



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Anvendelse af poreluftmålinger til påvisning af jord- forurening med olie

Revideret udgave

Miljøprojekt nr. 2250

Oktober, 2023



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Per Loll, Kristian Tommerup Vad, Jacob Jensen
og Claus Larsen DMR A/S
Maybrit Jannerup, Region Sjælland

ISBN: 978-87-7038-565-7

Revideret udgave: Ændret fra " Anvendelse af poreluftmålinger til påvisning af jord-forurening med olie",
"Miljøprojekt nr. 2023, Juni 2018 til Anvendelse af poreluftmålinger til påvisning af jord-forurening med
olie, Miljøprojekt nr. 2250, Oktober 2023."

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter indenfor miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at indlægget udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Sammenfatning og konklusioner	4
Summary and conclusions	6
1. Indledning	8
1.1 Baggrund	8
1.2 Formål	9
1.3 Strategi	9
2. Konceptuel forståelse af olieforurening og poreluft	10
2.1 Olieforurening i umættet zone	10
2.2 Poreluftmålinger	11
3. Lokalteter og datagrundlag	12
4. Resultater	14
4.1 Databehandling	14
4.2 Relativ koncentration som funktion af afstand til kilden	15
4.3 Absolut koncentration som funktion af afstand til kilden	17
5. Vurderinger	19
5.1 Resultaterne i kontekst af risikovurdering for indeklime	19
5.2 Resultaterne i kontekst af poreluftscreening	20
5.2.1 Sandsynlighed for at lokalisere jordforurening med en given prøvetagningstæthed	22
5.2.2 Forurenet jordvolumen, jordmængde og produktmængde	23
5.2.3 Kobling af sandsynlighed og forureningsmængde	24
6. Sammenfatning og diskussion	25
7. Referencer	27
Bilag 1. Situationsplaner, rådata og konceptuelle modeller	29
Bilag 2. Bearbejdede data og tilhørende plots	39

Sammenfatning og konklusioner

Projektets primære formål er at undersøge om poreluftmålinger er et egnet screeningsredskab til at undersøge om der er jordforurening med olieprodukter (fyringsolie eller dieselolie) på et givet areal, og dermed om resultaterne kan benyttes som kortlægningsgrundlag efter jordforureningsloven.

Der er gennemført supplerende feltundersøgelser, på 9 lokaliteter i Region Sjælland med ældre fyringsoliespild (1996-2013). På 4 af de 9 lokaliteter er der fremskaffet TVOC-koncentrationer med høj datatæthed for 38 poreluftpunkter placeret indenfor en afstand af 3 meter fra kendte kilder/jordforureninger. På baggrund af de indsamlede data er følgende konkluderet:

- 1) Koncentrationen af TVOC i poreluften falder hurtigt som funktion af afstanden til kilden/jordforureningen. Almindeligvis er koncentration faldet til <20% af koncentrationen i kildeområdet/jordforureningen efter blot 1 meter.
- 2) Der konstateres ikke TVOC-koncentrationer i poreluften, der overskrider miljømæssige screeningskriterier på hhv. 30 og 100 gange Miljøstyrelsens afdampningskriterium, mere end 1 meter fra den kendte placering af kilden/jordforureningen.

TVOC

Totalindhold af flygtige kulbrinter

Oliefureninger er forbundet med en lille poreluftsky

Poreluftkoncentrationen for TVOC omkring jordforureninger med fyringsolie, falder hurtigt med afstanden til kilden/jordforureningen. Ved mere end 1 m afstand til jordforurening, kan det forventes at koncentrationen er faldet til <20% af kildekonzentrationen og <3.000 µg/m³.

Konklusionerne vurderes at være generelt gældende for diesel-/fyringsolieforureninger, der er mere end 6 mdr. gamle. Resultaterne underbygger resultaterne fra /1/.

Ved screening efter ukendte jordforureninger med olieprodukter, med 100 L poreluftprøver, er det derfor essentielt, at der benyttes en forholdsvis stor prøvetagningstæthed og at forholdsvis lave poreluftkoncentrationer tages som udtryk for at der kan være en jordforurening i nærheden af poreluftpunktet.

I afsnit 5.2 er der foretaget en række statistisk baserede betragtninger omkring sandsynligheden for at lokalisere ukendte jordforureninger med olieprodukter via poreluftscreening. Her er det bl.a. vist at 90% sandsynlighed for at lokalisere en ældre kortlægningsberettiget jordforurening med diesel-/fyringsolie (≥10 kg olieprodukt) kræver et prøvetagningsnet med en gitterafstand på maksimalt 4,5 meter, svarende til ca. 5-6 poreluftpunkter pr. 100 m². Her er det forudsat, at jordforureningens top er beliggende maksimalt 0,7 meter dybere end poreluftpunktet. Der skal udtages poreluftprøver i flere dybder hvis dybereliggende forurening ønskes lokaliseret.

Resultaterne viser, at der kan være en jordforurening stammende fra et ældre fyringsoliespild blot 1 meter fra en TVOC-koncentration i poreluften på ca. 3.000 µg/m³. Ved screening for ukendte forureninger med diesel-/fyringsolie via poreluftmålinger, er det således væsentligt, at TVOC-koncentrationer på 3.000 µg/m³ (eller mindre) kan være et tegn på en nærliggende (ældre) jordforurening. Selvom TVOC-koncentrationer på 3.000 µg/m³ ikke normalt udgør en risiko for indeklimaet, kan de altså være udtryk for en nærliggende (ældre) jordforurening med olieprodukter; der muligvis er kortlægningsberettiget.

På baggrund af projektets resultater anbefales således, at en poreluftkoncentration af TVOC på maksimalt 3.000 µg/m³ (evt. lavere) benyttes ved poreluftscreening, som indikation på tilstedeværelsen af ukendt jordforurening med olieprodukter.

