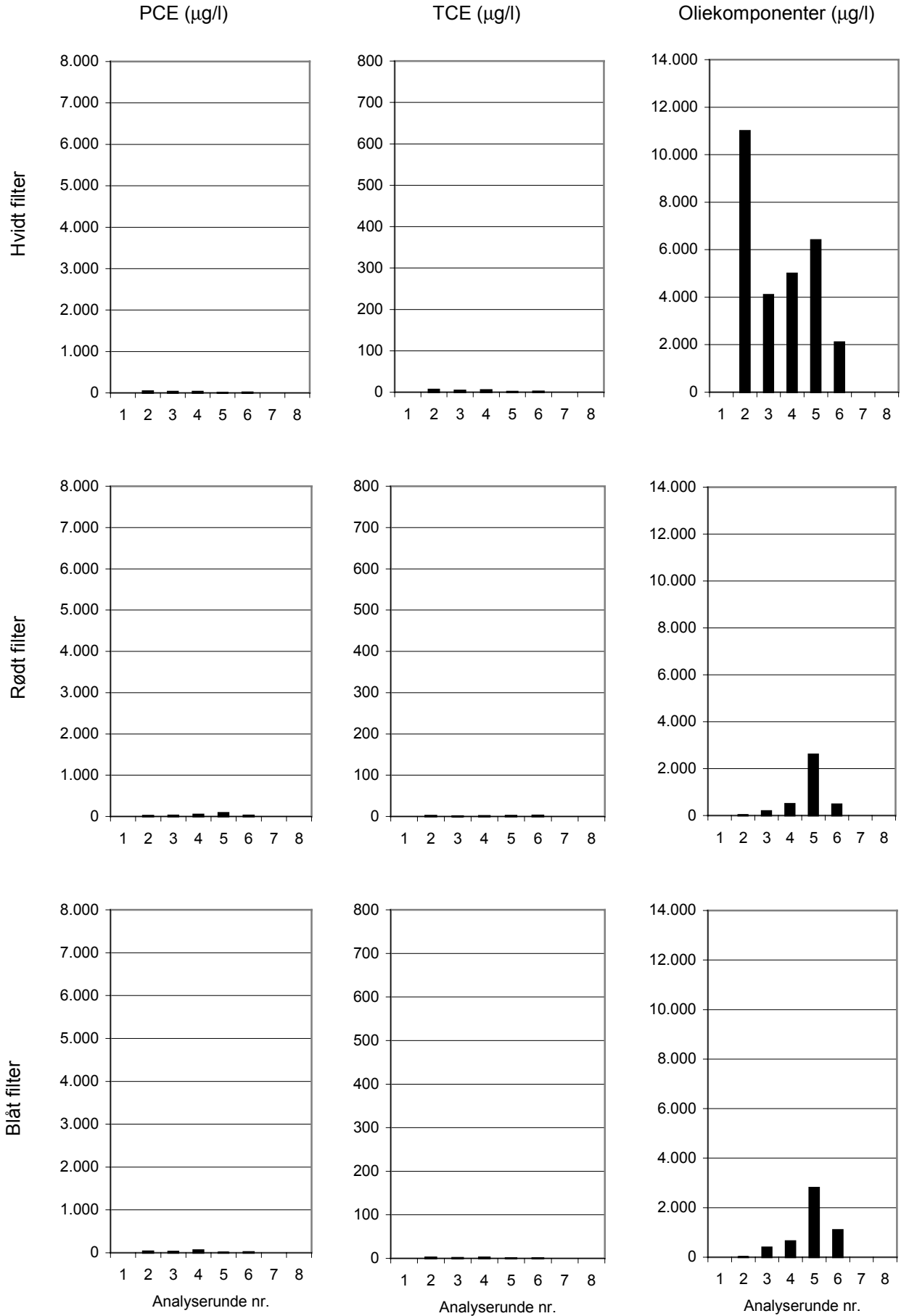




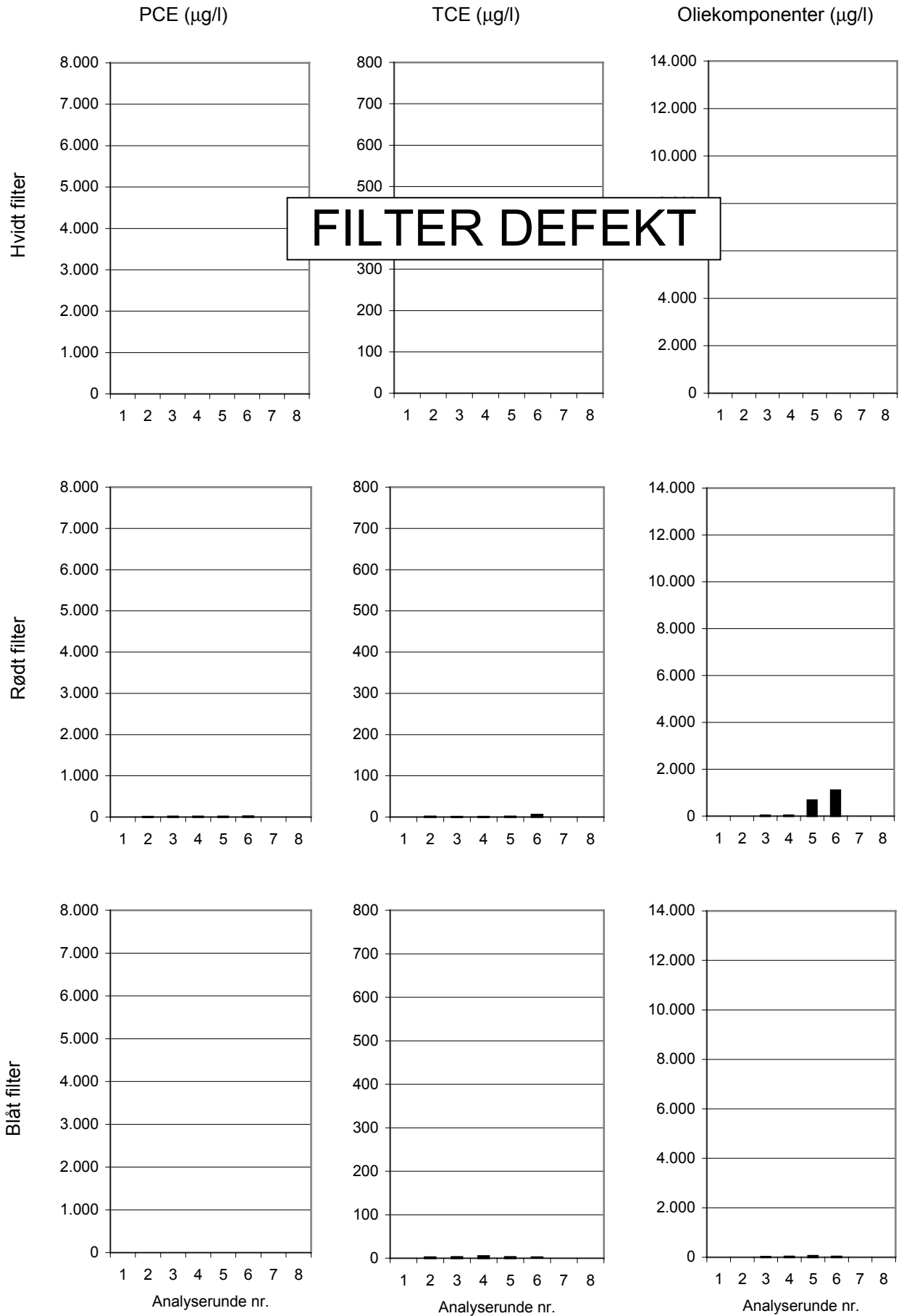
## Moniteringsboring MB6



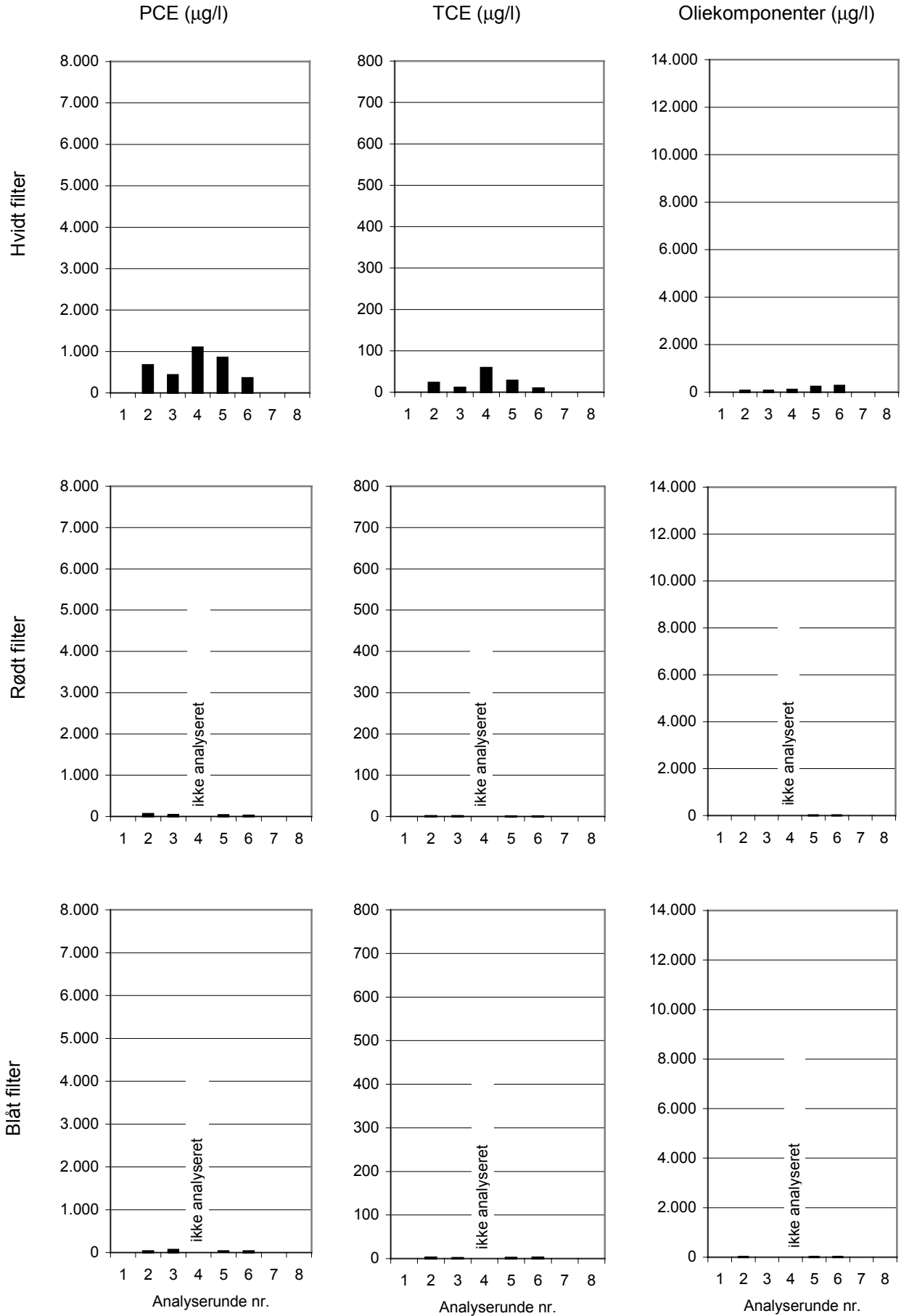
# Moniteringsboring MB7



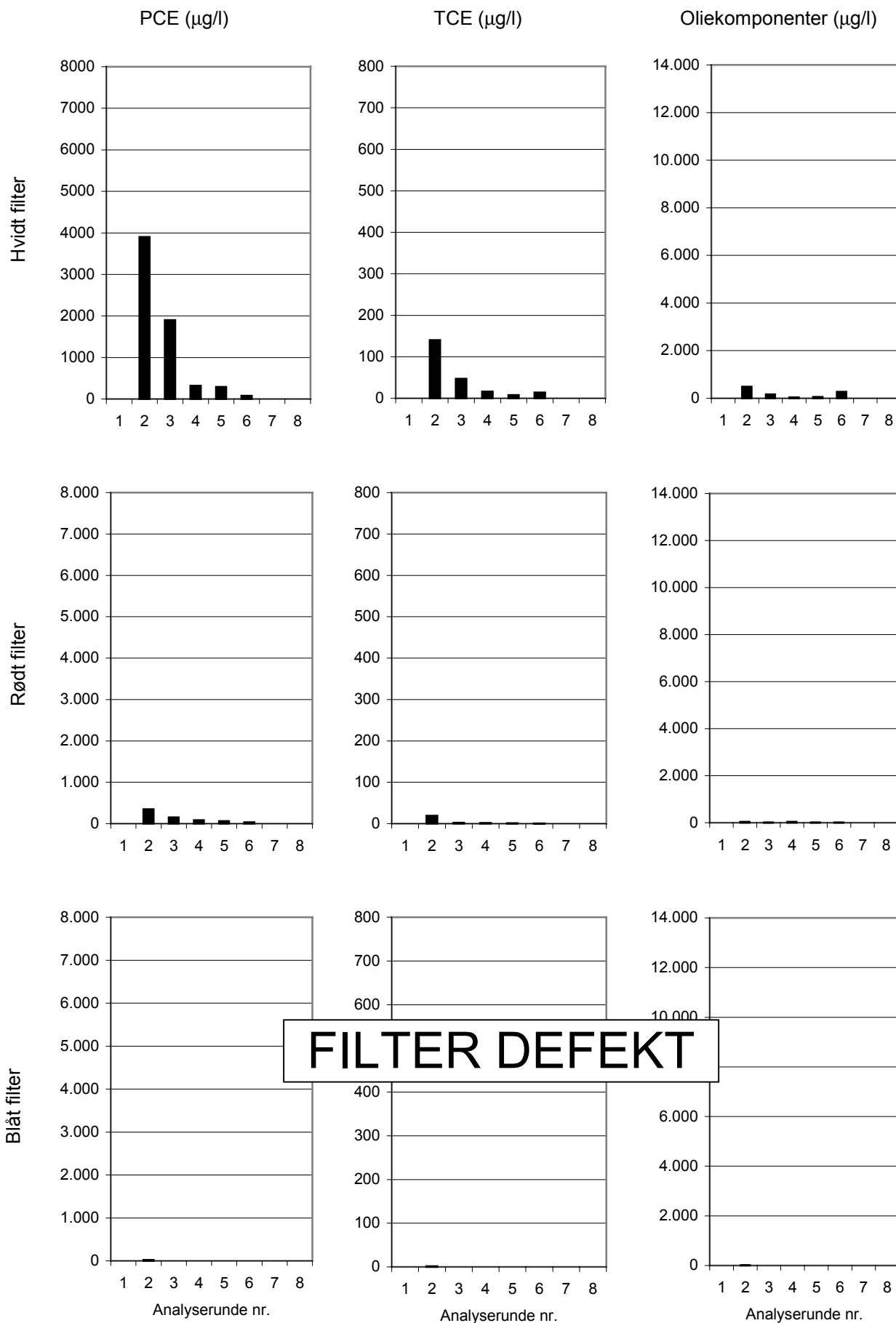
# Moniteringsboring MB8



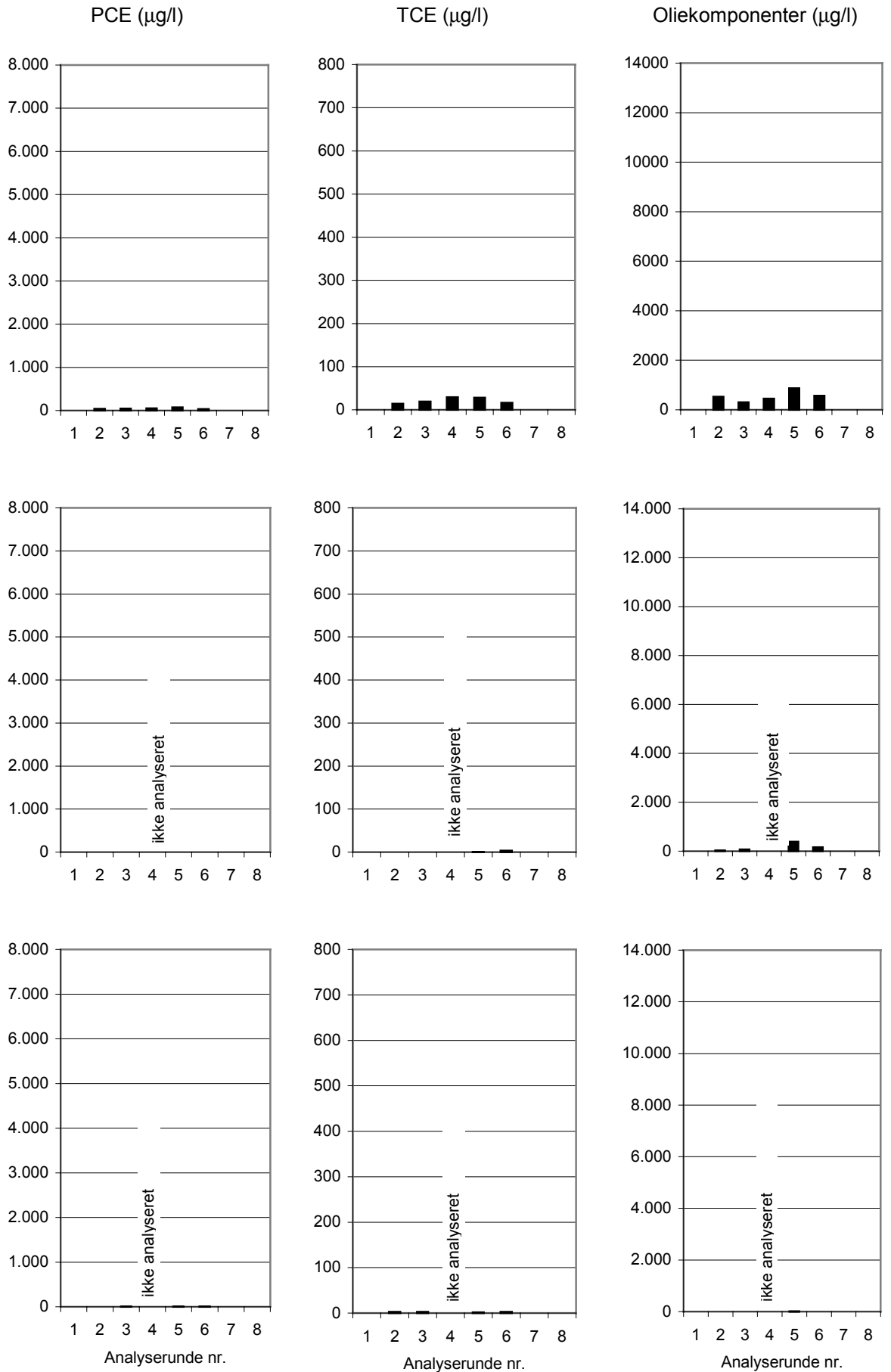
# Moniteringsboring MB9



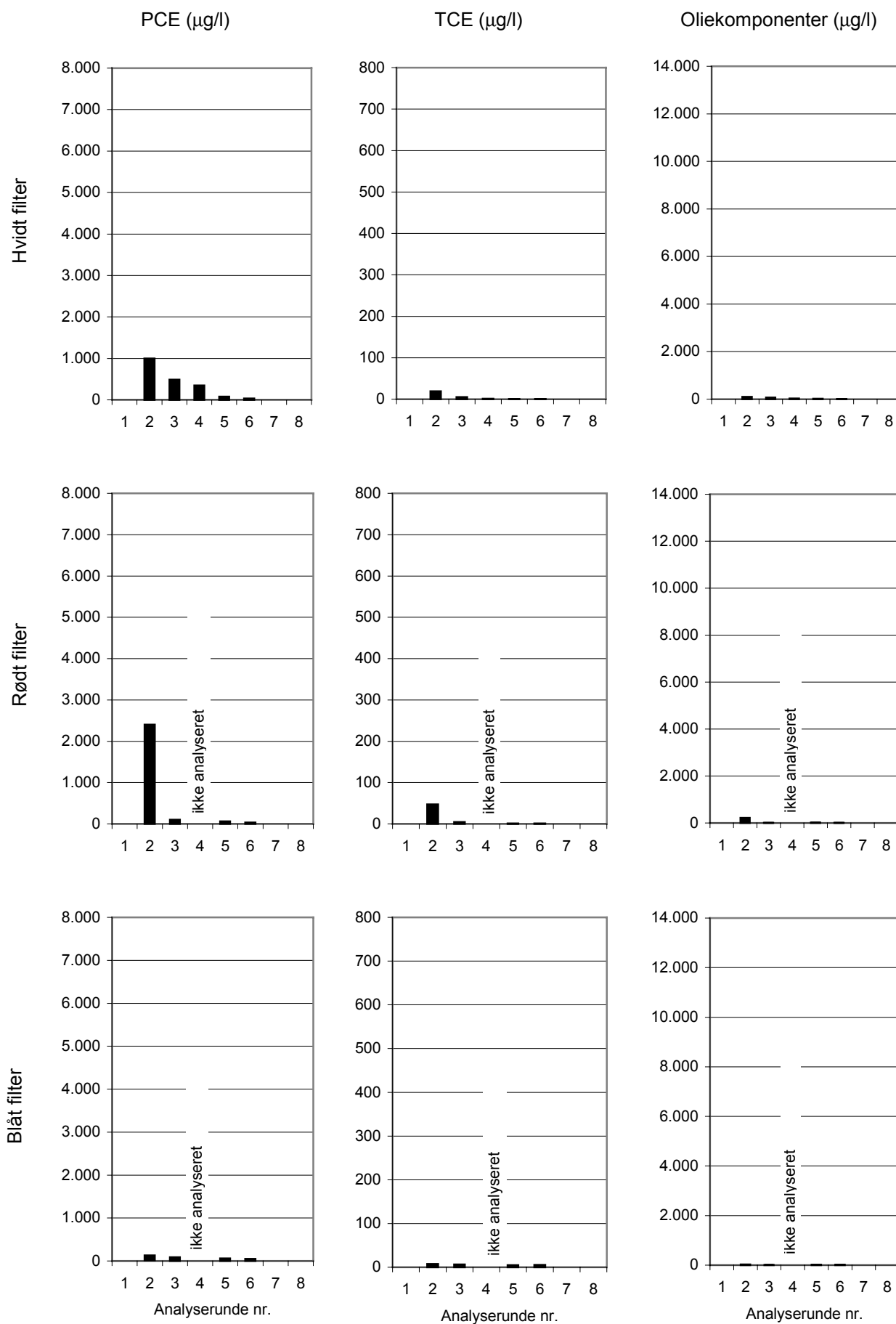
# Moniteringsboring MB10



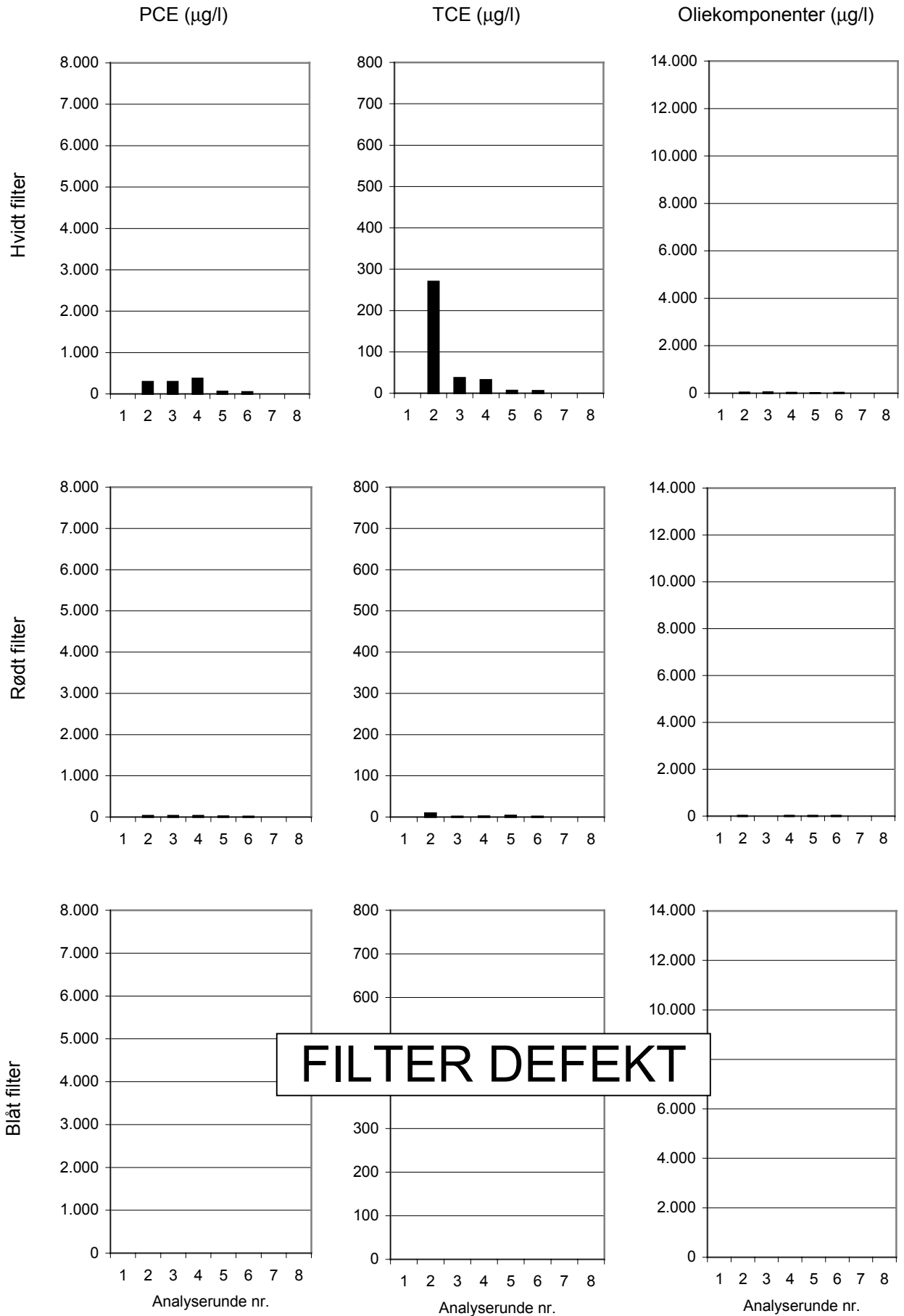
# Moniteringsboring MB11



## Moniteringsboring MB12

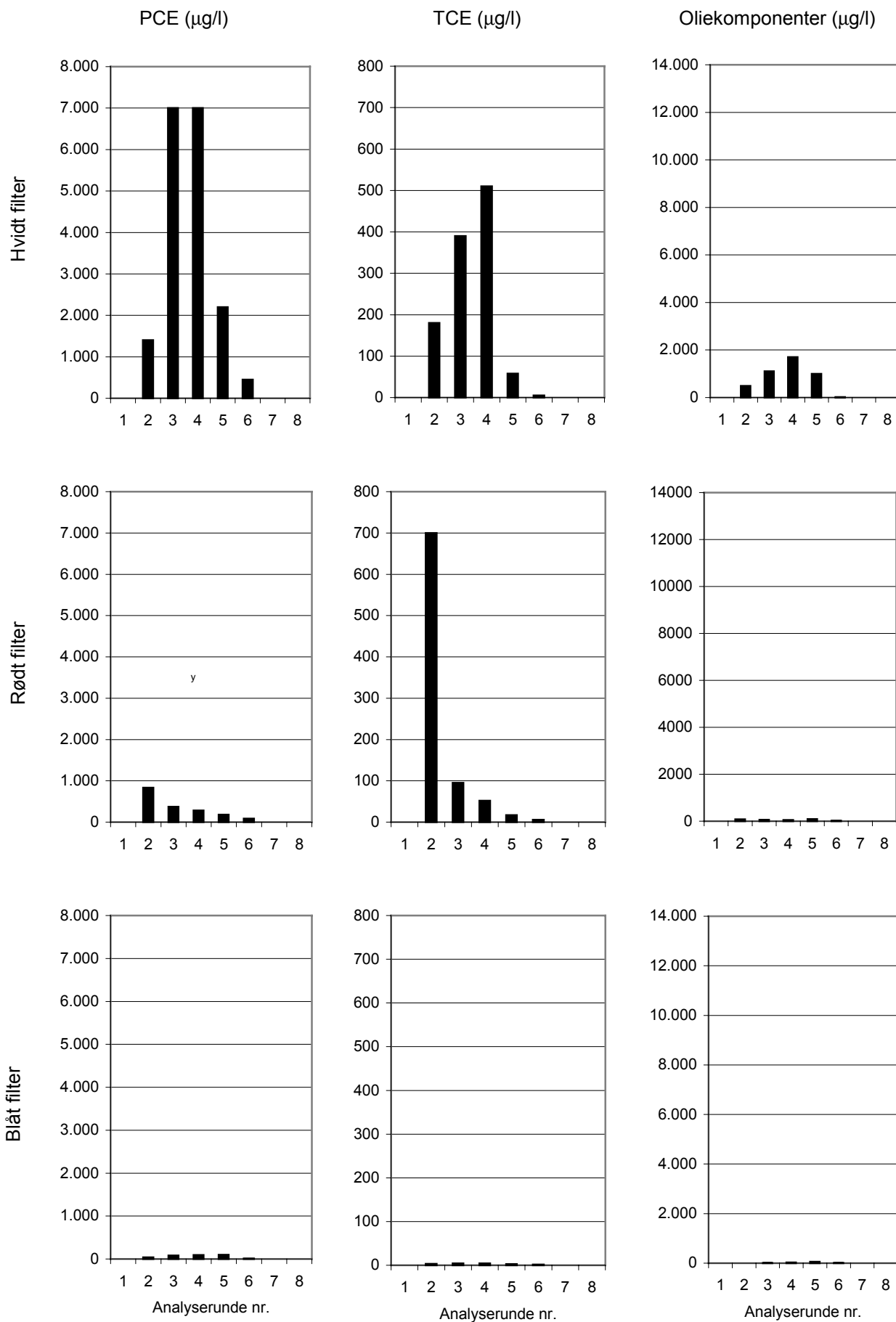


# Moniteringsboring MB13

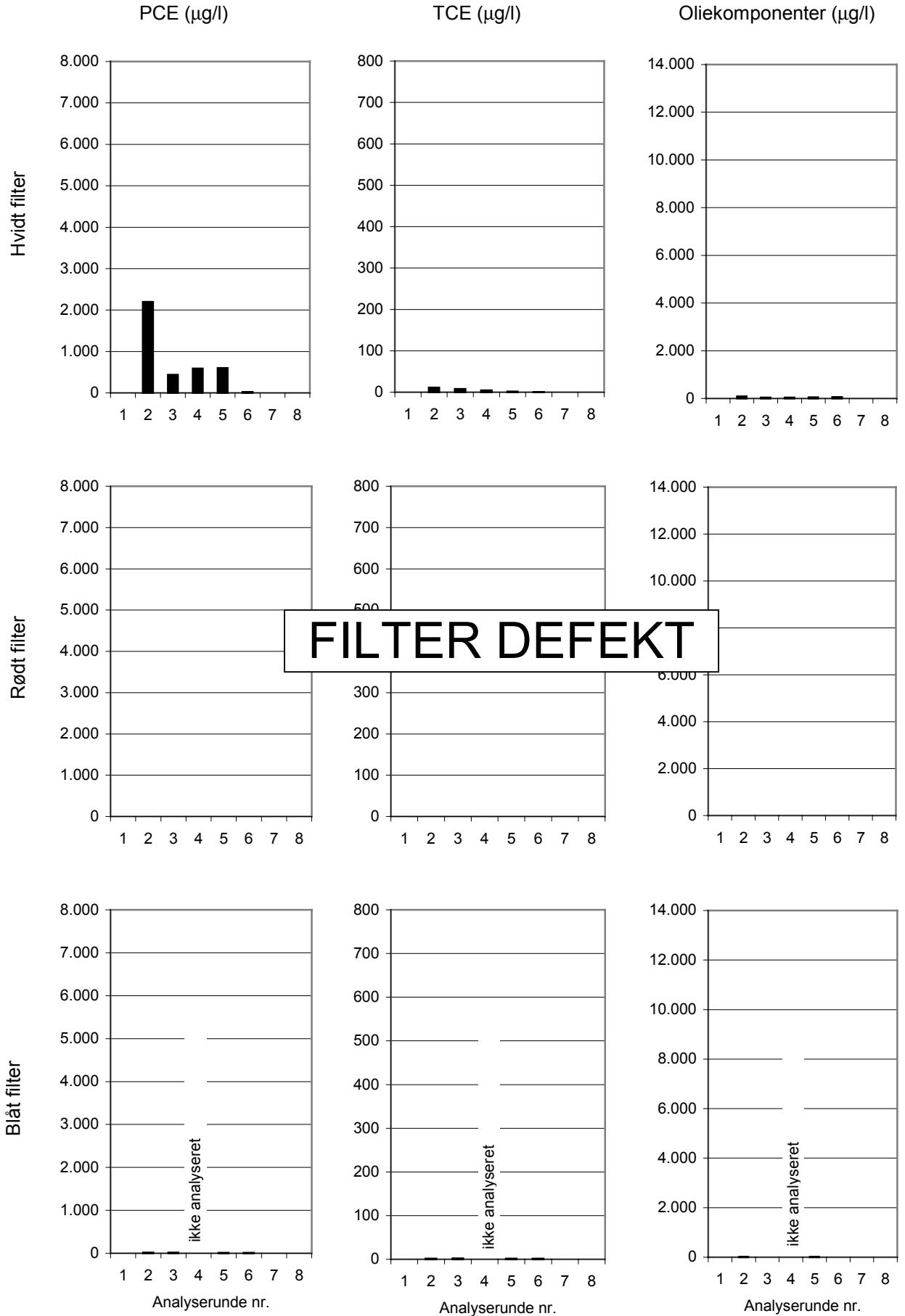




# Moniteringsboring MB14



## Moniteringsboring MB15





Geokemiske data og forureningskomponenter - 2. analyserunde

Boring	Filter	MB-3		MB-9		MB-10		MB-11		MB-12		MB-13		MB-14		MB-15	
		Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla
<b>Feltparametre</b>																	
	Temperatur	15,5	15	12,3	12,4	13,7	13,1	13,7	15,6	15,2	15,5	15,7	14,9	14,4	12,6	13	13,9
	lt	0	0	3,73	2,7	0	3,8	0,89	0	0	0	0,43	0	0	0	0	0
	pH	6,86	6,89	6,87	6,98	6,91	6,83	6,9	6,65	6,96	6,68	6,84	7,03	7	7,05	6,89	6,97
	Ledningssevne	1651	1676	1369	1909	1806	1520	1905	1734	1678	1889	1264	1660	1801	1192	1550	1648
	Redoxpotential	72	80	59	91	89	60	93	-12	-212	-133	146	-73	-61	142	137	-132
	Bjert			0,068	0,208	0,144			0,14	1,136		0,12	0,2		0,336	0,0336	-42
	Svovlbinding								0	0		56	472		146	141	
	Løstgas			219	85	87											
<b>Indikatorparametre</b>																	
	lt	1,3	0,65	4,8	4,7	0,94	8,5	2	0,99	0,73	1,9	2,3	0,84	1,3	0,64	2	0,67
	Heier	53	11	35	210	0,72	0,84	160	8,2	0,59	0,42	32	31	97	15	80	136
	Mangan	0,3	0,55	0,01	0,17	0,22	0,24	0,41	3,2	0,39	0,15	0,18	0,16	0,08	2,1	0,23	0,48
	Zink	4,3	0,55	1,4	3,3	2,7	6,9	4,4	4,1	0,3	0,15	0,18	0,16	0,08	2,1	0,23	0,48
	Sulfat	170	300	74	110	250	95	120	41	110	210	168	52	185	82	90	941
	Meibær	0,19	0,55	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	5	2,6	0,13	<0,01	<0,01	<0,01	0,32	<0,01	<0,01
	Bicarbonat	330	430	440	410	400	690	420	670	510	360	550	700	500	540	430	410
	Aggr. Kalkkold	14	<2	7,3	2,4	<2	<2	<2	7,1	7,2	7,3	7,1	7	7,2	7,2	7,3	7,5
	pH	7,2	7,2	7,3	7,3	6,9	7,3	7,3	250	260	260	69	225		220	318	270
	Klorid	270	200	190	280	260	199	290	5,1						0,08		0,24
	Jern (lt)			0,85			1	0,32									
<b>Organiske stoffer</b>																	
	<b>Oleoproducter</b>																
	Total klorbiter	4	<1	67	4	7	480	41	530	32	<1	99	220	32	34	6	6
	Benzon	0,14	0,12	<0,1	0,14	<0,1	<0,1	<0,1	44	0,14	<0,1	<0,1	0,13	0,12	0,83	<0,1	0,13
	Etylbenzen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13
	m + p xylene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	o xylene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	BTEX	0,88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,8	<0,5	<0,5	48,4	<0,5	<0,6	<0,5	<0,5	<0,7	0,83	<0,5	<0,5
	<b>C9 - aromater</b>								0,011			0,32					
	1,2,5-trimethylbenzen						0,068		0,013		0,57						
	1,2,4-trimethylbenzen						0,36		<0,01		1,2						
	1,2,3-trimethylbenzen																
	<b>Chl. alifater</b>																
	PCE	6,1	1,1	670	64	35	3800	350	38	0,46	1,7	1000	2400	130	260	28	15
	TCE	0,91	2,2	23	1,1	2,8	140	19	14	0,21	2,6	19	47	7,5	270	8,9	3,1
	PCN	<0,02	<0,02	0,02	0,14	<0,02	<0,02	0,19	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,952
	TCM	0,23	0,03	0,03	0,14	0,02	0,04	0,03	0,09	<0,02	<0,02	0,09	0,05	0,02	0,021	0,036	0,001
	TCA	0,23	0,03	0,03	0,14	0,02	0,04	0,03	0,09	<0,02	<0,02	0,09	0,05	0,02	0,021	0,036	0,001
	Sum Terc* Chl. Alifater	7,46	3,6	693,26	65,43	37,71	4040,754	369,264	52,06	0,7	4,68	1012,2	2497,45	13,66	560,91	57,08	16,705
	cis-1,2 DCE	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	82	22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	trans-1,2 DCE	<0,1	0,19	1,9	<0,1	<0,1	14	<0,1	139	0,56	0,54	6,7	1,5	0,76	17	0,26	0,12
	1,1 DCE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	27	<0,1	<0,1	0,17	<0,1	<0,1	0,26	<0,1	<0,1
	Sum af netter. Prod.	<0,5	<0,6	1,9	<0,5	<0,5	14	<0,5	242,57	22,56	0,54	6,87	1,5	0,76	17,26	<0,7	<0,5
	Sum Chl. Alifater	7,46	3,79	695,15	65,41	37,71	4054,754	369,264	291,53	23,26	5,09	1025,99	2448,95	138,45	577,451	37,328	16,705
	<b>Alifater</b>																
	Ethan						<2		3,1		<2						<2
	Propan						<3		<3		<3						<3
	Sum - alifater						<5		4,1		<5						<5
	NVOC	2,2	2,3	2,7	2,3	1,8	2,3	2,3	3,6	1,9	2,1	2,9	3,3		2,7	2,1	1,8

Geokemiske data og forureningskomponenter - 3. analyserunde

Borings Filter	B10		B12		MB-1		MB-2		MB-3		MB-4		MB-5		MB-6		MB-7			
	-Hvid	Hvid	-Hvid	Hvid	Rad	Bla	Rad	Bla	Hvid	Rad	Bla	Hvid	Rad	Bla	Hvid	Rad	Bla	Hvid	Rad	Bla
<b>Feltparametre</b>																				
Temperatur																				
Temperatur																				
pH																				
Lejningsværdi																				
Redoxpotential																				
Brint																				
Svovlbinding																				
Lufting																				
<b>Indikatorparametre</b>																				
Illit																				
Nitrat																				
Jern																				
Sulfid																				
Bicarbonat																				
Aggr. Kalkind																				
pH																				
Jern (frit)																				
Ammoniak																				
<b>Organiske stoffer</b>																				
<b>Olieprodukter</b>																				
Total kulbrinter																				
Benzon																				
Toluen																				
Etylbenzen																				
n-Hexan																				
o-xolen																				
BTEX																				
<b>C9 - aromater</b>																				
1,2,5-trimethylbenzen																				
1,2,4-trimethylbenzen																				
1,2,3-trimethylbenzen																				
<b>Chl. afløser</b>																				
PCE																				
TCE																				
PCM																				
TCM																				
VC																				
Sum 'op' Chl. Afløser																				
cis-1,2 DCE																				
trans-1,2 DCE																				
1,1 DCE																				
Sum af nedbr. Prod.																				
Sum Chl. Afløser																				
<b>Afløser</b>																				
Ethen																				
Ethan																				
Propan																				
Sum - afløser																				
NVOC																				
mg CH																				

\* - ustabil mængde pga olie



Geokemiske data og forureningskomponenter - 3. analyserunde

Borring	Filter	MB-8		MB-9		MB-10		MB-11		MB-12		MB-13		MB-14		MB-15			
		Hvd	Bla	Hvd	Bla	Hvd	Bla	Hvd	Bla	Hvd	Bla	Hvd	Bla	Hvd	Bla	Hvd	Bla		
Feltparametre	Temperatur	14,2	13,9	12,1	10,7	11,8	12,2	12,3	13,9	14,3	13,8	14,5	14,0	10,5	14,1	14,0	13,1	12,8	
	lt	0,11	0,20	3,60	3,27	0,38	8,35	2,57	0,12	1,47	1,06	0,29	0,16	0,16	0,85	0,76	0,24	0,16	
	pH	6,73	6,78	6,78	6,77	6,82	7,03	6,82	6,79	6,93	6,96	6,86	6,84	6,91	6,82	6,82	6,74	6,78	
	Leddrogvæne	1765	1652	1288	1739	1732	1428	1844	1709	1524	1829	1681	1780	1155	1838	1776	1227	1781	
	Redoxpotential	-20	-32	64	63	57	64	67	98	-131	-203	82	82	64	35	16	3	6	
	Briet																		
	Søvibrinke																		
	Løftergas																		
	mg/l																		
	Indikatorparametre																		
Nitrak			4,2																
Mangan			0,012																
Sulfid			77																
Methan			<0,01																
Bleantost																			
Aggr. Kalkoxid																			
pH																			
Klorid																			
Jern (frit)			0,057																
Ammoniak			<0,005																
mg/l																			
Organiske stoffer																			
Oljeprodukter																			
Totalkulstof	ugl	29	21	66	4	3	170	10	300	65	2	64	7	13	60	9	35	4	
Benzon	ugl	1,9	1,7	0,1	0,1	0,42	0,1	0,1	61	4,2	0,14	0,1	0,38	0,22	0,31	0,11	0,17		
Etylben	ugl	1,5	0,85	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	19	0,21	0,1	0,1	0,19	0,1	0,1	0,1	0,1		
Etylphen	ugl	5,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
m+p-xylen	ugl	2,1	1,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,23	0,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
o-xylen	ugl	11,10	8,45	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	61,69	4,35	0,5	0,5	0,78	0,6	0,5	0,5	0,6		
BTEX	ugl																		
CS - aromater																			
1,2,5-trimethylbenzen	ugl																		
1,2,4-trimethylbenzen	ugl																		
1,2,3-trimethylbenzen	ugl																		
CHL alifater																			
PCE	ugl	8,5	1,1	430	38	63	1060	150	43	0,87	4,4	490	100	87	290	80	440	15	
TCE	ugl	0,82	2,8	11	0,85	1,7	47	2,1	19	0,21	2,9	5,1	4,5	6,5	37	1,4	7,6	2,1	
PCM	ugl	<0,02	<0,02	0,061	0,12	<0,02	0,13	0,13	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
TCM	ugl	0,082	0,14	0,084	0,14	0,082	0,14	0,14	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		
Sum top* CHL Alifater	ugl	9,37	4,04	441,15	39,08	64,76	1847,45	152,32	82,10	1,08	7,36	495,51	104,98	93,56	327,63	94,91	447,69	0,089	
cis-1,2 DCE	ugl			0,31			7,3		200	74	0,26	<0,2						17,17	
trans-1,2 DCE	ugl			0,37			0,37		130	0,61	0,24	10							
1,1 DCE	ugl			<0,1			<0,1		29	0,21	<0,1	<0,1							
Sum af nedtr. Prod.	ugl			<0,7			7,67		356,24	74,82	0,50	10							
Sum CHL Alifater	ugl	9,47	4,04	441,15	39,08	64,76	1855,12	152,32	421,34	75,90	7,86	505,51	104,60	93,56	328,63	94,91	447,69	17,17	
Alifater																			
Ethan	ugl																		
Ethan	ugl																		
Propan	ugl																		
Sum - alifater	ugl																		
mg Cl				2,3															

### Geokemiske data og forureningskomponenter - 4. analyserunde

Bearing	Filtret	B10		MB-1		MB-2		MB-3		MB-4		MB-5		MB-6		MB-7		
		Hvid	-Hvid	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	
<b>Feltparametre</b>																		
	Temperatur			14,3	13,4	12,9	14,8	13,9	13,4	15,8	15,4	15,5	14,2	13,2	13,8	12,8	12,3	12,7
	lt			0	0	0	0	0	0	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0
	pH			6,55	6,78	6,86	6,77	6,99	6,84	6,96	6,95	6,92	6,96	6,88	6,8	6,8	6,81	6,84
	Leitningsevne			1592	1491	2060	1613	1724	1833	1396	1811	2260	1487	1894	1564	2010	1887	1883
	Redoxpotential			-232	-250	-117	-220	-155	-190	190	186	180	-242	-179	-243	-185	-213	-221
	Bjort									143								
	Svoveldioksi																	
	Lutlegas																	
<b>Indikatorparametre</b>																		
	lt																	
	Nitrat																	
	Mangan																	
	Jern																	
	Sulfat																	
	Melhan																	
	Bicarbonat																	
	Aggr. Kuldioxid																	
	pH																	
	Klorid																	
	Jern (II)																	
	Ammoniak																	
<b>Organiske stoffer</b>																		
	Oliespredukter			2900	240	280	6300	240	280	11	3,1	11	6300	6900	7600	5000	500	650
	Benzol			<0,3	1,2	3	62	1,2	3	<0,1	<0,1	<0,1	0,55	1,8	9,3	28	0,5	0,21
	Toluol			<0,3	0,22	0,29	6,5	0,22	0,29	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	31	84	35	4	3,8
	Etylbenzen			<0,3	2,6	1,8	170	2,6	1,8	9,3	<0,1	<0,1	<0,2	49	10	27	1,8	2,1
	m + p xylene			150	21	27	750	21	27	<0,1	<0,1	<0,1	510	520	1300	200	9,4	12
	o xylene			380	6,4	9,3	34	6,4	9,3	<0,1	<0,1	<0,1	570	690	1100	44	9,9	13
	BTEX																	
	Naphthalen			26	1,4	1,5	92	1,4	1,5	<0,1	<0,1	<0,1	70	100	40	140	2,5	2,5
	C8 - aromater																	
	1,2,5-trimethylbenzen																	
	1,2,4-trimethylbenzen																	
	1,2,3-trimethylbenzen																	
	Chl. alifater			0,89	1,5	11	1,5	11	3,5	16	6,8	16	11	3,5	0,94	28	47	68
	PCE			0,47	1,1	1,1	0,62	1,1	3,5	0,17	0,17	0,17	1,1	3,5	0,67	5	0,67	2,2
	TCE			<0,02	<0,02	<0,02	<0,04	<0,02	<0,02	0,07	0,16	0,16	<0,02	<0,02	<0,04	0,16	0,16	<0,02
	TCN			<0,02	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,02	0,072	0,074	0,074	0,045	0,034	<0,04	<0,04	0,1	0,1
	TCM			0,51	1,6	0,35	1,6	0,35	0,2	<0,02	0,057	0,057	lim.	0,36	0,54	0,14	0,11	0,15
	Sum 1,1 DCE			<0,4	0,8	0,8	<0,4	0,8	0,8	<0,2	0,14	0,14	lim.	0,36	0,54	0,14	0,11	0,15
	cis-1,2 DCE			6,8	1,1	1,1	6,8	1,1	3,5	1,1	3,5	1,1	3,5	0,94	2,2	0,94	2,2	
	trans-1,2 DCE			<0,2	<0,2	<0,2	<0,04	<0,02	<0,02	0,07	0,16	0,16	<0,02	<0,02	<0,04	0,16	0,16	<0,02
	1,1 DCE			<0,2	<0,2	<0,2	<0,04	<0,02	<0,02	0,072	0,074	0,074	0,045	0,034	<0,04	<0,04	0,1	0,1
	Sum af nedbr. Prod.			<0,2	<0,2	<0,2	<0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,057	0,057	lim.	0,36	0,54	0,14	0,11	0,15
	Sum Chl. Alifater																	
	Alifater																	
	Ethan																	
	Ethan																	
	Propan																	
	Sum - alifater																	
	NOCC																	