Med mindre der foretages en ret detaljeret poreluftscreening (både horisontalt og vertikalt), vurderes poreluftprøver generelt at være et redskab, der er begrænset i sin evne til at lokalisere ukendte, kortlægningsberettigede jordforureninger med fyrings-/dieselolie. Dette skyldes, at poreluftpåvirkningen fra en (ældre) jordforurening med diesel-/fyringsolie ikke rækker ret langt væk fra jordforureningen. Når det er sagt, så er poreluftprøver dog bedre end jordprøver, der repræsenterer et langt mindre jordvolumen end poreluftprøver, og typisk er forbundet med flere praktiske vanskeligheder og større omkostninger at udtage med høj tæthed.

Poreluftprøver (100 L) vurderes således at kunne anvendes til screening for jordforurening med diesel-/fyringsolie under forudsætning af:

1. At poreluftindhold på maksimalt 3.000 µg/m³ benyttes som en indikation på tilstedeværelsen af en jordforurening med diesel-/fyringsolie (lavere koncentrationer kan også være udtryk for en nærliggende jordforurening).
2. At der benyttes en tilstrækkelig høj prøvetæthed (jf. afsnit 5.2); f.eks. at der i relevante dybder benyttes en maksimal gitterafstand på 4,5 meter (svarende til ca. 5-6 prøver pr. 100 m² horisontalt).
3. At prøverne udtages maksimalt 0,7 meter over toppen af de forureninger, der screenes for. Ved risiko for dybereliggende jordforureninger skal der evt. screenes i flere dybder.

Summary and conclusions

The primary study objective is to investigate the use of soil gas screening as a tool for locating hydrocarbon soil contamination (diesel or heating oil) in a given area, and if results from a soil gas screening can be used to decide if a given area should be charted as contaminated according to "Jordforureningsloven" (The Danish Soil Pollution Act).

We conducted site investigations at nine sites with older heating oil spills (1996-2013) in The Region of Sealand. At four of the nine sites, we measured soil gas concentrations of TVOC with a high spatial resolution for 38 data points, all within 3 meters of known spills/soil contamination. Based on the collected data it is concluded that:

- 1) The TVOC concentration quickly drops as a function of distance to the source/soil contamination. Most commonly, the concentration has dropped to <20% of the source concentration just 1 meter from the source.
- 2) TVOC concentrations exceeding environmental screening levels of 30 and 100 times the Danish regulatory limit ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) are not seen beyond 1 meter from the known source.

TVOC
Total Volatile Organic Compounds

Oli contamination is associated with a small vapor halo

Soil gas concentrations of TVOC quickly drops as a function of distance from soil contamination with heating oil. Just 1 meter from soil contamination, it can be expected that the soil gas concentration is <20% of the source concentration and $<3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

The findings are thought to be valid for diesel- or heating oil spills that are more than 6 months old. These results support the findings of /1/.

Hence, when using soil gas screening, based on 100 L soil gas samples, as a tool for locating unknown hydrocarbon soil contamination (diesel or heating oil), it is essential that a sufficiently tight-knit sampling grid is applied, and that relatively low concentration levels are used as an indicator for possible close-by soil contamination.

Section 5.2 contains statistically based calculations regarding the probability of locating unknown source areas of soil contamination with heating oil, applying soil gas screening as a tool. We have shown that 90% probability of locating an older spill with diesel or heating oil (≥ 10 kg of oil product) require a sampling grid of no more than 4,5 meters, corresponding to 5-6 samples per 100 m^2 . For these calculations, it is assumed that the top of the soil contamination is no more than 0,7 meters below the soil gas sampling depth. Sampling at several depths should be applied when trying to locate deeper soil contamination.

The results show that soil contamination, relating to an older heating oil spill, can be present only 1 meter from a soil gas sampling point with a TVOC concentration of approx. $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. When screening for unknown diesel or heating oil spills, using soil gas screening, it is important to note that TVOC concentrations of $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (or less) can be a sign of a close-

by source area for (older) soil contamination; a soil contamination that should be charted as contaminated according to "Jordforureningsloven" (The Danish Soil Pollution Act).

Based on the results of this project, it is recommended that soil gas TVOC concentrations of $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (or less) is used as an indication of an unknown, near-by soil contamination with petroleum hydrocarbons.

Soil gas screening is limited in its ability to locate unknown soil contamination with diesel or heating oil, of a size that would warrant charting according to "Jordforureningsloven", unless a tight-knit sampling grid is applied (both horizontally and vertically). This is due to the fact that (older) soil contamination with diesel or heating oil is associated with a small vapor halo. Despite this, soil gas screening is better suited than screening with soil samples since such samples represent an even smaller soil volume than soil gas samples. In addition, soil sampling is also associated with more practical difficulties and higher costs if a dense sampling grid is to be applied.

Hence, soil gas screening (100 L samples) is deemed appropriate when screening for unknown soil contamination with diesel or heating oil if the following prerequisites are met:

1. TVOC concentrations of $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (or less) is used as an indication of an unknown, near-by soil contamination with diesel or heating oil (lower concentrations can also indicate close-by soil contamination).
2. A sufficiently tight-knit sampling grid is applied (cf. section 5.2); eg. that relevant depths are screened with a maximum grid size of 4,5 meters (corresponding to 5-6 samples per 100 m^2).
3. That samples are collected a maximum distance of 0,7 meters above the top of the soil contamination one wishes to locate with the screening. When there is a risk of deeper soil contamination, screening in several depths should be considered.

1. Indledning

1.1 Baggrund

I regionernes indledende/orienterende forureningsundersøgelser udtages jord-, vand- og poreluftprøver ved kendte kilder til potentiel olieforurening for at afklare kortlægningsspørgsmålet; altså til at afklare om der er kortlægningsberettiget jordforurening på ejendommen.

Som supplement hertil, udføres der ofte poreluftmålinger af screeningsmæssig karakter til at vurdere om der er væsentlig, typisk terrænnær, olieforurening i områder uden kendte potentielle kilder, eller i områder hvor kildeplaceringen ikke er præcist fastlagt; herunder ofte under bygninger. I denne kontekst benyttes poreluftmålingerne således til at vurdere om der er væsentlig forurening, og om (dele af) ejendommen skal V2-kortlægges.

I Miljøprojekt nr. 1310, 2009 (/1/) er der udarbejdet en erfaringsopsamling for Miljøstyrelsen vedr. den tidlige udvikling i poreluftkoncentrationerne på sager, hvor der er kendt jordforurening med fyringsolie. Tre af de væsentligste konklusioner er:

- 1) TVOC (totalindholdet af kulbrinter) er den risikodrivende forureningskomponent ift. poreluftforurening og indeklima. Benzen er fundet at være mindre kritisk pga. en hurtig afdampning fra kildeområdet og en højere nedbrydning,
- 2) poreluftkoncentrationerne falder markant inden for de første 2 år efter oliespildet og stabiliseres generelt til lave niveauer, og
- 3) væsentligt forhøjede poreluftkoncentrationer (>100 gange afdampningskriteriet) konstateres ikke i en afstand >1 meter fra jordforureningen når poreluftprøverne udtages mere end 6 mdr. efter spildet. Den højeste målte TVOC-koncentration efter >6 mdr. er $4.100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og efter >1 år $1.900 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

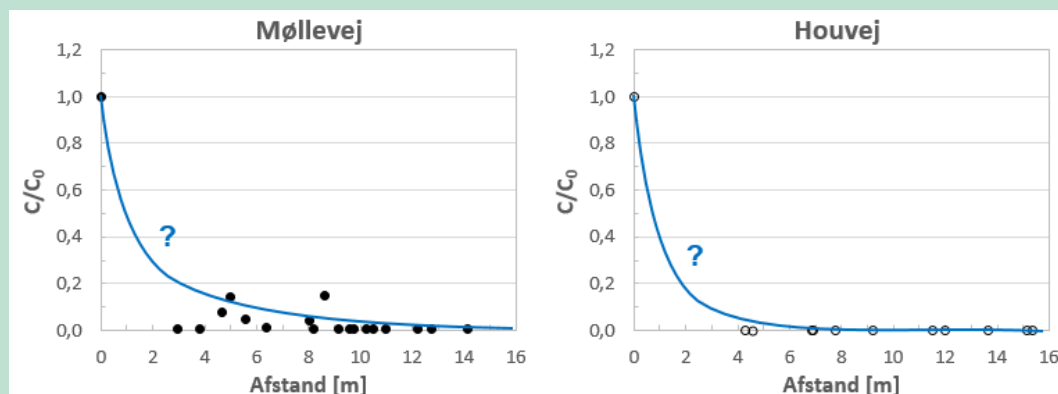
Erfaringerne i /1/ er opnået for relativt friske fyringsoliespild, hvor forureningens størrelse og beliggenhed er velbeskrevet. Hvis spildtidspunktet ligger f.eks. 5-10 år tilbage i tiden – eller hvis der er tale om tungere og mindre flygtige oliekomponenter end fyringsolie; f.eks. motor-/smøreolie eller spildolie – forventes afstanden hvori jordforurening med oliekomponenter påvirker poreluften i betydende grad, at være mindre end for friske fyringsoliespild.

I Miljøprojekt 1587, 2014 (/2/) er fem lokaliteter undersøgt med akkrediterede poreluftmålinger (100 L opsamlet på Dräger kulrør) og via poreluftscreening (2,5 L poreluftprøver opsamlet i vakuumboks og screenet med PID-måler). Tre af lokaliteterne var forurenede med PCE, mens to lokaliteter var forurenede med oliekomponenter. De primære konklusioner fra projektet er:

- 1) I terrænnære jordlag (op til 2 meters dybde) er der klare indikationer på at chlorerede opløsningsmidler spreder sig længere væk fra jordforureningen end oliekomponenter,
- 2) ukendt jordforurening med chlorerede opløsningsmidler kan opdages med poreluftprøver fra større afstand, end jordforurening med oliekomponenter. Derfor kræver screening af olieforurenede lokaliteter – som udgangspunkt – en større prøvetæthed,
- 3) geostatistisk analyse af korrelationsafstande viser, at der ved undersøgelse for ukendte kilder skal anvendes prøveafstande på < 1,5 m for olieforureninger (meget usikkert) for at sikre, at der ikke opstår huller i informationsbilledet.

I /2/ anføres det, at tilførslen af atmosfærisk ilt til terrænnære aflejringer normalt tillader en effektiv aerob nedbrydning af oliekomponenter, der kan være med til at reducere den afstand som oliedampene spredes fra kilden. Dertil sker der relativt hurtig en afgang af de mest flygtige oliekomponenter, som vil bevirke en yderligere sammentrækning af poreluftskyen for ældede oliespild, /1/ og /3/.

På baggrund af poreluftdata for TVOC på de to olesager /2/ er der i figur 1 udarbejdet plots, der viser den relative poreluftkoncentration (ift. koncentrationen i kildeområdet) som funktion af afstanden til jordforureningen/kilden.



FIGUR 1. Relativ koncentration af oliekomponenter (TVOC) som funktion af afstanden fra kilden/jordforureningen, data fra /2/.

I figur 1 ses at den relative koncentration af oliekomponenter allerede indenfor en afstand af 3-4 meter er reduceret til < 20 % af kildestyrkekoncentrationen. Dette til trods for, at der på Houvej er tale om en meget kraftig kilde med flygtige kulbrinter i poreluften i koncentrationen 4.300.000 µg TVOC/m³. Den højeste koncentration på Møllevej er 12.000 µg/m³. Som det fremgår af figuren mangler der data til at beskrive det faktiske kurveforløb indenfor afstande på op til 3-4 meter, som kan underbygge konklusionerne fra /1/.