\* ustabil mulgys pgs olie

Geokemiske data og forureningskomponenter - 4. analyserunde

Boring	Filtter	MB-9		MB-10		MB-11		MB-12		MB-13		MB-14		MB-15	
		Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla
<b>Fæltparametre</b>															
	Temperatur	oc													
	lt	14,2	14,1	11,3	11,5	11,8	11,5	12	14,1	13,7	13,4	14,9	14	14,7	12
	pH	6,70	6,88	7,31	6,84	6,88	7,78	6,88	9,80	6,58	6,88	0	0	0	0,57
	Leadsjonesone	1900	1837	1028	1877	1856	1212	1870	1672	1890	1800	1953	2740	2000	6,84
	Redoxpotential	mV							1842	1729	2080	1853	2140	2000	1828
	Brint	nM	158	22	173	182	180	186	58	-111	5	98	106	111	102
	Svovlbrinte	mgS/l							152	188	183				
	Løftergas	ug/l								187	171				
<b>Indikatorparametre</b>															
	lt	mg/l													
	Nitrat	mg/l													
	Mangan	mg/l													
	Jern	mg/l													
	Sulfat	mg/l													
	Meltran	mg/l													
	Bicarbonat	mg/l													
	Aggr. Kulstof	mg/l													
	pH	-													
	Klorid	mg/l													
	Jern (lt)	mg/l													
	Ammoniak	mg/l													
<b>Organiske stoffer</b>															
	Olleprodukter	ug/l													
	Toluen	ug/l	33	25	110	35	35	35	33	33	22	11	53	30	40
	Etylbenzen	ug/l	4,1	1,6	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,34	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	o xylene	ug/l	2,1	0,69	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,33	0,11	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	m + p xylene	ug/l	8,2	3,7	<0,1	0,11	<0,1	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	BTEX	ug/l	3,3	1,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	CS - aromater	ug/l	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	1,2,5-trimethylbenzen	ug/l													
	1,2,4-trimethylbenzen	ug/l													
	1,2,3-trimethylbenzen	ug/l													
<b>Chl. alifater</b>															
	PCE	ug/l	13	1,4	1100	320	82	82	350	370	370	26	280	93	590
	TCE	ug/l	0,77	5	59	16	1,7	1,7	1,1	32	32	1,7	52	4,2	4,7
	TCM	ug/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,2	0,2	<0,02	0,024	0,025	<0,02	<0,05	<0,02	0,035
	TCM	ug/l	0,065	0,02	<0,02	<0,02	0,051	0,051	<0,02	0,039	0,032	0,12	<0,02	<0,05	0,051
	TCM	ug/l	0,1	0,11	0,6	0,25	0,081	0,081	0,15	0,21	0,14	0,12	0,3	0,3	0,07
	Sum 4gr. Chl. Alifater	ug/l				<0,2				<0,2			20	0,67	
	cis-1,2 DCE	ug/l				18			0,46	17			49	1,9	
	trans-1,2 DCE	ug/l				0,52			0,1	22			1,6	0,12	
	1,1 DCE	ug/l				<0,1			<0,1	2			0,11	<0,1	
	Sum af nedbr. Prod.	ug/l							0,44						
	Sum Chl. Alifater	ug/l													
<b>Alifater</b>															
	Ethen	ug/l													
	Ethan	ug/l													
	Propan	ug/l													
	Sum - alifater	ug/l													
	NVOC	mg Cl													



Geokemiske data og forureningskomponenter - 5. analyserunde

Borring	Fløjer	B10		B12		MB-1		MB-2		MB-3		MB-4		MB-5		MB-6		MB-7			
		Hvd	-Hvd	Hvd	-Hvd	Red	Bla	Hvd	Red	Hvd	Red	Hvd	Red	Hvd	Red	Hvd	Red	Hvd	Red	Bla	
<b>Feltparametre</b>																					
	Temperatur					17,1	15,2	15,6	15,6	15,2	15,4	11,2	14,6	14,1	15,0	13,2	15,9	13,1	13,6	13,3	
	pH			0,74	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	
	Leitningsevne			6,99	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	
	Redoxpotential			1288	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1227	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	
	Redoxpotential			-245	-201	-94	-260	-104	-263	84	95	202	95	-330	-247	-202	-304	-202	-181		
	SiO <sub>2</sub>																				
	Luftgas																				
<b>Indikatorparametre</b>																					
	Il																				
	Nitrat																				
	Mangan																				
	Jern																				
	Sulfid																				
	Bismut																				
	Bismut																				
	Aggr. Kuldioxid																				
	pH																				
	Klorid																				
	Jern (fri)																				
	Ammoniak																				
<b>Organiske stoffer</b>																					
	<b>Oljeprodukter</b>																				
	Totale kulstoffer			9100	830	12000	9400	7,2	390	8,5	3,0	1,1	12	480	24000	12000	5100	6400	2600	2800	
	Benzen			1,7	0,59	8,6	54	<0,1	1,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	48	5,2	9,5	0,38	0,62	7,4	54	
	Toluen			5,5	0,31	9,9	32	<0,1	1,4	<0,1	<0,1	<0,1	0,60	1,8	32	4,9	1,8	0,37	20	24	
	Etylbenzen			1,7	0,10	1,7	1,7	<0,1	1,7	<0,1	<0,1	<0,1	0,78	2,2	1,7	4,1	0,79	0,1	4,0	50	
	p-xylen			210	34	670	590	<0,1	8,7	<0,1	<0,1	<0,1	7,8	2,2	460	250	7,9	0,2	82	21	
	o-xylen			470	27	850	160	<0,1	7,6	<0,1	<0,1	<0,1	5,9	2,90	290	34	6,7	4,1	61	35	
	BTEX																				
	Naphthalen																				
	<b>C9 - aromater</b>																				
	1,2,5-trimethylbenzen																				
	1,2,4-trimethylbenzen																				
	1,2,3-trimethylbenzen																				
	<b>Chl. alifater</b>																				
	PCE			0,50	3,1	0,14	1,6	1,6	3,3	18	3,1	0,35	29	4,7	0,53	1,8	1,2	5,7	3,9	85	
	TCE			0,10	1,2	0,30	0,75	0,64	2,3	0,63	0,36	1,6	0,57	1,4	0,25	2,2	0,888	1,4	0,92	1,7	
	PCN			<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,12	<0,02	0,027	<0,02	<0,02	0,075	0,046	<0,02	<0,02	0,046	<0,02	<0,02	<0,02	
	PCA			<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,052	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,065	0,024	<0,02	<0,02	0,065	<0,02	<0,02	0,064	
	TCA			<0,02	0,28	0,661	0,20	0,063	0,22	<0,02	0,15	0,063	0,047	0,071	0,73	0,075	<0,2	0,11	<0,02	<0,02	
	Sum 10er* Chl. Alifater			<0,2			<0,2										<0,2				
	VC			0,23			2,3										0,59				
	cis-1,2 DCE			<0,1			<0,1										<0,1				
	trans-1,2 DCE			<0,1			<0,1										<0,1				
	1,1 DCE			<0,1			<0,1										<0,1				
	Sum af 10er* Prod.																				
	Sum Chl. Alifater																				
	<b>Alifater</b>																				
	Ethan																				
	Ethan																				
	Propan																				
	Sum - alifater																				
	mg Cl																				
	NVOC																				

( ) Kontravert defekt

Geokemiske data og forureningskomponenter - 5. analyserunde

Boring	Filtrat	MB-8		MB-9		MB-10		MB-11		MB-12		MB-13		MB-14		MB-15			
		Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	Bla	Hvid	Rød	
Feltparametre	OC																		
	Temperatur	14,4	14,1	11,5	11,0	11,1	12,1	11,6	13,9	14,8	14,5	13,6	12,8	10,3	11,6	15,2	15,1	14,8	
	lt	0,03	0,05	7,06	2,52	0,14	7,74	1,05	0,04	0,05	0,03	9,82	0,12	0,06	0,32	0,09	0,04	0,05	
	pH	6,84	6,03	7,02	6,92	6,88	7,49	6,98	6,72	6,33	6,91	6,19	6,91	6,90	6,94	6,96	6,82	6,57	
	Ledningsevne	1780	1871	1480	1596	1615	1319	1574	1803	1945	1814	961	1813	1987	1141	1478	2030	2020	
	Redoxpotential	-185	-118	142	143	128	120	141	-23	-227	-114	109	136	130	132	60	72	83	
	Blåt																		
	mgSO <sub>4</sub>																		
	Luftgas																		
	Indikatorparametre	lt																	
Nitrat																			
Mangan																			
Jern																			
Sulfat																			
Methan																			
Bicarbonat																			
Aggr. Kalkhold																			
pH																			
Klorid																			
Jern (lt)																			
Ammoniak																			
Organiske stoffer	Oleoproducter																		
	Total kulbrinter	670	56	230	7,2	8,2	60	14	870	360	7,1	18	15	14	5,3	1000	90	54	
	Benzen	0,17	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	Toluen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,27	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	Ethylbenzen	0,62	0,64	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	0,67	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	m + p xylen	3,0	3,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	o xylen	1,1	1,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	BTEX																		
	C8 - aromater																		
	1,2,4-trimethylbenzen	9,2	0,96	650	32	32	290	64	75	0,32	5,9	80	64	59	15	2200	180	100	
1,2,4-trimethylbenzen	1,4	2,5	28	0,41	2,0	8,1	0,95	28	0,47	1,6	0,48	1,0	5,0	6,2	56	17	2,4		
1,2,3-trimethylbenzen	<0,02	<0,02	0,028	0,089	<0,02	<0,02	0,12	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		
Chl. alifater	0,078	0,33	0,27	0,042	0,072	0,19	0,082	0,060	<0,02	0,063	0,040	0,12	0,067	0,075	2,5	1,8	0,39		
PCE			1,1			0,39		460	76	0,45	<0,2			<0,2	1,5	2,9	0,46		
TCE			5,4			12		270	19	1,1	0,13			8,3	34	7,6	0,87		
PCM			0,23			0,54		63	3,6	0,21	<0,1			4,0	2,4	1,0	0,14		
TCA			<0,1			<0,1		0,53	<0,1	<0,1	<0,1			<0,1	0,13	<0,1	<0,1		
TCM																			
Sum "opg." Chl. Alifater																			
VC																			
cis-1,2 DCE																			
trans-1,2 DCE																			
1,1 DCE																			
Sum af neoter. Prod.																			
Sum Chl. Alifater																			
Alifater																			
Ethan																			
Ethan																			
Propan																			
Sum - Alifater																			
NYOC	mg Cl																		

Geokemiske data og forureningskomponenter - 6. analyserunde

Borling	Filer	B10		B12		MB-1		MB-2		MB-3		MB-4		MB-5		MB-6		MB-7			
		Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Hvid	Rad	Bla	
Feltparametre	Temperatur	15,4	15,2	14,0	14,9	15,1	14,9	17,2	16,4	16,7	12,7	12,9	14,9	16,2	15,8	15,1	14,6	14,4			
	lt	0,43	0,42	0,76	0,32	0,27	0,27	4,66	0,71	0,51	5,06	(2,99)	0	0,38	0,27	0,56	0,19	0,45			
	pH	6,81	7,04	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,31	(7,2)	7,19	6,89	7,05	6,97	7,01	7,01			
	uS/cm	1852	1365	1780	1894	1894	1894	1894	1894	1894	1894	(2659)	1773	1910	1764	2010	1771	1933			
	Redoxpotential	-232	-251	-231	-270	-254	-270	185	178	134	134	(13,9)	-354	-245	-240	-128	-42	38			
	Brnk																				
	mgSi																				
	ugt																				
	Indikatorparametre	lt																			
		Nitr																			
Nitrit																					
Konjan																					
Sulfid																					
Milhan																					
Bicarbonat																					
Aggr. Kulsidd																					
pH																					
Klorid																					
Jern (lt)																					
Ammoniak																					
Organiske stoffer	Olieprodukter	13300	14000	490	300	210	300	<1	<1	<1	8,7	<1	5000	3800	160	2100	480	1190			
	Total kulsterner	2,5	4,5	0,34	2,1	3,0	2,1	<1	<1	<1	0,30	<1	9,5	0,56	<1	5,5	1,3	0,26			
	Benzin	6,7	5,2	0,52	16	0,98	16	<1	<1	<1	0,1	<1	7,8	6,6	0,25	5,9	1,9	0,65			
	Toluen	190	200	5,4	130	0,96	2,2	<1	<1	<1	0,1	<1	50	1,9	0,14	0,63	0,28	0,27			
	Etylbenzen	320	930	24	970	4,7	2,8	<1	<1	<1	0,1	<1	590	4,2	1,1	16	2,8	2,8			
	m + p xylene	524,5	2083,7	48,9	629,0	11,3	16,8	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	362,1	65,1	2,7	57,3	11,4	6,4			
	BTEX																				
	Naphthalen																				
	C9 - aromater																				
	1,2,5-trimethylbenzen																				
1,2,4-trimethylbenzen																					
1,2,3-trimethylbenzen																					
CN, alifater	ugt	0,69	0,072	2,3	2,7	2,5	2,7	9,4	1,9	0,36	23	0,65	1,2	1,2	5,0	14	23	15			
	DCE	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,65	0,15	1,0	0,45	0,10	1,8	0,74	1,9	2,0	0,72				
	PCBM	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,044	0,022	0,022	0,061	0,075	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02			
	TCA	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,042	0,022	0,022	0,053	0,042	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,058	0,025			
	TCM	1,1	0,1	3,3	0,13	0,97	0,13	-0,02	0,030	0,033	0,055	0,038	0,051	0,051	0,088	0,35	0,42	0,43			
	Sum 'opt' CN, Alifater	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	9,9	2,1	1,4	24,1	1,4	3,1	0,45	5,8	16,3	25,5	18,2			
	VC	0,90	2,4	2,2	2,4	2,2	2,4	2,4	2,2	2,4	2,2	2,4	2,4	2,2	2,4	2,2	2,4	2,2			
	ch-1,2 DCE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
	trans-1,2 DCE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
	1,1 DCE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
Sum af nedbr. Prod.	0,9	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4				
Sum CN, Alifater																					
Alifater	ugt																				
	Ethan																				
	Propan																				
	Sum - alifater																				
NVOC	mg Cl																				

( ) Kontravertit defekt

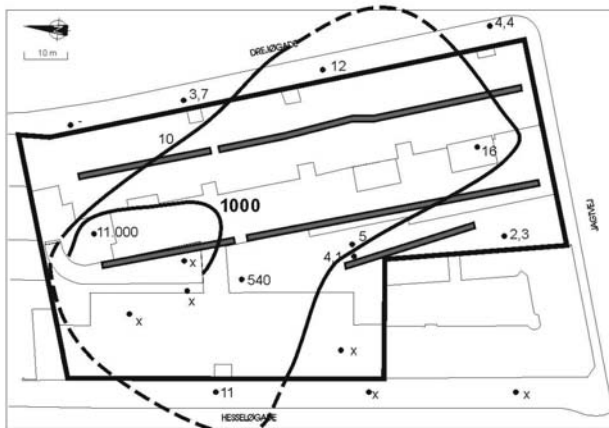
Geokemiske data og forureningskomponenter - 6. analyserunde

Borings Filtrer	MB-8		MB-9		MB-10		MB-11		MB-12		MB-13		MB-14		MB-15	
	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla	Hvid	Bla
<b>Feltparametre</b>																
Temperatur	14,8	15,0	12,4	12,4	12,8	12,4	15,5	15,2	15,1	14,3	13,7	16,1	15,8	15,6	13,4	13,0
pH	0,39	0,43	0,70	0,35	0,48	0,48	0,33	0,45	0,10	0,30	0,29	0,47	0,24	0,31	0,60	0,22
pH	11,72	11,85	11,84	11,97	11,92	11,87	11,94	11,95	11,95	11,82	11,98	11,94	11,92	11,98	11,95	11,96
Redoxpotential	-48	85	122	134	133	131	-52	-114	127	149	133	65	93	91	129	129
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>																
Lufttryk																
<b>Indikatorparametre</b>																
lit	mg/l															
Nitrat	mg/l															
Mangan	mg/l															
Jern	mg/l															
Sulfat	mg/l															
Blekkon	mg/l															
Benzen	mg/l															
Akrylnitril	mg/l															
CH <sub>4</sub>	mg/l															
Klorid	mg/l															
Jern (fil)	mg/l															
Ammoniak	mg/l															
<b>Organiske stoffer</b>																
<b>Oljeprodukter</b>																
Total kulbrinter	ug/l	1100	32	270	6,9	12	270	12	13	11	17	16	17	7,9	62	<1
Benzen	ug/l	620	2,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,25	<0,1	<0,1	<0,1	0,15
Toluen	ug/l	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,16	0,20	<0,1	<0,1	<0,1
Etylbenzen	ug/l	220	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,19	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
m + p xylen	ug/l	19	1,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	0,10	<0,1	<0,1	<0,1
o xylen	ug/l	3,0	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,18	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
BTEX	ug/l	880,5	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,2
<b>C9 + aromater</b>																
1,2,5-trimethylbenzen	ug/l															
1,2,4-trimethylbenzen	ug/l															
1,2,2-trimethylbenzen	ug/l															
<b>Chl. alifater</b>																
PCE	ug/l	15	0,80	360	21	32	81	34	34	36	47	43	12	9,4	22	11
TCE	ug/l	5,7	2,0	9,4	0,33	2,7	14	0,55	1,2	1,3	5,5	5,6	1,2	1,7	0,76	1,4
PCM	ug/l	<0,02	<0,02	0,005	0,071	<0,02	0,035	0,080	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
TCA	ug/l	<0,02	<0,02	0,000	0,025	<0,02	0,028	0,023	<0,02	0,020	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
TCM	ug/l	0,065	0,17	0,59	0,59	0,44	0,41	0,52	0,43	0,43	0,41	0,47	0,23	1,4	0,061	0,043
Sum opgr. Chl. Alifater	ug/l	20,8	3,0	370,1	22,0	38,1	95,5	35,3	50,0	52,9	52,9	49,0	13,7	453,3	11,2	22,8
1,1-DCE	ug/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
trans-1,2 DCE	ug/l	1,7	0,9	4,0	0,9	0,7	0,9	0,9	1,7	1,1	0,9	1,7	1,9	0,30	0,30	0,30
1,1 DCE	ug/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sum af nedbr. Prod.	ug/l	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,2	1,0	1,1	0,0	1,1	0,0	0,4	0,4	0,4
Sum Chl. Alifater	ug/l															
<b>Alifater</b>																
Ethen	ug/l															
Ethan	ug/l															
Propan	ug/l															
Sum - alifater	ug/l															
<b>NVOC</b>																
mg Chl																

## 12 Horizontal optegning af udvalgte stoffer i monitoringsfiltrene

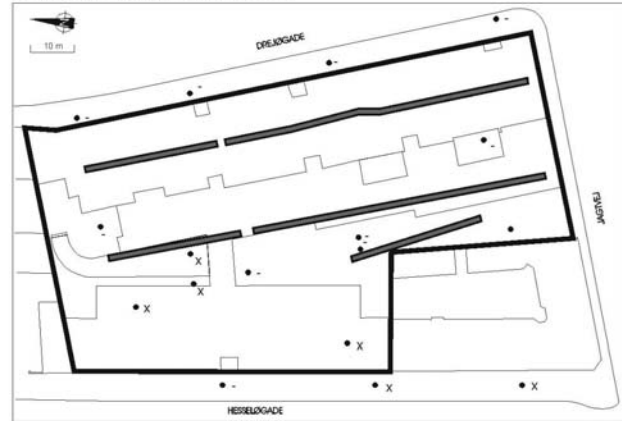


BASELINE FØR AFVÆRGE

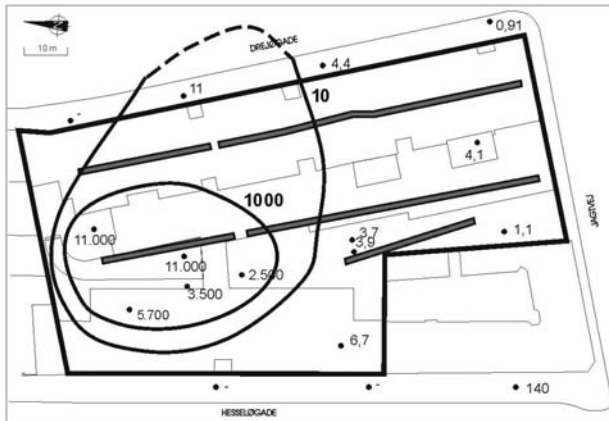


Sort filter (kote 9,6)

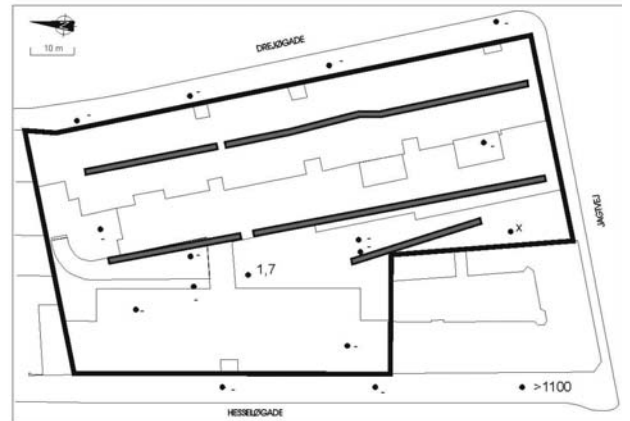
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



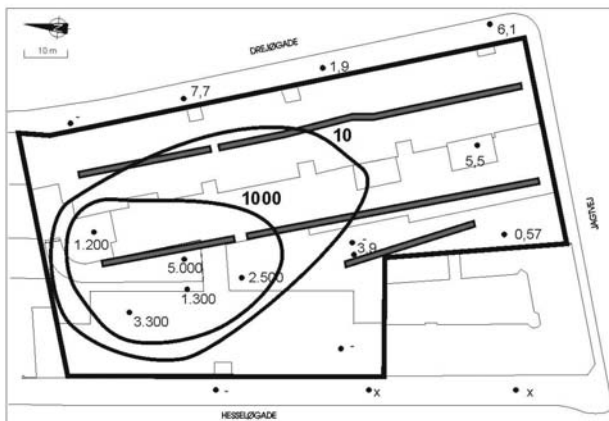
Sort filter (kote 9,6)



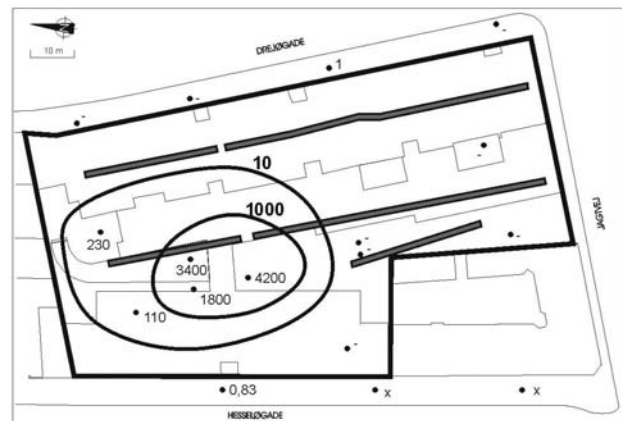
Grønt filter (kote 7,1)



Grønt filter (kote 7,1)



Gult filter (kote 4,6)



Gult filter (kote 4,6)

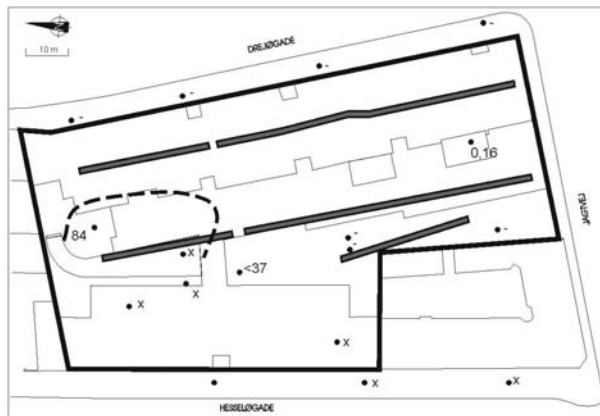
x: Ikke målt

Bilag 12-1

Isokoncentrationskurve: Total kulbrinter i monitoringsboringerne ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

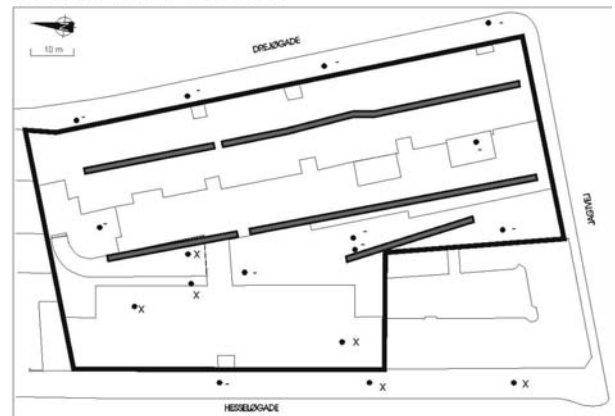
96114.01\tegn\adt\adt3\filtre.cdr

BASELINE FØR AFVÆRGE

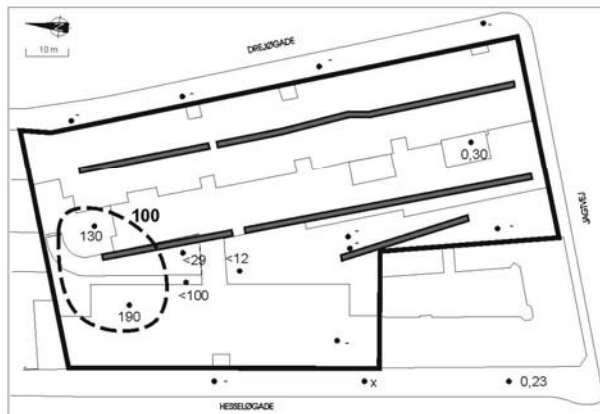


Sort filter (kote 9,6)

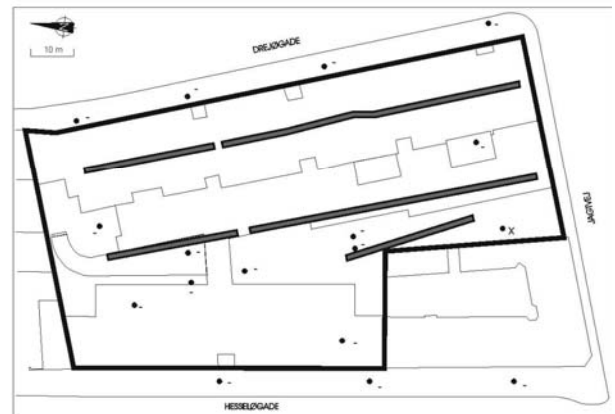
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



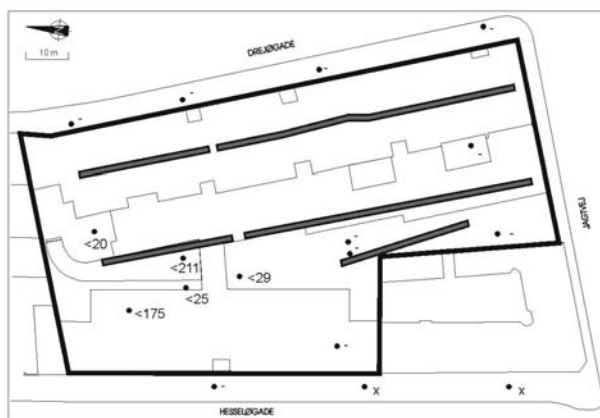
Sort filter (kote 9,6)



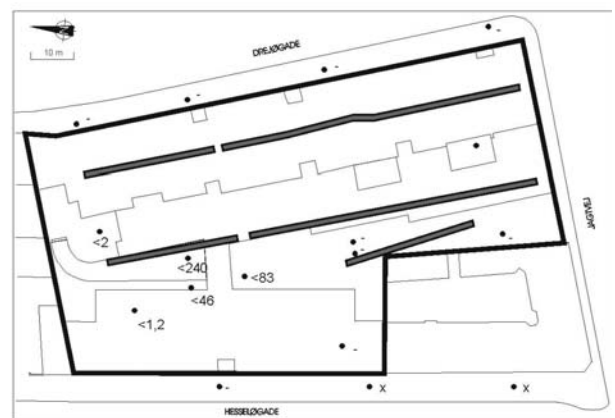
Grønt filter (kote 7,1)



Grønt filter (kote 7,1)



Gult filter (kote 4,6)

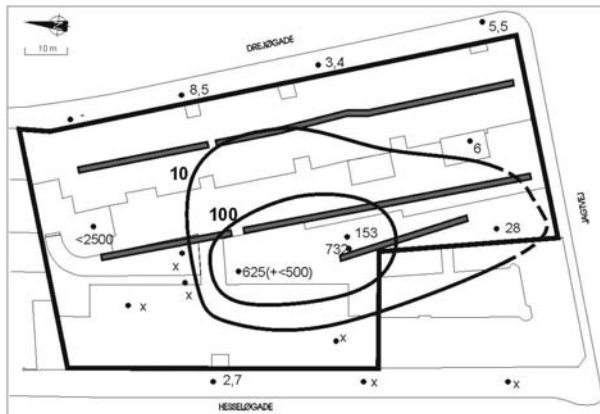


Gult filter (kote 4,6)

x: Ikke målt

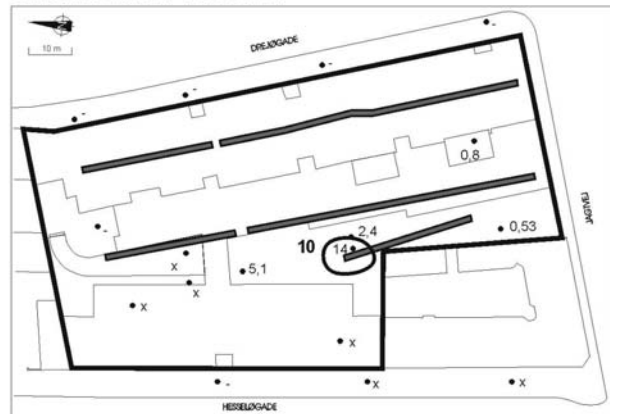
Bilag 12-2  
Isokoncentrationskurve: BTX i monitoringsboringerne ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

BASELINE FØR AFVÆRGE

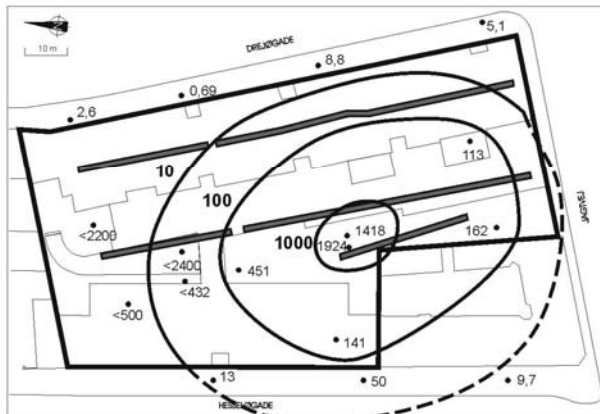


Sort filter (kote 9,6)

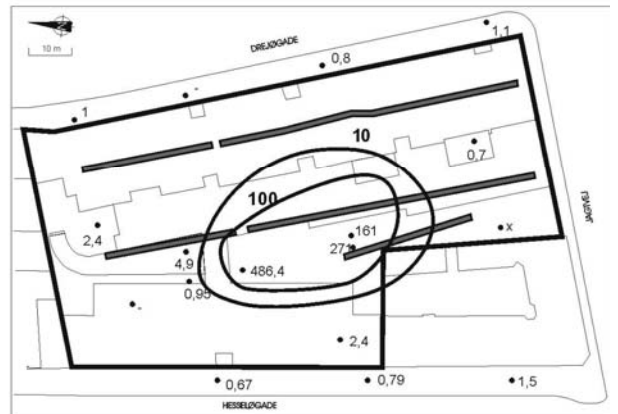
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



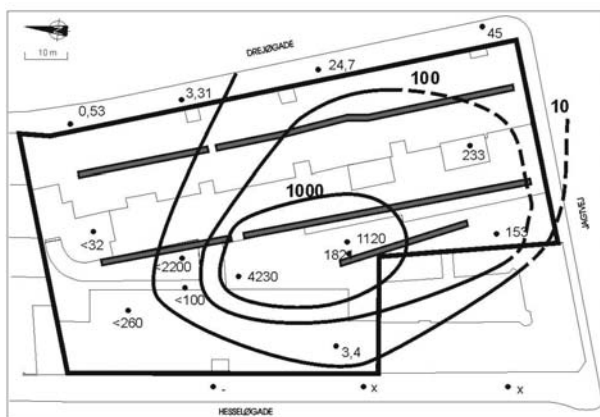
Sort filter (kote 9,6)



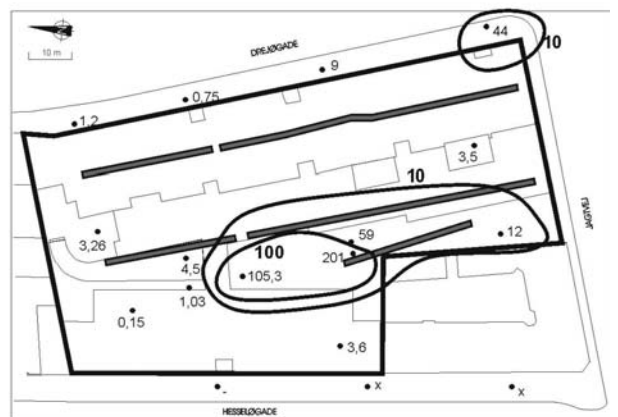
Grønt filter (kote 7,1)



Grønt filter (kote 7,1)



Gult filter (kote 4,6)



Gult filter (kote 4,6)

x: Ikke målt

Bilag 12-3

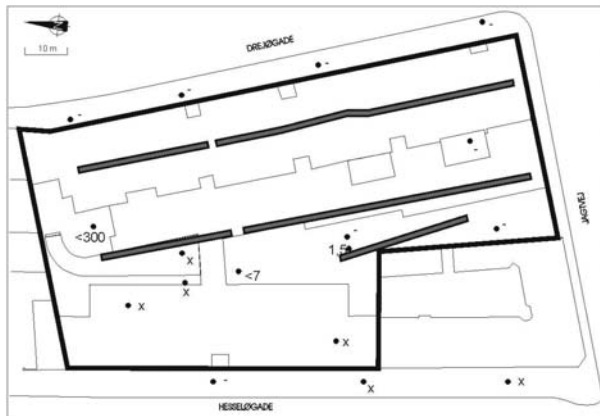
Isokoncentrationskurve: Sum af PCE, TCE og TCM i monitoringsboringerne ( $mg/m^3$ )

96114.01\tegn\ladt\ladt3filtre.cdr

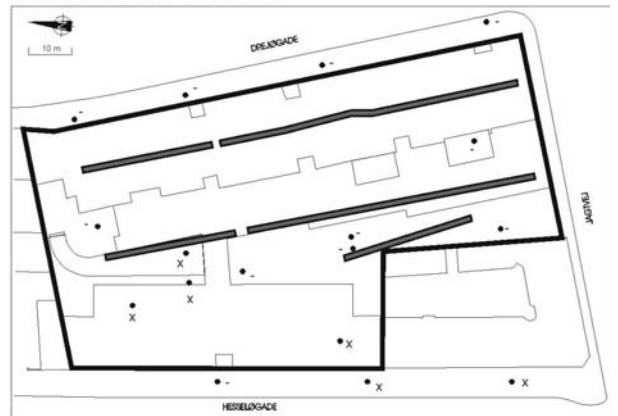


BASELINE FØR AFVÆRGE

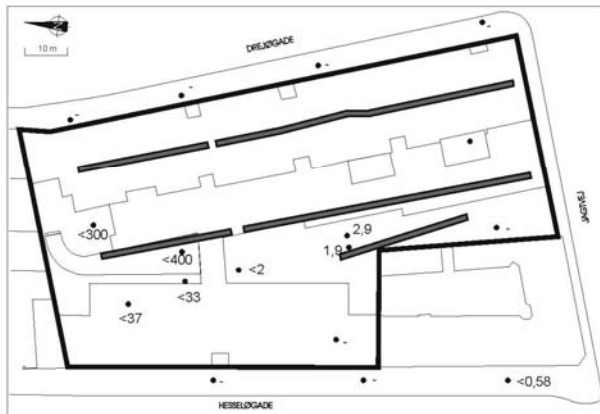
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



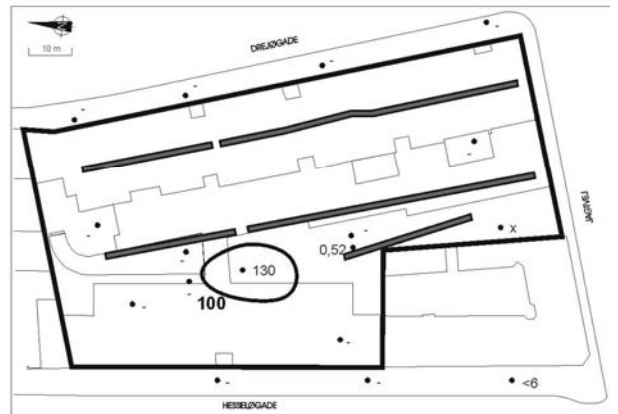
Sort filter (kote 9,6)



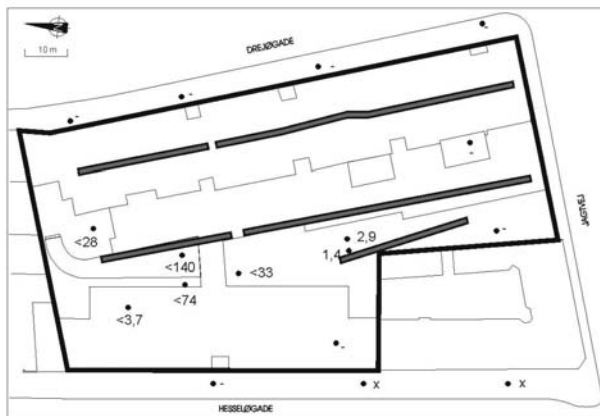
Sort filter (kote 9,6)



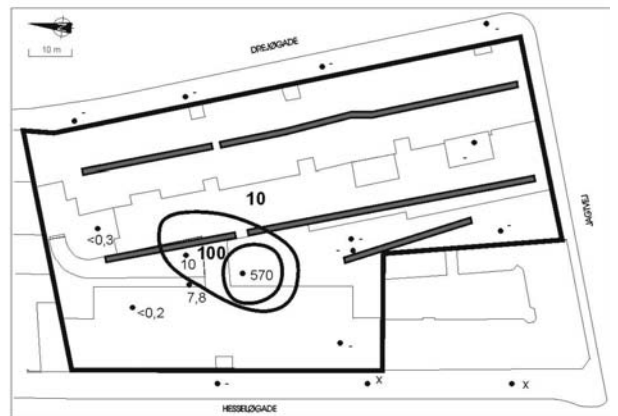
Grønt filter (kote 7,1)



Grønt filter (kote 7,1)



Gult filter (kote 4,6)



Gult filter (kote 4,6)

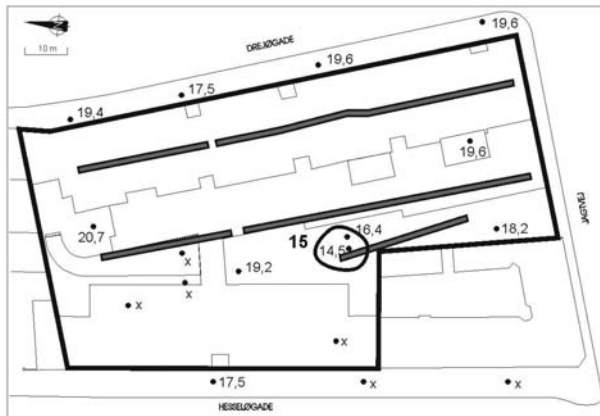
x: Ikke målt

Bilag 12-4

Isokoncentrationskurve: Sum af chlorerede nedbrydningsprodukter ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

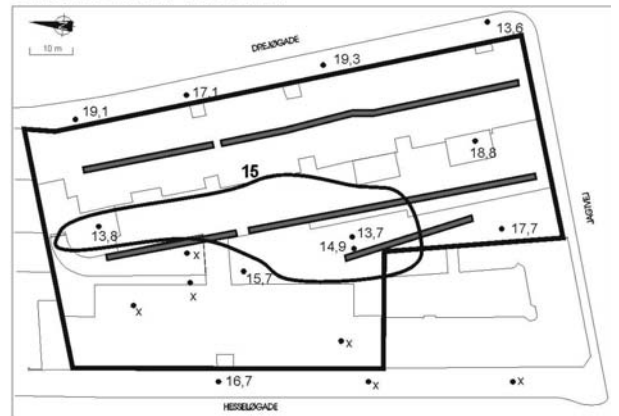
96114.01\tegn\ladt\ladt3filtre.cdr

BASELINE FØR AFVÆRGE

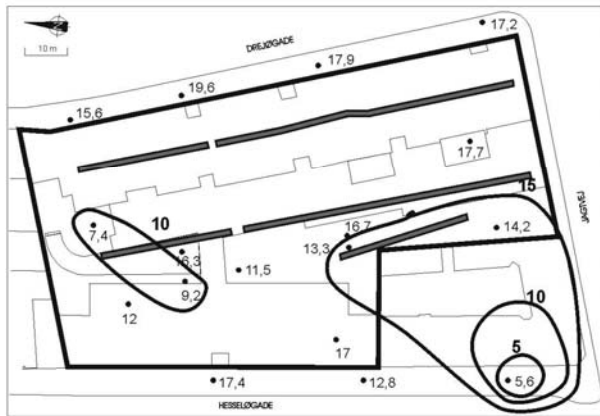


Sort filter (kote 9,6)

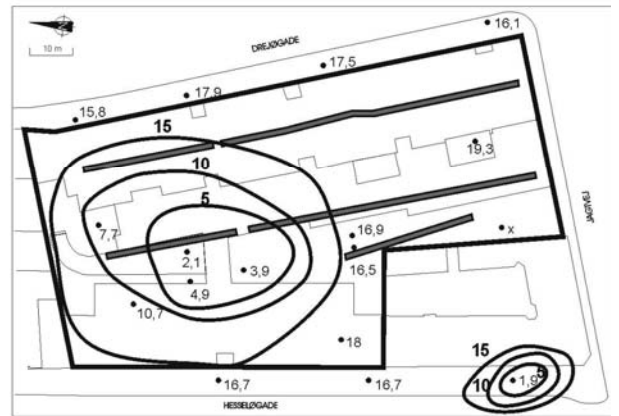
TILBAGESLAG 1. NOVEMBER 2000  
6 MÅNEDER EFTER STOP



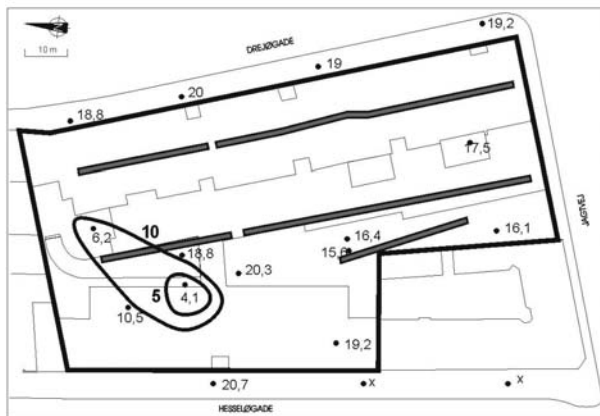
Sort filter (kote 9,6)



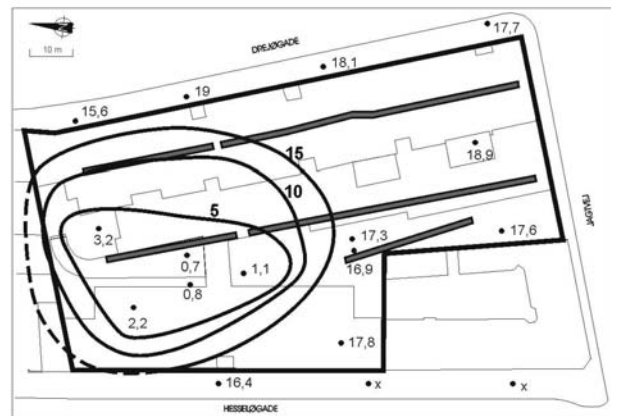
Grønt filter (kote 7,1)



Grønt filter (kote 7,1)



Gult filter (kote 4,6)



Gult filter (kote 4,6)

x: Ikke målt

Bilag 12-5  
Isokoncentrationskurve: Ilt i poreluft (vol%)

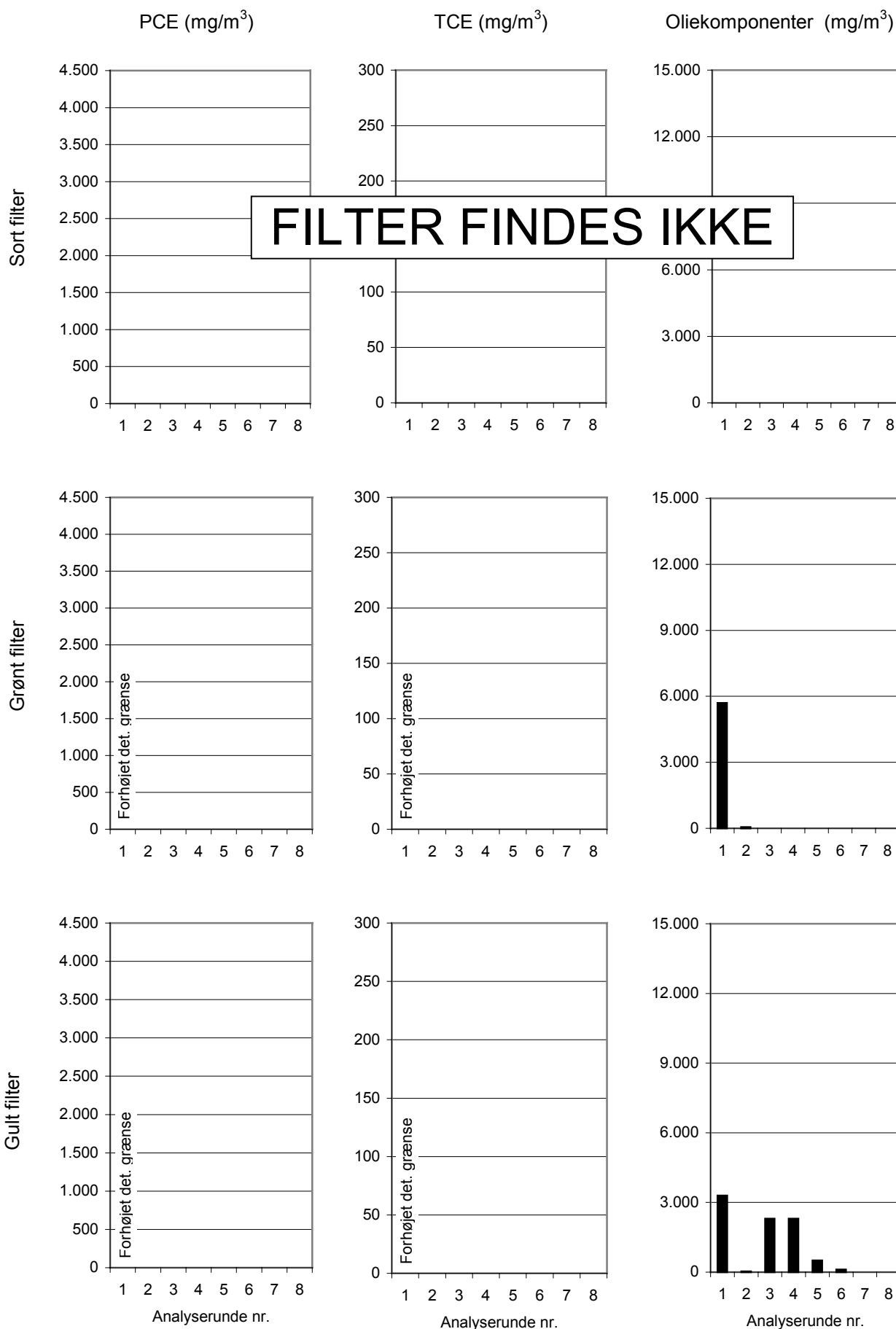
96114.01\tegn\ladt\ladt3filtre.cdr

## 13 Udvikling af koncentrationen af udvalgte stoffer i poreluften

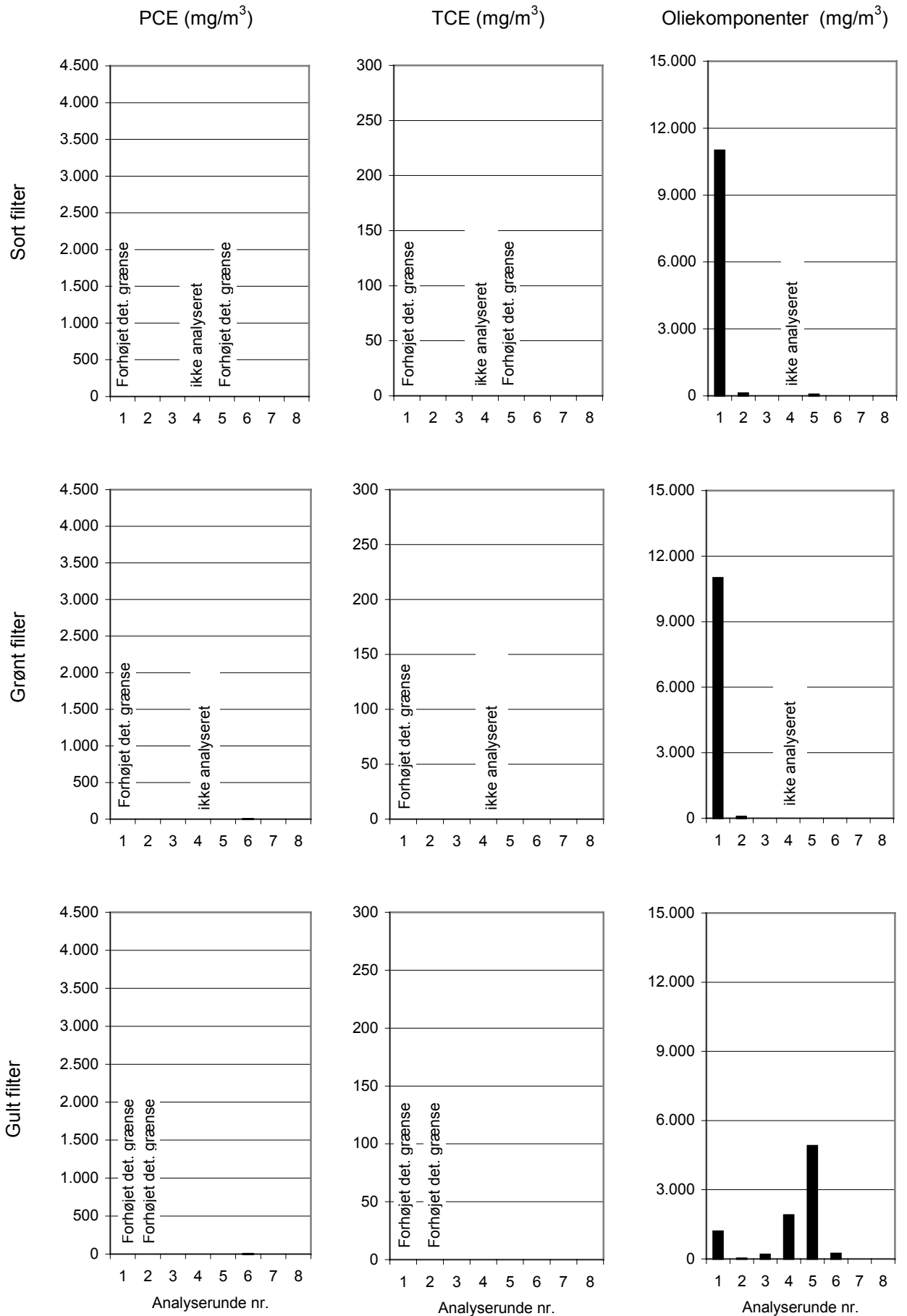
### Analyserunder gennemført for poreluft henholdsvis grundvand