1.2 Formål

Det primære formål med projektet er at undersøge om poreluftmålinger er et egnet redskab til at screene for tilstedeværelsen af jordforurening med olieprodukter - her afgrænset til gasolie (diesel-/fyringsolie). Altså om poreluftmålinger er et egnet redskab til at screene lokaliteter med mistanke om jordforurening med diesel- eller fyringsolie, og i givet fald under hvilke forudsætninger.

Som sekundært formål forsøges følgende spørgsmål besvaret: Kan man risikere at overse kortlægningsberettiget olieforurening, hvis undersøgelsen baseres alene på poreluftmålinger?

1.3 Strategi

Til belysning af projektformålene er der udført en række feltundersøgelser på lokaliteter, hvor der tidligere er konstateret jordforurening med fyringsolie; altså hvor der er kendt forurening.

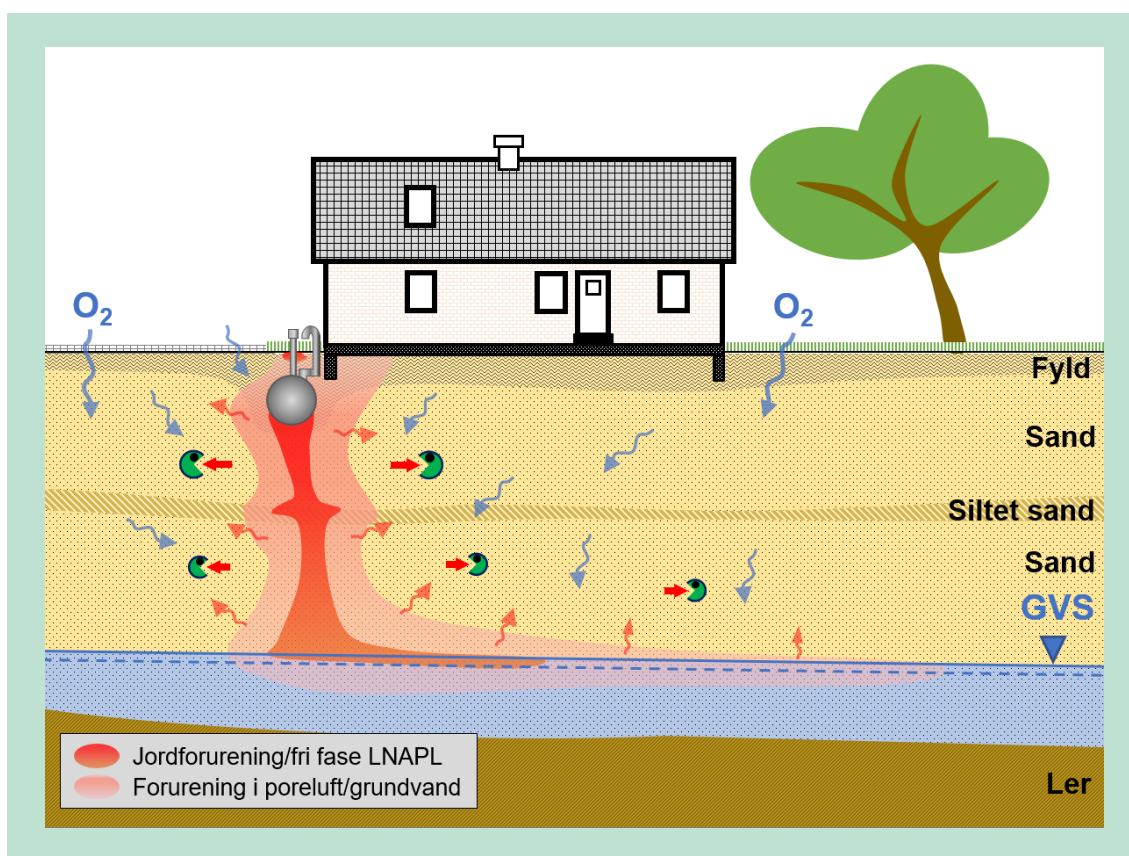
På de udvalgte lokaliteter er der evt. udført borer til bedre karakterisering eller afgrænsning af jordforureningen, og der er udført supplerende poreluftmålinger med stor tæthed, med henblik på at fremskaffe feltdata i det manglende dataområde i figur 1, dvs. indenfor en afstand på 3-4 meter af jordforureningen/kilden. Der er arbejdet med både horisontal og vertikal separation imellem jordforurening/kilde og poreluftpunkterne.

Med afsæt i de indsamlede data foretages statistisk baserede betragtninger omkring sandsynligheden for at lokalisere ukendte jordforureninger med olieprodukter, baseret på screening med poreluftmålinger.

2. Konceptuel forståelse af olieforurening og poreluft

2.1 Olieforurening i umættet zone

Som det fremgår af afsnit 1.1, så viser hidtidige erfaringer, at poreluftsken omkring en jordforurening med oliekomponenter kun har en begrænset udstrækning – i størrelsesordenen 1-3 meter, jf. /1/ og /2/. Dette er under forudsætning af, at der er tale om gasolie (dieselolie eller fyringsolie), samt at der ikke er tale om et helt friskt spild (dvs. > ca. 6 mdr.). Dertil fordrer denne konceptuelle forståelse, at der er tale om en aerob umættet zone med mulighed for transport af atmosfærisk ilt til de jordlag hvori poreluftforureningen findes/spredes, /4/. Den konceptuelle forståelse af en diesel-/fyringsolieforurening er skitseret i figur 2, mens udbredelsen af tungere olier, specielt i poreluft og grundvand, forventes at være mindre.



FIGUR 2. Konceptuel forståelse af poreluftforurening med fyringsolie i en sandet, umættet geologi. Geniltning er tilstrækkelig til sikre biologisk nedbrydning og en begrænset udbredelse af poreluftforureningen.