Analyserunde nr.	Udført (uge nr./årstal)	
	Poreluft	Grundvand
1	51 + 52/1997	Ikke udført
2	24/1998	40/1998
3	51/1998	3/1999
4	19/1999	19/1999
5	4/2000	3/2000
6	42 + 43/2000	42/000

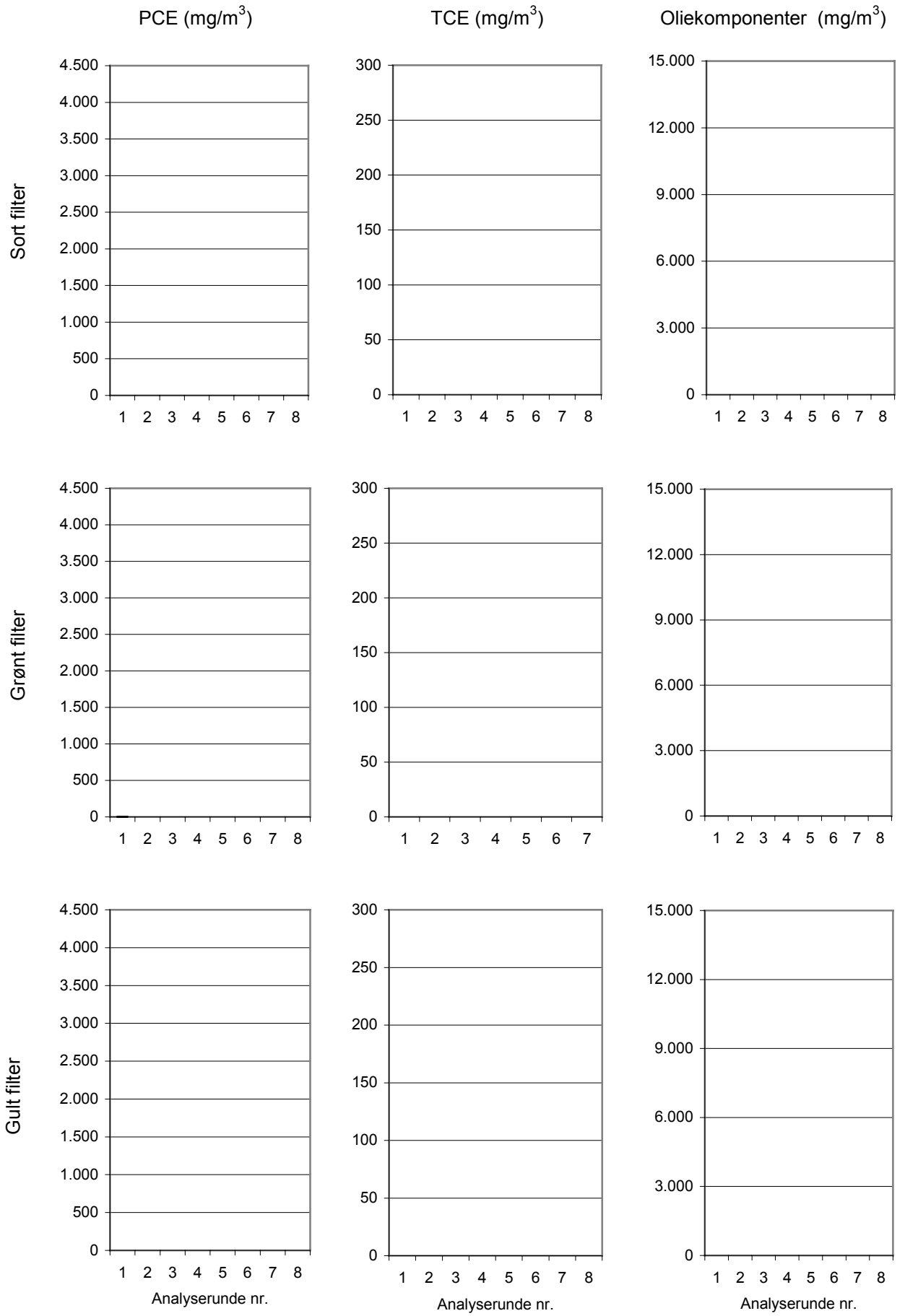
## Moniteringsboring MB1



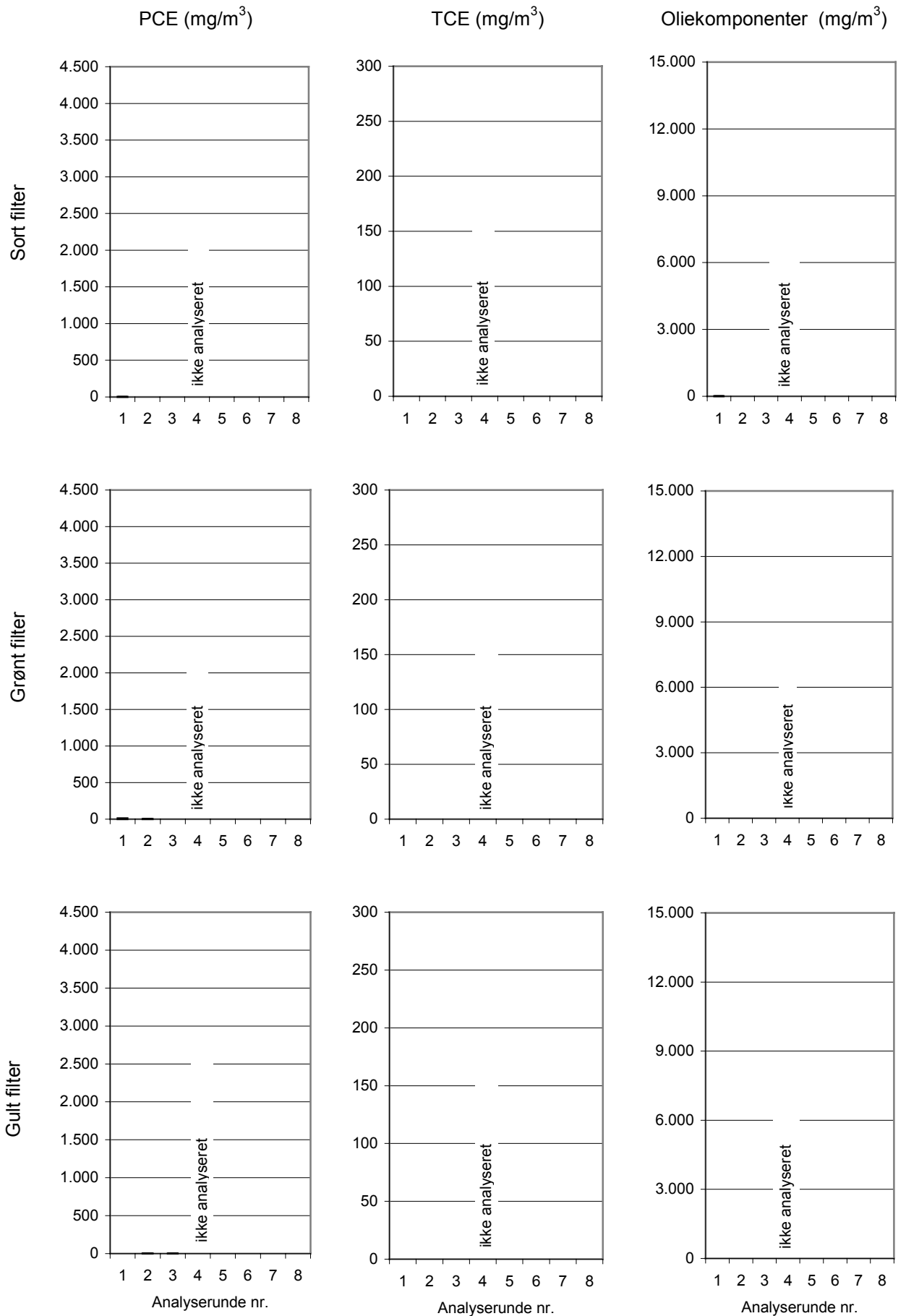
## Moniteringsboring MB2



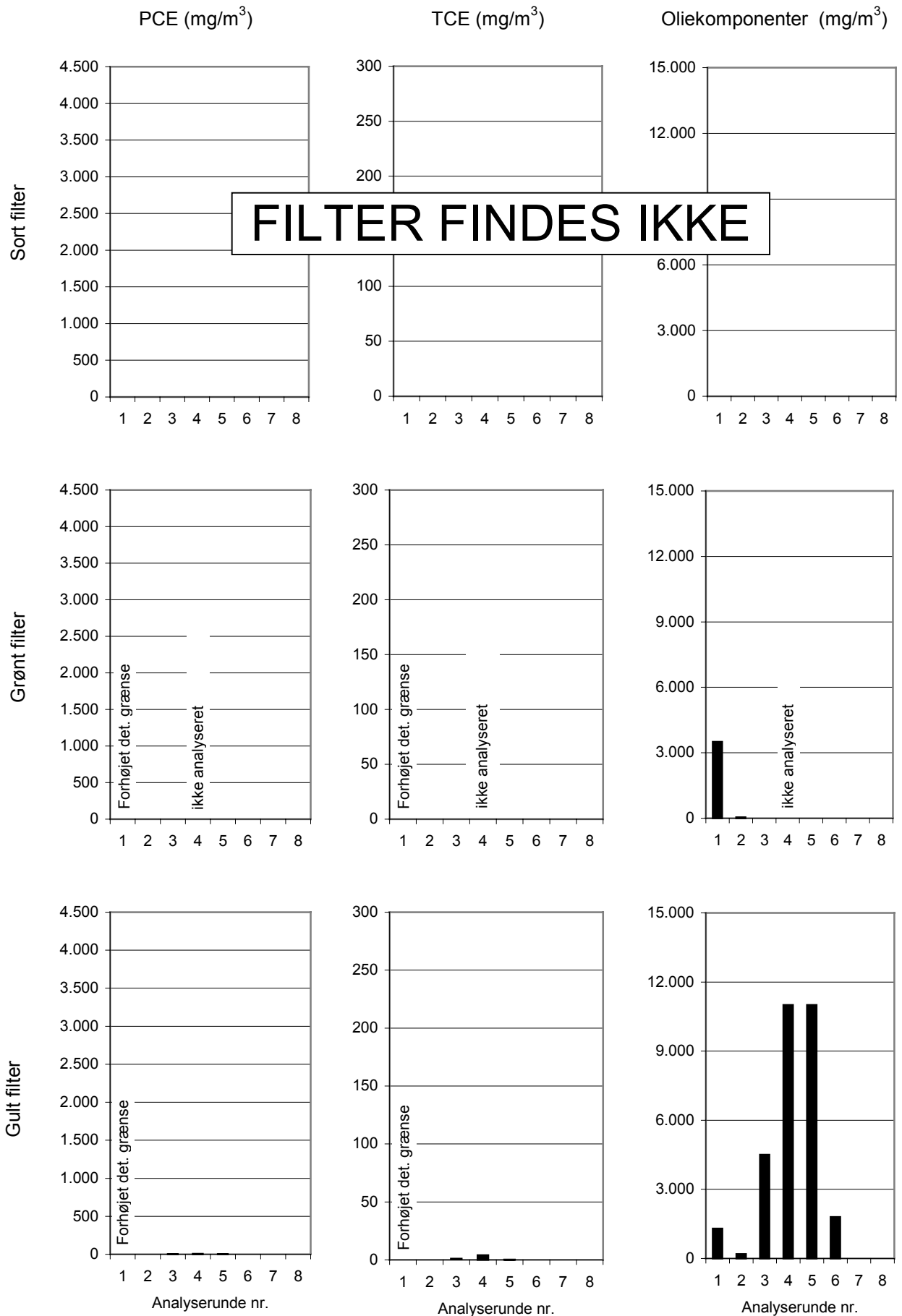
# Moniteringsboring MB3



# Moniteringsboring MB4

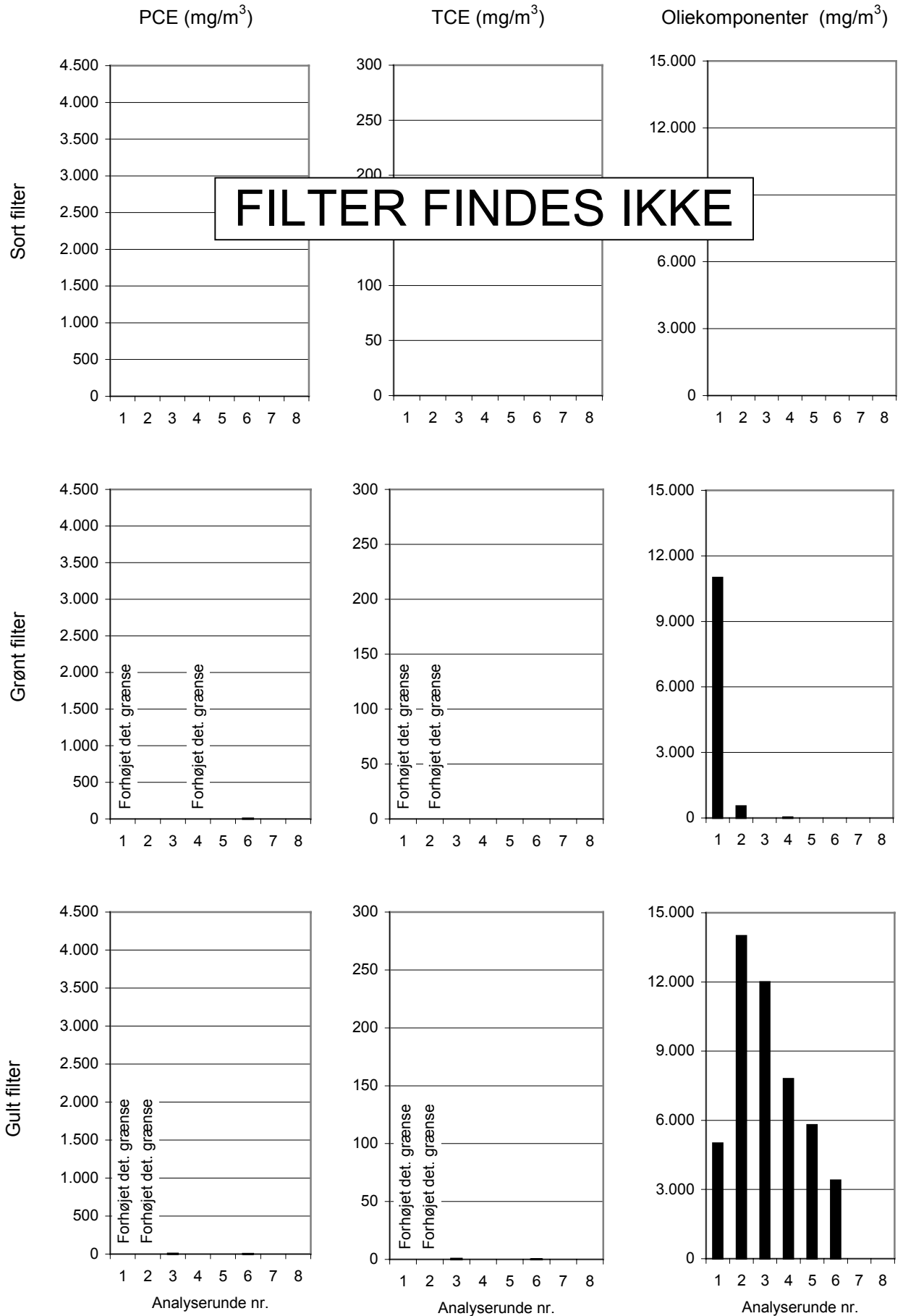


## Moniteringsboring MB5

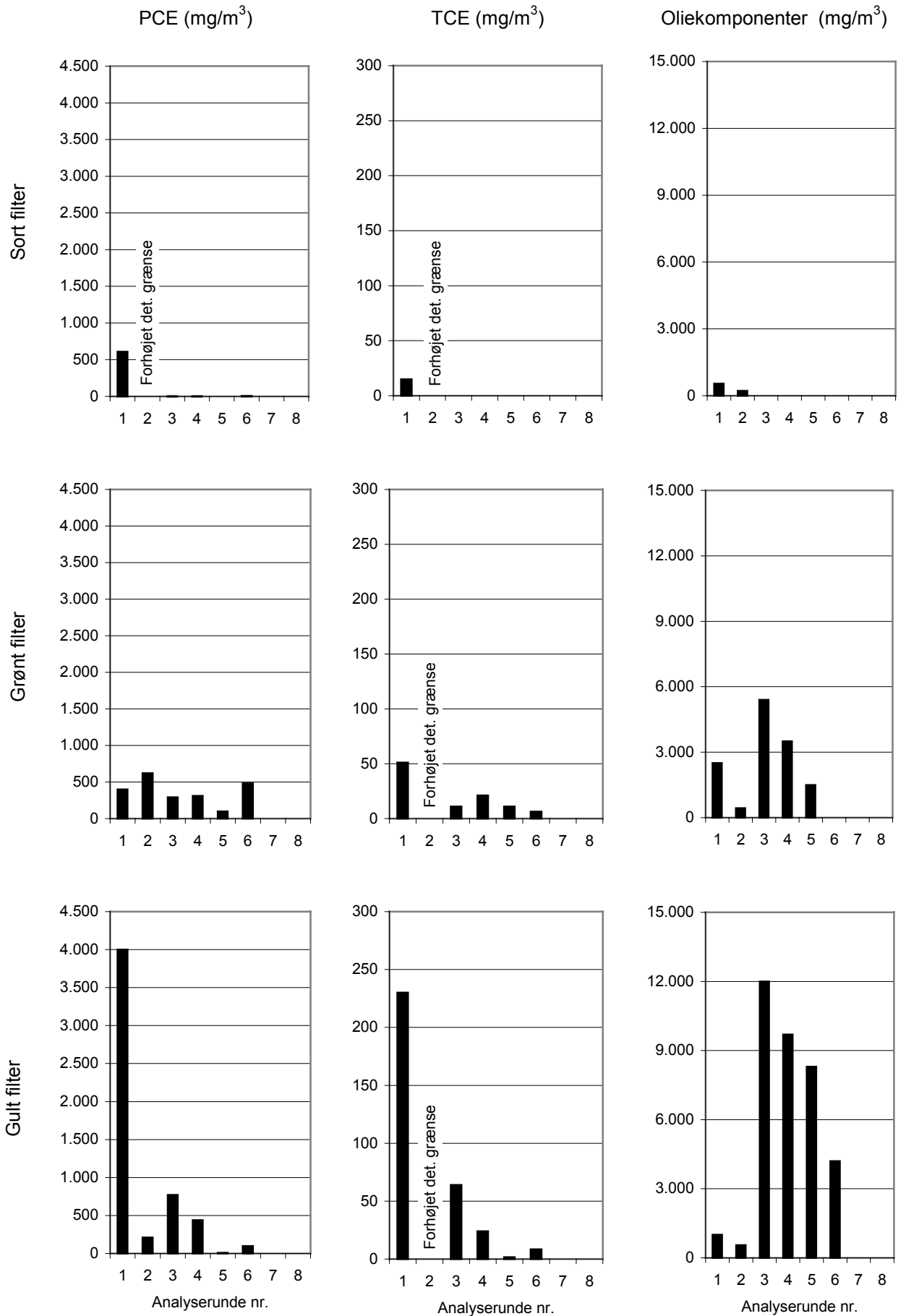




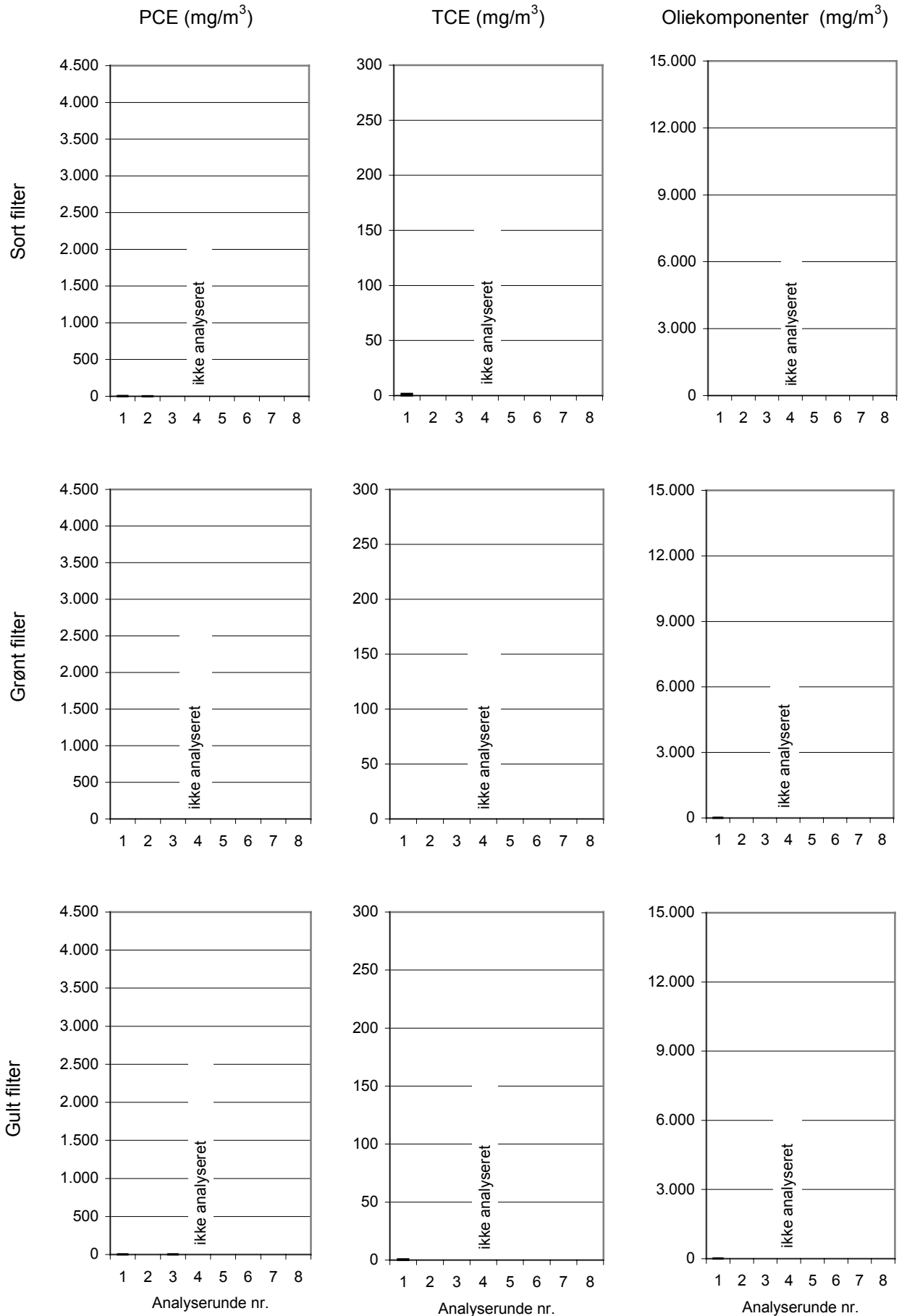
## Moniteringsboring MB6



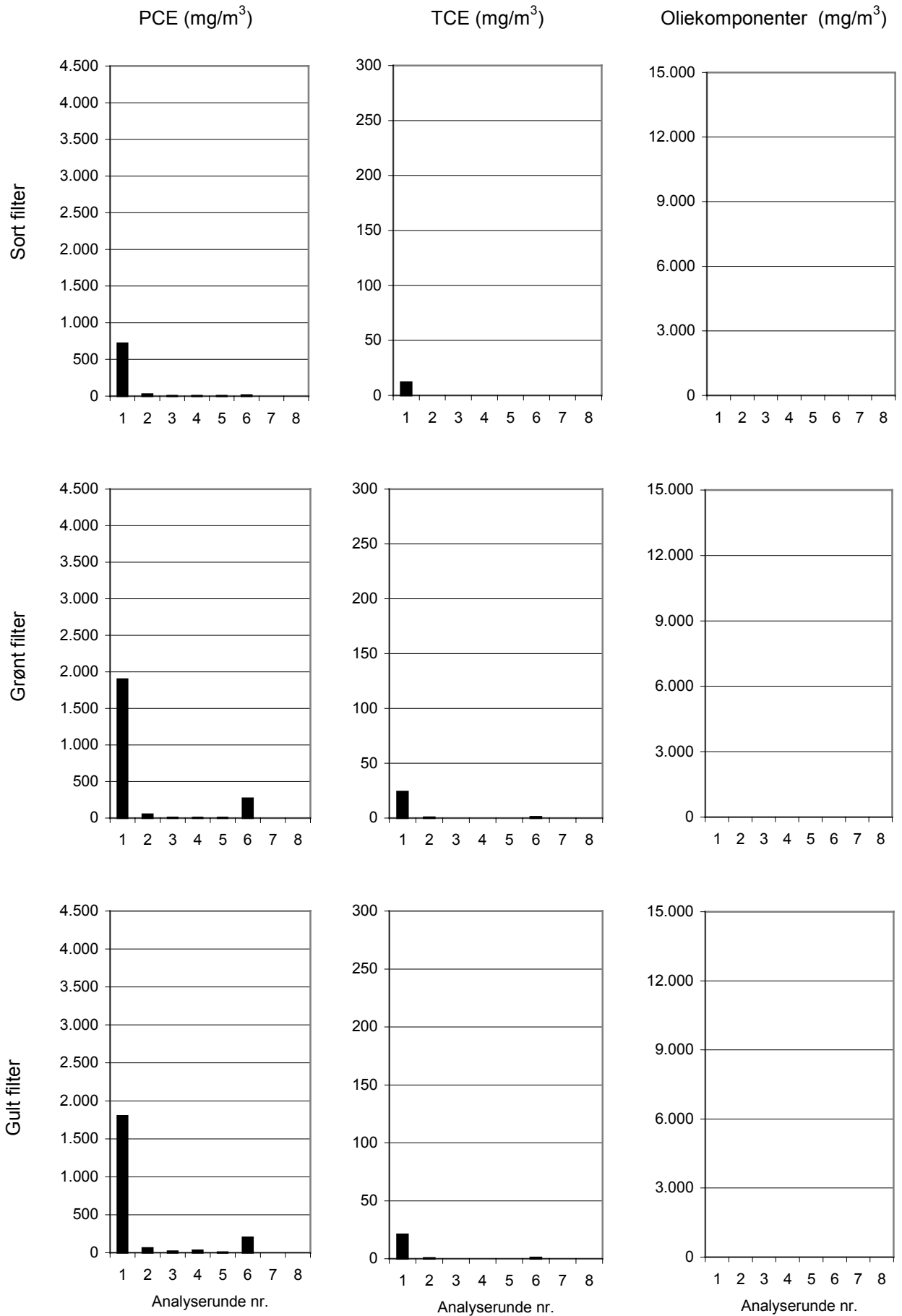
## Moniteringsboring MB7



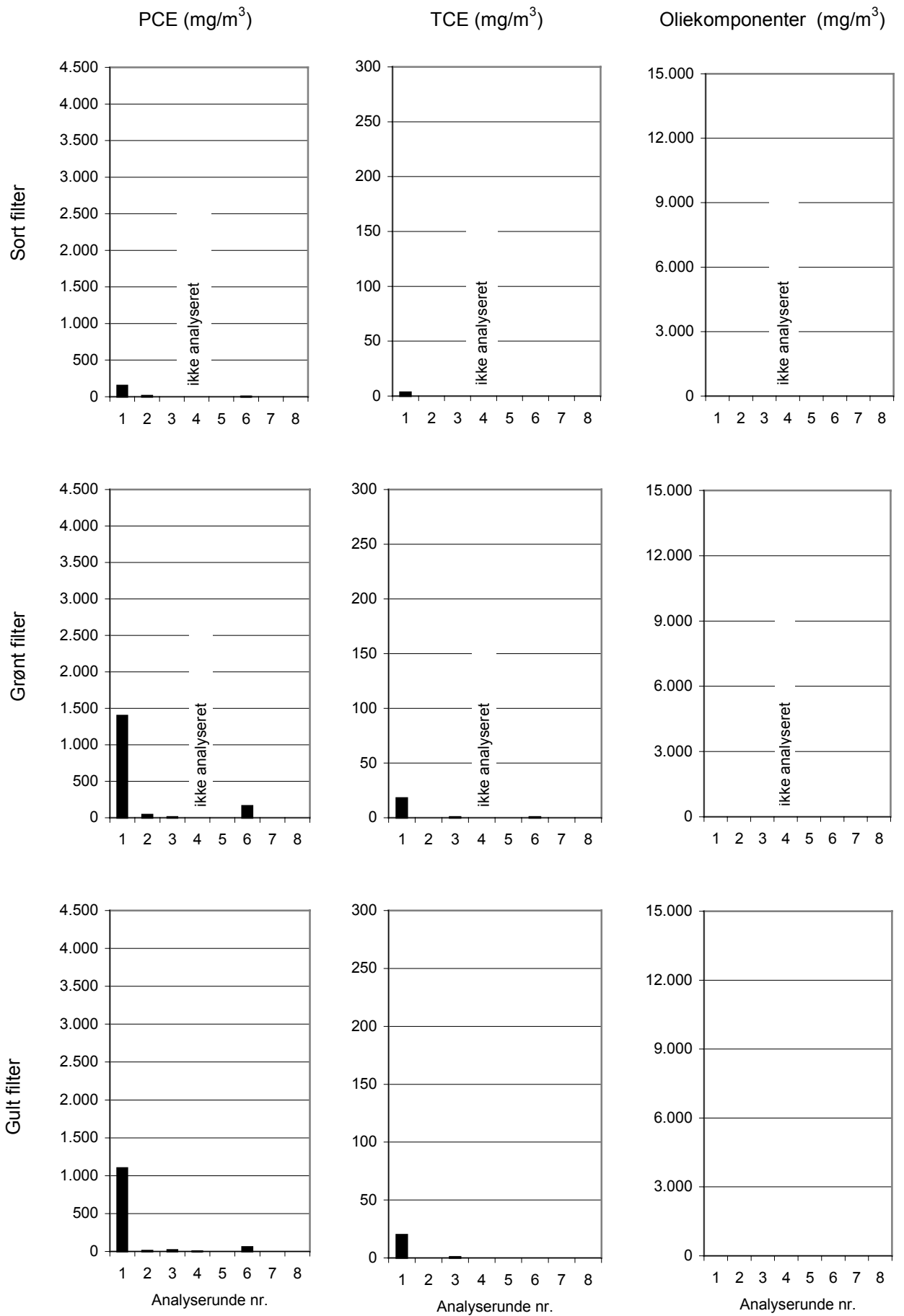
# Moniteringsboring MB8



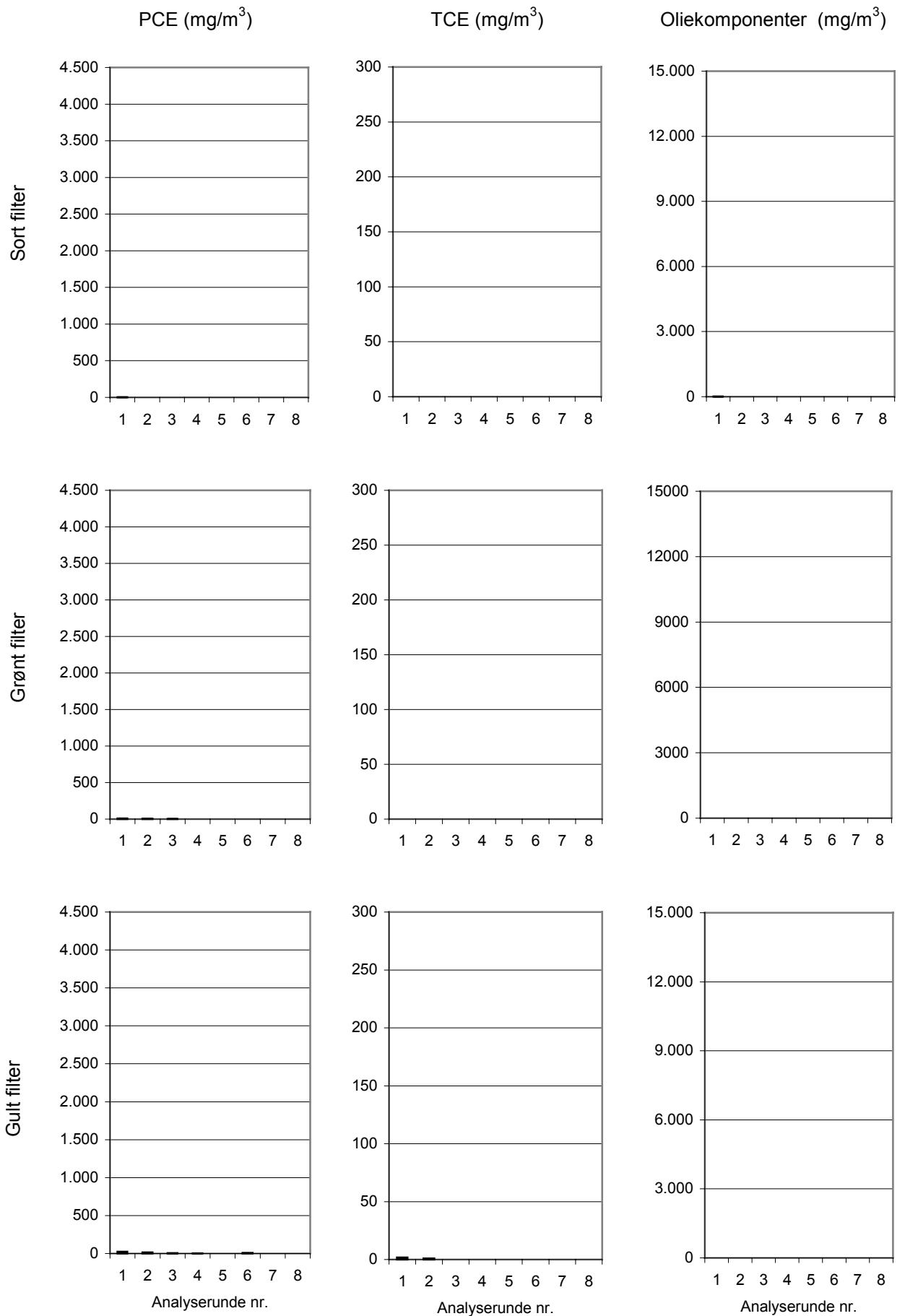
## Moniteringsboring MB9



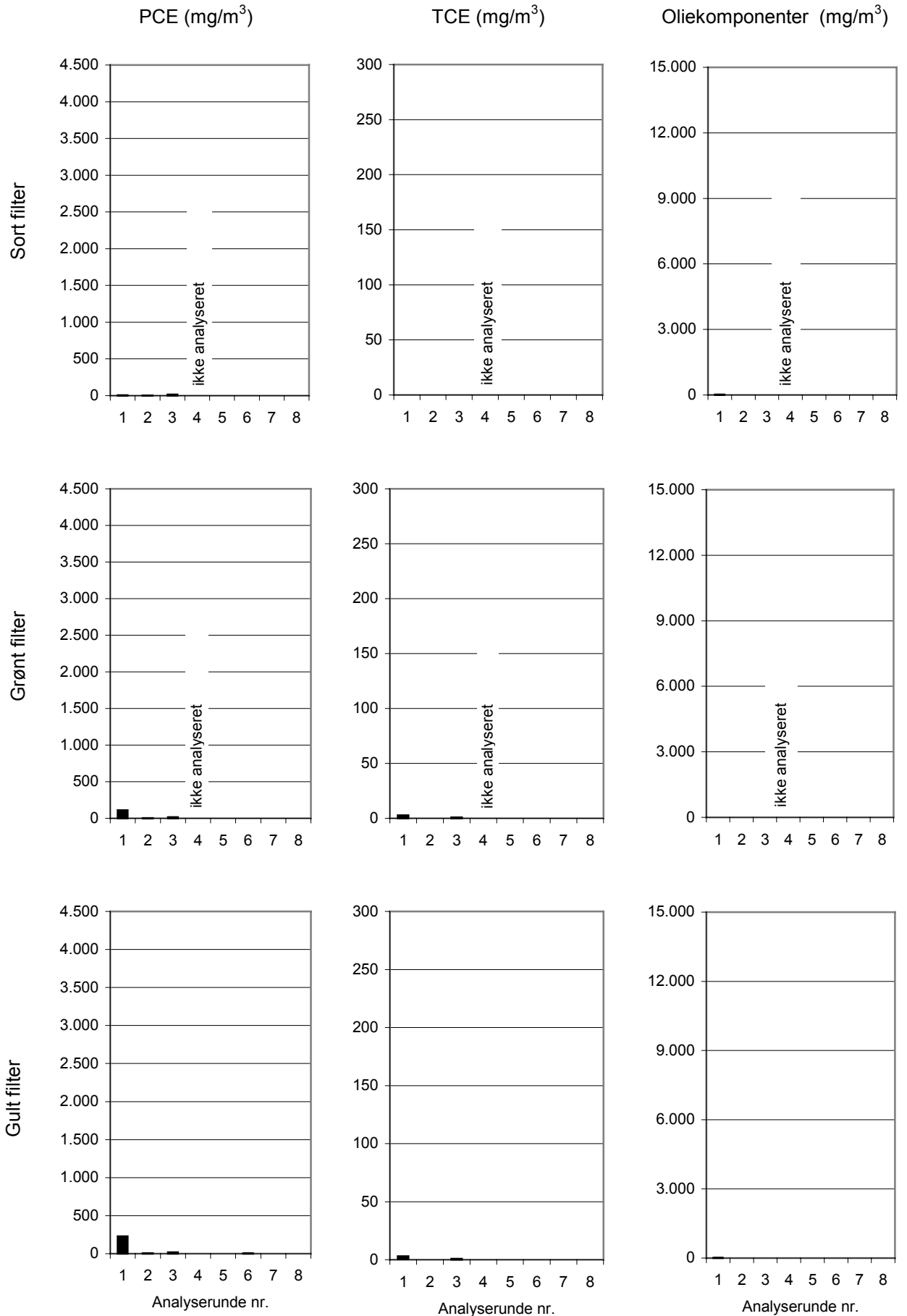
# Moniteringsboring MB10



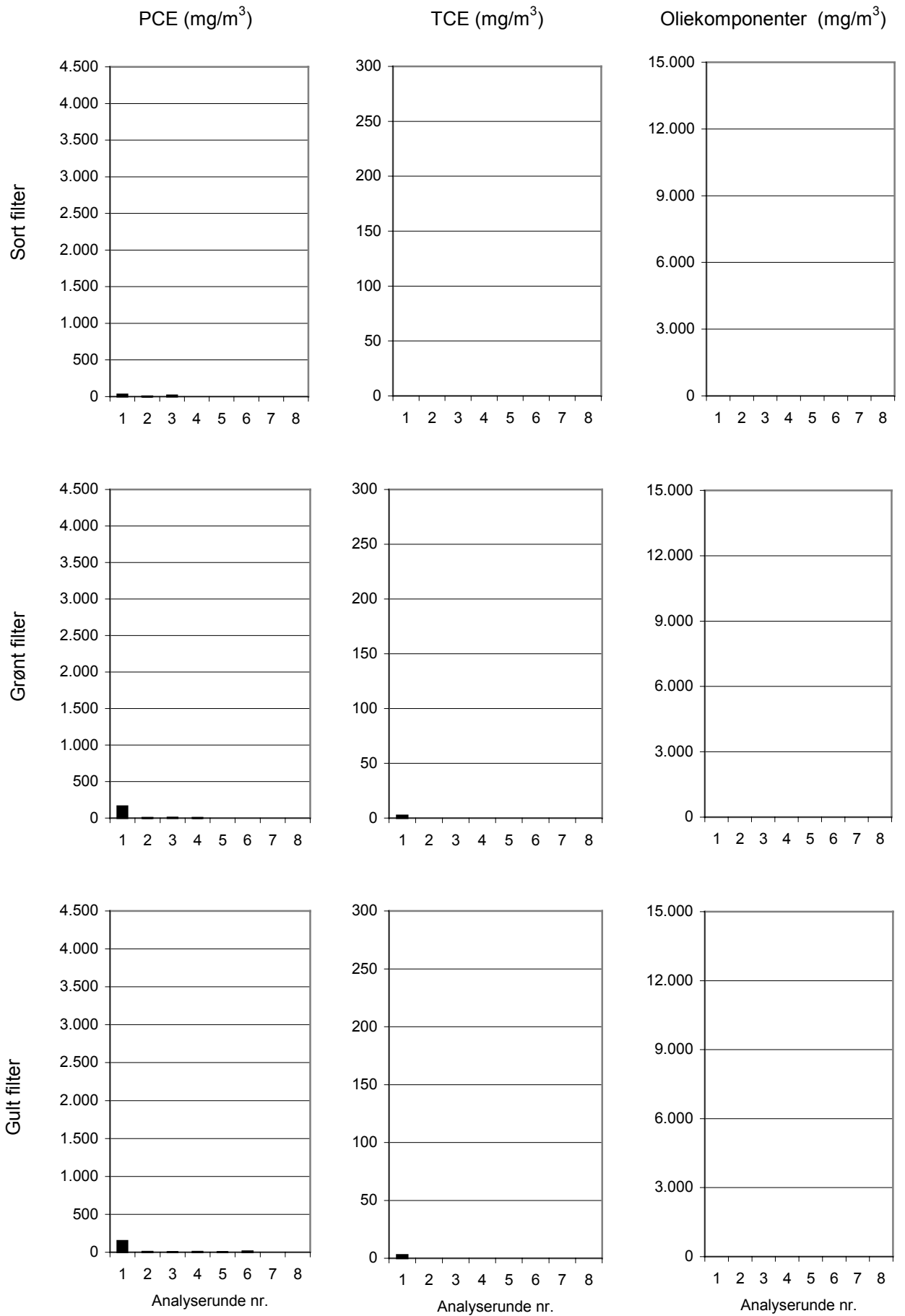
# Moniteringsboring MB11



# Moniteringsboring MB12

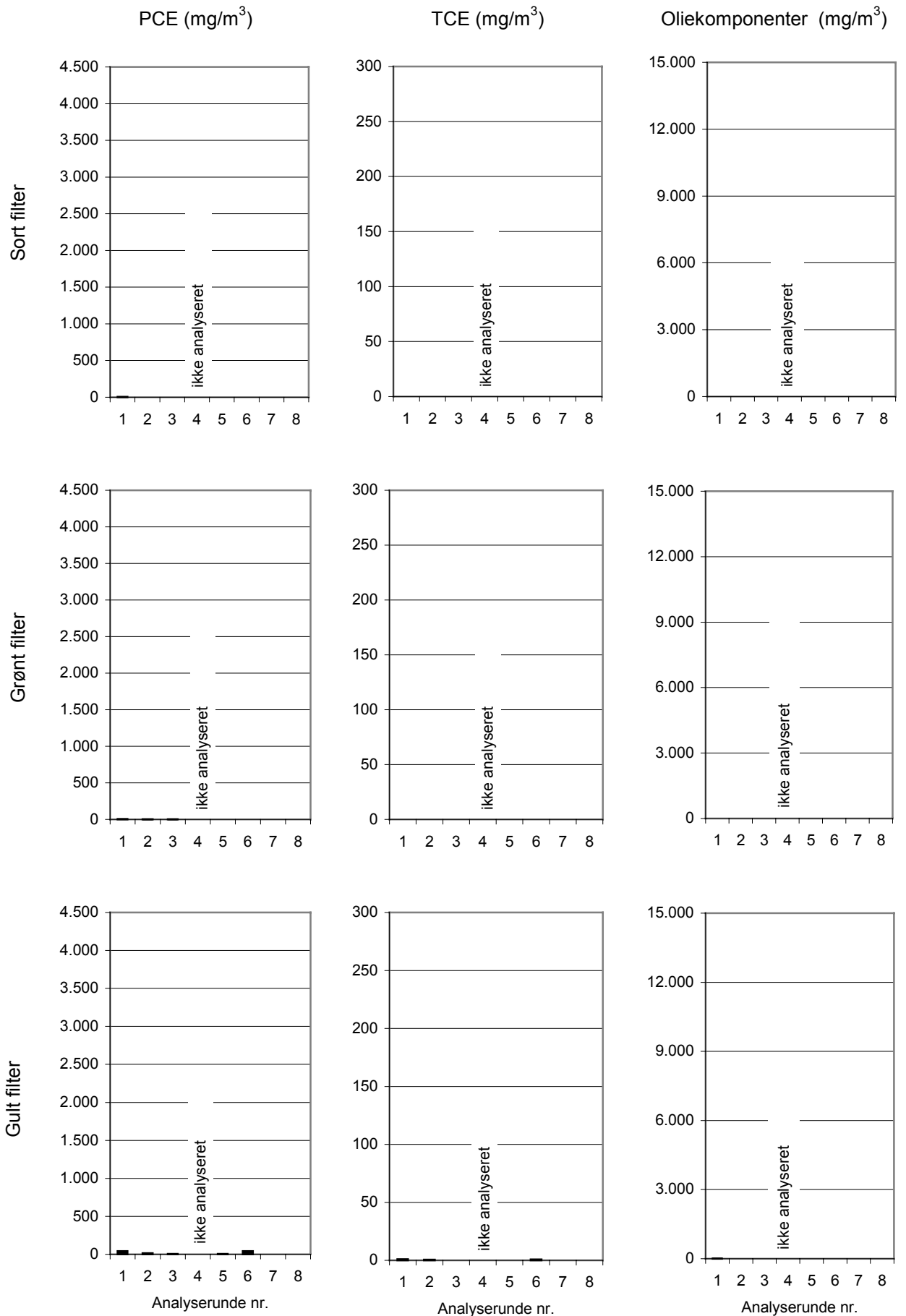


# Moniteringsboring MB13

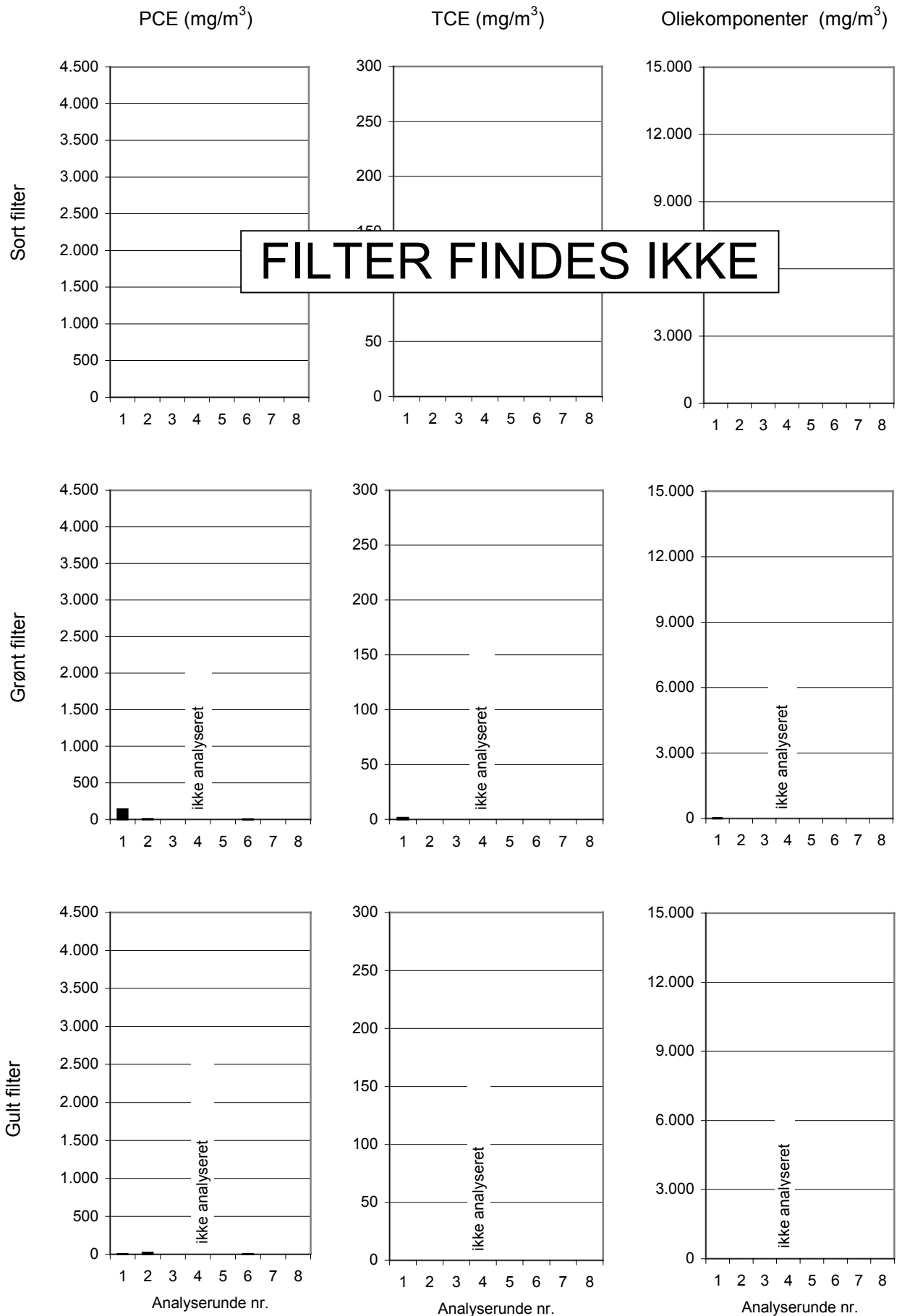




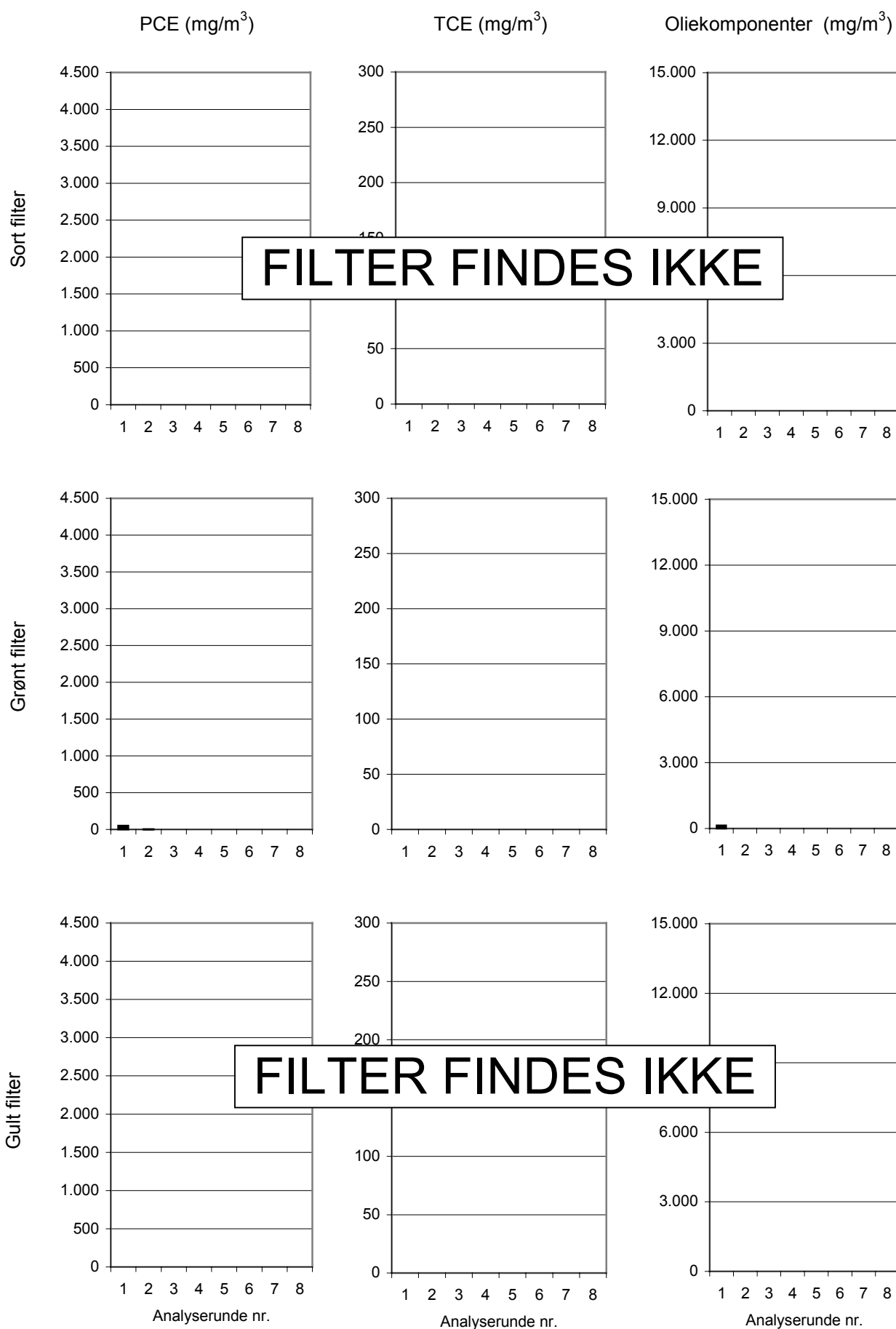
# Moniteringsboring MB14



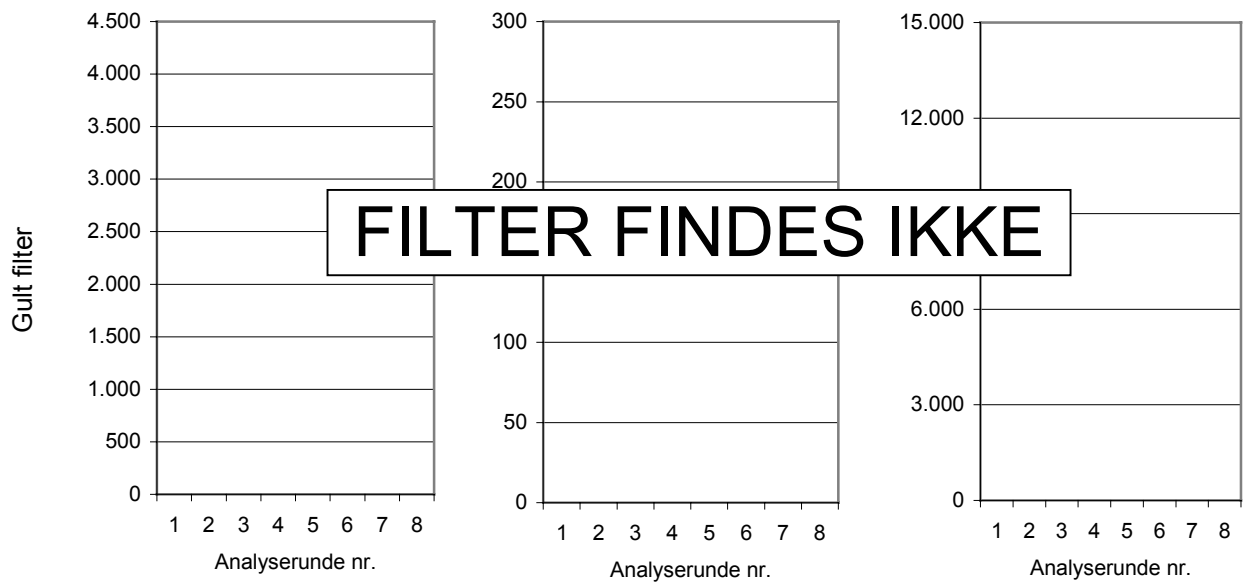
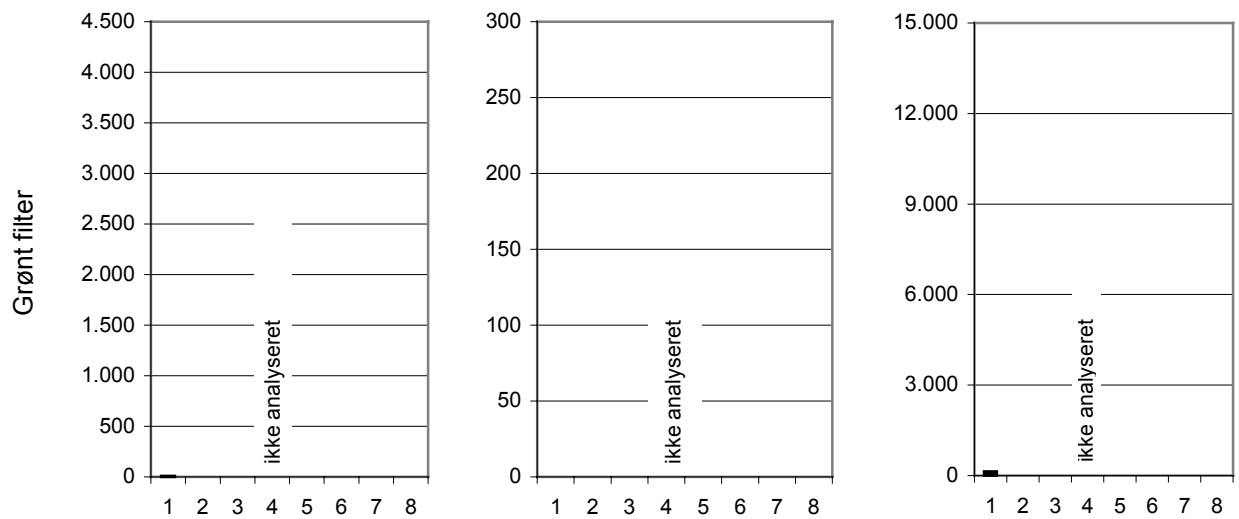
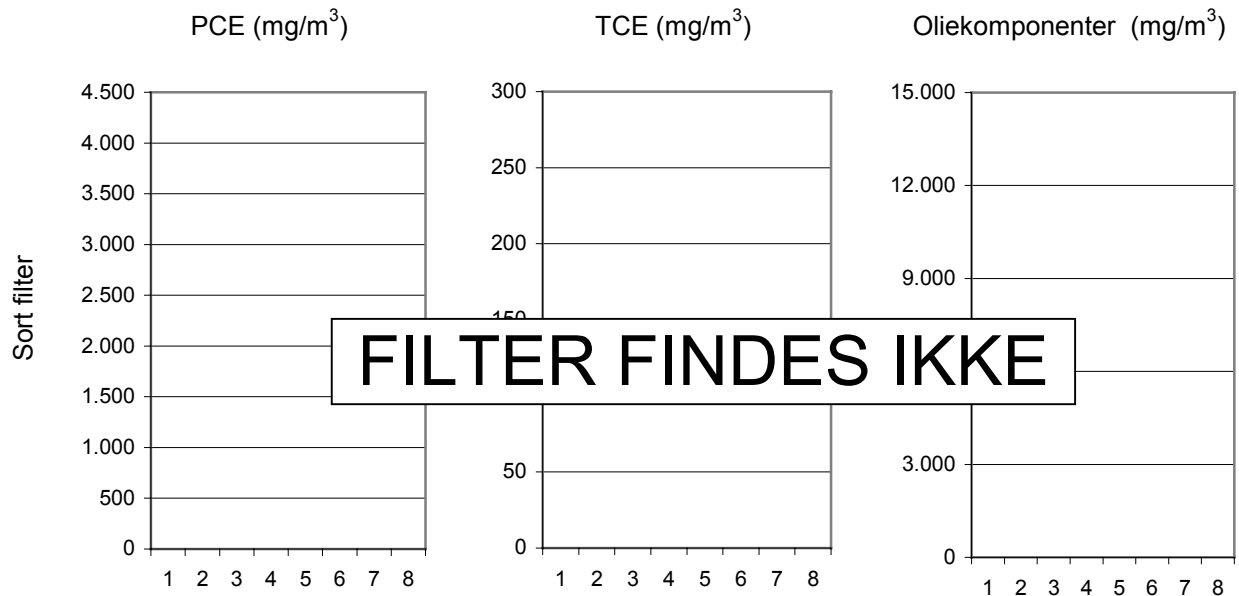
# Moniteringsboring MB15



## Moniteringsboring MB16



# Moniteringsboring MB17



## Udvalgte stoffer fra analyserunde 1 og 2

RESULTATER

PERIODE (UGE/ÅR) :

51+ 52 / 1997 og 24 / 1998

PORELUFTPRØVER

SAG : Drejøgade 3-5		mg/m <sup>3</sup>					
		Analyserunde 1			Analyserunde 2		
Borings nr.	Filterfarve	Oliekomponenter	PCE	TCE	Oliekomponenter	PCE	TCE
MB-1	Grøn	5700	<280	<16	56	-	-
	Gul	3300	<64	<16	34	-	-
MB-2	Sort	11000	<230	<400	110	-	-
	Grøn	11000	<220	<21	73	-	-
MB-3	Gul	1200	<8	<7	19	<1	<1
	Sort	-	-	-	-	-	-
	Grøn	-	2,6	-	-	-	-
MB-4	Gul	-	0,53	-	-	-	-
	Sort	11	2,7	-	0,66	-	-
	Grøn	-	13	-	-	2,7	-
MB-5	Gul	-	-	-	-	3,3	-
	Grøn	3500	<120	<12	44	-	-
	Gul	1300	<23	<58	190	-	-
MB-6	Grøn	11000	<190	<100	540	-	<2
	Gul	5000	<130	<58	14000	<27	<48
MB-7	Sort	540	610	15	220	<46	<2
	Grøn	2500	400	51	440	620	<5
	Gul	1000	4000	230	550	210	<5
MB-8	Sort	3,7	6,9	1,6	-	2,2	-
	Grøn	11	0,69	-	-	1,1	-
	Gul	7,7	2,5	0,81	-	0,54	-
MB-9	Sort	4,1	720	12	0,51	25	-
	Grøn	3,9	1900	24	0,56	52	0,61
	Gul	4	1800	21	-	60	0,6
MB-10	Sort	5	150	3,3	0,52	12	-
	Grøn	3,7	1400	18	-	40	-
	Gul	-	1100	20	-	10	-
MB-11	Sort	12	3,4	-	-	-	-
	Grøn	4,4	8,8	-	0,66	6,1	-
	Gul	1,9	23	1,7	-	14	1
MB-12	Sort	16	6	-	-	2,9	-
	Grøn	4,1	110	2,7	-	3,1	-
	Gul	5,5	230	2,9	-	6	-
MB-13	Sort	2,3	28	-	-	1,9	-
	Grøn	1,1	160	2,4	-	4,3	-
	Gul	0,57	150	2,8	-	5,8	-
MB-14	Sort	4,4	5,5	-	-	1,2	-
	Grøn	0,91	5,1	-	-	2,9	-
	Gul	6,1	44	0,9	1,3	14	0,51
MB-15	Grøn	6,7	140	1,4	-	6,9	-
	Gul	-	3,4	-	0,52	22	-
MB-16	Grøn	-	50	-	-	2,6	-
MB-17	Grøn	140	9,7	-	-	1,2	-
Det.grænse	Alle	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

- ikke påvist

filter ej monteret

## Udvalgte stoffer fra analyserunde 3-4

RESULTATER

PERIODE (UGE/ÅR) : 51/1998 og 19/1999

PORELUFTPRØVER

SAG : Drejøgade 3-5		mg/m <sup>3</sup>					
		Analyserunde 3			Analyserunde 4		
Borings nr.	Filterfarve	Oliekomponenter	PCE	TCE	Oliekomponenter	PCE	TCE
MB-1	Grøn	4,1	-	-	-	-	-
	Gul	2300	0,17	0,085	2300	0,18	0,063
MB-2	Sort	3	-	-			
	Grøn	-	-	-			
MB-3	Gul	190	0,14	<0,05	1900	0,26	-
	Sort	-	-	-	-	-	-
MB-4	Grøn	-	-	-	-	-	-
	Gul	-	-	-	-	-	-
MB-5	Sort	-	-	-			
	Grøn	-	-	-			
MB-6	Gul	-	3,5	-			
	Sort	-	-	-			
MB-7	Grøn	-	-	-			
	Gul	4500	4,2	0,99	11000	6,6	4
MB-8	Grøn	-	-	-			
	Gul	3,2	-	-	29	< 2	-
MB-9	Sort	12000	4,9	0,7	7800	0,66	<0,1
	Grøn	1,5	1,9	-	-	1,6	-
MB-10	Gul	5400	290	11	3500	310	21
	Sort	12000	770	64	9700	440	24
MB-11	Grøn	-	0,71	-			
	Gul	-	-	-			
MB-12	Sort	-	2,8	-			
	Grøn	-	-	-			
MB-13	Gul	-	2,9	-	3,3	3,1	-
	Sort	-	7	-	-	4,7	-
MB-14	Grøn	-	19	-	-	31	-
	Gul	-	1,1	-			
MB-15	Sort	-	9,6	0,56			
	Grøn	-	17	0,71	-	2,4	-
MB-16	Gul	-	-	-	-	-	-
	Sort	-	-	-	-	-	-
MB-17	Grøn	-	1,8	-	2,2	1,2	-
	Gul	-	6,8	-	1,9	2	-
Det.grænse	Sort	-	16	-			
	Grøn	-	16	0,74			
MB-18	Gul	-	17	0,78	2,1	0,95	-
	Sort	-	16	-	-	-	-
MB-19	Grøn	-	5,5	-	-	3,9	-
	Gul	-	4,3	-	-	4,9	-
MB-20	Sort	-	-	-			
	Grøn	-	1,7	-			
MB-21	Gul	-	7	-			
	Sort	-	-	-			
MB-22	Grøn	-	0,52	-			
	Gul	-	1,4	-			
MB-23	Grøn	-	0,75	-			
MB-24	Grøn	-	0,63	-	1,2	-	-
Det.grænse	Alle	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

- ikke påvist

filter ej monteret

prøve ej udtaget

## Udvalgte stoffer fra analyserunde 5-6

RESULTATER  
PORELFTPRØVER

PERIODE (UGE/ÅR) : 4/2000 og 42/2000

SAG : Drejøgade 3-5		mg/m <sup>3</sup>					
		Analyserunde 5			Analyserunde 6		
Borings nr.	Filterfarve	Oliekomponenter	PCE	TCE	Oliekomponenter	PCE	TCE
MB-1	Grøn	2,6	-	-	-	-	-
	Gul	500	0,17	0,006	110	0,14	0,0062