I modelmæssig henseende kan kravet til geniltning formuleres som et krav til gasdiffusivitet (D_p/D_0 = Materialekonstanten i JAGG), der dels afhænger af de geologiske sedimenter og dels af deres vandmætning. Kravet til en ikke-diffusionsbegrænset ilttilførsel er at gasdiffusiviteten i den omkringliggende jord er i størrelsesordenen $> 0,02$ /5/. I praksis betyder dette, at der skal være tale om ikke-våde, umættede jordlag over eller omkring jordforureningen; f.eks. muld, sand eller sandet moræneler med en tørstofprocent (TS) $> \text{ca. } 85\%$.

Ved våde(re), siltede eller lerede sedimenter kan aerob nedbrydning være begrænset af ilttilførslen, men da den diffusive transport af dampe væk fra jordforureningen ligeledes vil være hæmmet af en lav gasdiffusivitet, hvorfor udstrækningen af poreluftskyen ikke nødvendigvis samlet set bliver større /6/.

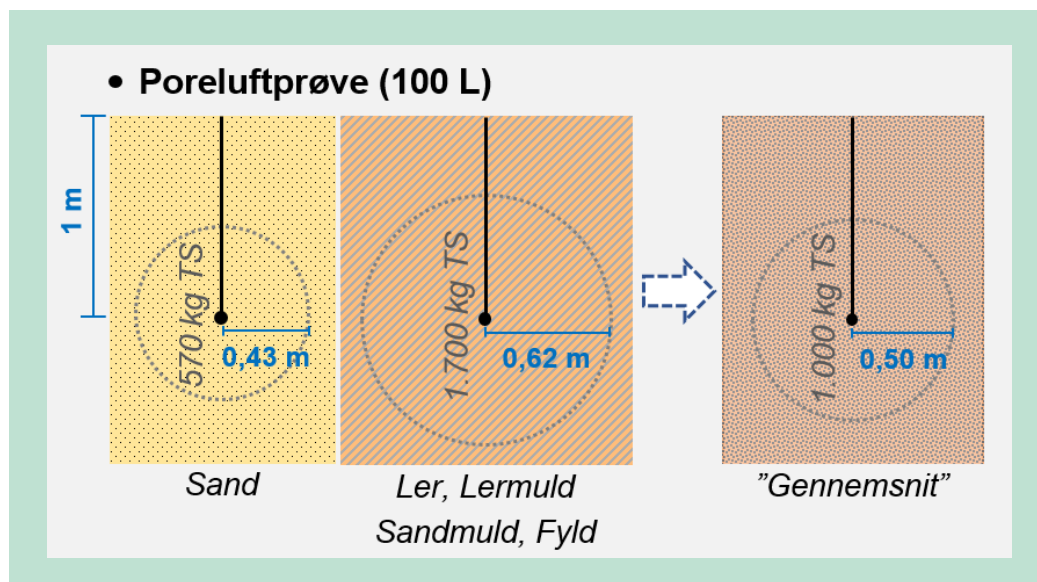
2.2 Poreluftmålinger

Poreluftmålinger betragtes oftest som punktmålinger, mens de i virkeligheden repræsenterer et større jordvolumen. Ved lokalisering af ukendte jordforureninger anbefales det i /2/, at der opsamles poreluftvolumener på 100 L.

Med udgangspunkt i JAGG-modellens standardværdier for luftfyldt porehulrum, svarer 100 L poreluft til, at prøven udtages fra et jordvolumen på mellem ca. 330 L (sand) og 1.000 L (ler, lermuld, sandmuld og fyld). Hvis det antages, at der er tale om et kugleformet volumen, svarer ovenstående jordvolumener til effektive radier af en poreluftmåling på mellem 0,43 og 0,62 meter; eller effektive diametre på 86 til 124 cm, jf. /2/. Antages der en bulk massefylde for jorden (ρ_b) på 1,7 kg TS/L svarer det til, at en poreluftprøve repræsenterer en jordmængde på mellem 570 og 1.700 kg TS.

Uden at skulle igennem et større regnearbejde ved hver poreluftmåling kan man således antage, at en almindelig 100 L poreluftprøve i "gennemsnit" repræsenterer i størrelsesordenen 1.000 kg TS og en kugle med en radius på 0,50 meter (og en diameter på ca. 100 cm). I nogle henseender kan dette betragtes som en punktp prøve, men i andre tilfælde vil dette være en tilsnigelse. Set i lyset af, at olieforureninger i terrænnære aerobe jordlag kan forventes at have en udstrækning på i størrelsesordenen 1-3 meter, så er 0,5 meter ikke en helt ubetydelig radius.

Ovenstående forhold imellem prøvetagningsradier og jordmængder for forskellige jordtyper, er illustreret for en 100 L poreluftprøve udtaget efter forskrifterne i 1 meters dybde i figur 3.



FIGUR 3. Illustration af prøvetagningsradius og jordmængde for 100 L poreluftprøve, udtaget i 1 meters dybde, i forskellige jordtyper.

Tilsvarende kan poreluftprøver på 50 L i en gennemsnitlig jord antages at repræsentere ca. 550 kg TS og en kugle med en radius på 0,40 meter; og poreluftprøver på 25 L, kan, i en gennemsnitlig jord, antages at repræsentere ca. 280 kg TS og en kugle med en radius på 0,30 meter.

3. Lokalteter og datagrundlag

Feltundersøgelserne i nærværende Teknologiuudviklingsprojekt er gennemført via tillægsundersøgelser til et igangværende revurderingsprojekt i Region Sjælland. I revurderingsprojektet gennemføres supplerende undersøgelser (boringer og/eller poreluftmålinger) ift. en række boliggrunde, som Region Sjælland på baggrund af tidligere undersøgelsesresultater har givet en F2-nuancering. Lokalteterne til udviklingsprojektet er udvalgt efter følgende kriterier:

1. Der er konstateret jord-/poreluftforurening med olieulbrinter og kilden er kendt
2. Der er tale om fyringsolieforurening
3. De geologiske forhold gør det muligt at udtage poreluftprøver.

Ud fra en samlet bruttoliste på ca. 30 sager, er der inddraget 9 boliglokaliteter i Teknologiprojektet. På flere af sagerne er der udført afværge i form af delvis opgravning af forurenede jord. De ni sager er udvalgt efter en indledende screening af datamaterialet fra tidligere undersøgelser og repræsenterer dels de største/kraftigste (rest)forureninger og dels lokaliteter, hvor de geologiske forhold bedst betinger udtagning af poreluftprøver, herunder med mulighed for udtagning af prøve i f.eks. opfyldte udgravninger, med en veldefineret horisontal eller vertikal afstand til restforureningen.

På de ni sager er der, i regi af Teknologiprojektet og Region Sjællands egne undersøgelser, udført i alt 16 håndboringer, hvorfra 71 jordprøver analyseret for indhold af olieulbrinter. Dertil er der udtaget 79 poreluftprøver, hvoraf nogle er udtaget med reduceret prøvevolumen (25-50 L) i bestræbelser på at opnå en højere rumlig opløsning i beskrivelsen af poreluftforureningen, jf. anbefalingerne i /2/. Lokaltetsoplysninger og en opsummering af datagrundlaget for de ni sager er sammenstillet i tabel 1. Situationsplaner med rådata og konceptuelle modeller fremgår af bilag 1.

TABEL 1. Sammenstilling af lokaltetsoplysninger og datagrundlag fra ni lokaliteter med fyringsoliespild, undersøgt i projektet. JP = jordprøver. PL = poreluftprøver.

Lok.	Spild Årstal	[L]	Afværge ved opgravning (årstal)	Skønnet areal # (m ²)	Antal boringer	Antal JP	Maks konc.* (C6-C35) [mg/kg TS]	Antal PL	Maks konc.* (TVOC) [µg/m ³]
1	2013 [⌘]	Ukendt	223 tons (2016)	15	6	37	7.300	15	560.000
2	2000	Ukendt	2 tons (2000)	20	0	0	2.600	7	3.700
3	2001	Ukendt	51 tons (2001)	25	2	7	2.400	5	6.700
4	1999	800-1.000	Ukendt (1999)	20	3	8	850	11	450.000
5	2000	1.000-1.500	640 tons (2003)	5	0	0	920	6	i.p.
6	1996	Ukendt	Ingen	165	2	10	31.000	12	440
7	2001	300-500	Ingen	90	1	5	10.450	11	i.p.
8	1998	Ukendt	36,4 tons (2009)	25	0	0	940	9	230
9	2007	Ukendt	Ingen	5	2	4	920	2	650*

[⌘] Inkl. et ældre spild. # Skønnet areal af restforurening er efter eventuel opgravning. * Maksimal koncentration efter eventuel opgravning.

På de fleste lokaliteter var der planlagt udtagning af poreluftprøver i flere niveauer, f.eks. 1,0 og 1,8 m u.t., men på grund af vandmættede eller tætte aflejringer har det i mange tilfælde ikke været muligt at udtage de planlagte dybe poreluftprøver, og antallet af poreluftmålinger er reduceret med ca. 50% ift. det planlagte måleprogram. På fem af lokaliteterne (lok. 5-9) har det således ikke været muligt at karakterisere forureningskilden via poreluftmålinger; enten

pga. tætte eller vandmættede aflejringer eller fordi det ikke har været muligt at (gen)finde forureningen.

På sin vis understreger frasorteringen af ca. 2/3 af de sager, der har været under overvejelse ifm. projektet, samt det faktum, at det ikke har været muligt at (gen)finde betydende poreluftforurening på 5 af de 9 undersøgte sager, at ældre fyringsoliespild generelt nok ikke udgør den største "tikkende miljøbombe" i branchen. Det er således svært at forestille sig en tilsvarende situation, med manglende genfinding af betydende poreluftkoncentrationer på mere end halvdelen af sagerne, hvis der var tale om undersøgelse af ældre spild med chlorerede opløsningsmidler. Disse resultater underbygger således den generelle formodning om at der sker en naturlig biologisk nedbrydning af denne type oliekomponenter over tid, jf. /1/.

4. Resultater

4.1 Databehandling

Alle resultater fremgår af situationsplanerne i bilag 1, hvor resultaterne fra lokalitet 1-4 indgår i den følgende kvantitative analyse af TVOC-data fra lokaliteterne. Resultaterne fra lokalitet 5-9 indgår ikke i analysen, da det ikke har været muligt at kvantificere kildestyrkekoncentrationen i poreluften på disse lokaliteter, se diskussionen i kapitel 3.

Den basale databehandling består i følgende:

1. Fastlæggelse af poreluftkoncentrationen af TVOC i kilden/jordforureningen (C_0).
2. Beregning af den relative TVOC-koncentration i poreluftpunktet (C/C_0).
3. Beregning af en afstand imellem jordforureningen og poreluftpunkter.
4. Plot den relative TVOC-koncentration (C/C_0) som funktion af afstanden til kilden.
5. Plot af den absolutte TVOC-koncentration (C) som funktion af afstanden til kilden.

I forhold til denne procedure er der truffet nogle subjektive valg. Generelt er usikkerheder håndteret, så der gives et konservativt billede af jordforureningens påvirkning af den omkringliggende poreluft (høj poreluftkoncentration udenfor kilden (C), lav kildestyrkekoncentration (C_0), og lang separationsafstand imellem kilde og poreluftpunkt). Der er redegjort for de konkrete valg i det følgende.

Ad 1: Fastlæggelse af poreluftkoncentrationen af TVOC i kilden (C_0)

I de tilfælde hvor det har været muligt at måle koncentrationen direkte i jordforureningen/kilden er denne naturligvis anvendt som kildestyrkekoncentration (C_0). Dette har været muligt på lokalitet 1, 3 og 4. På lokalitet 1 er der anvendt en middelværdi af PL1 (1,8 m u.t.) og PL3 (1,6 m u.t.), der er målt hhv. lige indenfor og lige udenfor konstateret jordforurening (se bilag 1.1). På lokalitet 3 er koncentrationen målt i PL1 (2,85 m u.t.) benyttet, og på lokalitet 4 er værdien målt i MP1 (1,8 m u.t.) benyttet.