MB-2	Sort	60	<3	<3	-	-	-
	Grøn	3,1	-	-	-	2,4	-
MB-3	Gul	4900	1,1	0,053	230	3,2	0,03
	Sort	1,3	-	-	-	-	-
MB-4	Grøn	1	-	-	-	1	-
	Gul	0,8	-	-	-	1,2	-
MB-5	Sort	0,7	-	-	-	-	-
	Grøn	0,76	-	-	-	0,67	-
MB-6	Gul	0,97	-	-	0,83	-	-
	Grøn	0,92	-	-	-	0,95	-
MB-7	Gul	11000	3,3	0,21	1800	0,94	0,085
	Grøn	4	-	-	-	4,9	-
MB-8	Gul	5800	0,76	0,016	3400	4,3	0,2
	Sort	0,89	-	-	-	5,1	-
MB-9	Grøn	1500	97	11	1,7	480	6,4
	Gul	8300	9,2	1,6	4200	97	8,3
MB-10	Sort	0,52	-	-	-	-	-
	Grøn	0,54	-	-	-	-	-
MB-11	Gul	0,54	1,1	-	-	0,75	-
	Sort	-	2,2	-	-	14	-
MB-12	Grøn	-	1,8	-	-	270	0,95
	Gul	0,68	5,4	-	-	200	0,9
MB-13	Sort	-	-	-	-	2,4	-
	Grøn	0,51	1,5	-	-	160	0,65
MB-14	Gul	-	1,5	-	-	59	-
	Sort	-	-	-	-	-	-
MB-15	Grøn	0,78	0,56	-	-	0,81	-
	Gul	0,52	1,2	-	1	9	-
MB-16	Sort	-	-	-	-	0,81	-
	Grøn	-	-	-	-	0,72	-
MB-17	Gul	-	0,7	-	-	3,5	-
	Sort	-	-	-	-	0,53	-
MB-18	Grøn	-	1,5	-	-	-	-
	Gul	2	3,4	-	-	12	-
MB-19	Sort	-	-	-	-	-	-
	Grøn	-	0,65	-	-	1,1	-
MB-20	Gul	-	4,6	-	-	44	0,71
	Grøn	-	-	-	-	2,4	-
MB-21	Gul	-	0,85	-	-	3,6	-
	Grøn	-	-	-	-	0,79	-
MB-22	Grøn	0,8	-	-	> 1100	1,5	0,012
Det.grænse	Alle	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	0,50	0,50	0,50

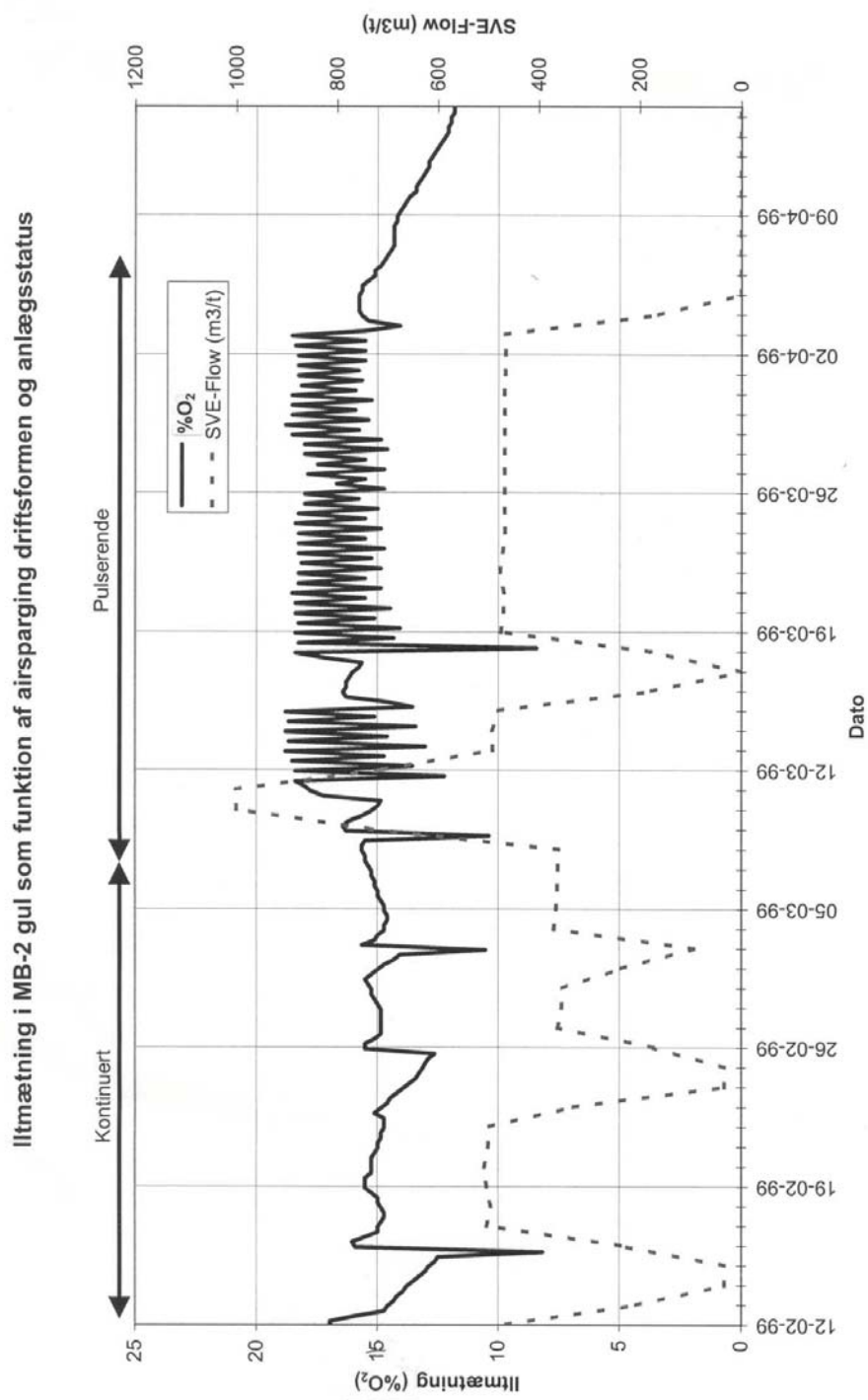
- ikke påvist

filter ej monteret

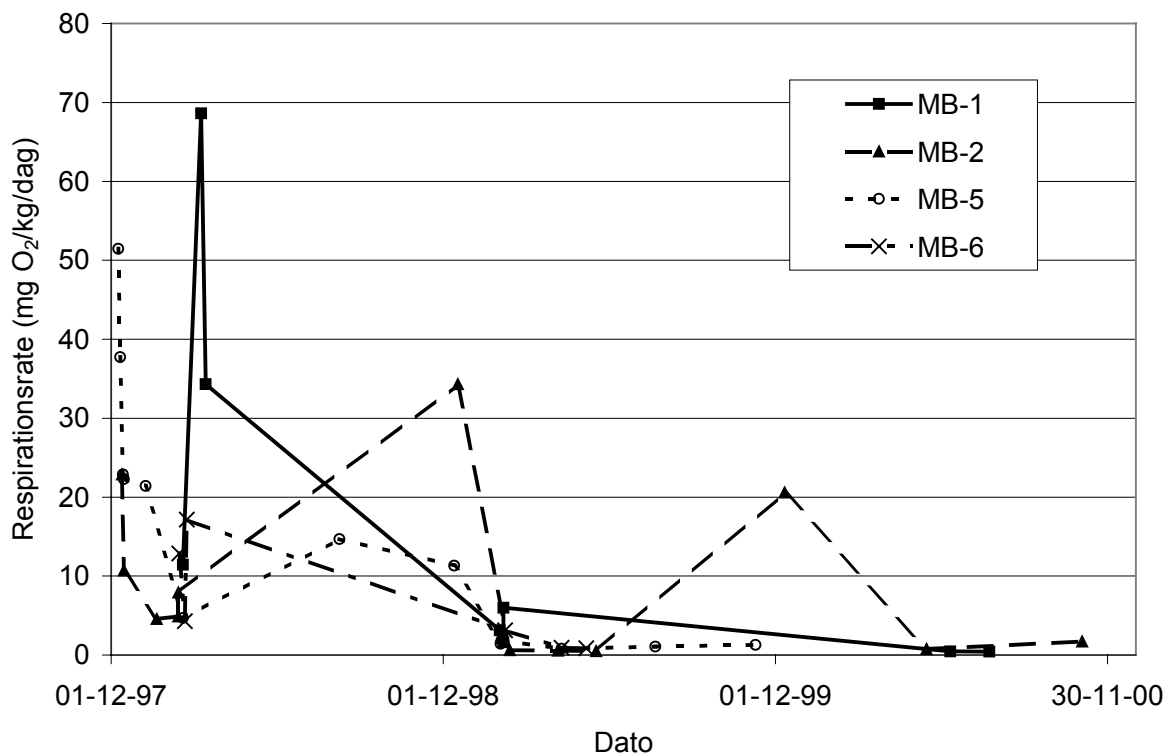




# 14 Respirationstest



### Respirationsrater målt in-situ



**"Respirationstest" i den umættede zone**

1,166

Dato	Boring	%O2 ved start af forsøg	%O2/time	%O2/dag	mg O2/kg/dag	Gennemsnit	Standard afvigelse
18-02-98	MB-1	19	0,6	13,3	11,4		
10-03-98		16	3,3	80,0	68,6		
15-03-98	MB-1 gul	16	1,7	40,0	34,3		
01-02-99	MB-1 gul	18,5	0,2	3,7	3,1		
05-02-99	MB-1 gul	20,5	0,1	1,9	1,6		
05-02-99	MB-1 gul	20	0,3	7,0	6,0		
10-06-00	MB-1 Gul	10	0,0	0,5	0,4		
23-07-00	MB-1 gul	8	0,0	0,5	0,4	15,7	24,1
13-12-97	MB-2	20	1,1	26,7	22,9		
15-12-97	MB-2 gul	20	0,5	12,5	10,7		
20-01-98	MB-2 gul	6	0,2	5,3	4,6		
13-02-98	MB-2 gul	18	0,2	5,7	4,9		
13-02-98	MB-2 gul	18	0,4	9,2	7,9		
17-12-98	MB-2 gul	16	1,7	40,0	34,3		
12-02-99	MB-2 gul	15	0,03	0,7	0,6		
06-04-99	MB-2 gul	15	0,03	0,7	0,6		
18-05-99	MB-2 gul	20	0,02	0,6	0,5		
11-12-99	MB-2 gul	17	1,0	24,0	20,6		
15-05-00	MB-2 gul	15	0,04	0,9	0,8		
02-11-00	MB-2 gul	20	0,08	2,0	1,7	9,2	11,0
09-12-97	MB-5	15	2,5	60,0	51,5		
11-12-97	MB-5 gul	18	1,8	44,0	37,7		
14-12-97	MB-5 gul	20	1,1	26,7	22,9		
15-12-97	MB-5 gul	20	1,1	26,0	22,3		
08-01-98	MB-5 gul	5	1,0	25,0	21,4		
18-02-98	MB-5 gul	20	0,2	5,5	4,7		
09-08-98	MB-5 gul	6	0,7	17,1	14,7		
13-12-98	MB-5 gul	20	0,6	13,2	11,3		
02-02-99	MB-5 gul	18,5	0,1	1,7	1,4		
03-02-99	MB-5 gul	20	0,1	2,2	1,9		
10-04-99	MB-5 Gul	20	0,04	0,9	0,8		
22-07-99	MB-5 Gul	20	0,05	1,3	1,1		
09-11-99	MB-5 gul	20	0,06	1,5	1,3	14,8	16,0
14-02-98	MB-6	9	0,6	15,0	12,9		
20-02-98	MB-6 gul	19	0,2	5,0	4,3		
22-02-98	MB-6 gul	15	0,8	20,0	17,2		
07-02-99	MB-6 gul	19,00	0,15	3,67	3,14		
10-04-99	MB-6 Gul	12	0,04	1,07	0,92		
07-05-99	MB-6 gul	10	0,04	1,00	0,86	6,5	6,8

Alle målinger

0,6

14,0

12,0

15,6



## 15 Appendix til statusrapport 3

# Appendix 2.1

## Moniteringskema – behandlingsanlæg

TILSYN, DREJØGGADE MASKINRUM											Udført af:		
											Dato: 22-01-99		
Processlinje	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %	PID, ppm	Temp, °C	Vacuum, mbar	Tryk, mbar	Vacc., mbar	Tryk, mbar	Rotameter, m <sup>3</sup> /h	Vortex, m <sup>3</sup>	Vortex, m <sup>3</sup> /h.	Hz
1a	0,4	19,4	0,1	140	18	67		74					30
1b	0,4	19,3	1,9	678	19	68							
2a	0,1	19,9	0	19	19	156		180			2654702	492	40
2b	0,4	19,5	0,1	124	18	150		171					42,5
3a	0,0	20,2	0,2	134	19	158							42,5
4a					17		0,4			0			42,5
4b					28		0,55			50	58605	43	42,5
5a					68		0,25			afvikler i sikkerhed			
5b					>70		0,34			100	218537	160	39,5
Før KF							9,1						
Mellem KF							6						
Efter KF							0,3						
Før Vveksler							2,2						
Beggrund	0	17,8	0	0	+3								

GC-ISO-RUM  
 Tryk i gasflasker  
 Standard, (min 6 bar)  
 Nitrogen  
 Hydrogen

Bemærkninger: SMANS FILTER ER RØD; 1a: KANDE PLASTIKKØLE 16: INKL 2a: KANDE SPINER 20 GENS 26: TRRET - 3a: TRRET.

Fejl: \_\_\_\_\_

Korrigerende handling: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

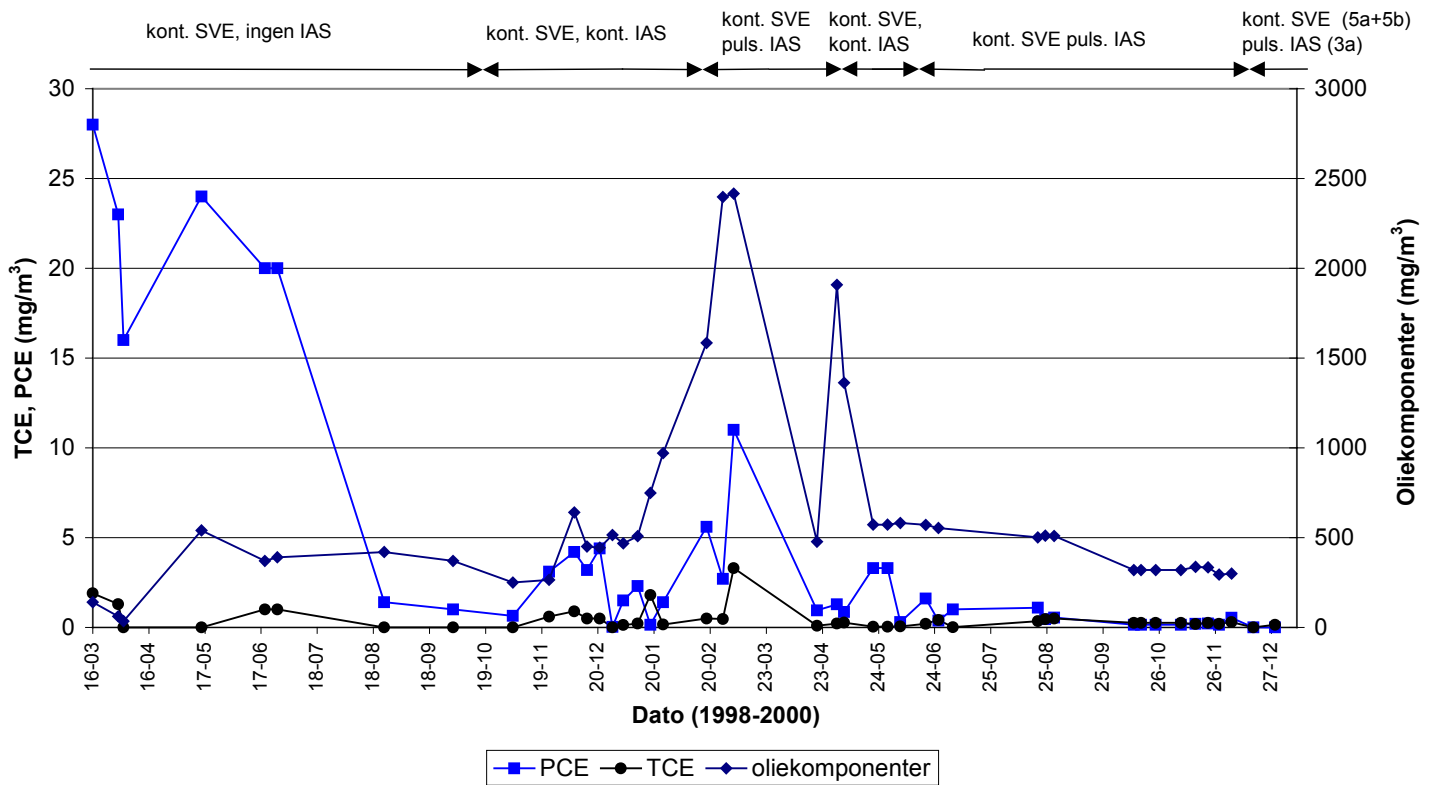
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

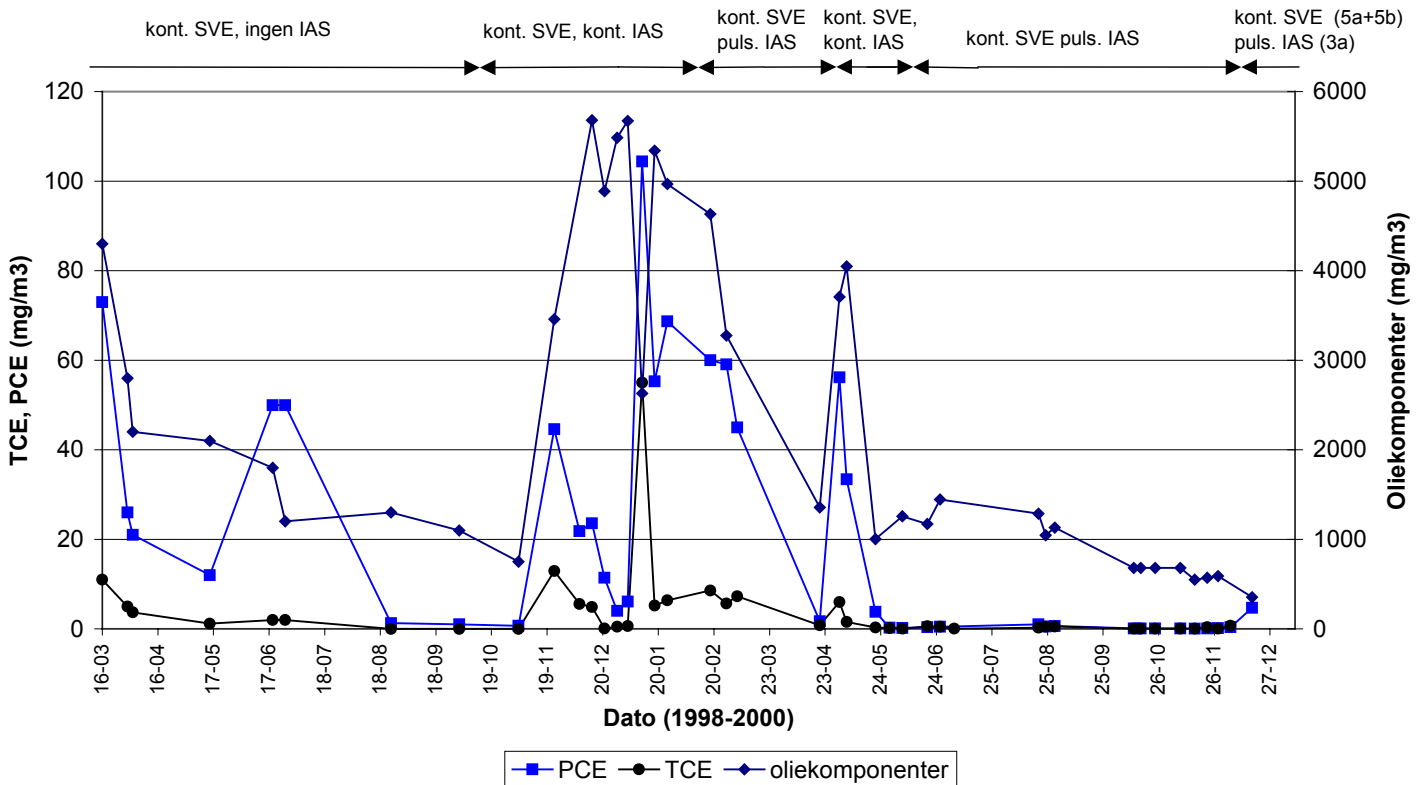
## **Appendix 2.2**

### **Koncentration af PCE, TCE og oliekomponenter**

### Koncentrationen af PCE, TCE og oliekomponenter ved indløb til SVE-filter 1a

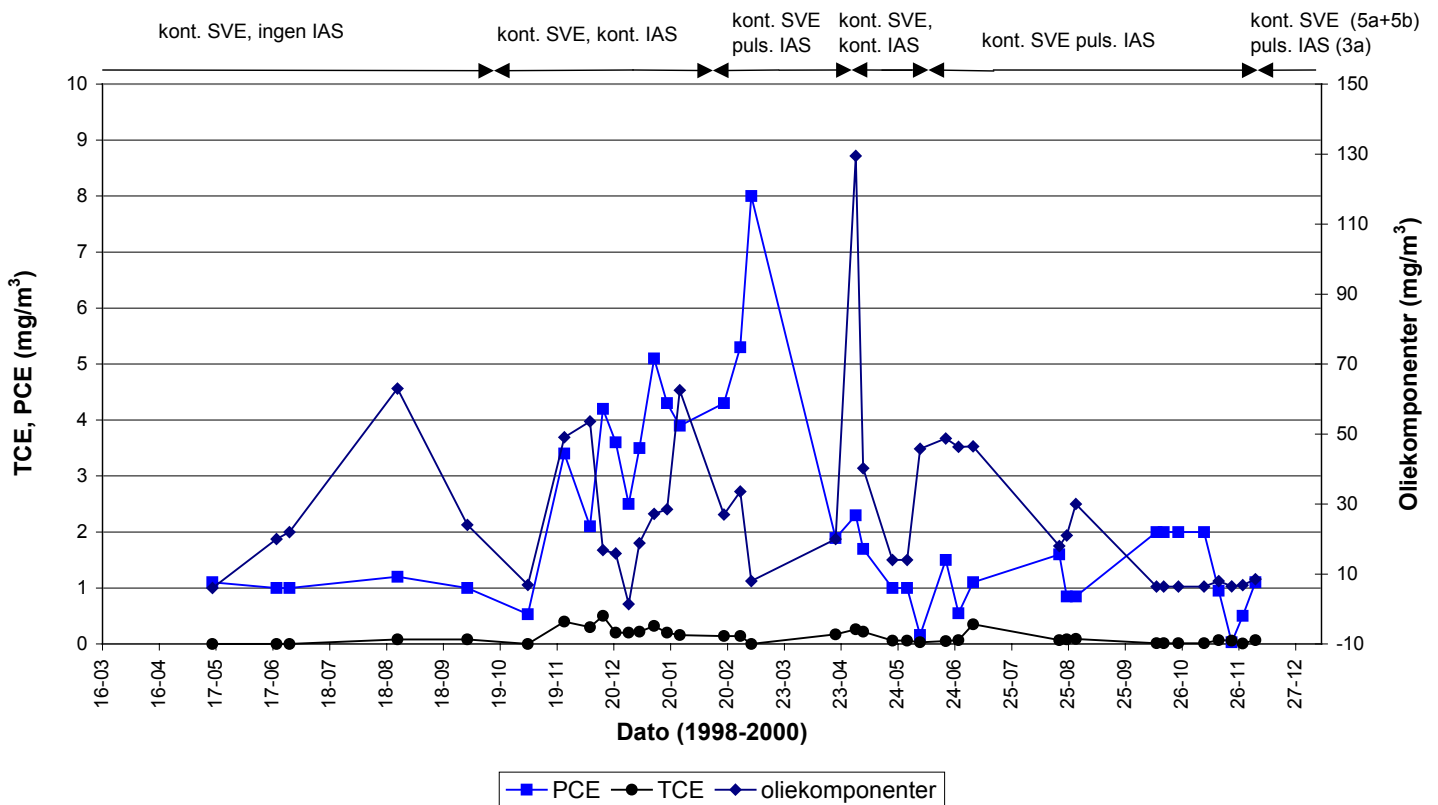


### Koncentrationen af PCE, TCE og oliekomponenter ved indløb til SVE-filter 1b

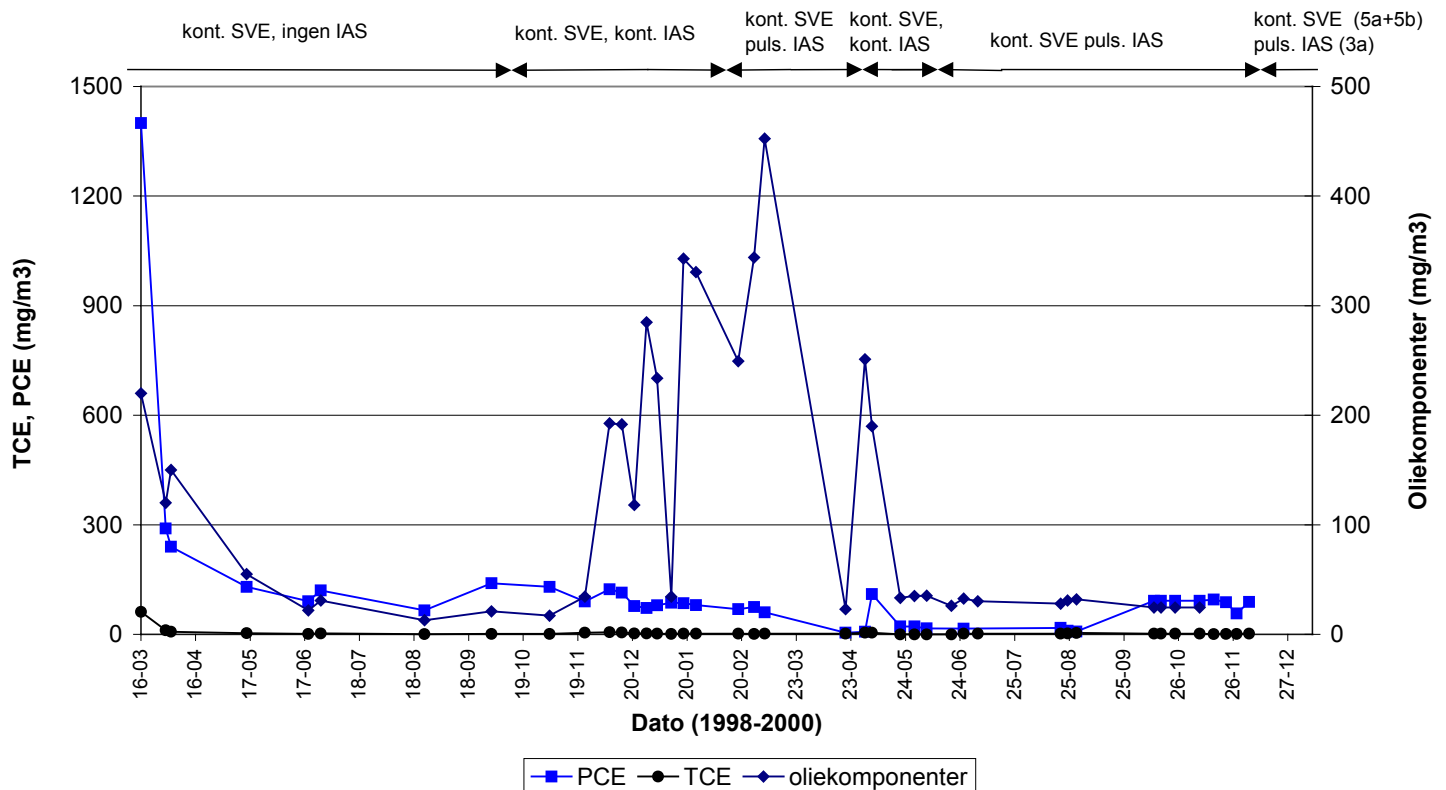




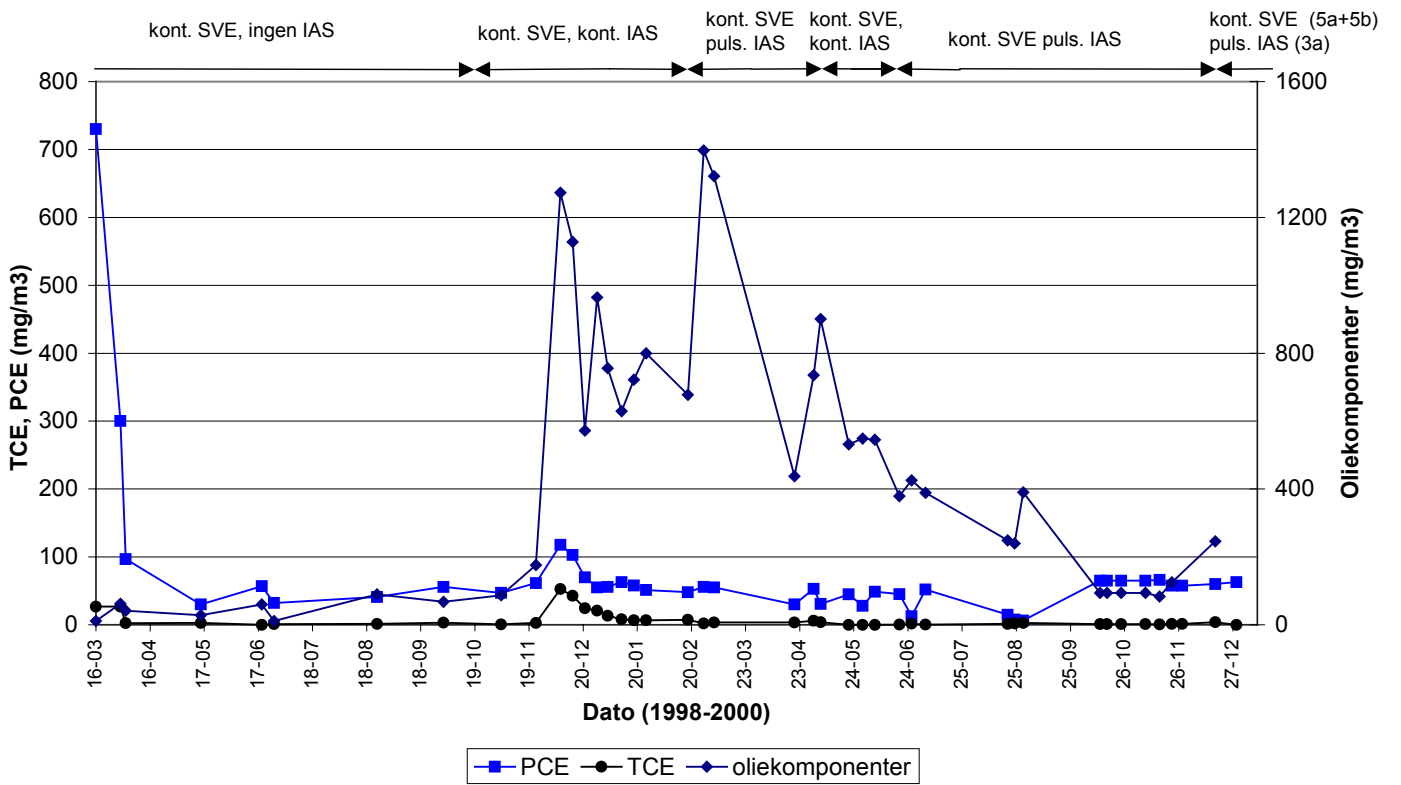
### Koncentrationen af PCE, TCE og oliekomponenter ved indløb til SVE-filter 2a