For lokalitet 2 har det ikke været muligt at udtage en poreluftprøve direkte i kilden. I stedet er den højeste poreluftkoncentration, målt på lokaliteten, benyttet som udtryk for kildestyrkekoncentrationen; PL7 (1,05 m u.t.). Reelt er denne koncentration målt ca. 0,7 meter fra nærmeste gravefront, jf. bilag 1.3, og antages derfor at være lavere end den reelle kildestyrkekoncentration. I kulrøret fra dette punkt har der været en fugtbetinget desorption fra analyselaget på kulrøret, hvorfor indholdet kvantificeret som $>6.715 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I nærværende sammenhæng er denne værdi benyttet direkte til beregning af C/C_0 – hvilket giver et konservativt billede af faldet i den relative koncentration som funktion af afstanden. Med andre ord bliver C/C_0 højere end den reelt forventes at være, idet der, beregningsmæssigt, divideres med en lavere C_0 end den reelt formodes at være.

Ad 2: Beregning af den relative TVOC-koncentration i poreluftpunktet (C/C_0)

Som udgangspunkt er der beregnet C/C_0 -værdier for kombinationer af poreluftpunkter, der hhv. repræsenterer kilden (se ovenfor) og et "modtagende" poreluftpunkt. Et "modtagende" poreluftpunkt er i denne sammenhæng defineret som et poreluftpunkt, der er beliggende udenfor jordforureningen; alternativt "nedstrøms" et forurenede poreluftpunkt.

For poreluftpunkter med koncentrationer $<$ detektionsgrænsen, er detektionsgrænsen benyttet både ved beregning af C/C_0 og i plottet af koncentration vs. afstand (jf. punkt 5). I nærværende sammenhæng er dette et konservativt valg, der vil bevirke, at punkterne optræder med en værdi, der enten er lig eller højere end den reelle værdi.

Ad 3: Beregning af en afstand imellem jordforureningen og poreluftpunkter

Ved beregning af afstanden er den "diagonale" afstand benyttet. Dvs. at kildens og poreluftpunkternes beliggenhed i både det horisontale og vertikale plan er taget i betragtning.

I de situationer, hvor der foreligger en god og sikker karakterisering af jordforureningens beliggenhed i nærheden af et givent poreluftpunkt, f.eks. på lokalitet 1 og 3, er afstanden til nærmeste konstaterede jordforurening estimeret på baggrund af den konceptuelle model (situationsplan og snittegning). Jordforurening er defineret som totalindhold af kulbrinter, der overstiger 100 mg/kg TS.

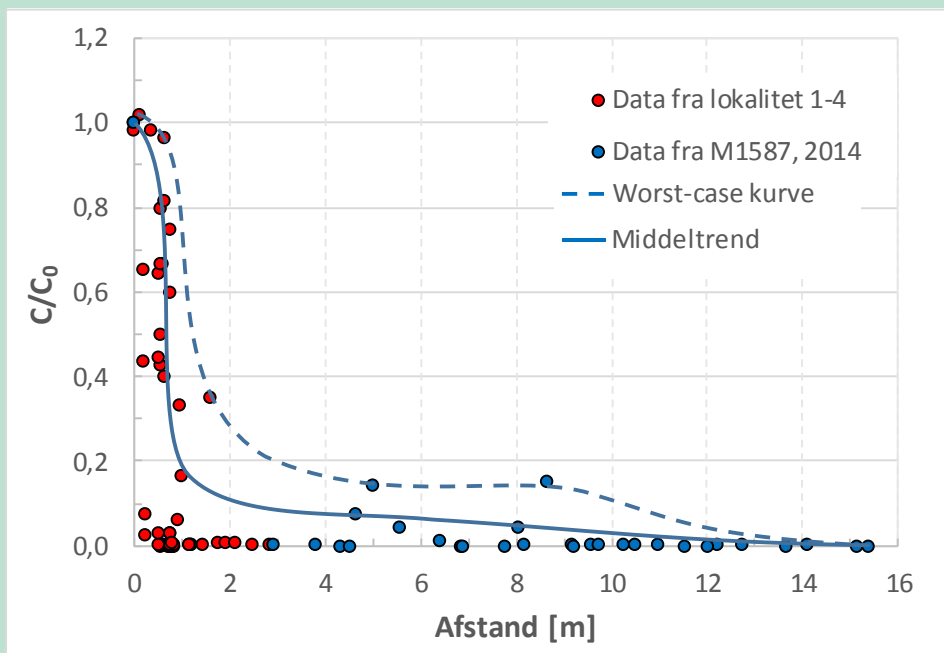
I tilfælde med en usikker konceptuel forståelse af jordforureningens beliggenhed (lokalitet 2 og 4), er afstanden til den højeste poreluftkoncentration målt i selve jordforureningen benyttet. I nærværende sammenhæng vil dette give et konservativt billede af den afstand hvori poreluften påvirkes af jordforurening, da den reelle afstand (om noget) er lavere end den beregningsmæssige.

Ad 4 og 5: Plots af TVOC-koncentration som funktion af afstanden til kilden.

I nogle tilfælde er det ikke entydigt hvad kilden til et givent poreluftindhold er – nærliggende jordforurening eller et nærliggende punkt med en (relativt) høj poreluftkoncentration. Dette gør sig især gældende for lokalitet 1, og i mindre grad for øvrige lokaliteter, hvor der kan være flere poreluftpunkter med høje koncentrationer omgivet af poreluftpunkter med lave koncentrationer. I disse tilfælde indgår nogle punkter flere gange (i forskellige kombinationer).