### Koncentrationen af PCE, TCE og oliekomponenter ved indløb til SVE-filter 2b



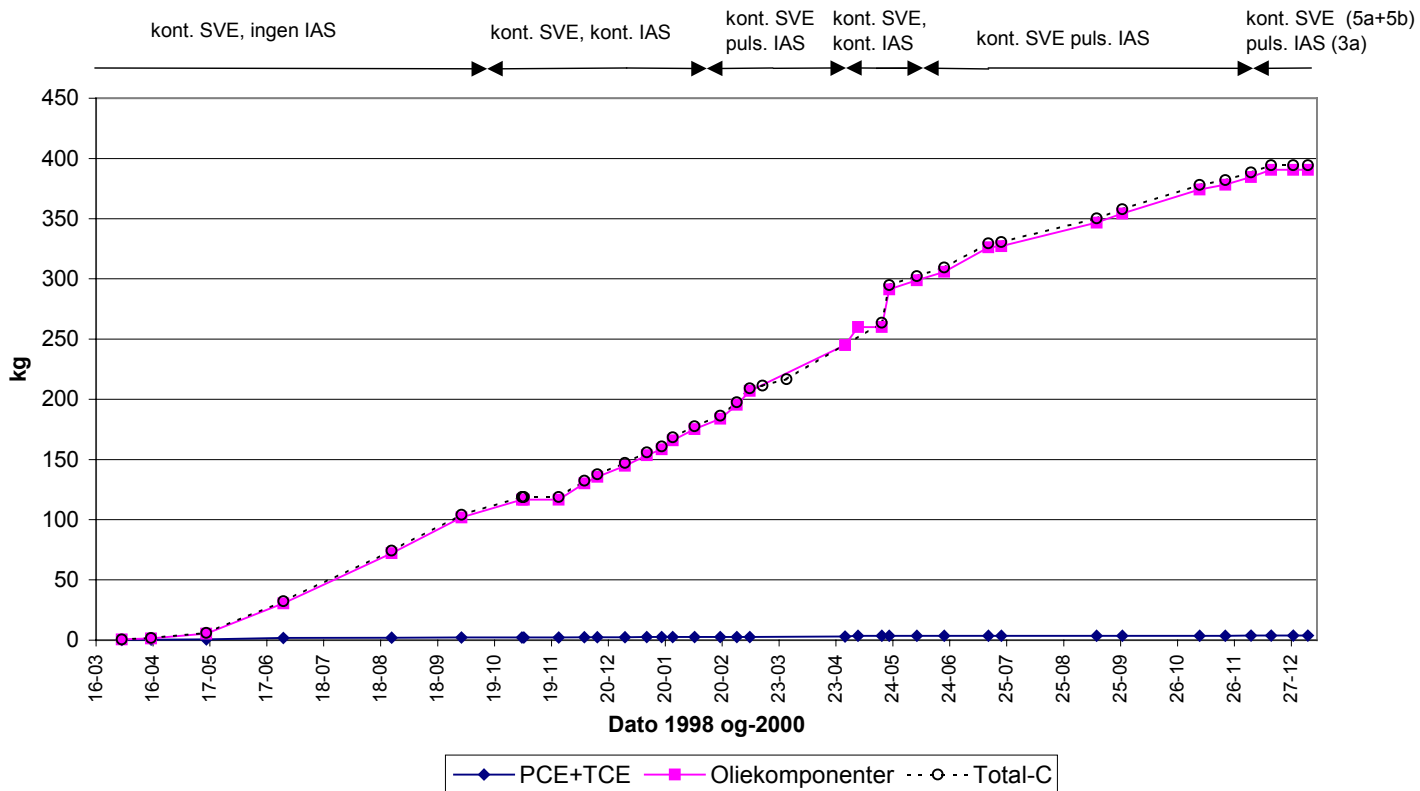
### Koncentrationen af PCE, TCE og oliekomponenter ved indløb til SVE-filter 3a



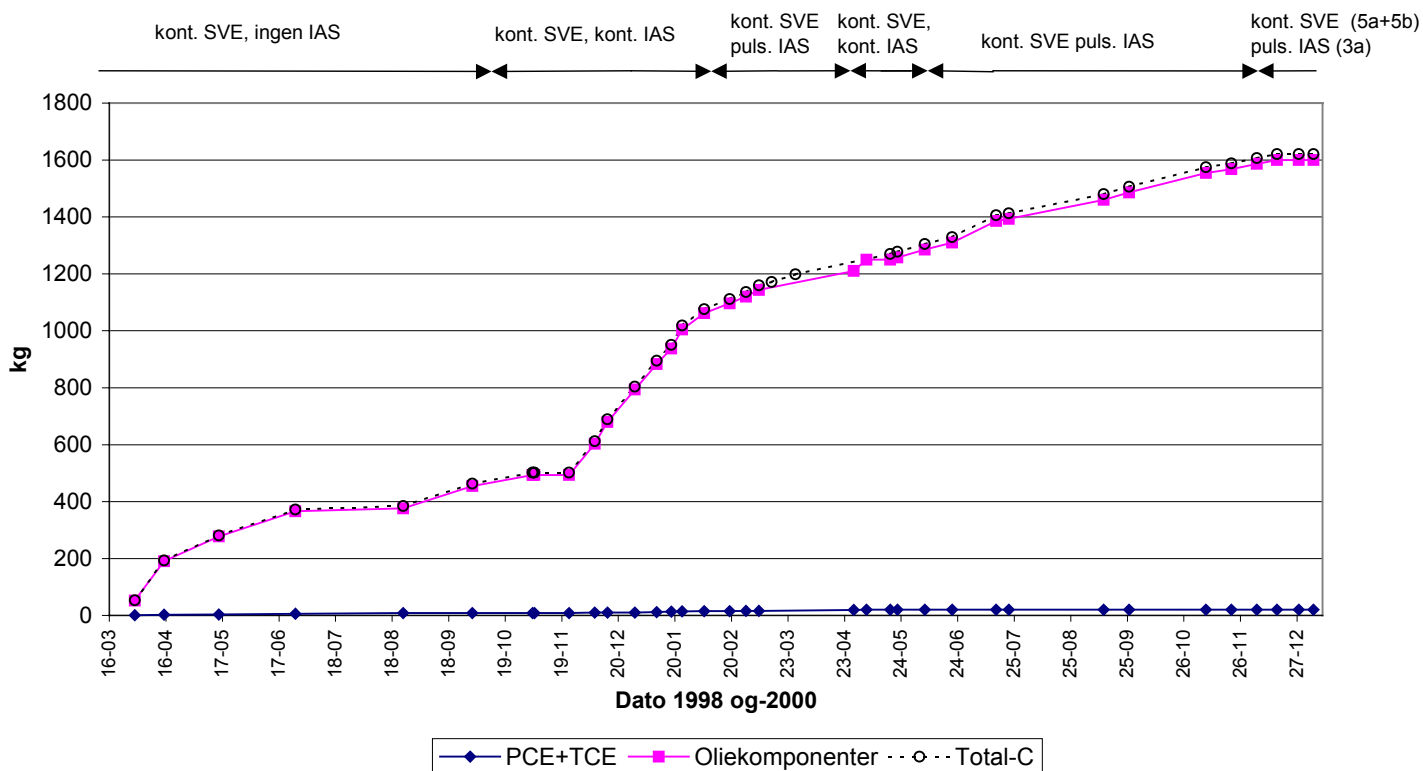
## **Appendix 2.3**

**Akkumuleret massefjernelse fra sydlige hhv. nordlige  
forureningsområde**

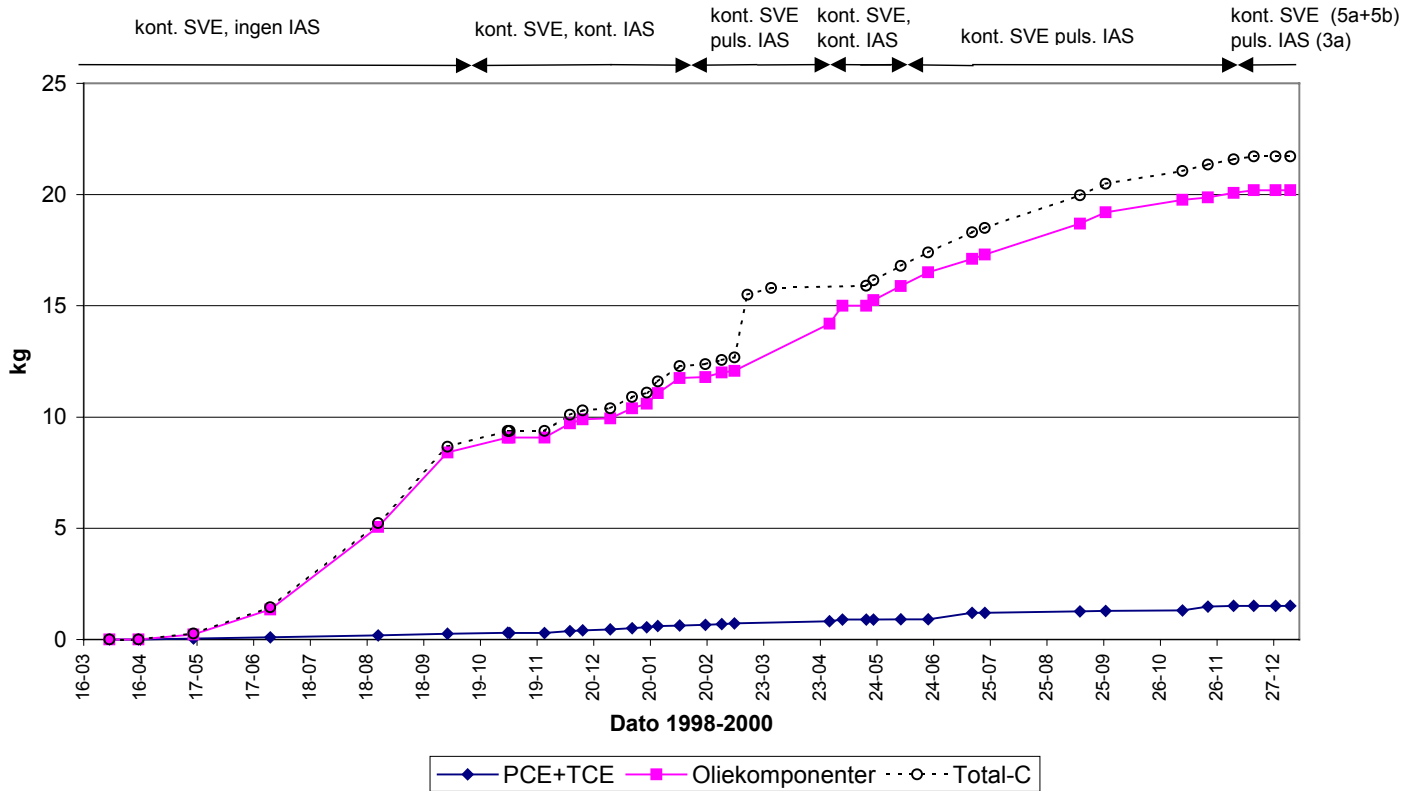
### Akkumulert massefjernelse fra SVE-filter 1a



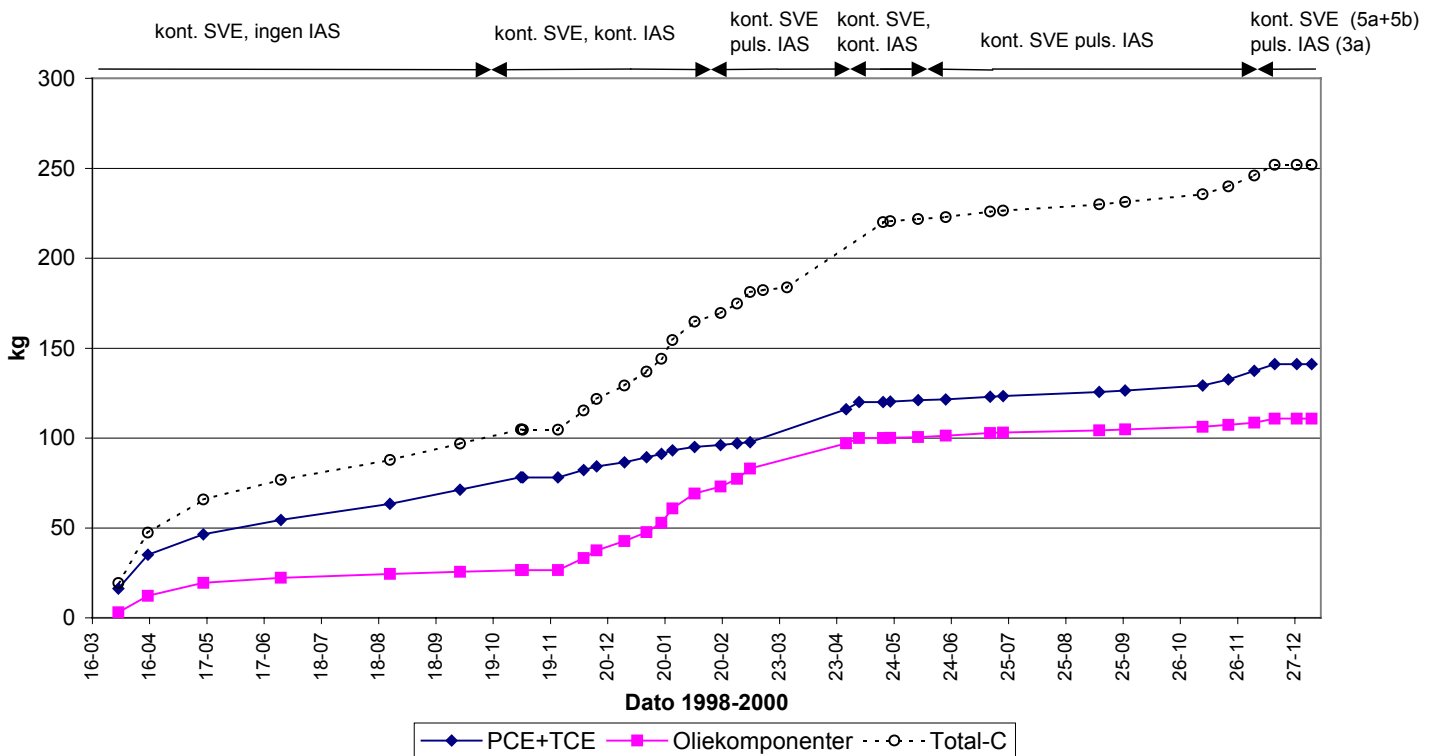
### Akkumulert massefjernelse fra SVE-filter 1b



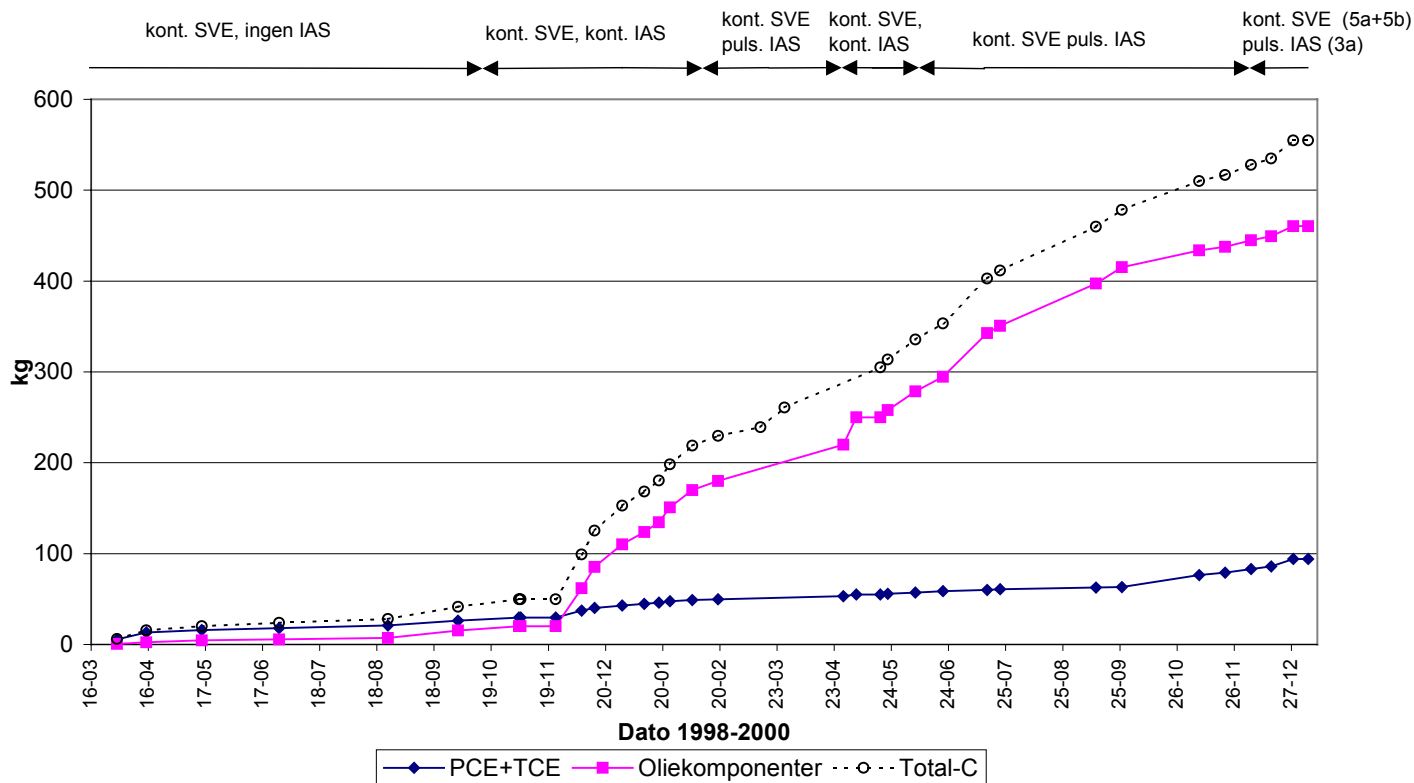
### Akkumulert masejernelse fra SVE-filter 2a



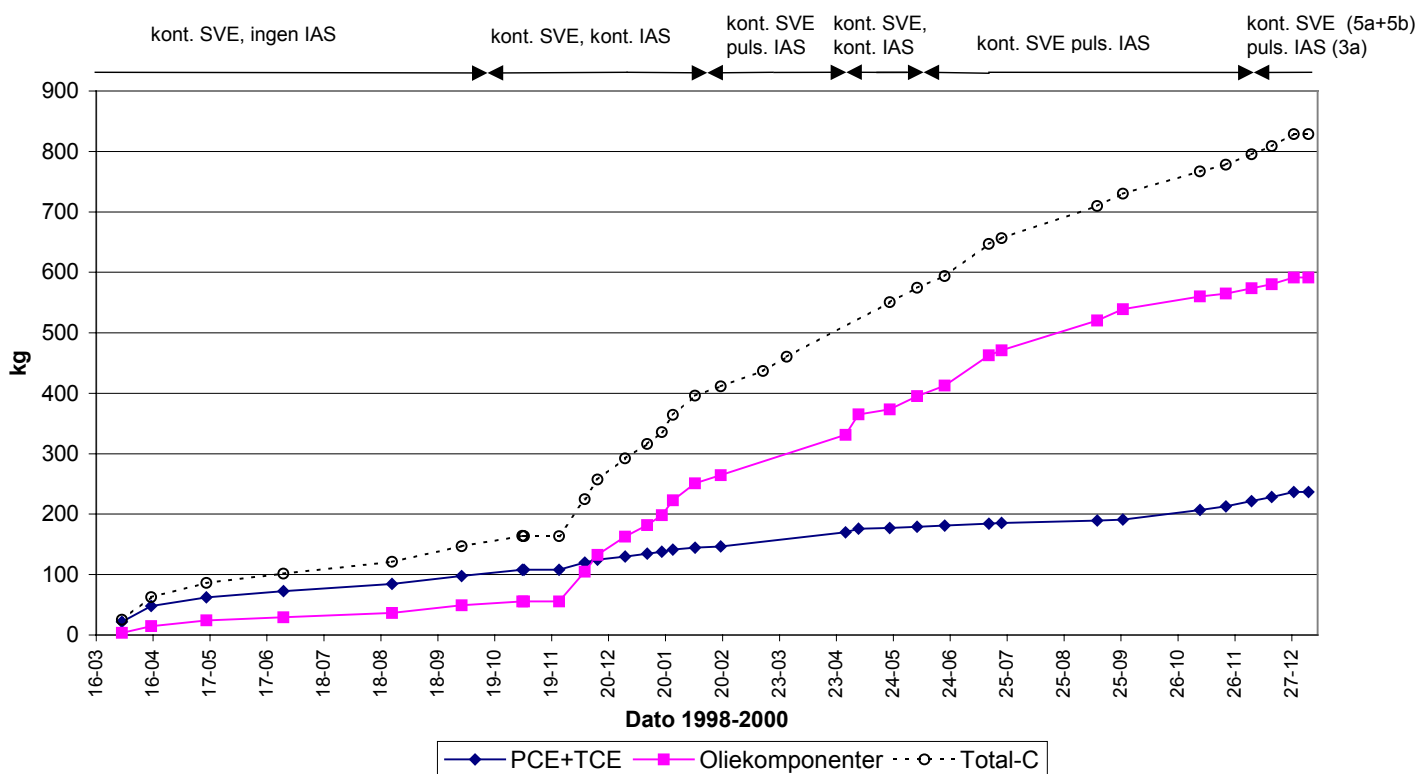
### Akkumulert masejernelse fra SVE-filter 2b



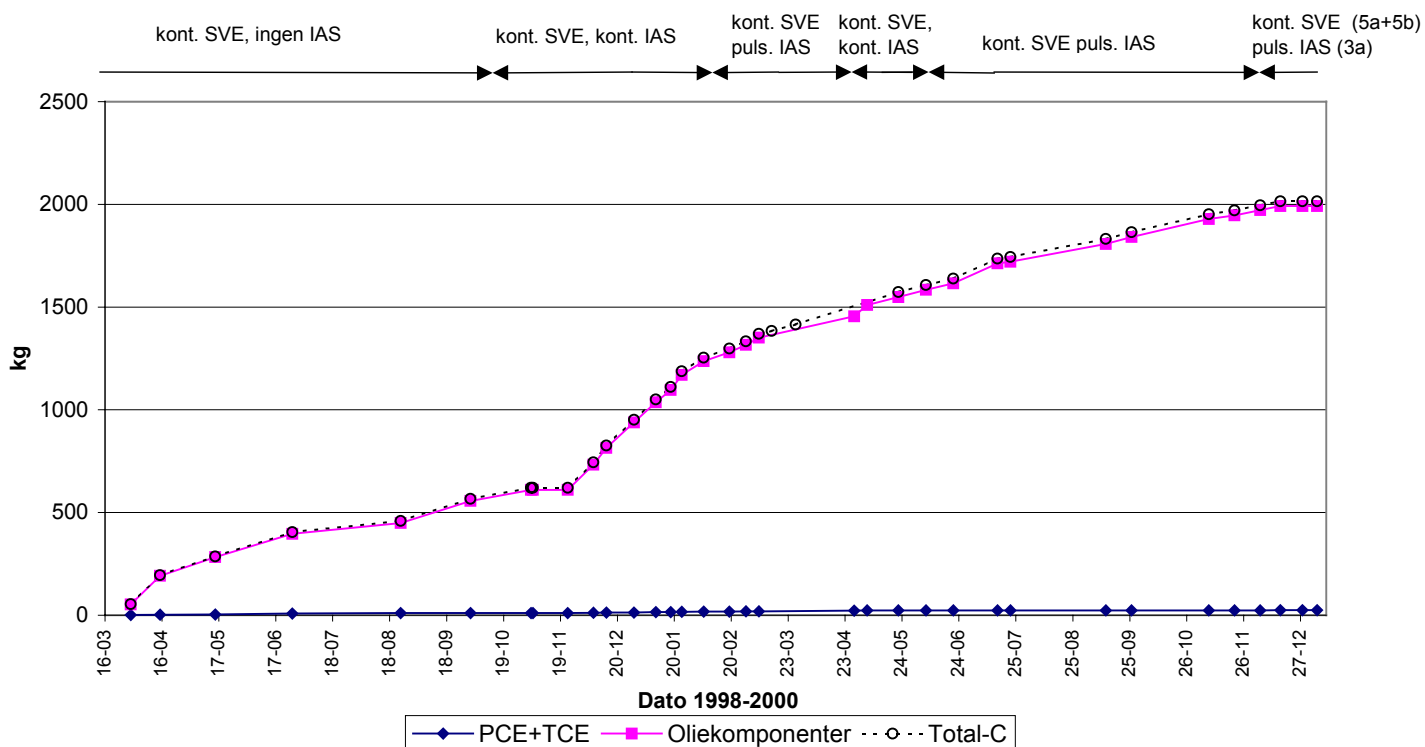
### Akkumulert masefjernelse fra SVE-filter 3a



### Akkumulert massefjernelse fra sydlige forurensingsområde (PCE og TCE) - Sum af SVE-filter 2a + 2b + 3a



## Akkumulert massefjernelse fra nordlige forureningsområde (olieforurening) - Sum SVE-filter 1a + 1b

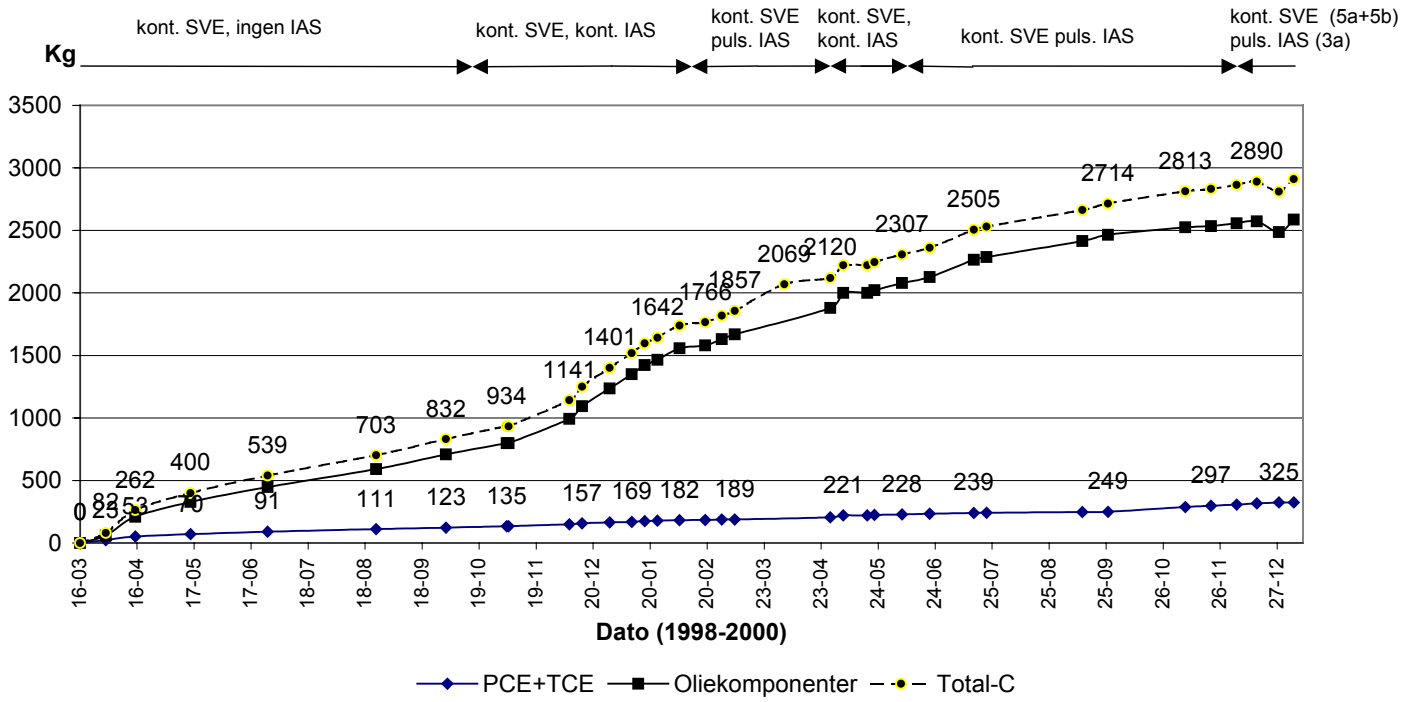


## **Appendix 2.4**

### **Akkumulert massefjernelse fra depotet**



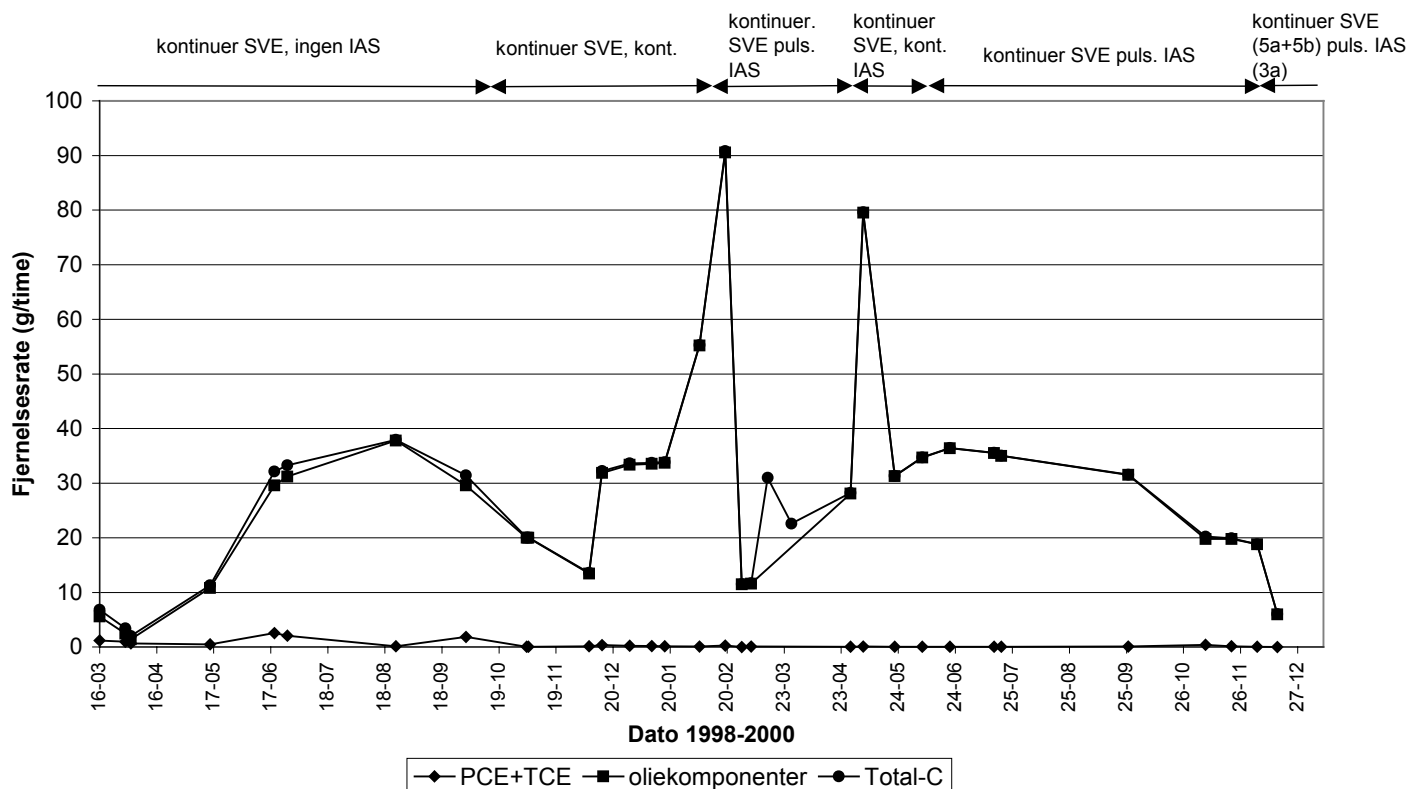
### Akkumulert massefjernelse på depotet



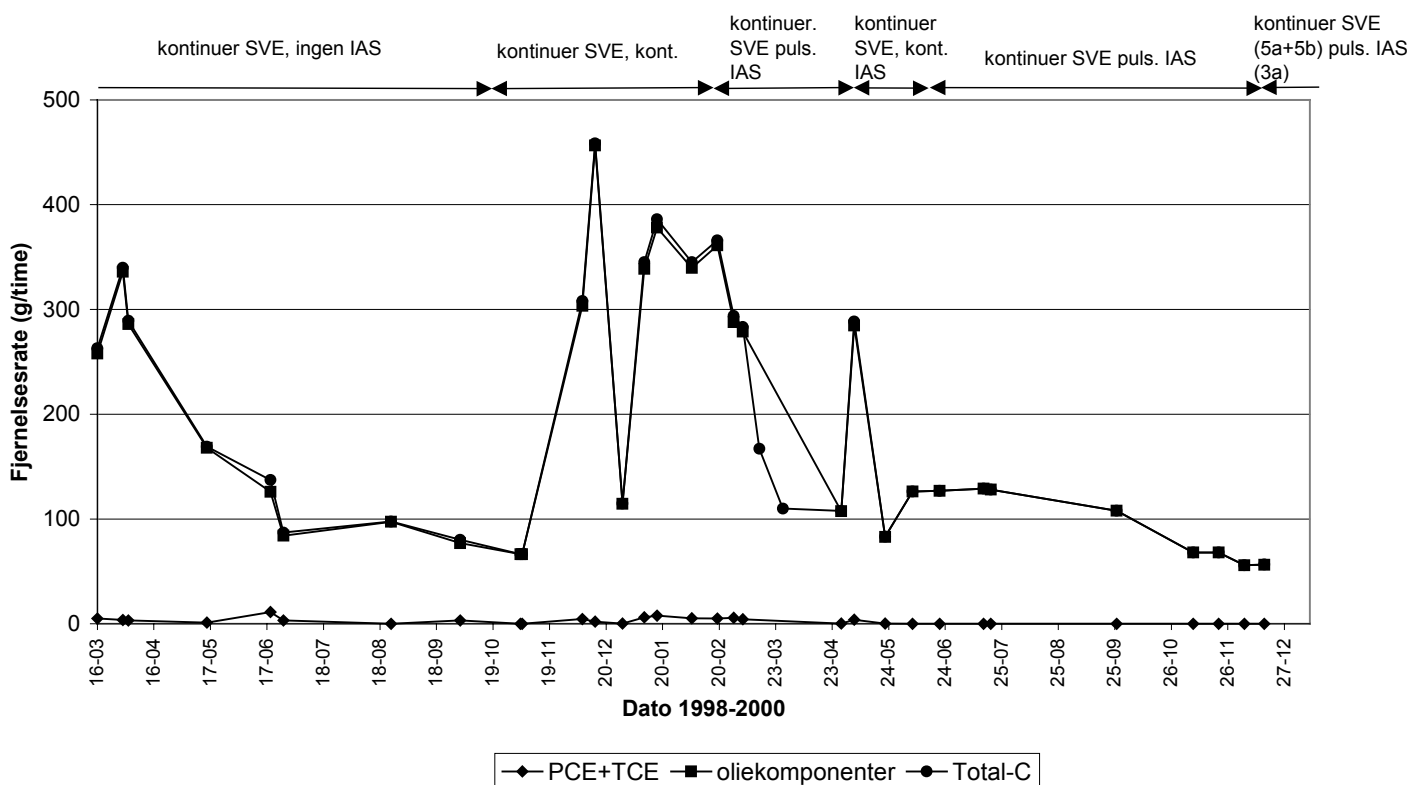
## **Appendix 2.5**

### **Fjernelsesrate på sydlige hhv. nordlige forureningsområde**

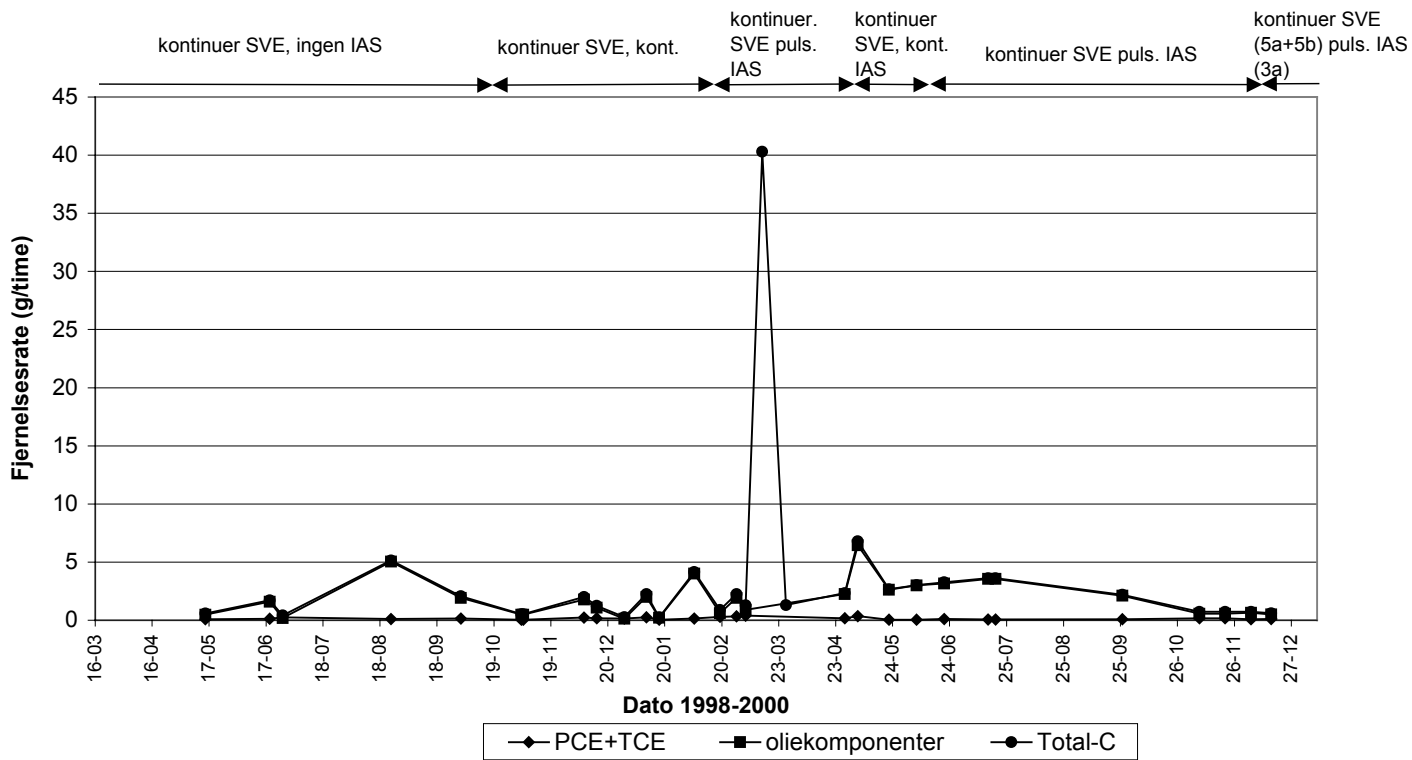
### Fjernelsesrate fra nordlige forureningsområde (olieforurening) SVE-filter 1a



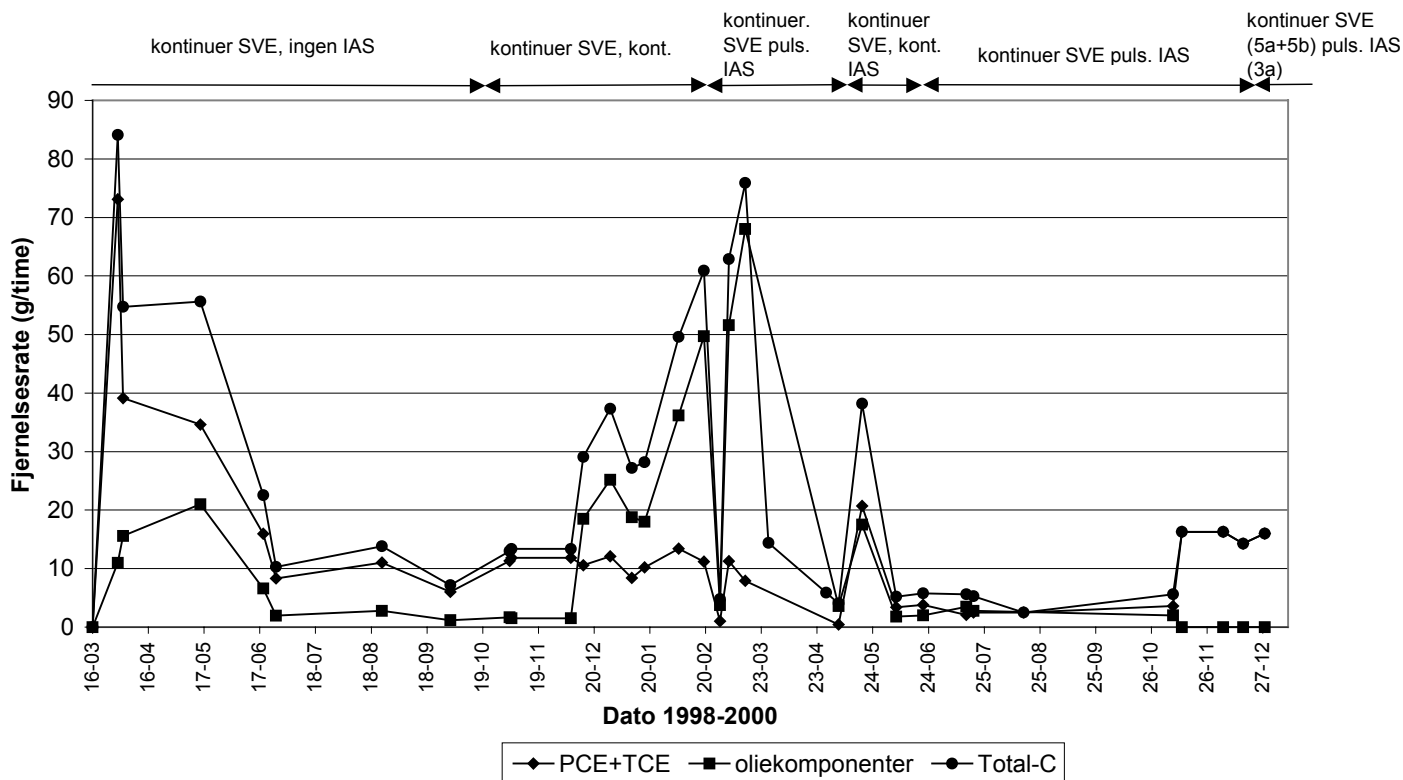
### Fjernelsesrate fra nordlige forureningsområde (olieforurening) SVE-filter 1b



### Fjernelsesrate fra sydlige forureningsområde (PCE-TCE forurening) SVE-filter 2a



### Fjernelsesrate fra sydlige forureningsområde (PCE-TCE forurening) SVE-filter 2b

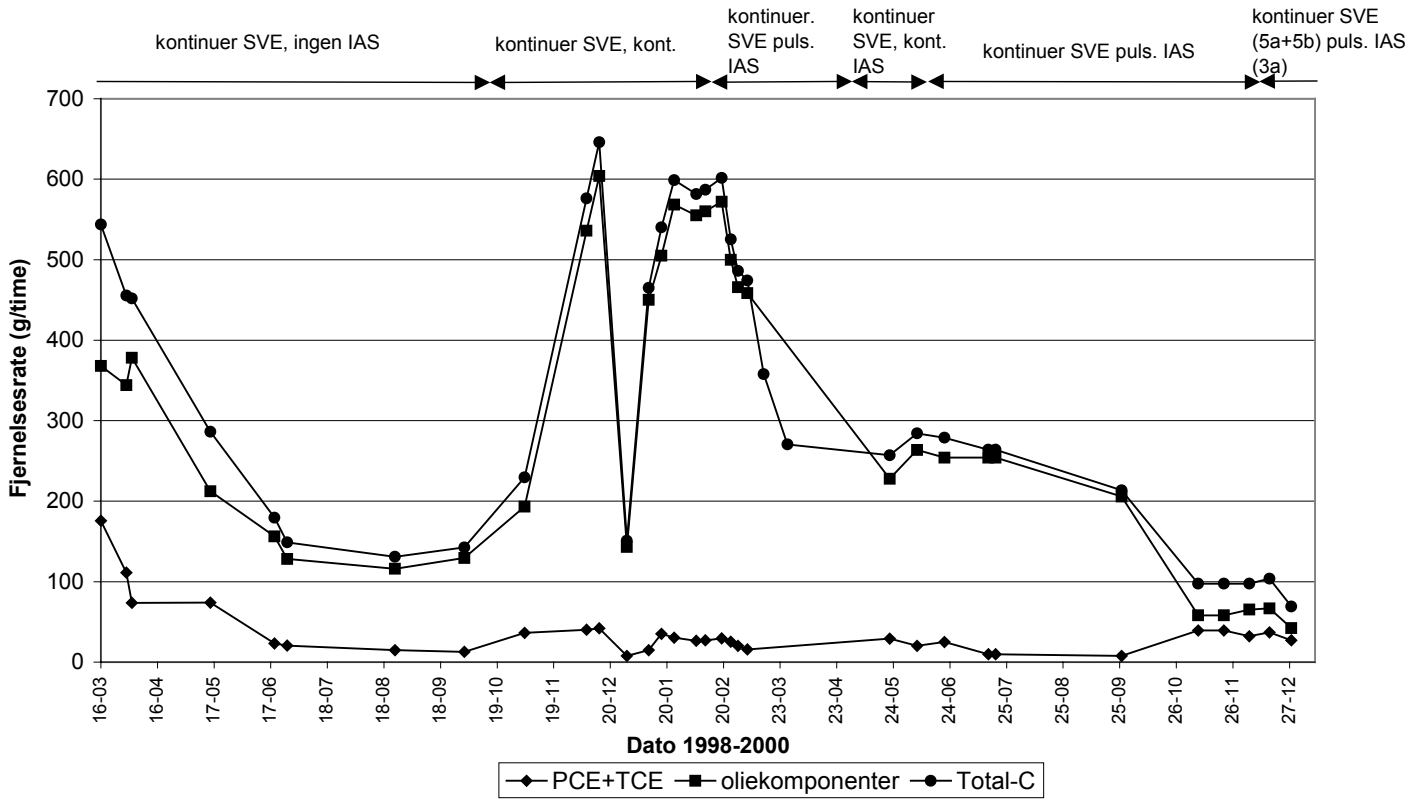




## **Appendix 2.6**

### **Samlet fjernelsesrate på depotet**

### Samlet fjernelsesrate på depotet



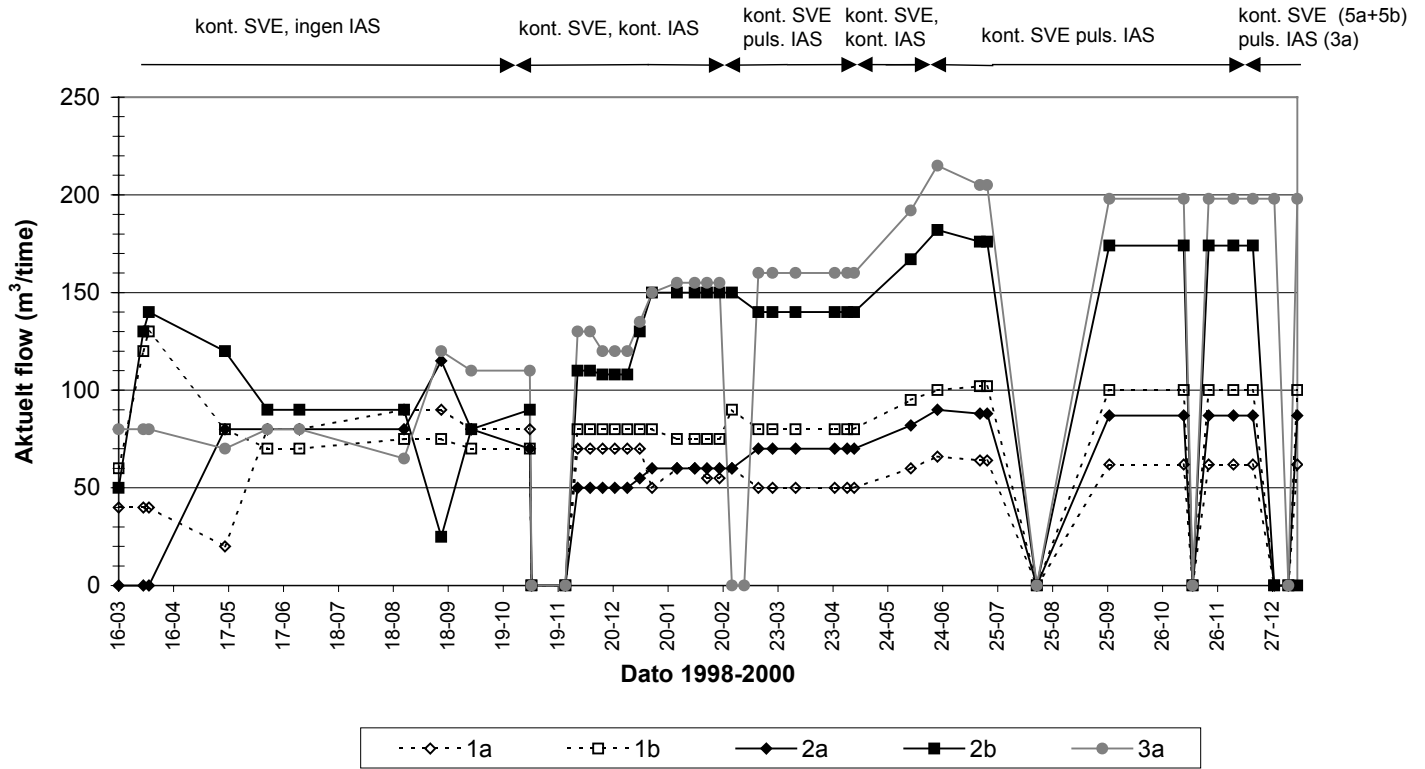
## **Appendix 2.7**

### **Ekstraheret poreluftmængde fra hvert SVE-filter**



# Ekstraheret poreluftmængde fra hvert SVE-filter

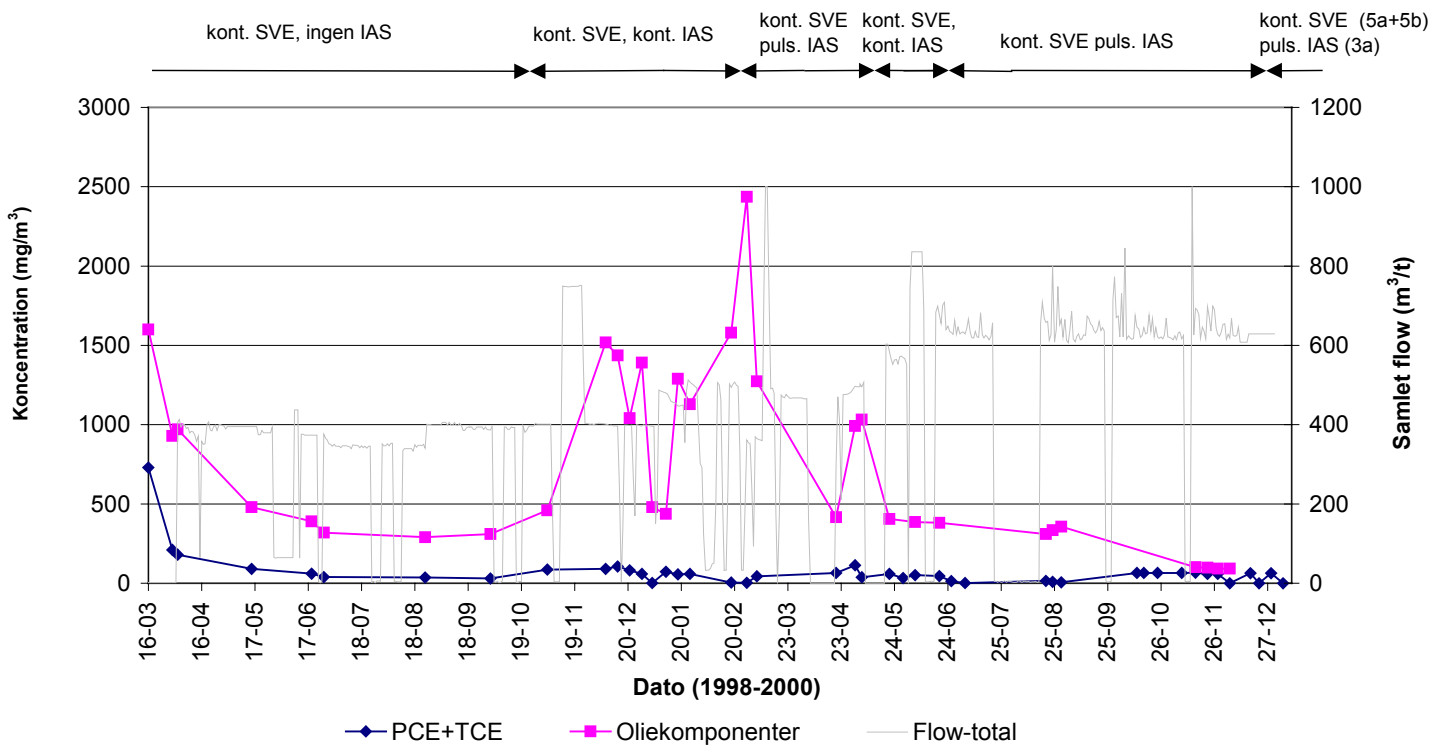
Kun perioder med længerevarende driftstop angives



## **Appendix 2.8**

### **Koncentrationer og luftflow fra de i alt 5 SVE-filtre**

## Koncentration og luftflow fra de i alt 5 SVE-filtre



## Appendix 3.1

### Moniteringsskemaer – feltmålinger

ANALYSERUNDE NR :  
PERIODE (UGE/ÅR) :

4

19 / 1999

PRØVETAGNINGSDATA  
PORELUFTPRØVER

Dato : 18/5/1999

SAG : Drejøgade 3-5

Sag nr. :96.114.01

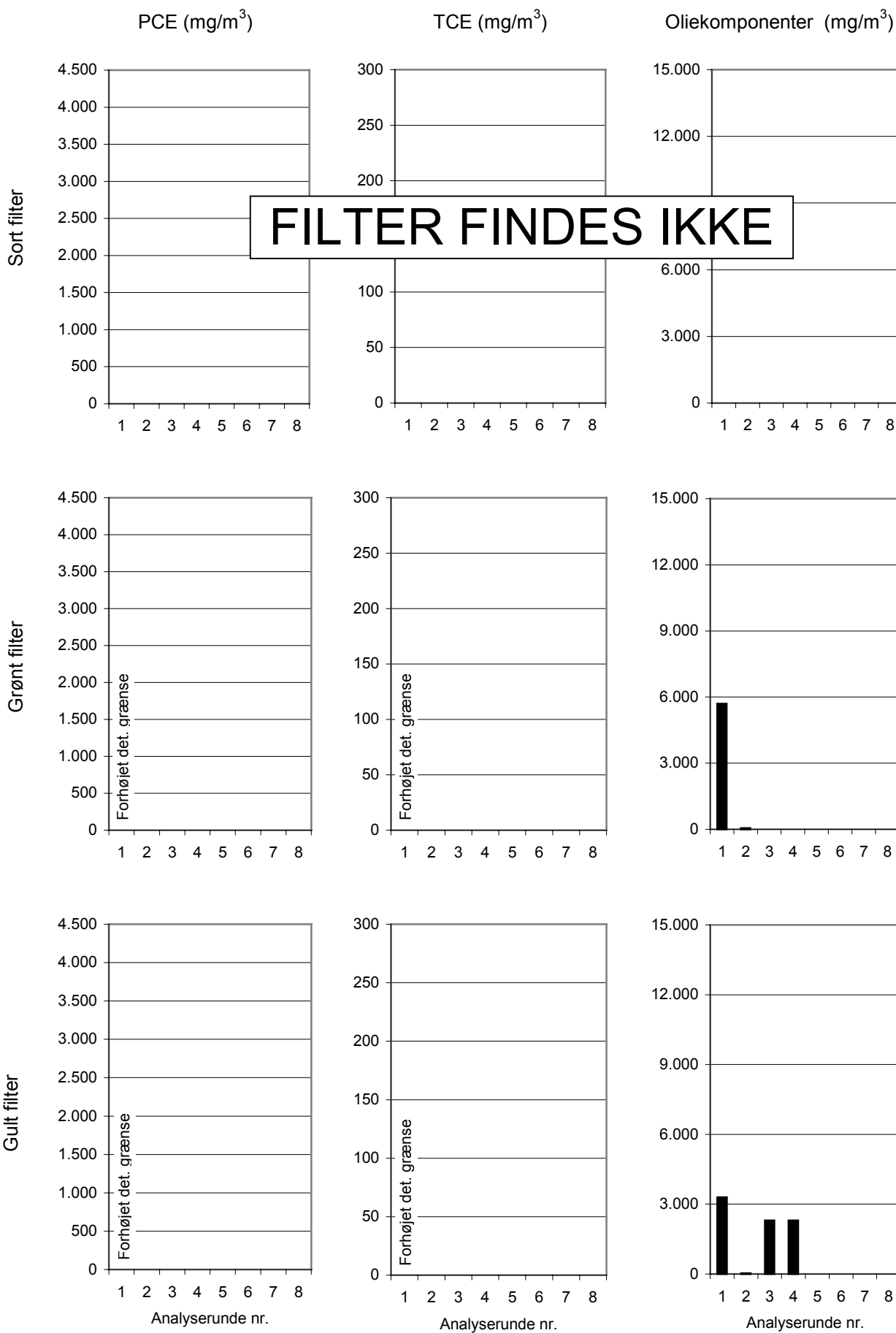
Init.:BME

Borings nr.	Filterfarve	Dato	Pumpevacuum	Pumpetid	PID	Ilt	Kuldioxid	Methan	Bemærkninger
		(-)	(mBar)	(min.)	(ppm)	(vol %)	(vol %)	(vol %)	
MB-1	Grøn	11-05-99	200	2	4,7	18,7	0,2	0,0	PID baggr. 8,6
	Gul	11-05-99	175	2	153	11,3	4,9	0,0	PID baggr. 8,6
MB-2	Sort	11-05-99	150	2	3,8	19,0	0,3	0,0	PID baggr. 4,3
	Grøn	11-05-99	175	2	3,4	18,5	0,1	0,0	PID baggr. 4,3
MB-3	Gul	11-05-99	200	2	122	15,9	2,2	0,0	PID baggr. 4,3
	Sort	11-05-99	125	2	0,6	20,2	0,1	0,0	
MB-4	Grøn	11-05-99	150	2	0,5	19,1	0,7	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,5	18,7	1,1	0,0	
MB-5	Sort	11-05-99	200	2	0,3	18,9	0,6	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	0,3	19,4	0,3	0,0	
MB-6	Gul	11-05-99	200	2	0,3	19,7	0,1	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	2,6	16,3	0,7	0,0	
MB-7	Gul	11-05-99	150	2	307	8,7	5,9	0,1	
	Grøn	11-05-99	150	2	7,3	17,6	0,4	0,0	PID baggr. 12
MB-8	Gul	11-05-99	200	2	296	10,6	3,0	0,0	PID baggr. 12
	Sort	11-05-99	200	2	0,7	19,0	0,2	0,0	
MB-9	Grøn	11-05-99	175	2	183	17,5	0,1	0,0	
	Gul	11-05-99	281	2	281	16,8	1,1	0,0	
MB-10	Sort	11-05-99	150	2	0,5	19,3	0,1	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	0,5	19,6	0,1	0,0	
MB-11	Gul	11-05-99	200	2	0,7	18,8	0,1	0,0	
	Sort	11-05-99	200	2	0,6	19,4	0,6	0,0	
MB-12	Grøn	11-05-99	200	2	0,8	19,5	0,3	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	3,7	19,7	0,9	0,0	
MB-13	Sort	11-05-99	200	2	0,6	19,0	0,8	0,0	
	Grøn	11-05-99	200	2	0,9	19,7	0,1	0,0	
MB-14	Gul	11-05-99	200	2	0,5	19,6	0,0	0,0	
	Sort	11-05-99	150	2	0,4	19,3	0,3	0,0	
MB-15	Grøn	11-05-99	200	2	0,7	19,0	1,3	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,7	19,3	0,3	0,0	
MB-16	Sort	11-05-99	100	2	0,5	19,2	0,5	0,0	
	Grøn	11-05-99	100	2	0,4	19,6	0,1	0,0	
MB-17	Gul	11-05-99	100	2	0,2	19,0	0,0	0,0	
	Sort	11-05-99	100	2	0,3	19,5	0,0	0,0	
Udeluft	Grøn	11-05-99	100	2	0,6	19,3	0,5	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	1,0	19,5	0,1	0,0	
MB-18	Sort	11-05-99	200	2	0,6	17,3	2,2	0,0	
	Grøn	11-05-99	200	2	0,6	18,2	2,0	0,0	
MB-19	Gul	11-05-99	200	2	2,1	18,0	2,4	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	2,4	19,7	0,0	0,0	PID baggr. 2,0
MB-20	Gul	11-05-99	200	2	2,3	19,6	0,3	0,0	PID baggr. 2,0
	Grøn	11-05-99	175	2	0,3	19,2	0,6	0,0	
MB-21	Grøn	11-05-99	150	2	0,4	18,3	1,6	0,0	

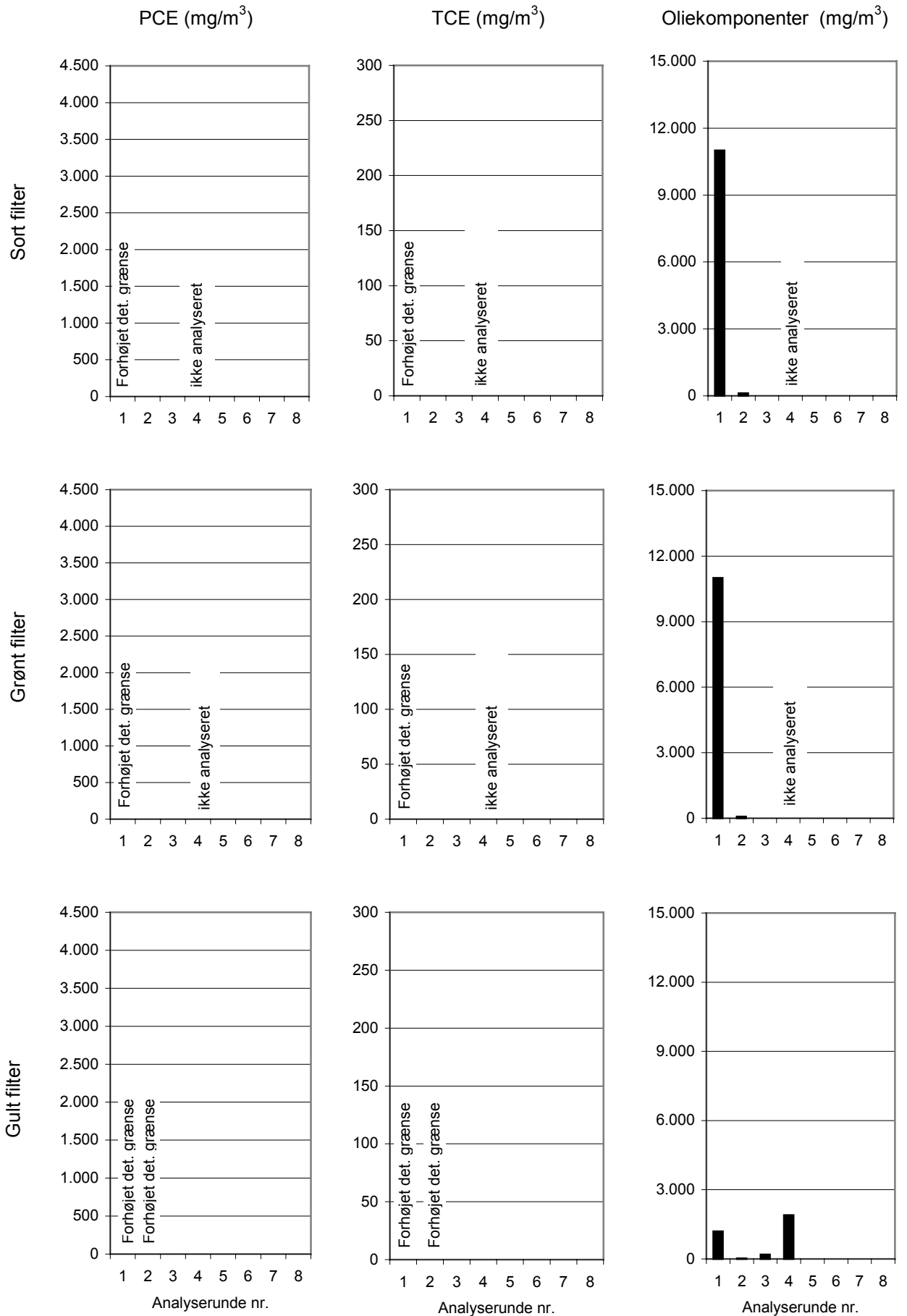
## **Appendix 3.2**

### **Koncentrationer af PCE, TCE og oliekomponenter i poreluften**

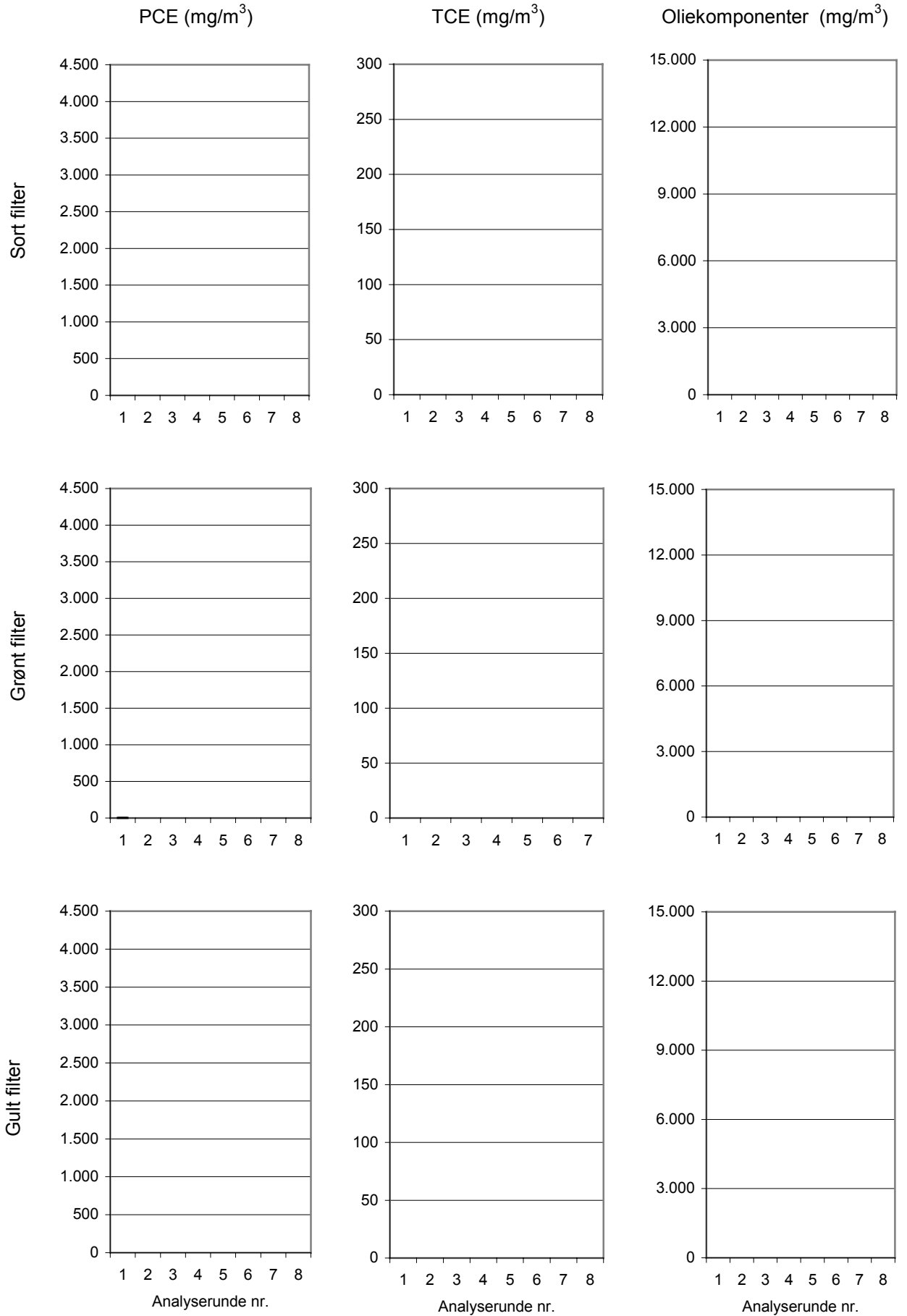
# Moniteringsboring MB1



## Moniteringsboring MB2

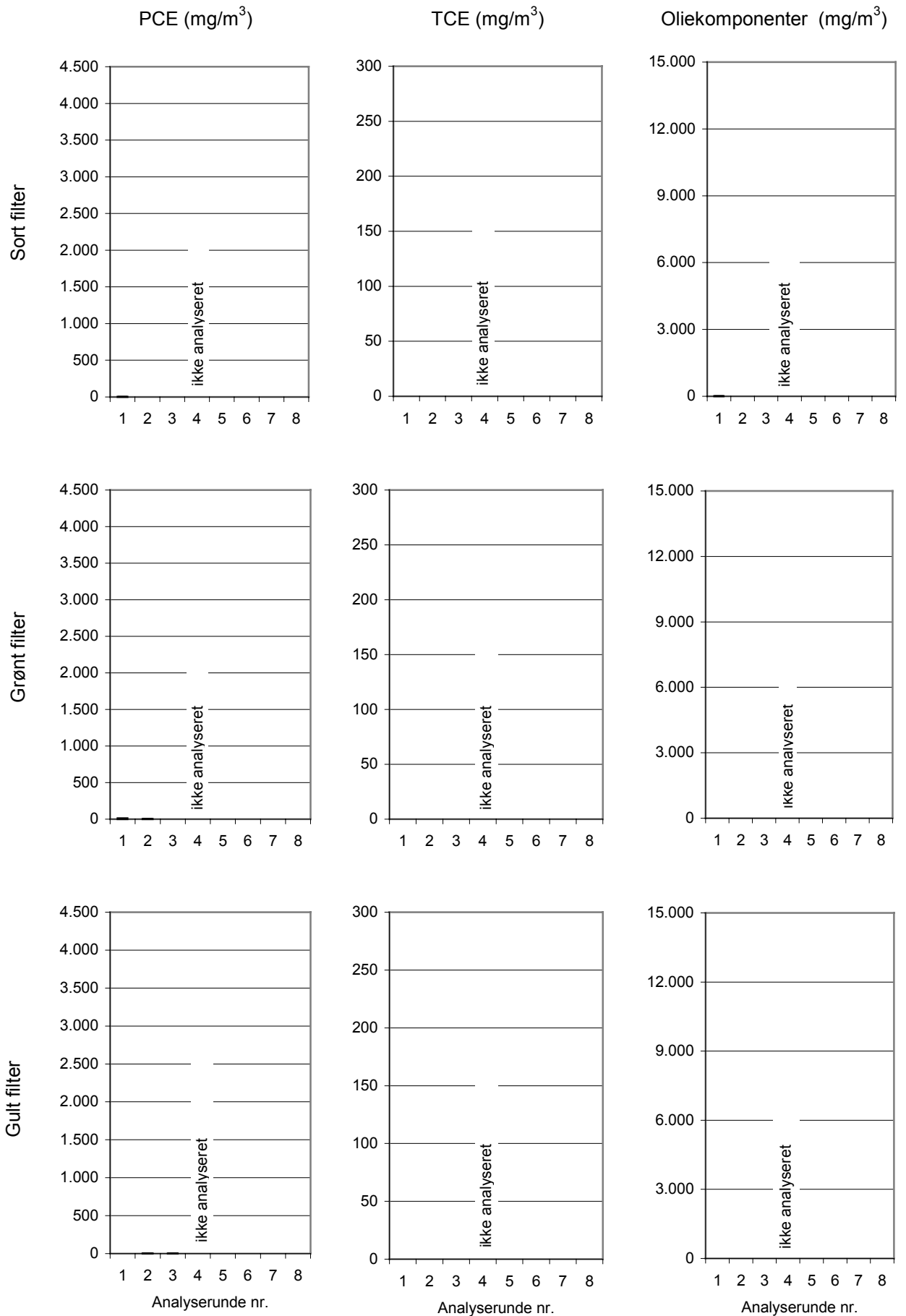


# Moniteringsboring MB3

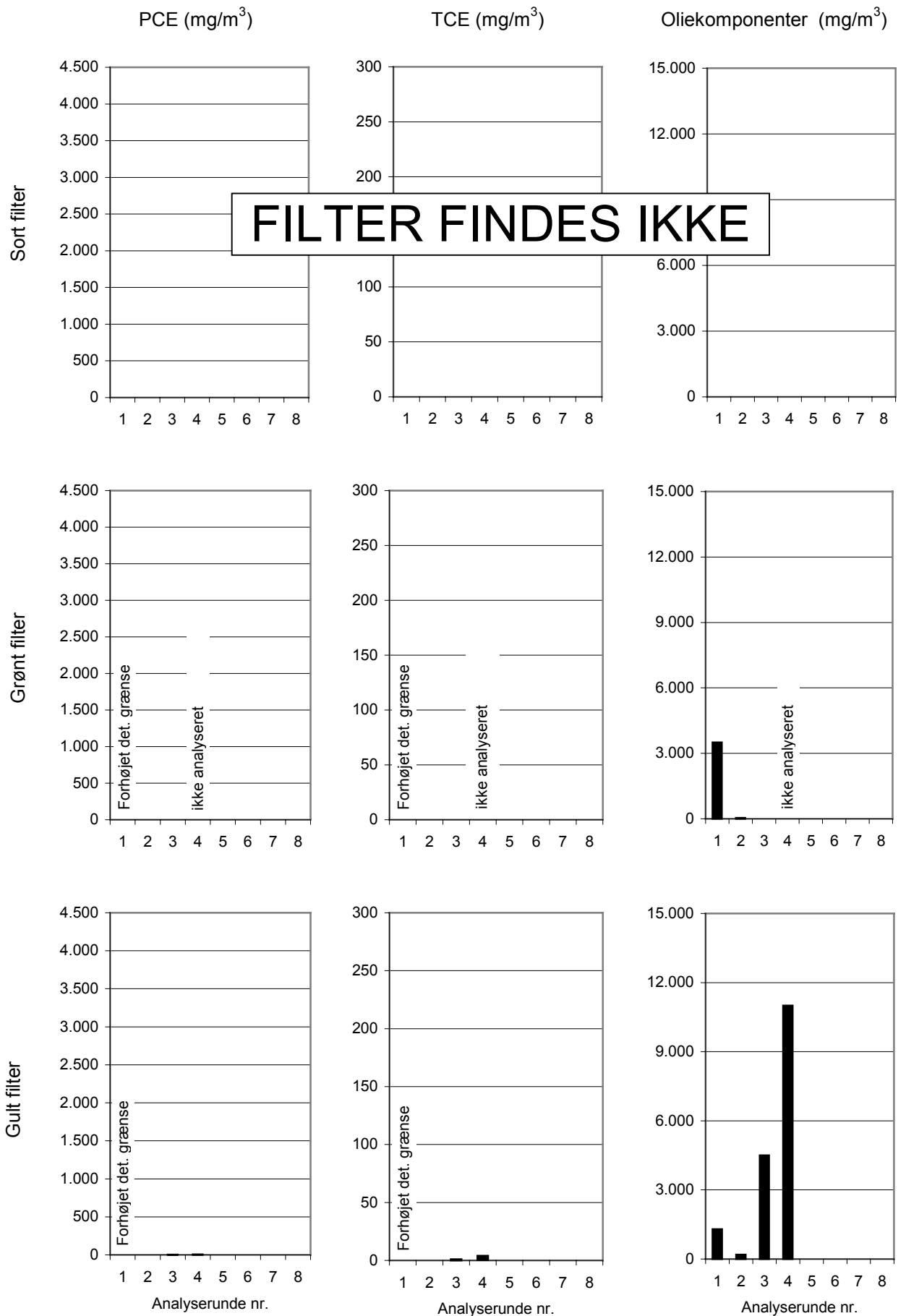




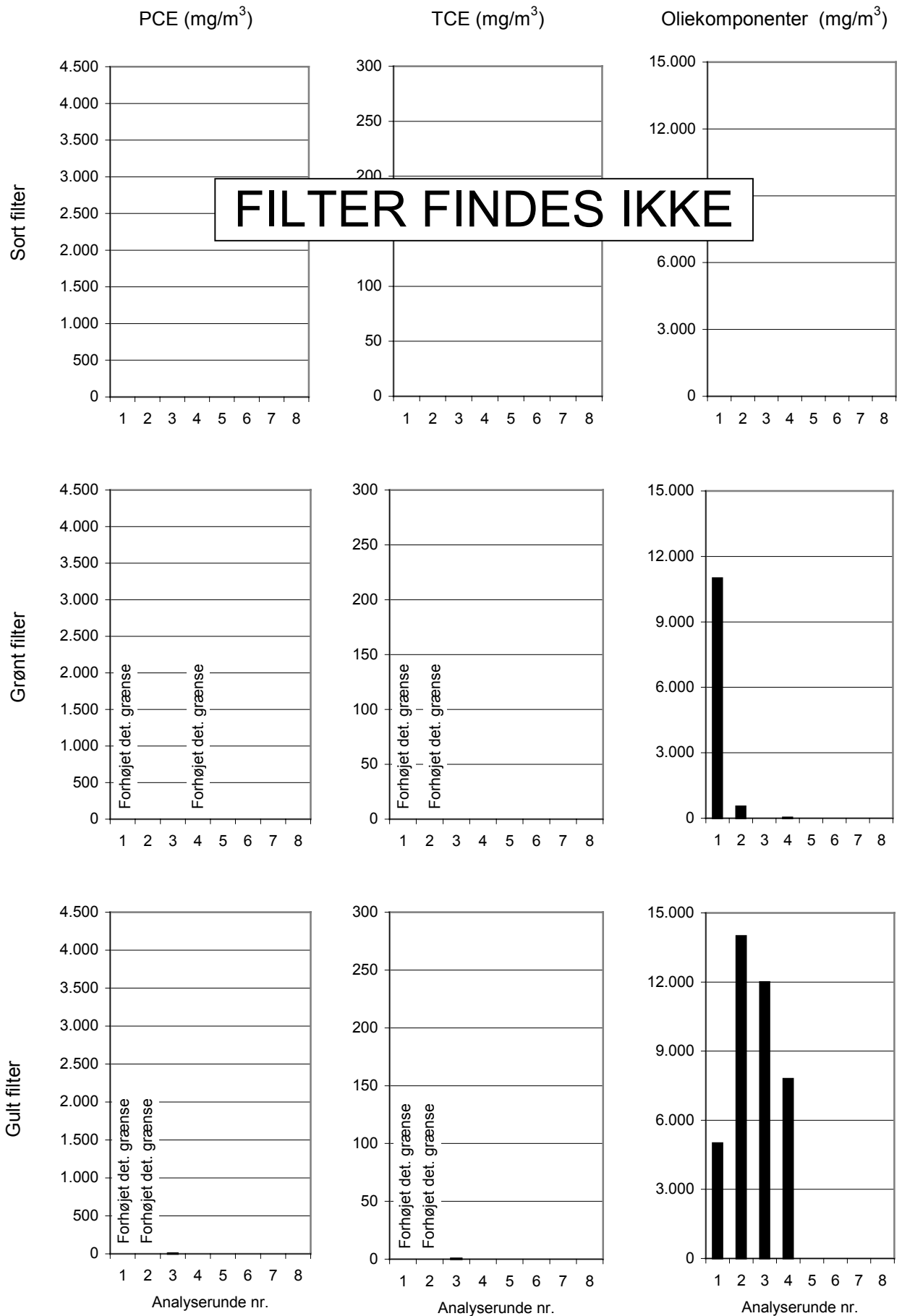
# Moniteringsboring MB4



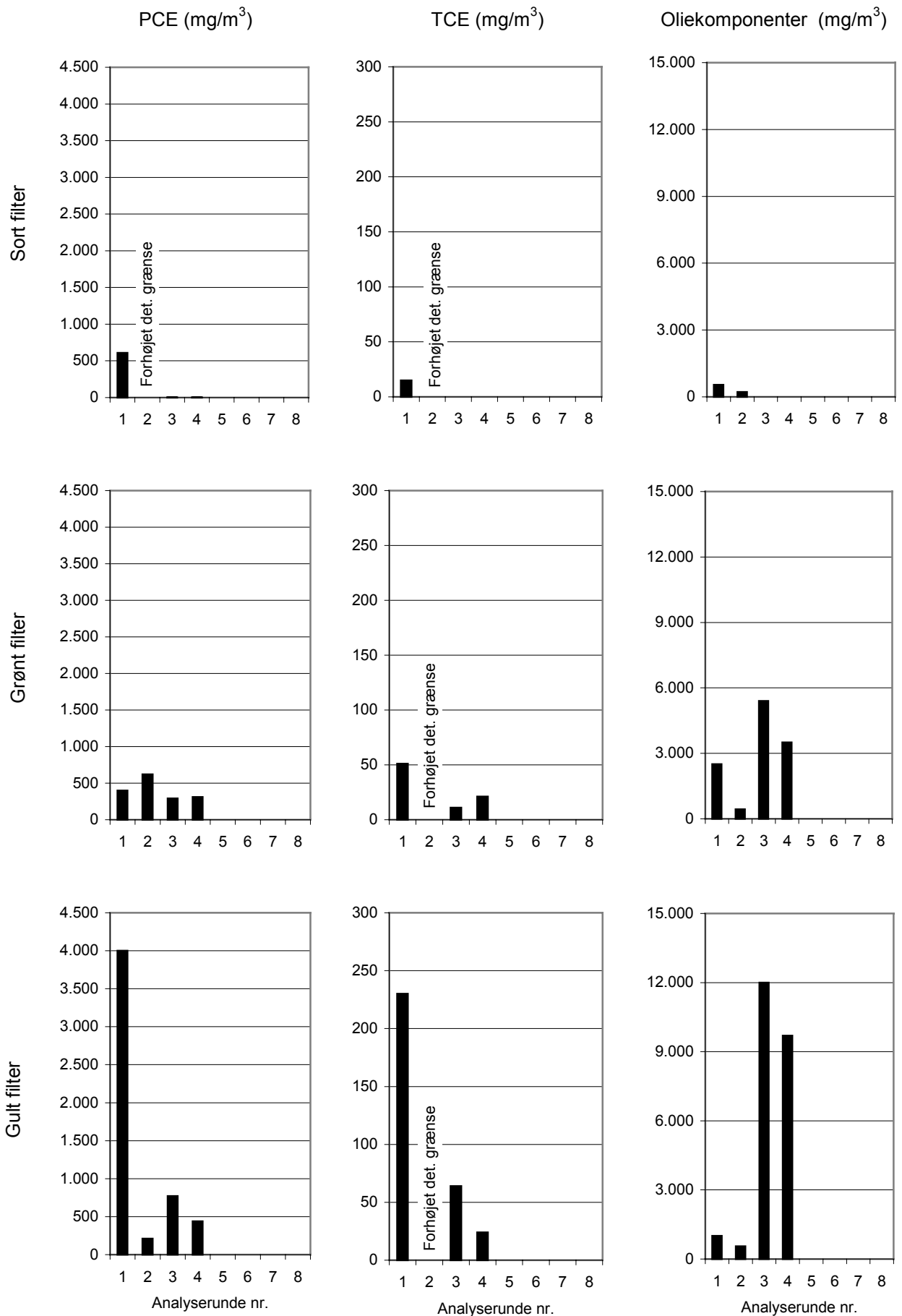
## Moniteringsboring MB5



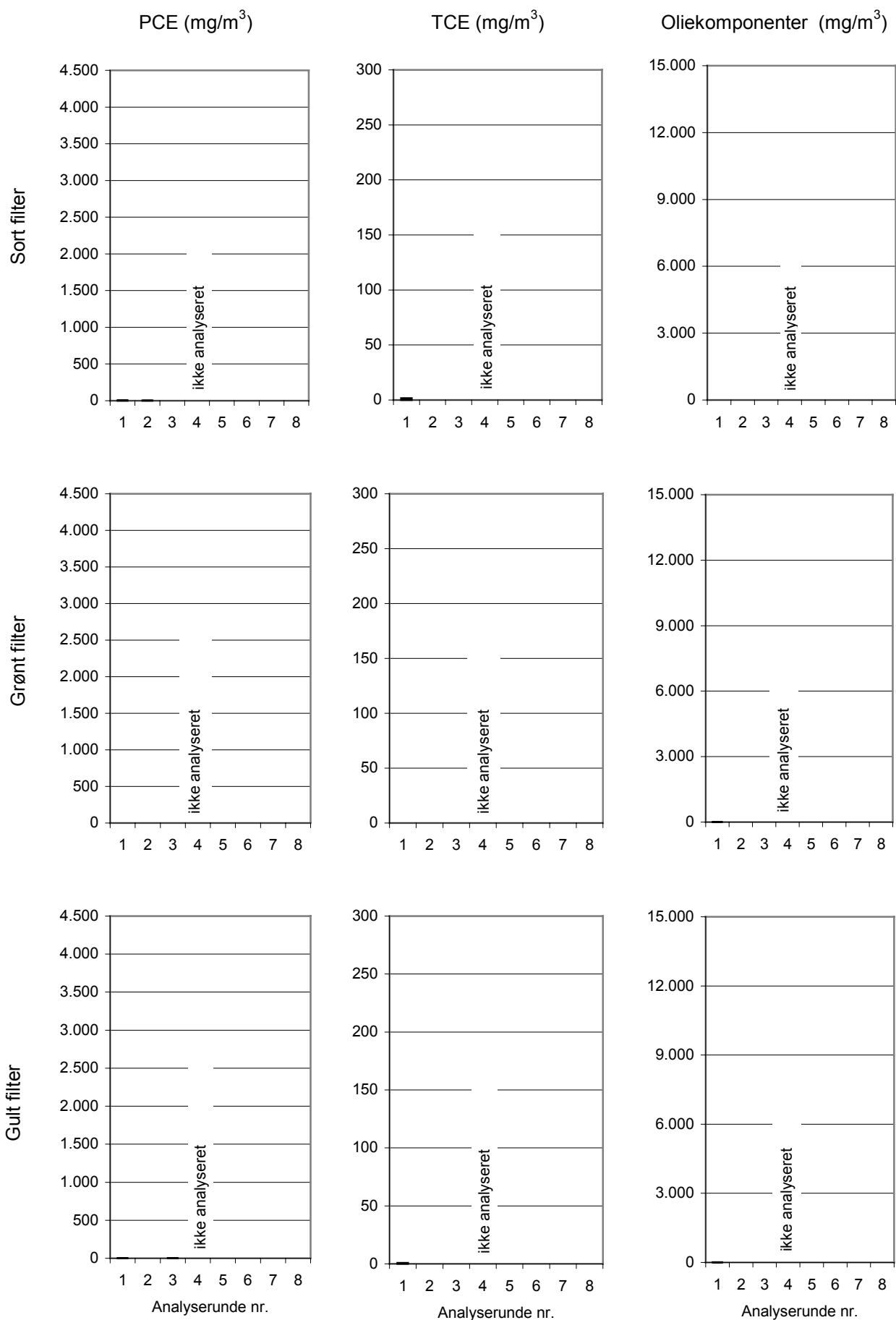
## Moniteringsboring MB6



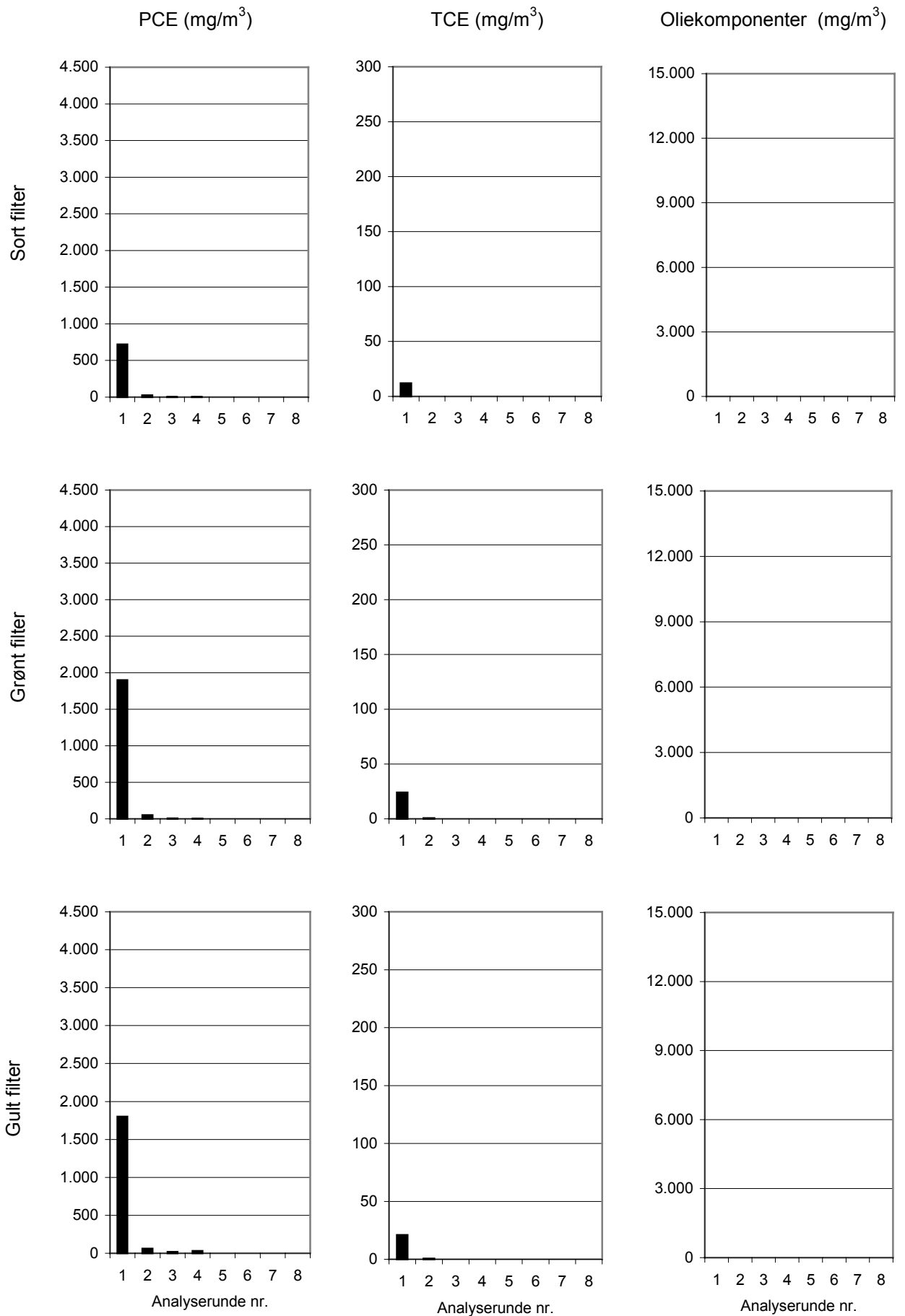
## Moniteringsboring MB7



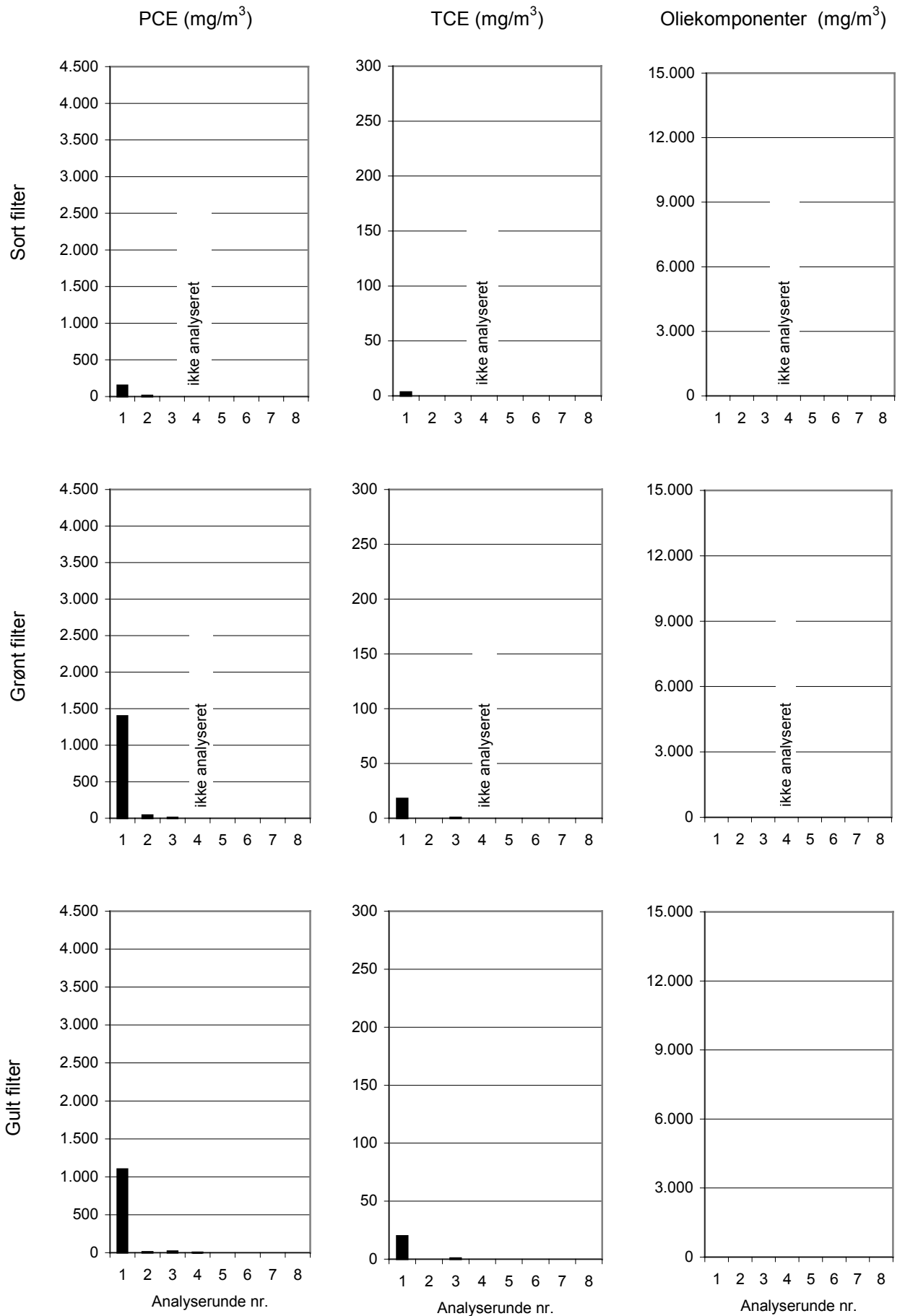
# Moniteringsboring MB8



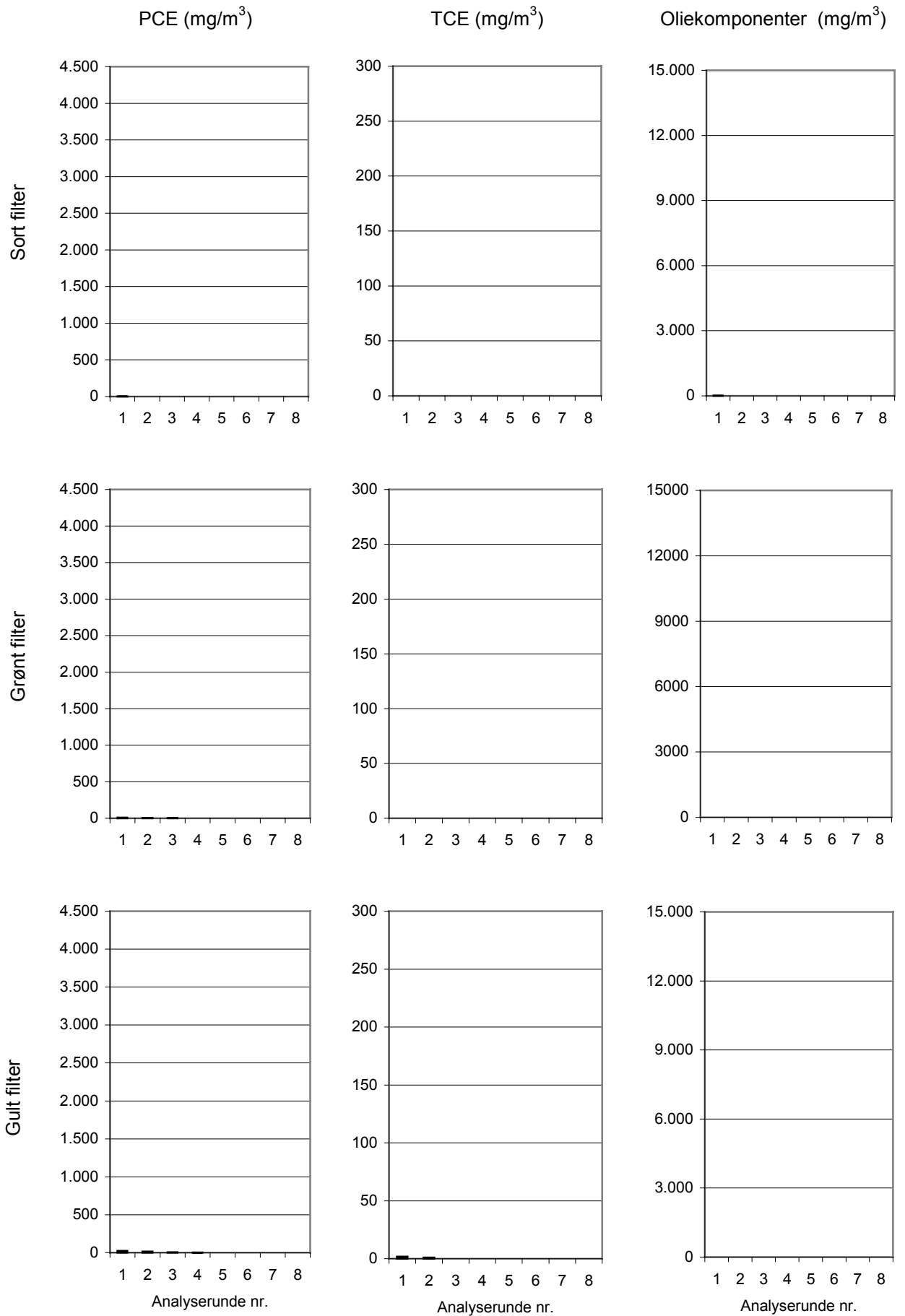
## Moniteringsboring MB9



# Moniteringsboring MB10

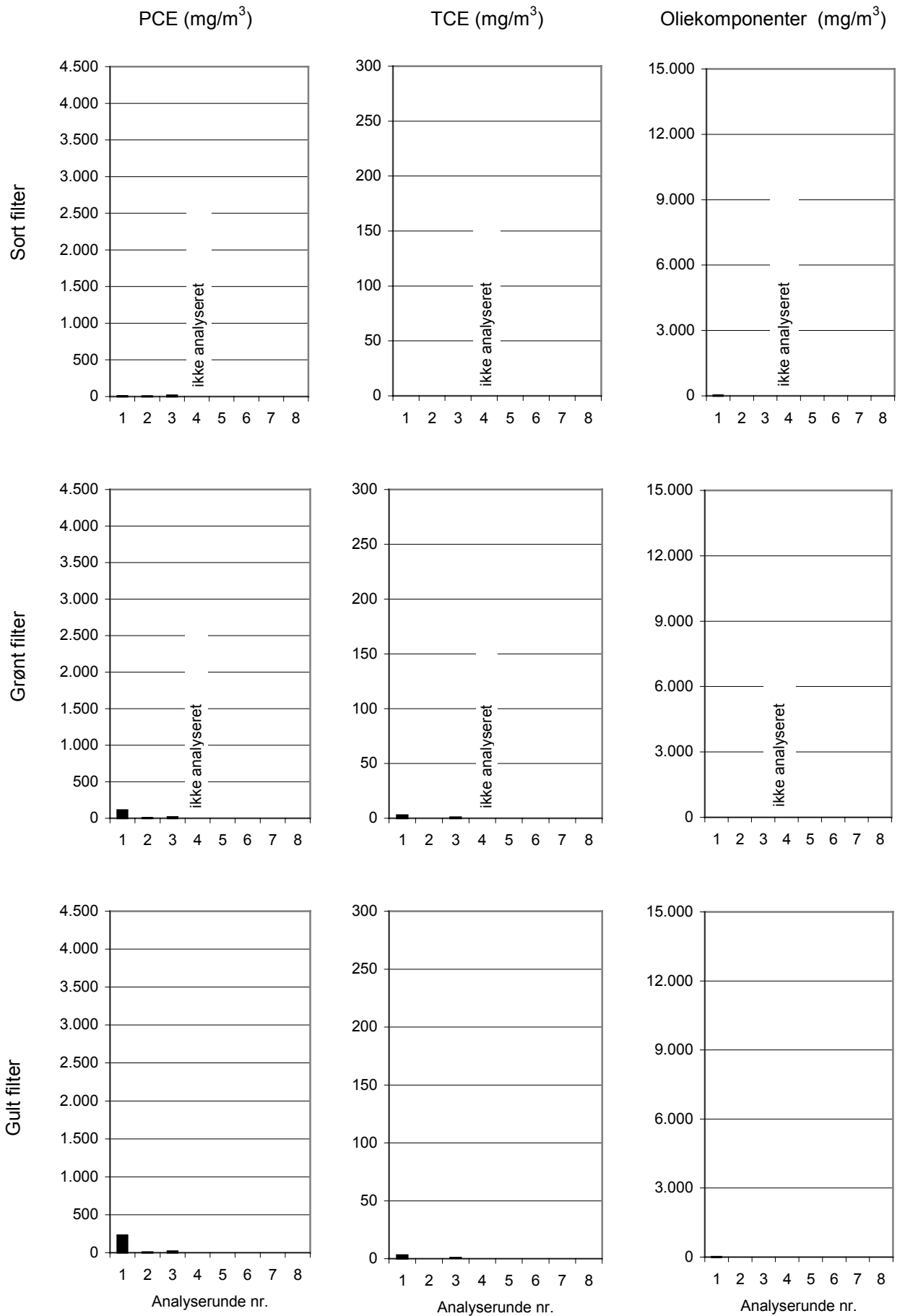


# Moniteringsboring MB11

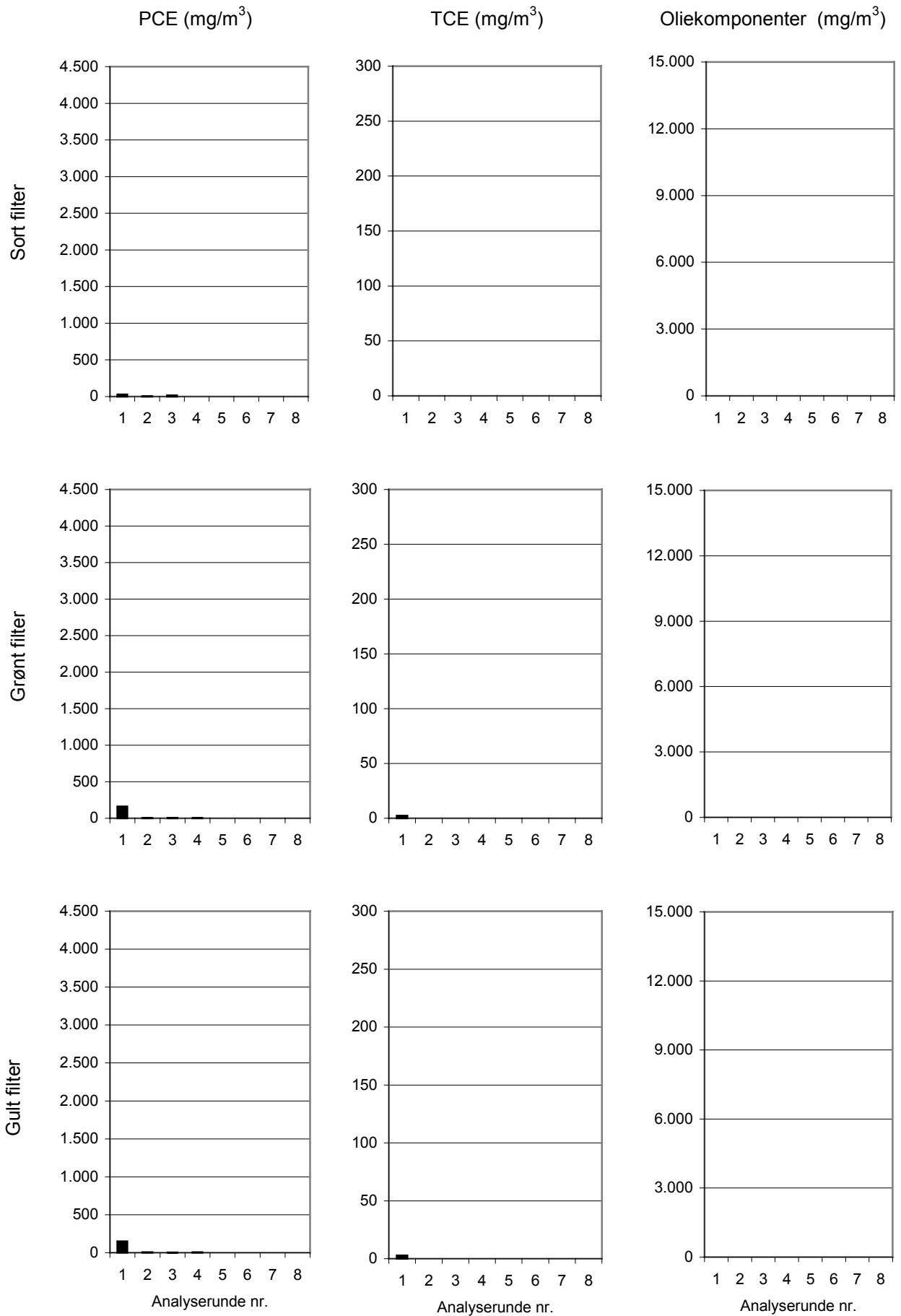




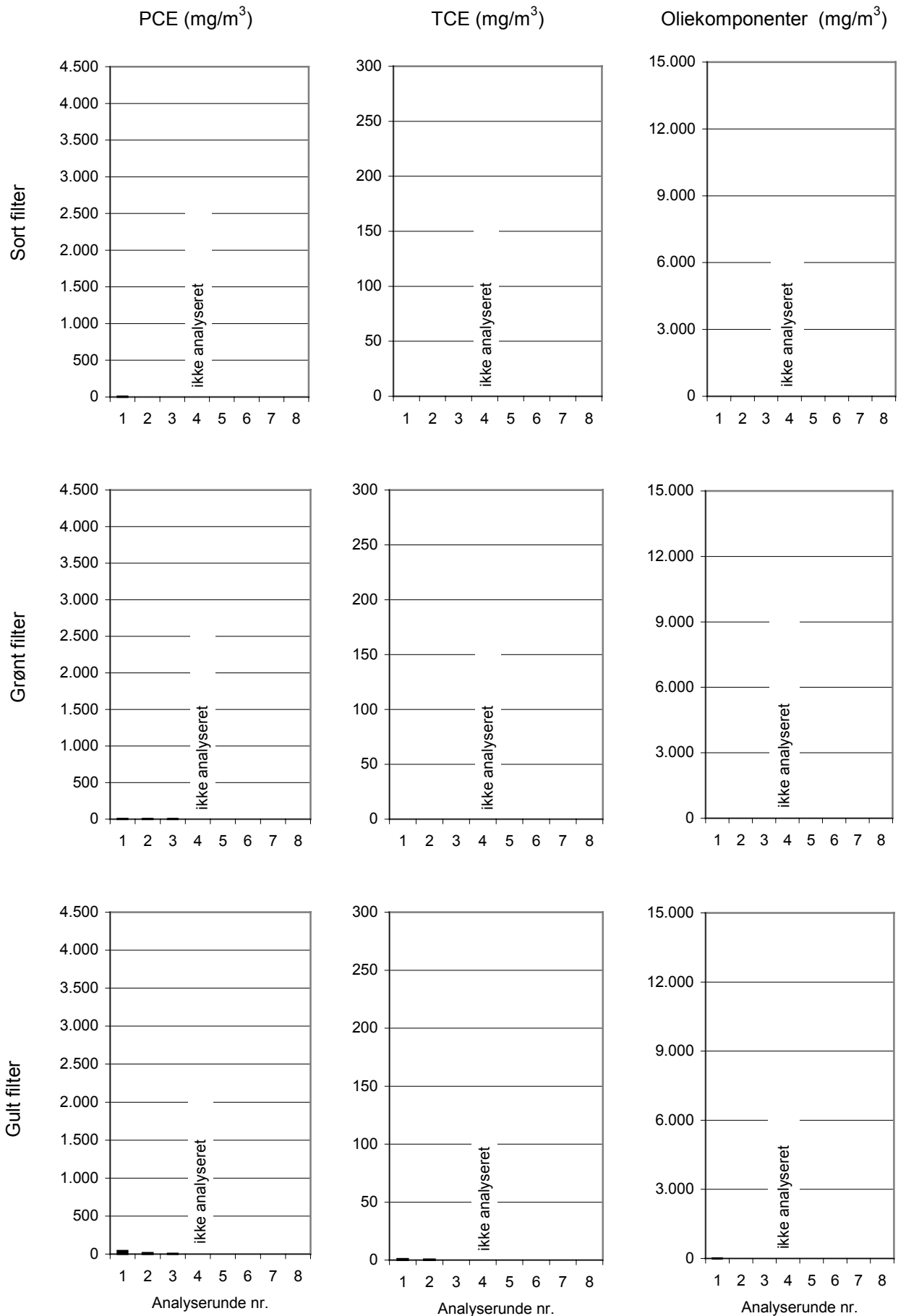
# Moniteringsboring MB12



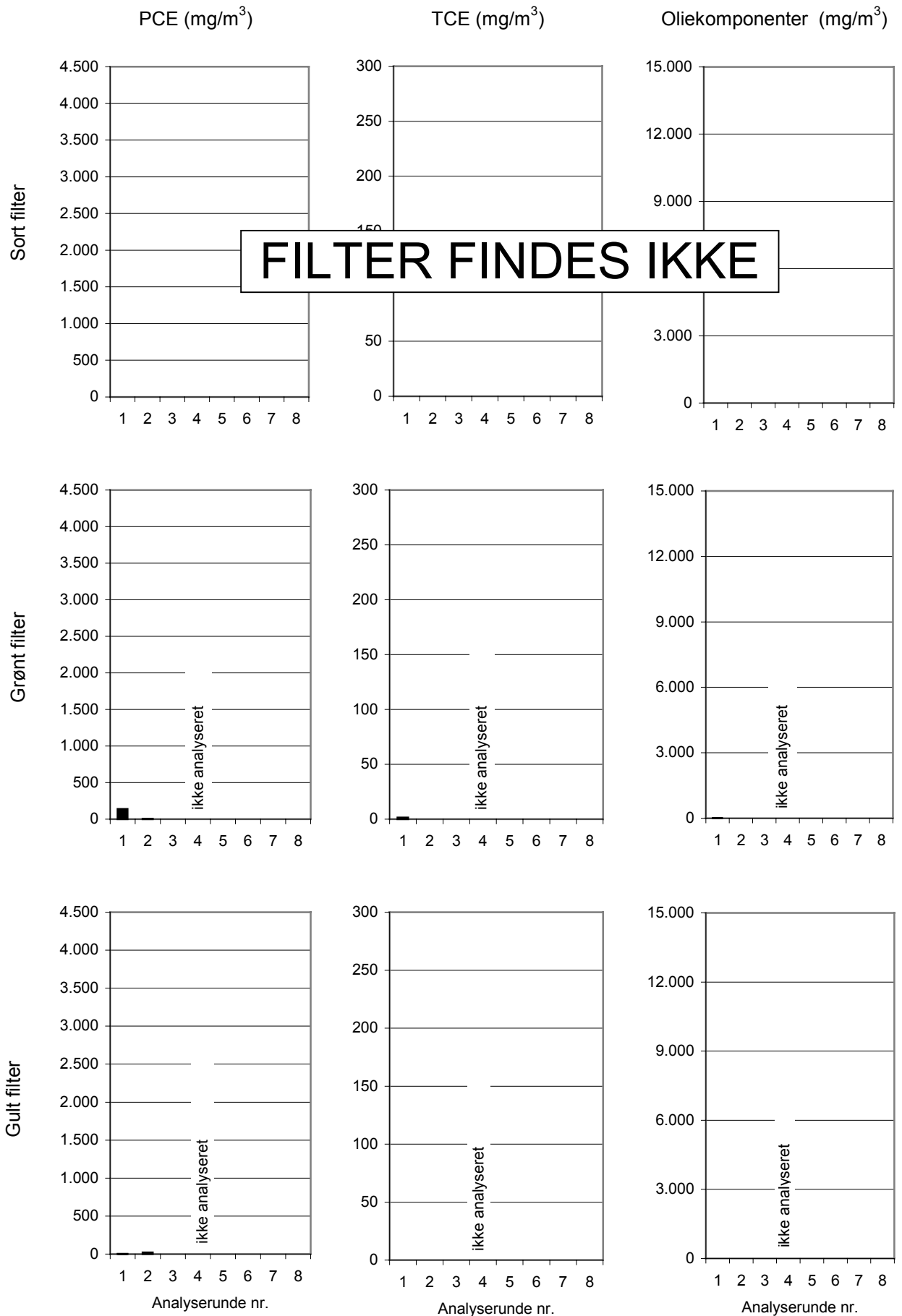
## Moniteringsboring MB13



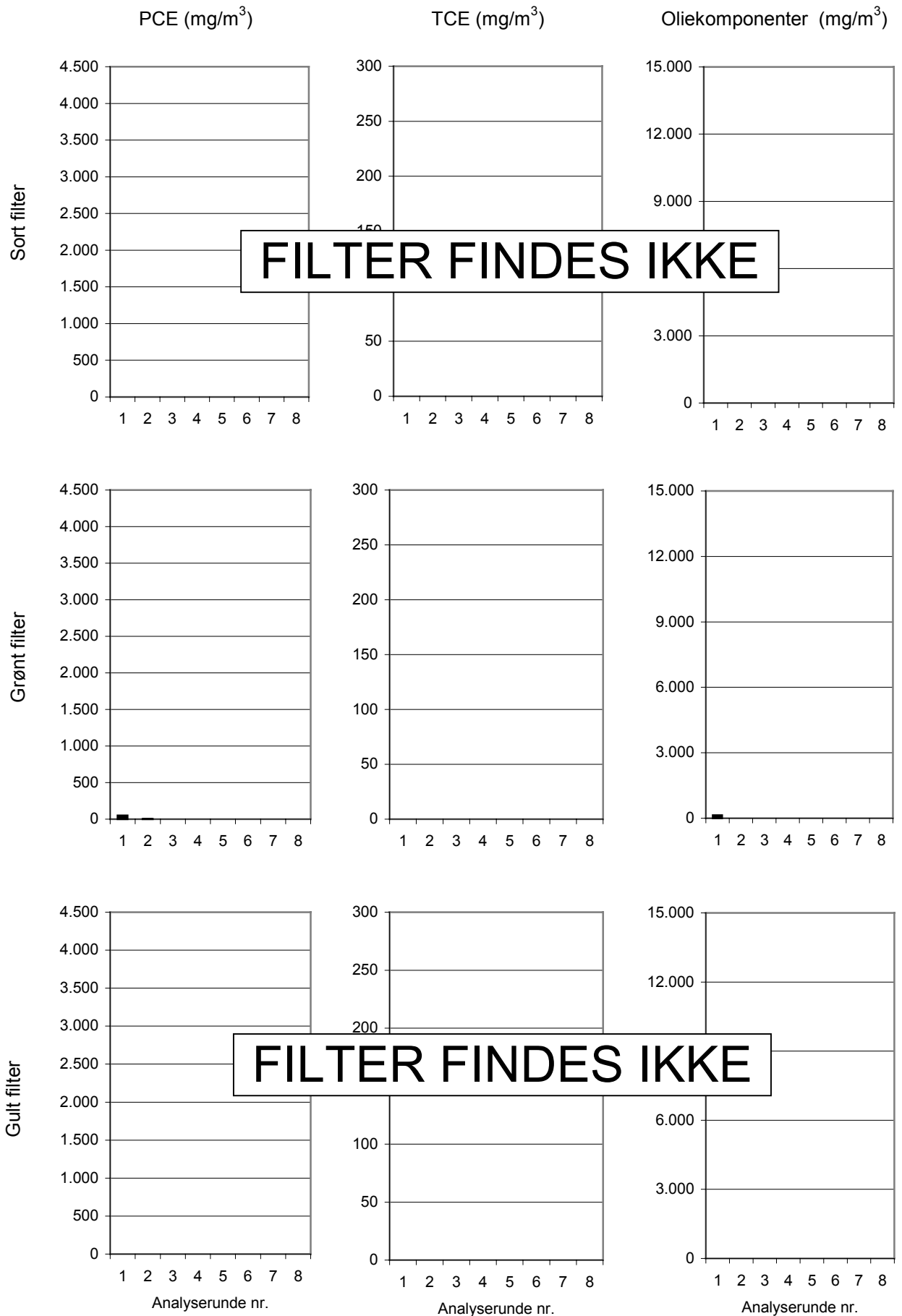
# Moniteringsboring MB14



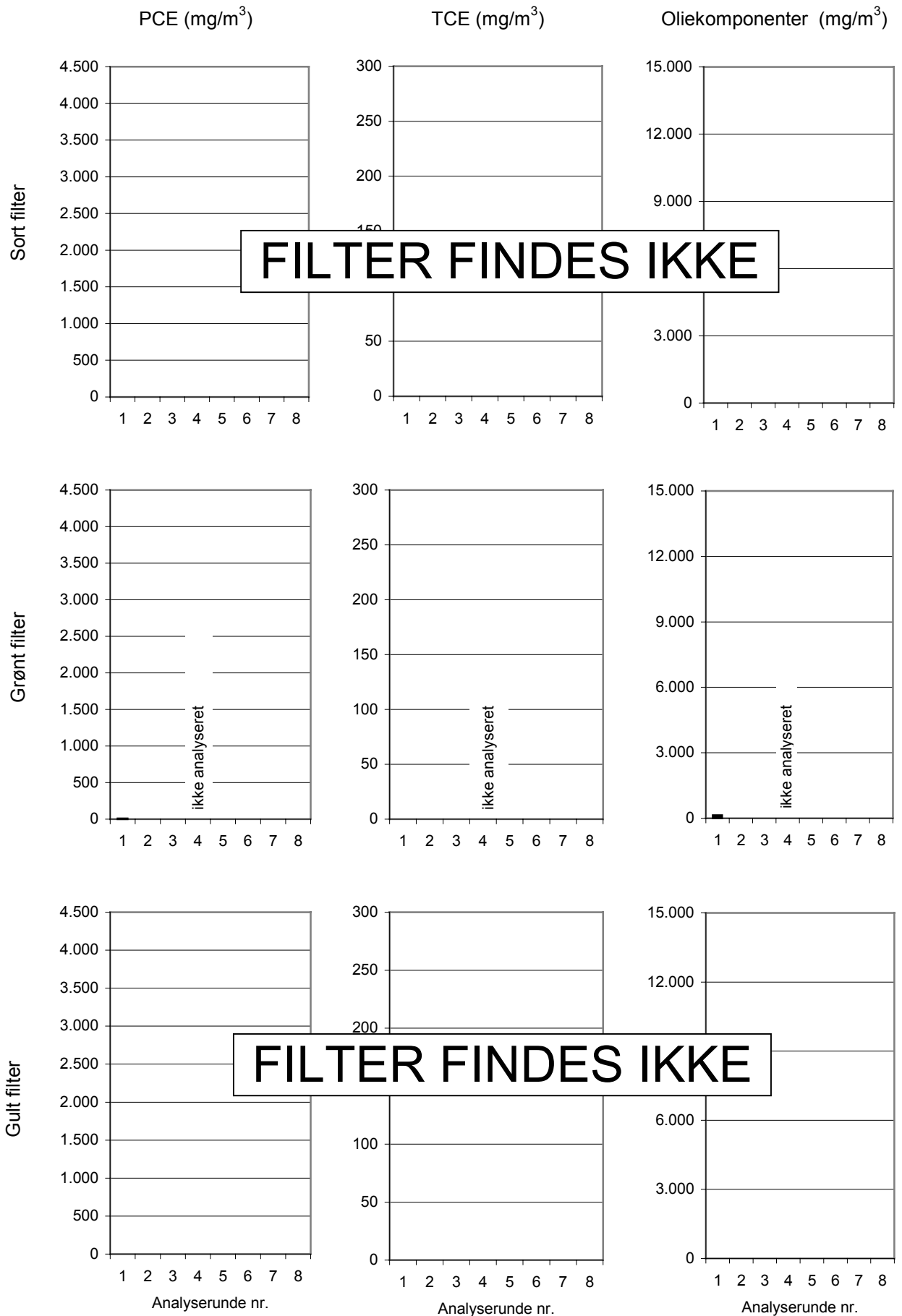
# Moniteringsboring MB15



# Moniteringsboring MB16



# Moniteringsboring MB17



## Udvalgte stoffer fra analyserunde 1 og 2

PERIODE (UGE/ÅR) : 51+ 52 / 1997 og 24 / 1998 RESULTATER  
PORELUFTPRØVER

SAG : Drejøgade 3-5		mg/m <sup>3</sup>					
Borings nr.	Filterfarve	Analyserunde 1			Analyserunde 2		
		kulbrinter	PCE	TCE	Oliekomponenter	PCE	TCE
MB-1	Grøn	5700	<280	<16	56	-	-
	Gul	3300	<64	<16	34	-	-
MB-2	Sort	11000	<230	<400	110	-	-
	Grøn	11000	<220	<21	73	-	-
	Gul	1200	<8	<7	19	<1	<1
	Sort	-	-	-	-	-	-
MB-3	Grøn	-	2,6	-	-	-	-
	Gul	-	0,53	-	-	-	-
MB-4	Sort	11	2,7	-	0,66	-	-
	Grøn	-	13	-	-	2,7	-
	Gul	-	-	-	-	3,3	-
	Sort	-	-	-	-	-	-
MB-5	Grøn	3500	<120	<12	44	-	-
	Gul	1300	<23	<58	190	-	-
MB-6	Grøn	11000	<190	<100	540	-	<2
	Gul	5000	<130	<58	14000	<27	<48
MB-7	Sort	540	610	15	220	<46	<2
	Grøn	2500	400	51	440	620	<5
	Gul	1000	4000	230	550	210	<5
	Sort	3,7	6,9	1,6	-	2,2	-
MB-8	Grøn	11	0,69	-	-	1,1	-
	Gul	7,7	2,5	0,81	-	0,54	-
MB-9	Sort	4,1	720	12	0,51	25	-
	Grøn	3,9	1900	24	0,56	52	0,61
	Gul	4	1800	21	-	60	0,6
	Sort	5	150	3,3	0,52	12	-
MB-10	Grøn	3,7	1400	18	-	40	-
	Gul	-	1100	20	-	10	-
MB-11	Sort	12	3,4	-	-	-	-
	Grøn	4,4	8,8	-	0,66	6,1	-
	Gul	1,9	23	1,7	-	14	1
	Sort	16	6	-	-	2,9	-
MB-12	Grøn	4,1	110	2,7	-	3,1	-
	Gul	5,5	230	2,9	-	6	-
MB-13	Sort	2,3	28	-	-	1,9	-
	Grøn	1,1	160	2,4	-	4,3	-
	Gul	0,57	150	2,8	-	5,8	-
	Sort	4,4	5,5	-	-	1,2	-
MB-14	Grøn	0,91	5,1	-	-	2,9	-
	Gul	6,1	44	0,9	1,3	14	0,51
MB-15	Grøn	6,7	140	1,4	-	6,9	-
	Gul	-	3,4	-	0,52	22	-
MB-16	Grøn	-	50	-	-	2,6	-
MB-17	Grøn	140	9,7	-	-	1,2	-
Def.grænse	Alle	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

- ikke påvist

filter ej monteret

## Udvalgte stoffer fra analyserunde 3-4


RESULTATER  
PORELUFTPRØVER

PERIODE (UGE/ÅR) : 51/1998 og 19/1999

SAG : Drejøgade 3-5		mg/m <sup>3</sup>					
Borings nr.	Filterfarve	Analyserunde 3			Analyserunde 4		
		Oliekomponenter	PCE	TCE	Oliekomponenter	PCE	TCE
MB-1	Grøn	4,1	-	-	-	-	-
	Gul	2300	0,17	0,085	2300	0,18	0,063
MB-2	Sort	3	-	-			
	Grøn	-	-	-			
	Gul	190	0,14	<0,05	1900	0,26	-
	Sort	-	-	-			
MB-3	Grøn	-	-	-	-	-	-
	Gul	-	-	-	-	-	-
MB-4	Sort	-	-	-			
	Grøn	-	-	-			
	Gul	-	3,5	-			
	Grøn	-	-	-			
MB-5	Gul	4500	4,2	0,99	11000	6,6	4
	Grøn	-	-	-			
MB-6	Grøn	3,2	-	-	29	< 2	-
	Gul	12000	4,9	0,7	7800	0,66	<0,1
MB-7	Sort	1,5	1,9	-	-	1,6	-
	Grøn	5400	290	11	3500	310	21
	Gul	12000	770	64	9700	440	24
	Sort	-	0,71	-			
MB-8	Grøn	-	-	-			
	Gul	-	2,8	-			
MB-9	Sort	-	2,9	-	3,3	3,1	-
	Grøn	-	7	-	-	4,7	-
	Gul	-	19	-	-	31	-
	Sort	-	1,1	-			
MB-10	Grøn	-	9,6	0,56		2,4	-
	Gul	-	17	0,71	-	-	-
MB-11	Sort	-	-	-	-	-	-
	Grøn	-	1,8	-	2,2	1,2	-
	Gul	-	6,8	-	1,9	2	-
	Sort	-	16	-			
MB-12	Grøn	-	16	0,74			
	Gul	-	17	0,78	2,1	0,95	-
MB-13	Sort	-	16	-	-	-	-
	Grøn	-	5,5	-	-	3,9	-
	Gul	-	4,3	-	-	4,9	-
	Sort	-	-	-			
MB-14	Grøn	-	1,7	-			
	Gul	-	7	-			
MB-15	Grøn	-	0,52	-			
	Gul	-	1,4	-			
MB-16	Grøn	-	0,75	-			
MB-17	Grøn	-	0,63	-	1,2	-	-
Def.grænse	Alle	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

- ikke påvist

 filter ej monteret

 prøve ej udtaget



ANALYSERUNDE NR :  
PERIODE (UGE/ÅR) :

19 / 1999

PRØVETAGNINGSDATA  
PORELFTPRØVER

Dato : 18/5/1999

Sag nr. :96.114.01

Init.:BME

SAG : Drejøgade 3-5

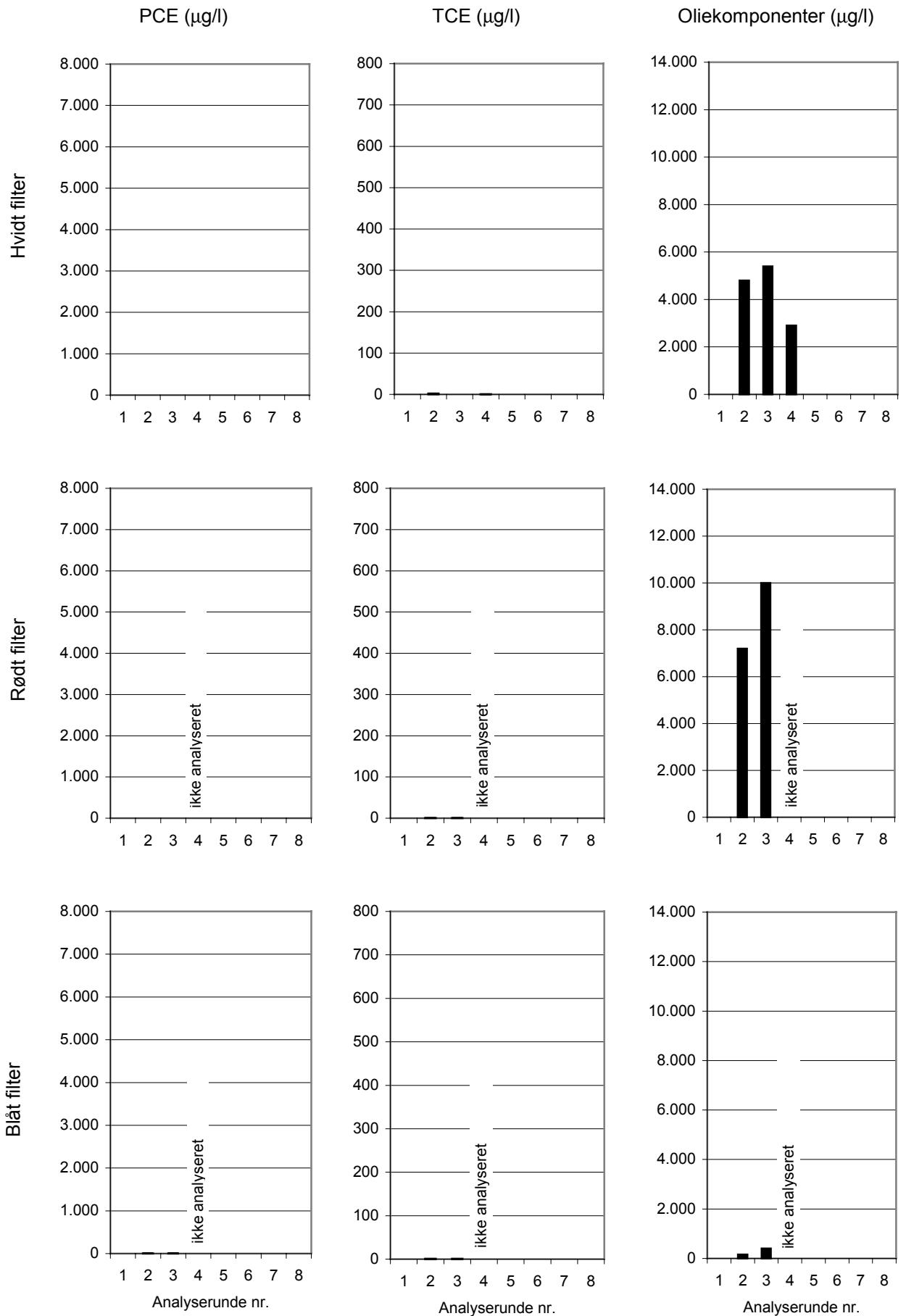
Borings nr.	Filterfarve	Dato (-)	Pumpevacuum (mBar)	Pumpeetid (min.)	PID (ppm)	Itt (vol %)	Kuldioxid (vol %)	Methan (vol %)	Bemærkninger
MB-1	Grøn	11-05-99	200	2	4,7	18,7	0,2	0,0	PID baggr. 8,6
	Gul	11-05-99	175	2	153	11,3	4,9	0,0	PID baggr. 8,6
MB-2	Sort	11-05-99	150	2	3,8	19,0	0,3	0,0	PID baggr. 4,3
	Grøn	11-05-99	175	2	3,4	18,5	0,1	0,0	PID baggr. 4,3
	Gul	11-05-99	200	2	122	15,9	2,2	0,0	PID baggr. 4,3
MB-3	Sort	11-05-99	125	2	0,6	20,2	0,1	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	0,5	19,1	0,7	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,5	18,7	1,1	0,0	
MB-4	Sort	11-05-99	200	2	0,3	18,9	0,6	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	0,3	19,4	0,3	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,3	19,7	0,1	0,0	
MB-5	Grøn	11-05-99	150	2	2,6	16,3	0,7	0,0	
	Gul	11-05-99	150	2	307	8,7	5,9	0,1	
MB-6	Grøn	11-05-99	150	2	7,3	17,6	0,4	0,0	PID baggr. 12
	Gul	11-05-99	200	2	296	10,6	3,0	0,0	PID baggr. 12
MB-7	Sort	11-05-99	200	2	0,7	19,0	0,2	0,0	
	Grøn	11-05-99	175	2	183	17,5	0,1	0,0	
	Gul	11-05-99	281	2	281	16,8	1,1	0,0	
MB-8	Sort	11-05-99	150	2	0,5	19,3	0,1	0,0	
	Grøn	11-05-99	150	2	0,5	19,6	0,1	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,7	18,8	0,1	0,0	
MB-9	Sort	11-05-99	200	2	0,6	19,4	0,6	0,0	
	Grøn	11-05-99	200	2	0,8	19,5	0,3	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	3,7	19,7	0,9	0,0	
MB-10	Sort	11-05-99	200	2	0,6	19,0	0,8	0,0	
	Grøn	11-05-99	200	2	0,9	19,7	0,1	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,5	19,6	0,0	0,0	
MB-11	Sort	11-05-99	150	2	0,4	19,3	0,3	0,0	
	Grøn	11-05-99	200	2	0,7	19,0	1,3	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	0,7	19,3	0,3	0,0	
MB-12	Sort	11-05-99	100	2	0,5	19,2	0,5	0,0	
	Grøn	11-05-99	100	2	0,4	19,6	0,1	0,0	
	Gul	11-05-99	100	2	0,2	19,0	0,0	0,0	
MB-13	Sort	11-05-99	100	2	0,3	19,5	0,0	0,0	
	Grøn	11-05-99	100	2	0,6	19,3	0,5	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	1,0	19,5	0,1	0,0	
MB-14	Sort	11-05-99	200	2	0,6	17,3	2,2	0,0	
	Grøn	11-05-99	200	2	0,6	18,2	2,0	0,0	
	Gul	11-05-99	200	2	2,1	18,0	2,4	0,0	
MB-15	Grøn	11-05-99	150	2	2,4	19,7	0,0	0,0	PID baggr. 2,0
	Gul	11-05-99	200	2	2,3	19,6	0,3	0,0	PID baggr. 2,0
MB-16	Grøn	11-05-99	175	2	0,3	19,2	0,6	0,0	
MB-17	Grøn	11-05-99	150	2	0,4	18,3	1,6	0,0	
Udeluft	Alle	11-05-99	100	2	0,3	20,4	0,0	0,0	



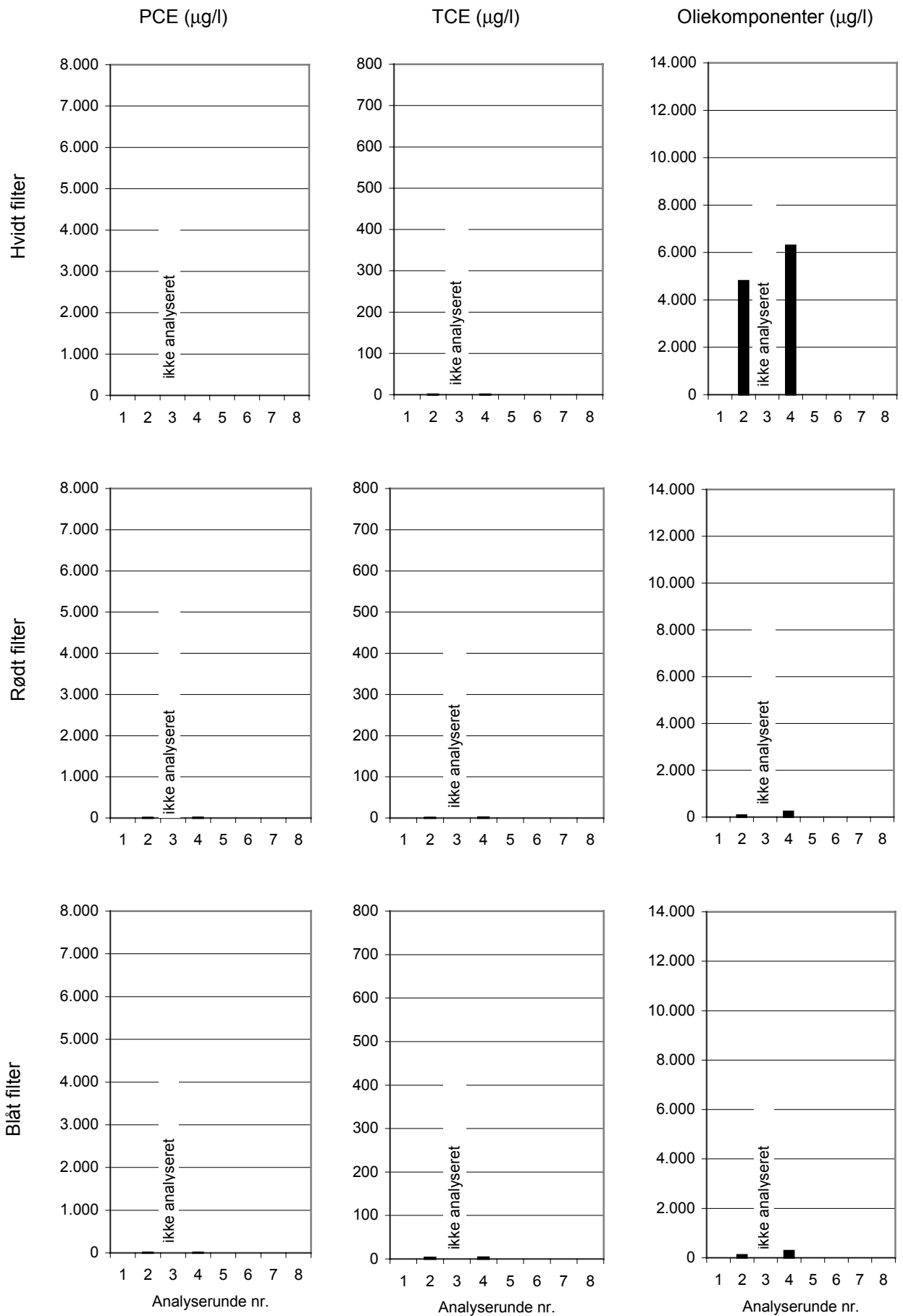
### **Appendix 3.3**

#### **Koncentration af PCE, TCE og oliekomponenter i grundvandet**

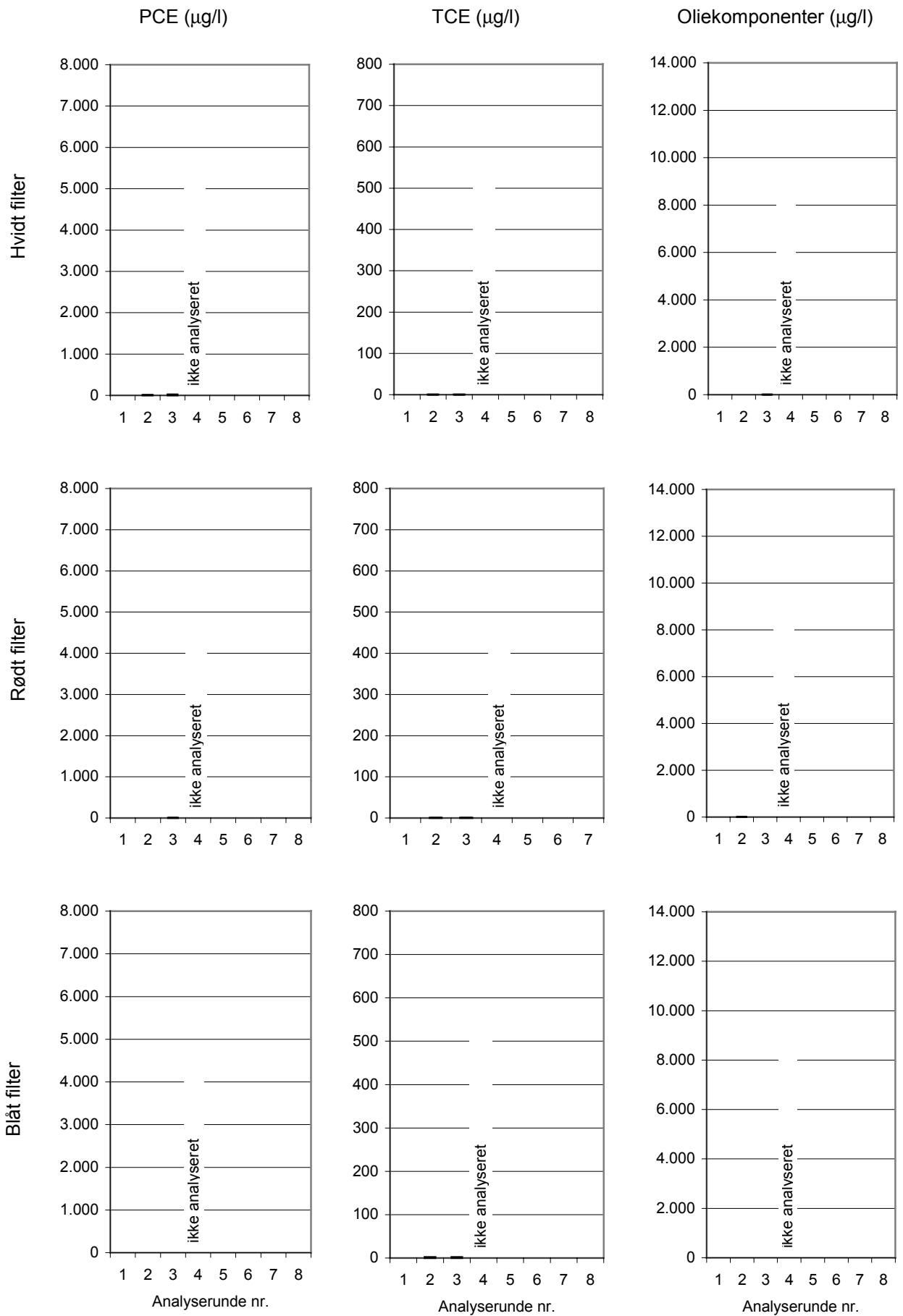
# Moniteringsboring MB1



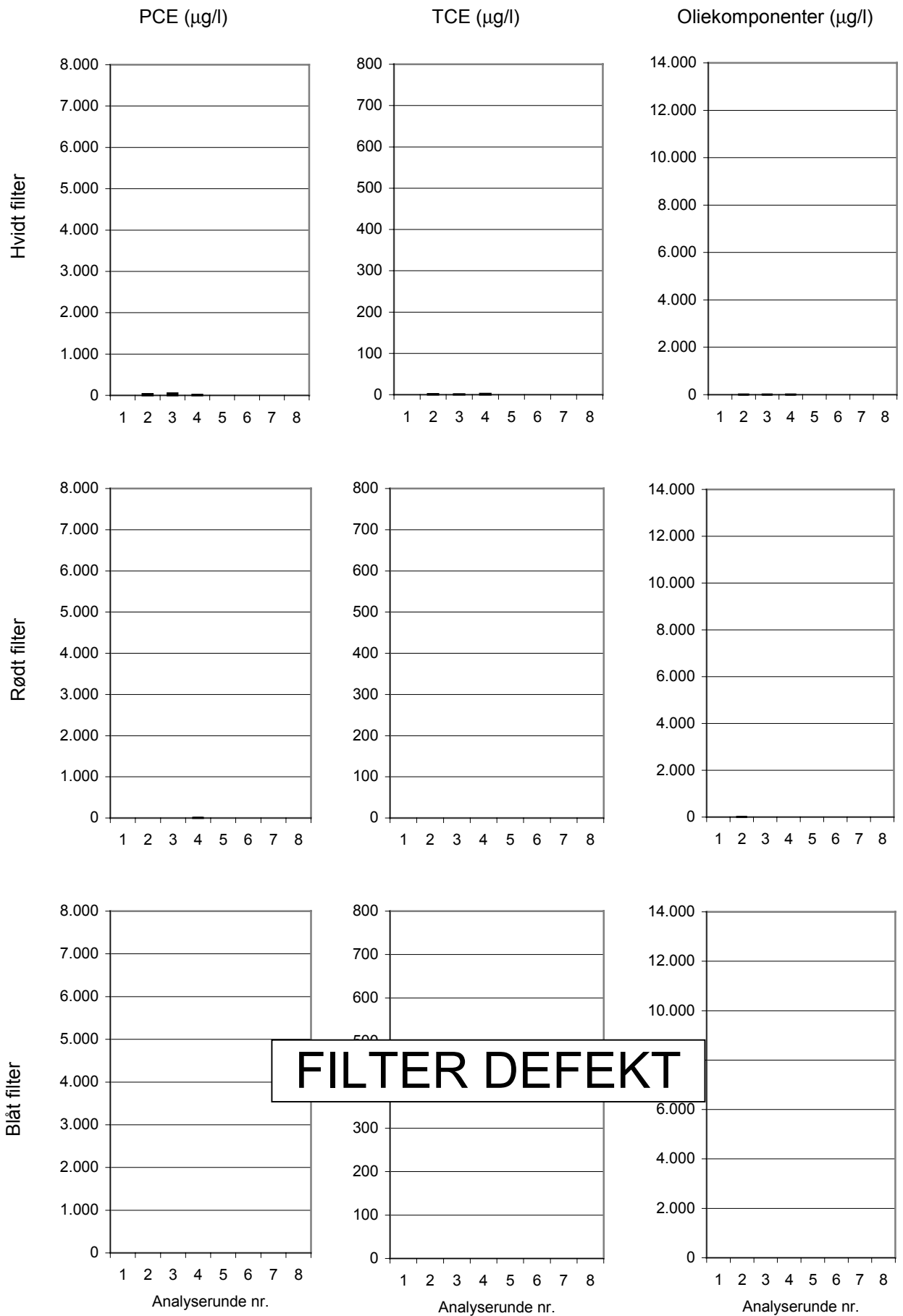
## Moniteringsboring MB2



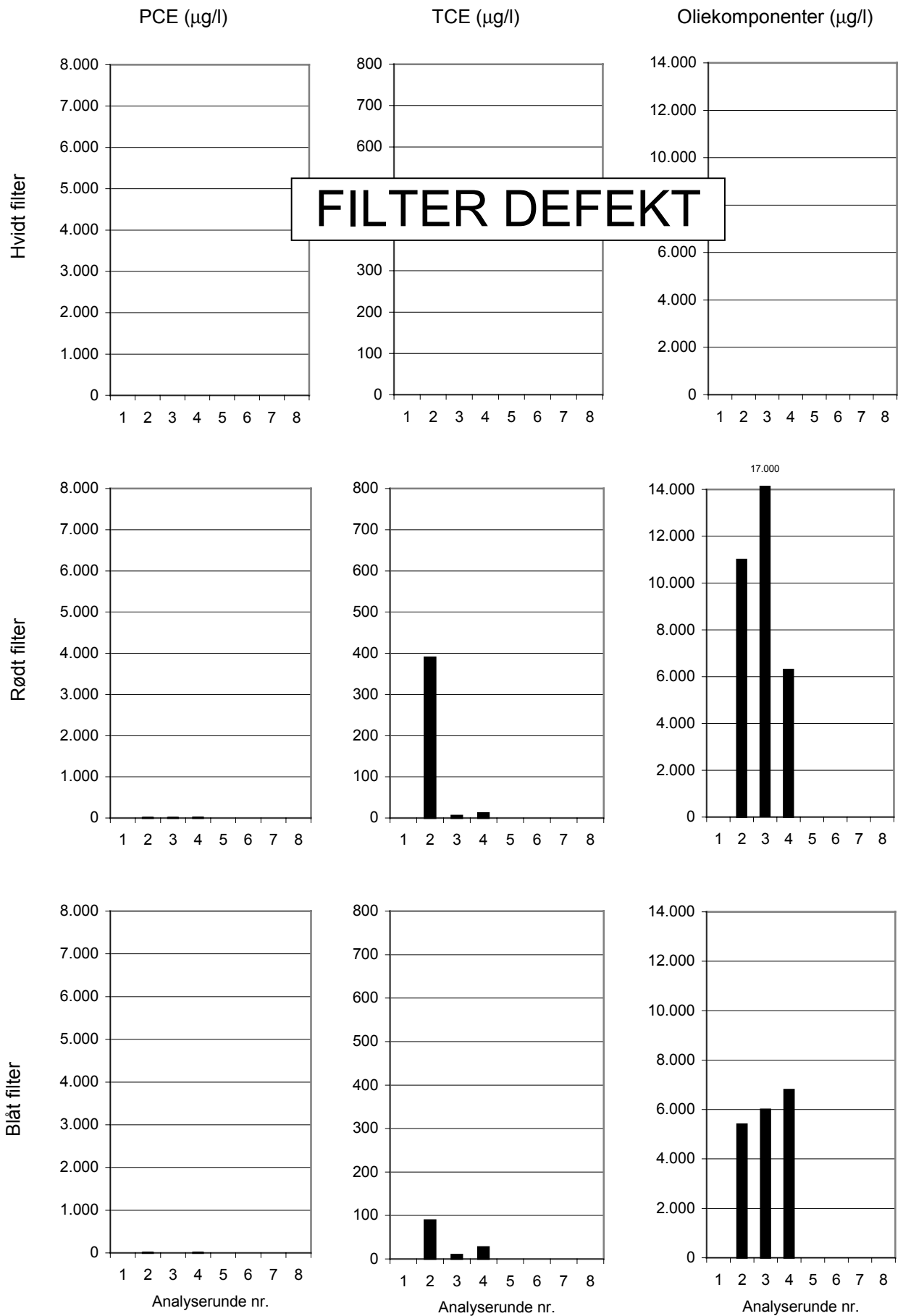
# Moniteringsboring MB3



# Moniteringsboring MB4

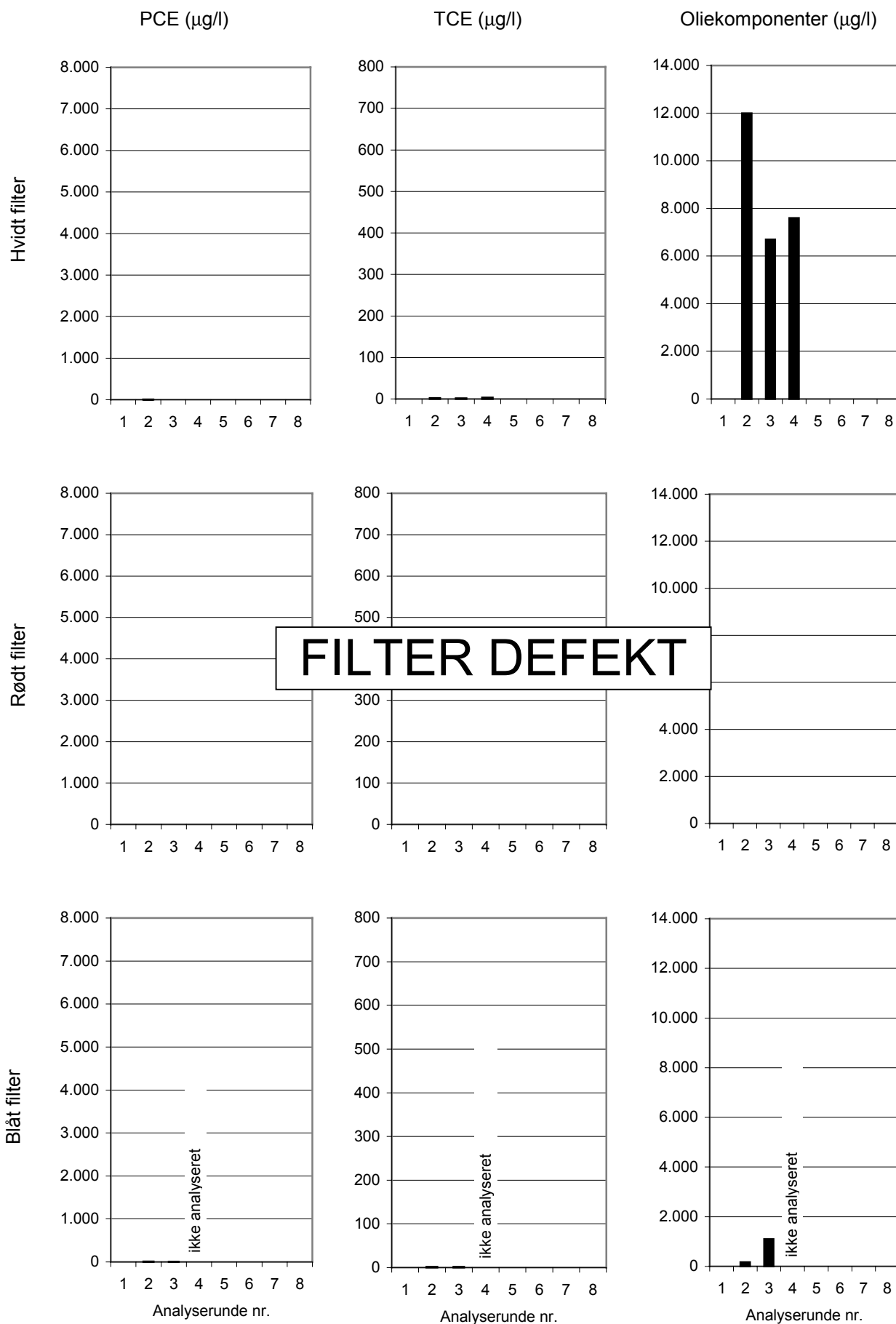


# Moniteringsboring MB5

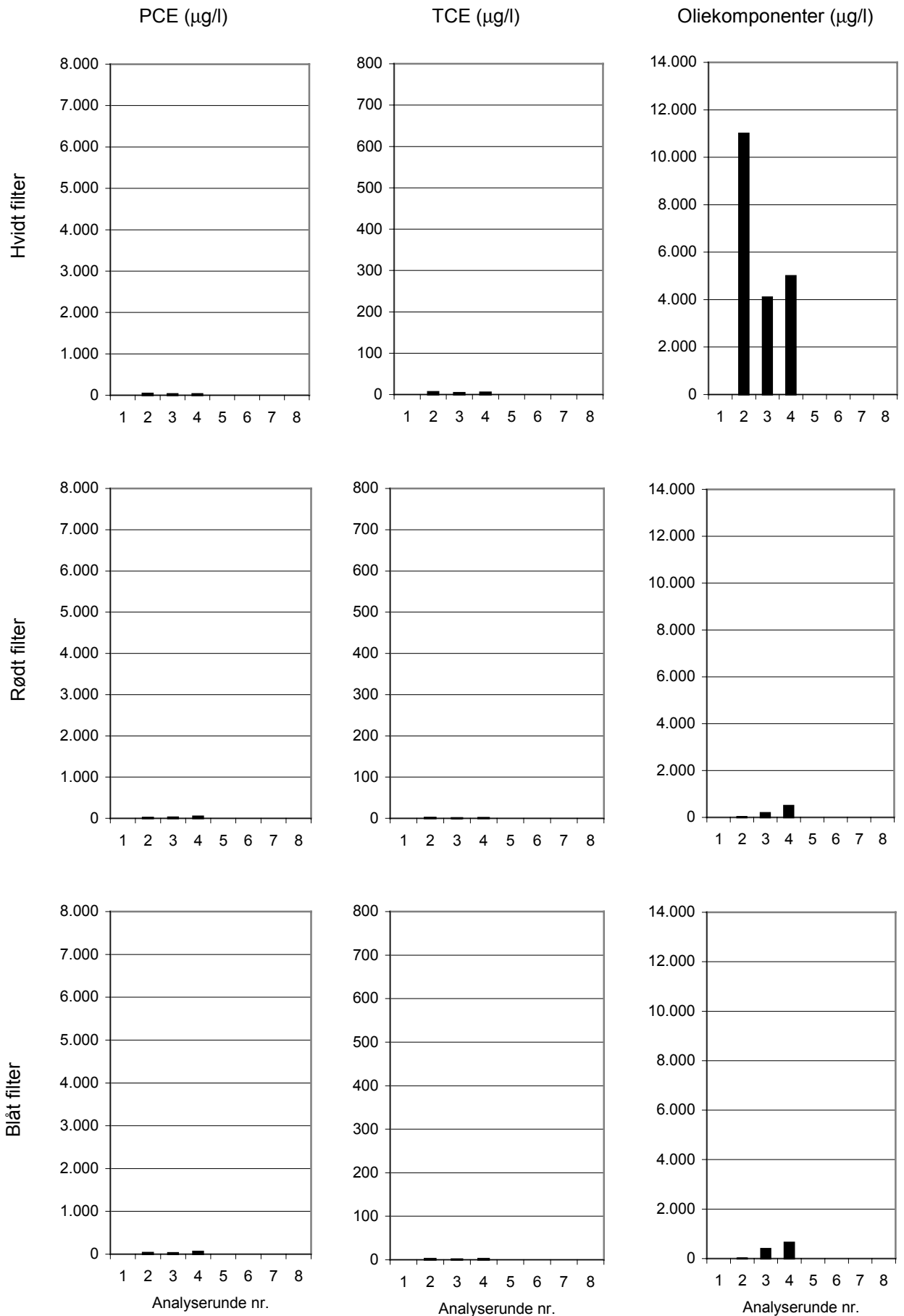




## Moniteringsboring MB6

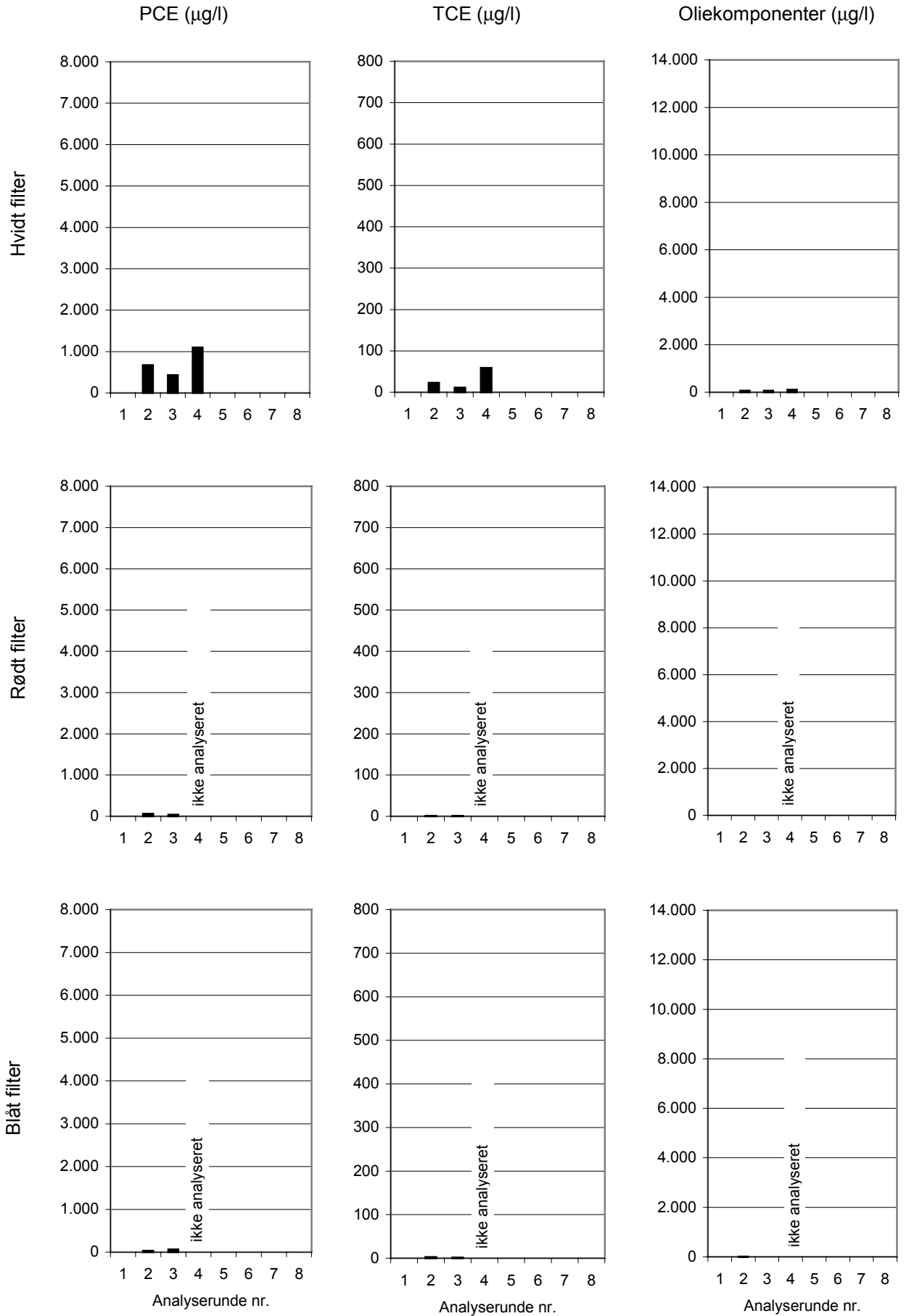


# Moniteringsboring MB7

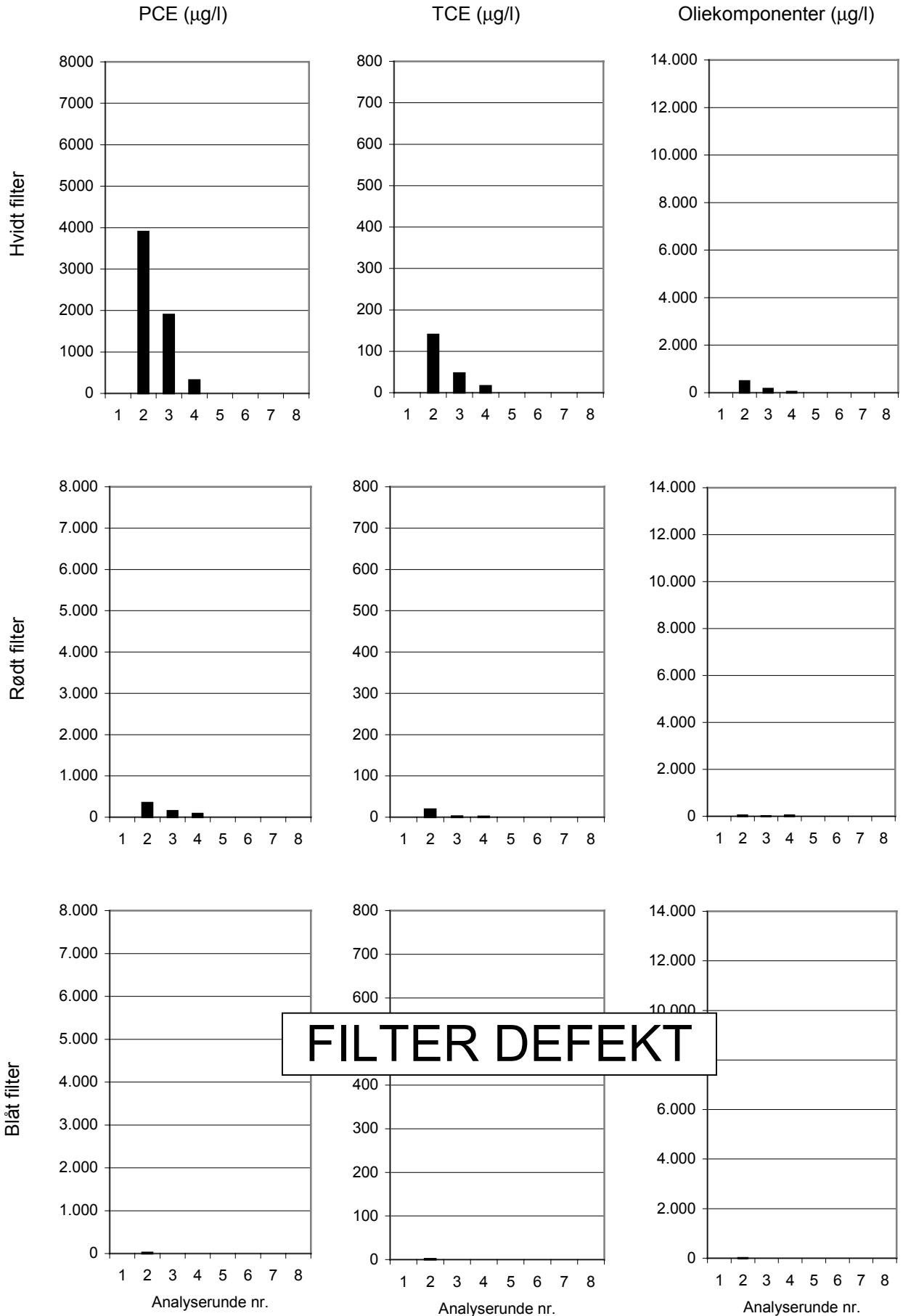




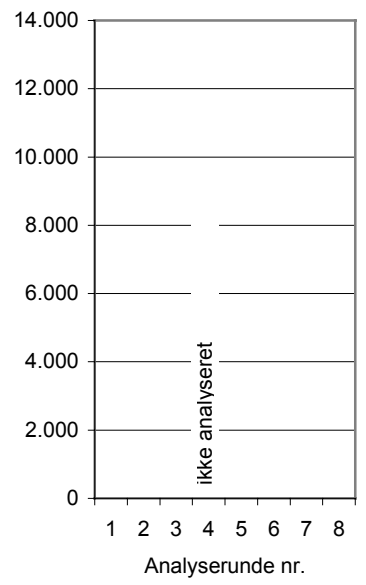
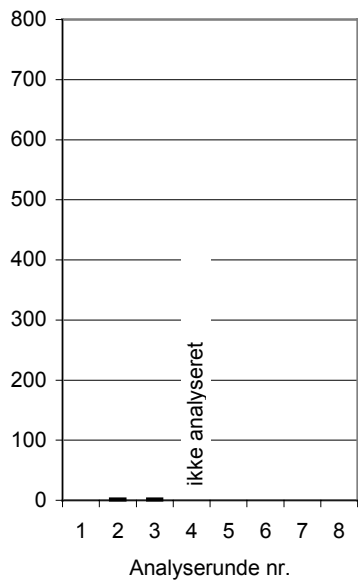
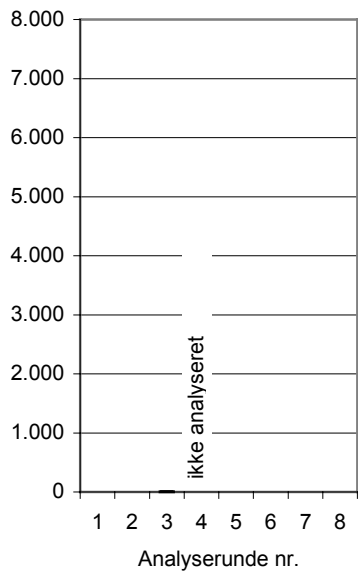
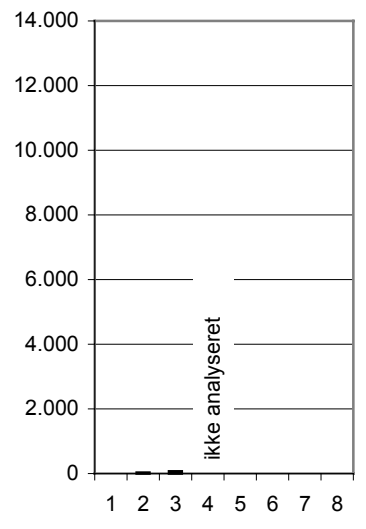
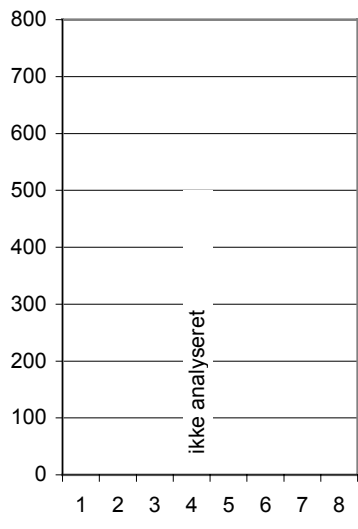
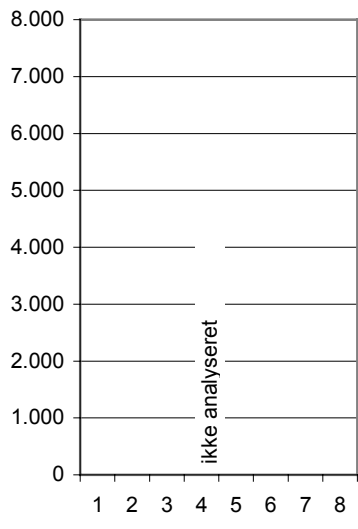
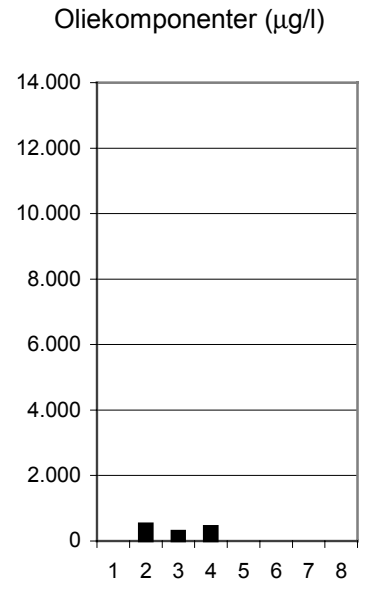
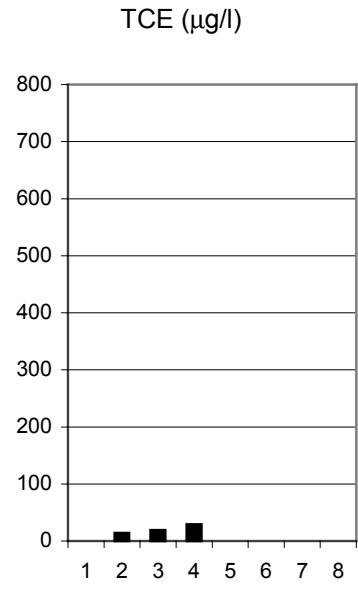
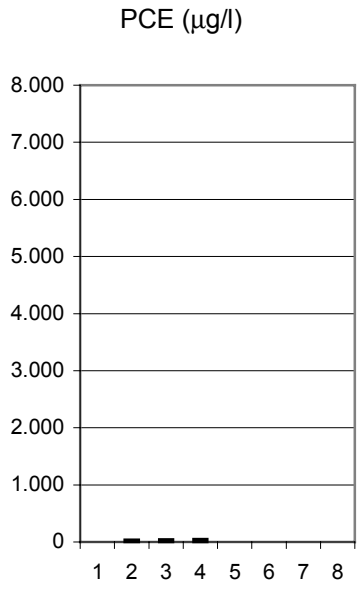
# Moniteringsboring MB9



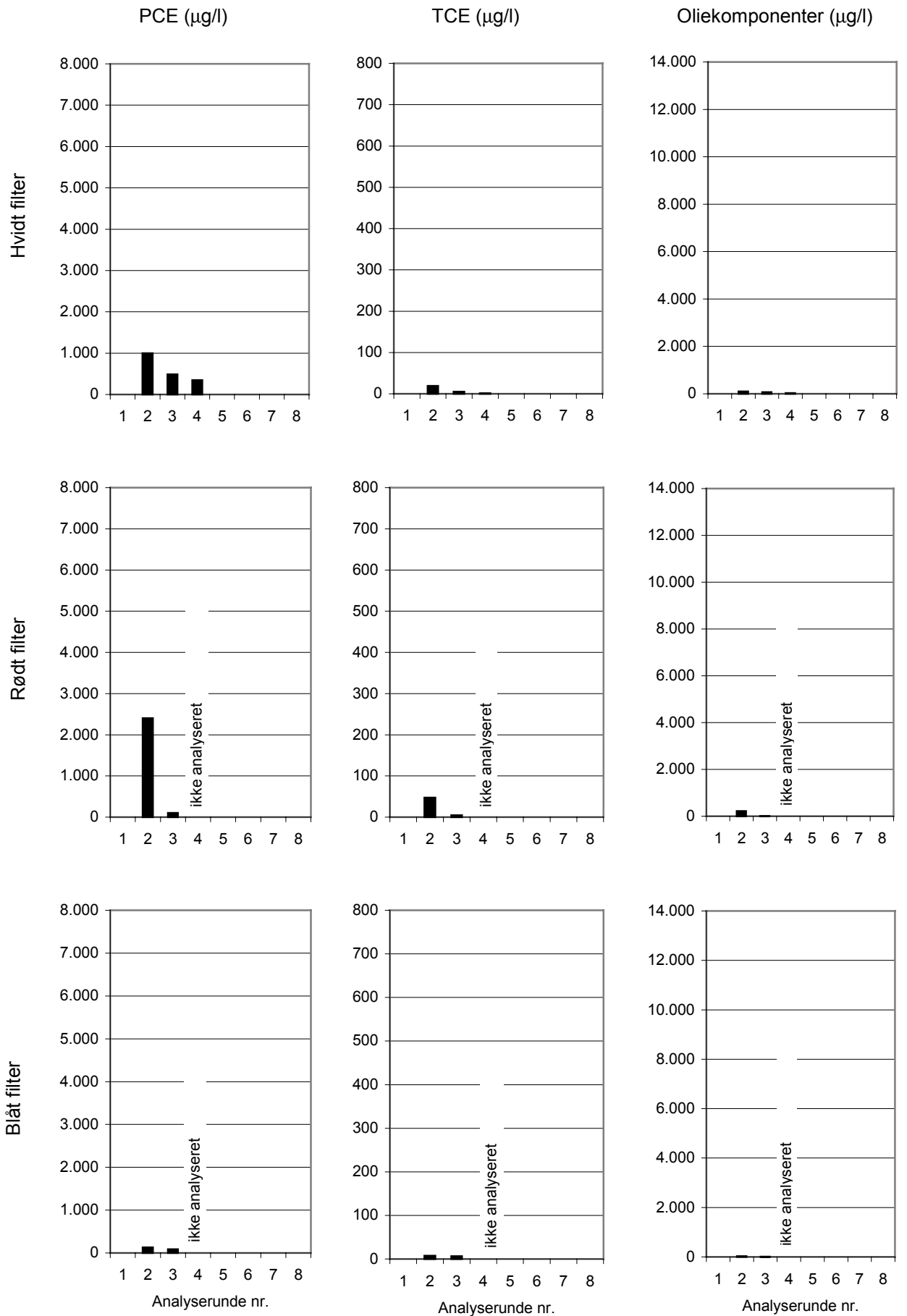
# Moniteringsboring MB10



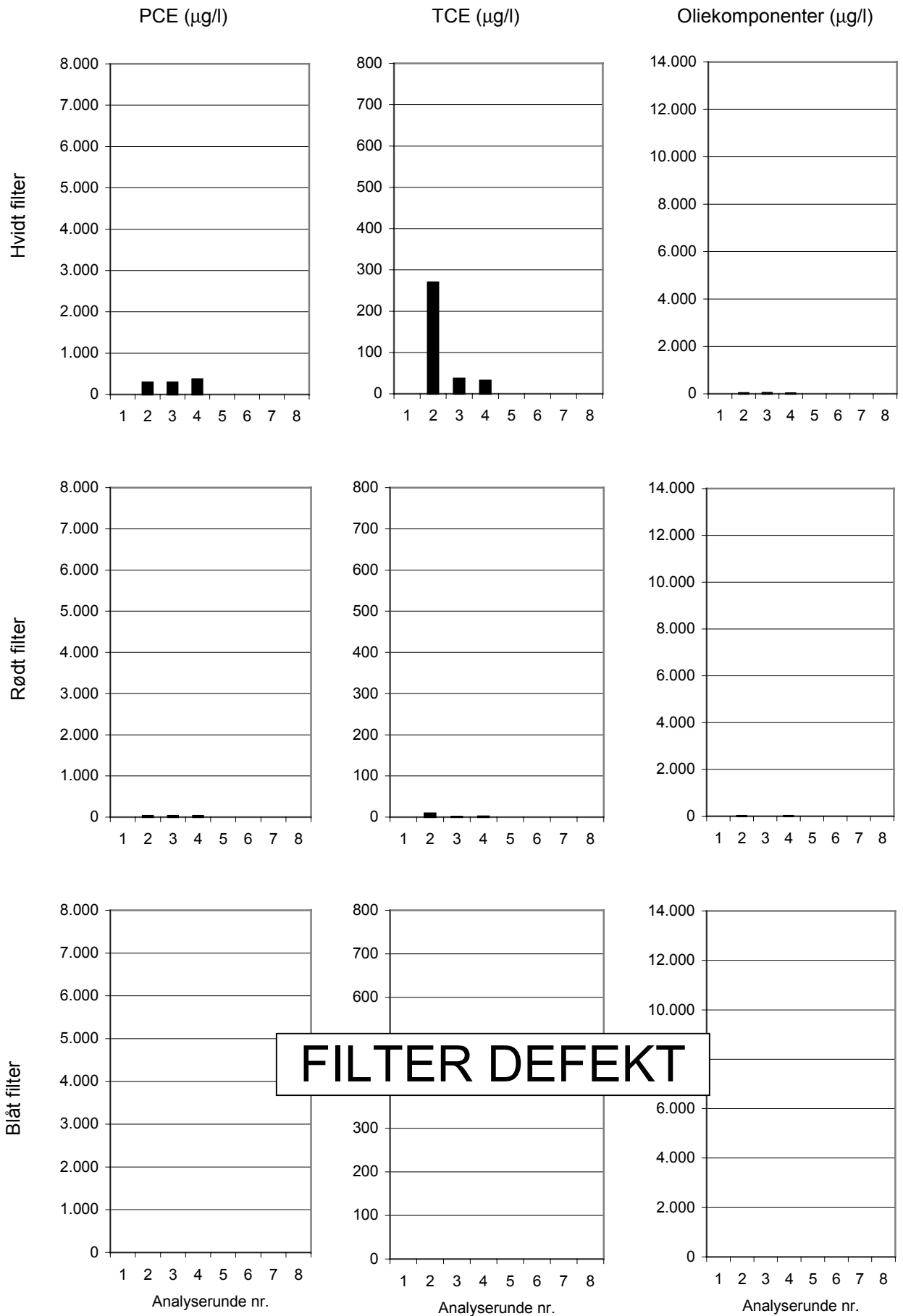
# Moniteringsboring MB11



# Moniteringsboring MB12

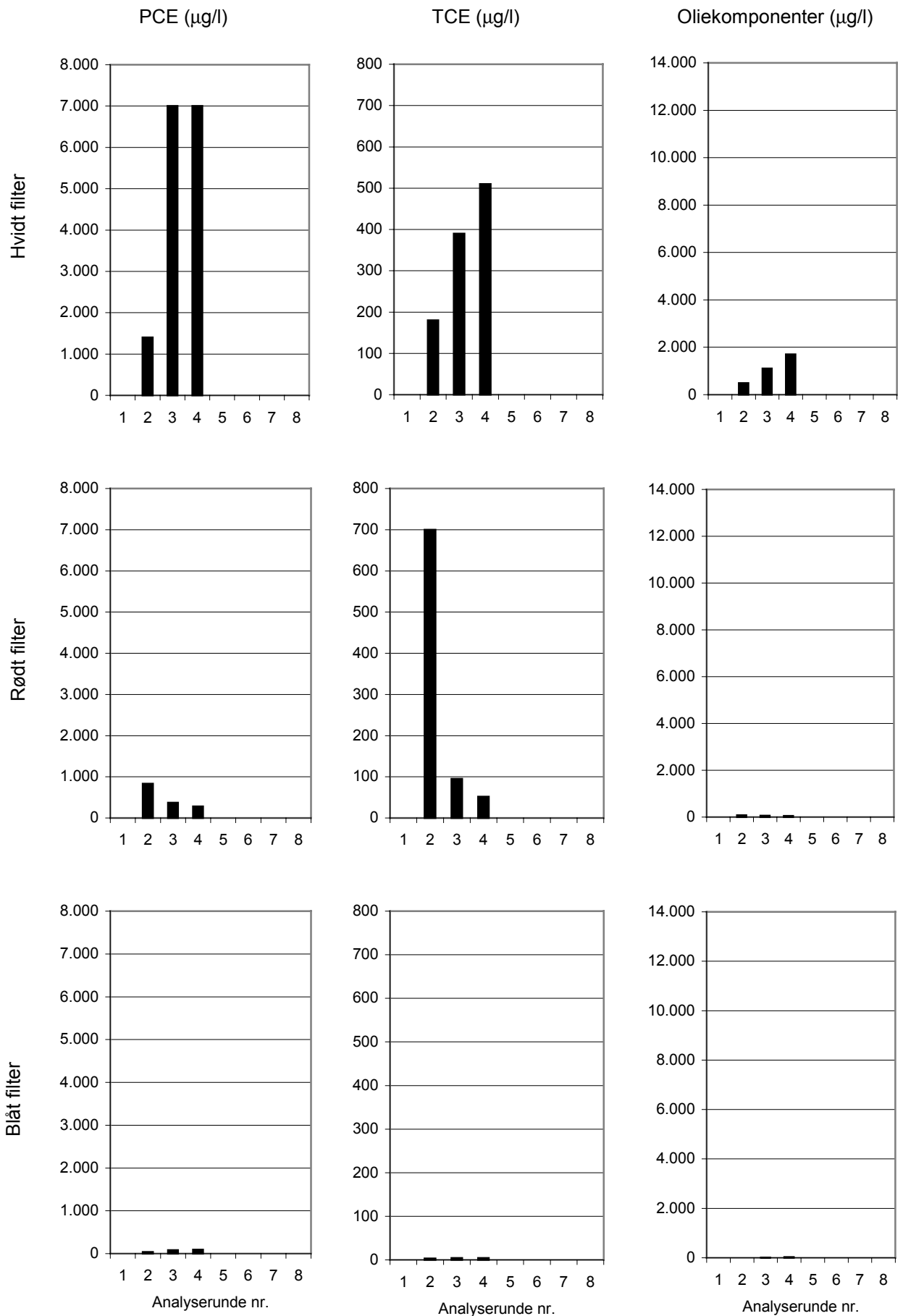


# Moniteringsboring MB13

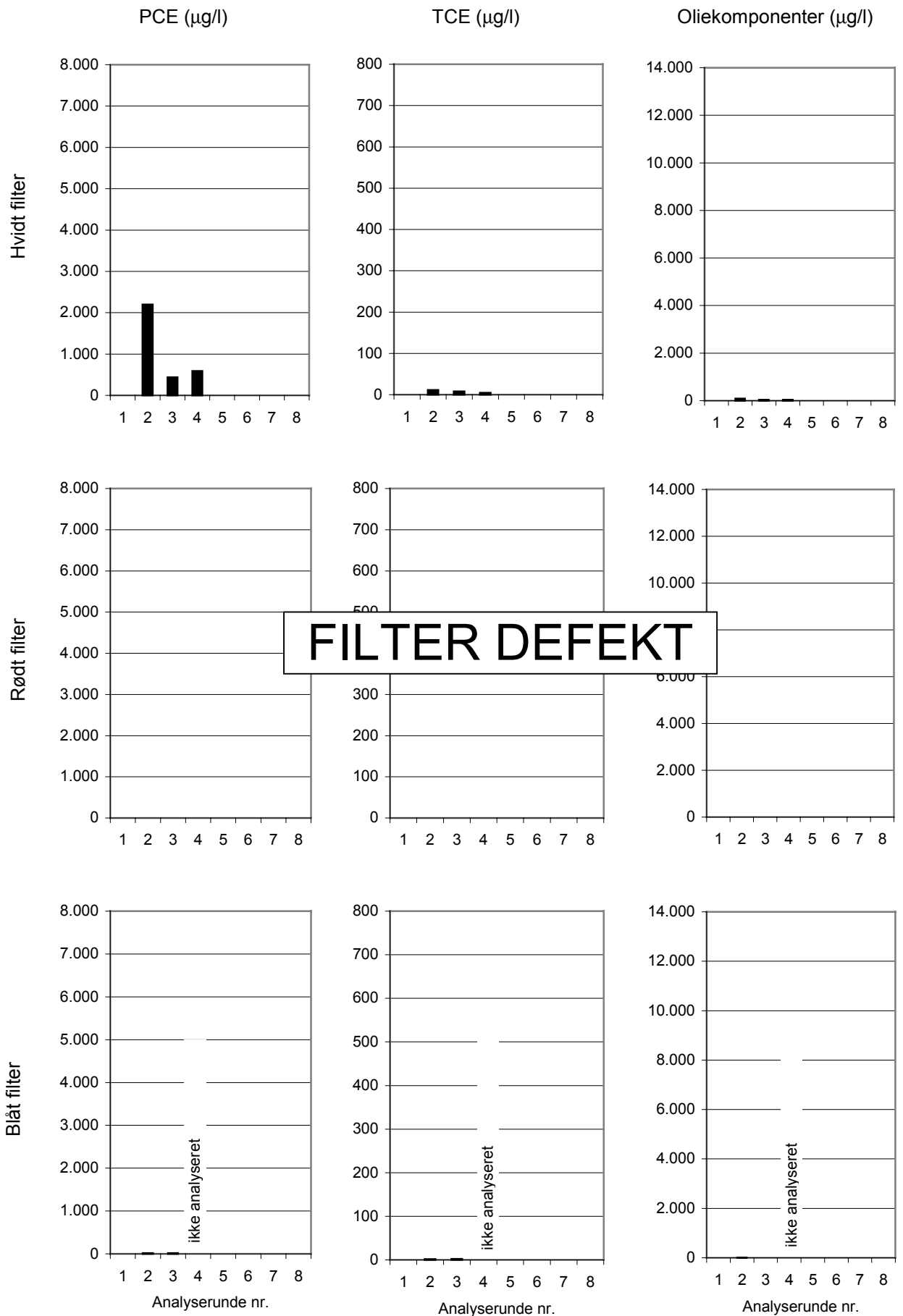




# Moniteringsboring MB14



# Moniteringsboring MB15

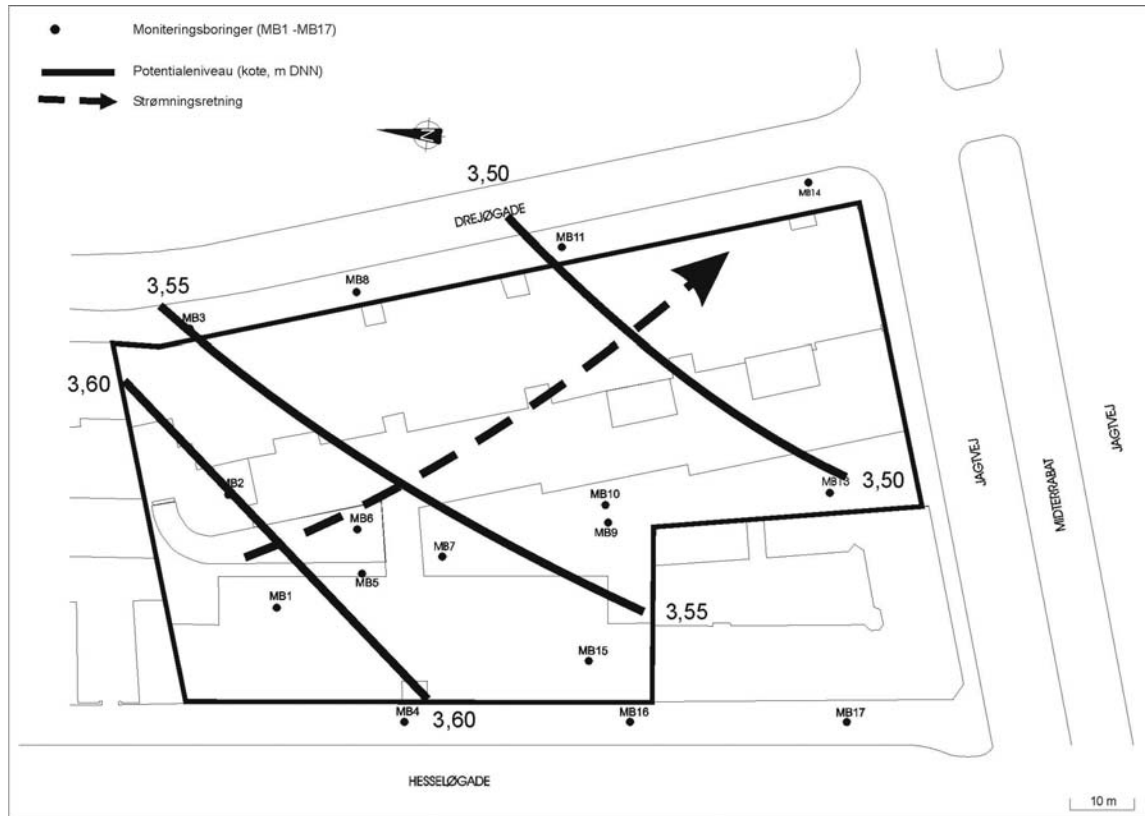






## Appendix 3.4

### Strømnings- og potentialeforhold



*Potentialeforhold, juli 1999*

**PEJLESKEMA**

SAG : Tek.Projekt		<b>IAS og SVE er slukket</b>					Dato :27-07-99
LOKALITET Drejøgade							Sag nr. :96.114.01
							Init./Tilsyn :BME
Boring nr.	Pejlepunkt (kote) m	V.S. (m.u.pp.) m	V.S. (kote) m	Olietykkelse m	Korrigeret olietykkelse m	Korrigeret trykniveau m	Bemærkninger
B4	9,390	5,66	3,73	0	0	3,73	Film
B10	9,500	5,90	3,60	0	0	3,60	
B11	9,390	5,73	3,66	0	0	3,66	
B12	9,400	5,80	3,60	0	0	3,60	
UB-1	11,530	-					Bil parkeret over boring
UB-2	11,750	8,20	3,55	0	0	3,55	
UB-3	11,670	8,10	3,57	0	0	3,57	
UB-4-Øvre	11,780	8,21	3,57	0	0	3,57	
UB-4-Nedre	11,780	8,21	3,57	0	0	3,57	
UB-5	11,800	tør					
UB-6-Øvre	11,790	tør					
UB-6-Nedre	11,760	tør					
UB-7	11,770	8,22	3,55	0	0	3,55	
UB-9	11,760	8,21	3,55	0	0	3,55	
MB-1	9,630	6,05	3,58	0	0	3,58	
MB-2	11,750	8,17	3,58	0,03	0	3,58	
MB-3	11,720	8,18	3,54	0	0	3,54	
MB-4	11,900	8,30	3,60	0	0	3,60	
MB-5	9,540	-					Prop gået ned og sidder fast ?
MB-6	9,320	-					Prop gået ned og sidder fast ?
MB-7	11,850	8,30	3,55	0	0	3,55	
MB-8	11,810	8,27	3,54	0	0	3,54	
MB-9	11,790	8,25	3,54	0	0	3,54	
MB-10	11,810	tør					
MB-11	11,770	8,27	3,50	0	0	3,50	
MB-12	11,860	8,39	3,47	0	0	3,47	
MB-13	11,830	8,32	3,51	0	0	3,51	
MB-14	11,700	8,26	3,44	0	0	3,44	
MB-15	9,630	6,06	3,57	0	0	3,57	

Pejlepunkt = top af rør  
 Olietykkelse korrigeret med (massefylde): 0,77