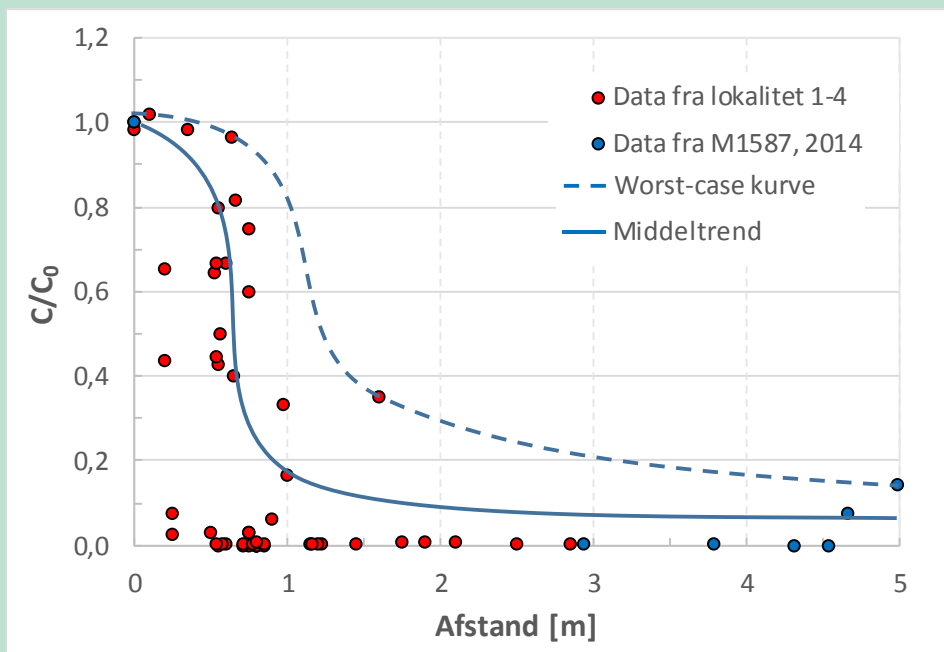
4.2 Relativ koncentration som funktion af afstand til kilden

Rådata fra nærværende detailundersøgelser fremgår af bilag 1, mens de bearbejdede data og plots, relateret til de enkelte lokaliteter, er gengivet i bilag 2, inkl. data fra /2/. Relative TVOC-koncentrationer fra nærværende projekt (lokalitet 1-4) er plottet i nedenstående figurer, sammen med data fra /2/ (Miljøprojekt nr. 1587, 2014), og eye-fittede kurver for worst-case trend og middeltrenden i det samlede datamateriale.



FIGUR 4. Relativ TVOC-koncentration (C/C_0) som funktion af afstand til kil-
den/jordforureningen (maks. afstand 16 meter). I grafen er der indlagt eye-fittede kurver for
worst-case trend og middeltrend.

Figur 5 viser de samme data som figur 4, blot indenfor afstande op til 5 meter.



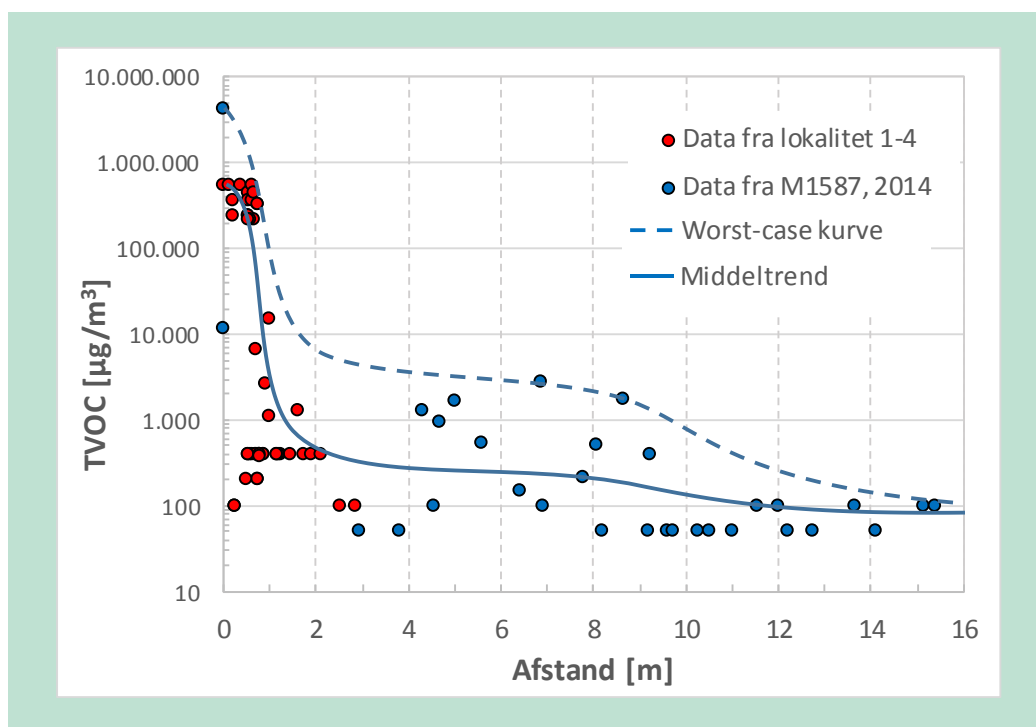
FIGUR 5. Relativ TVOC-koncentration (C/C_0) som funktion af afstand til kil-
den/jordforureningen (maks. afstand 5 meter). I grafen er der indlagt eye-fittede kurver for
worst-case trend og middeltrend.

Som det fremgår af figur 4 og 5, så falder den relative koncentration af TVOC hurtigt som funktion af afstanden til kilden/jordforureningen, og der er ikke konstateret relative koncentrationer >20% af kildestyrkekonzentrationen ved afstande over 2 meter fra kilden/jordforureningen. Det ses desuden, at det almindelige er, at den relative koncentration er faldet til <20% i blot 1 meters afstand fra kilden/jordforureningen, jf. den eye-fittede middeltrend. Kun et datapunkt ligger ud over denne tendens (afstand = 1,6 meter og $C/C_0 = 0,35$).

4.3 Absolut koncentration som funktion af afstand til kilden

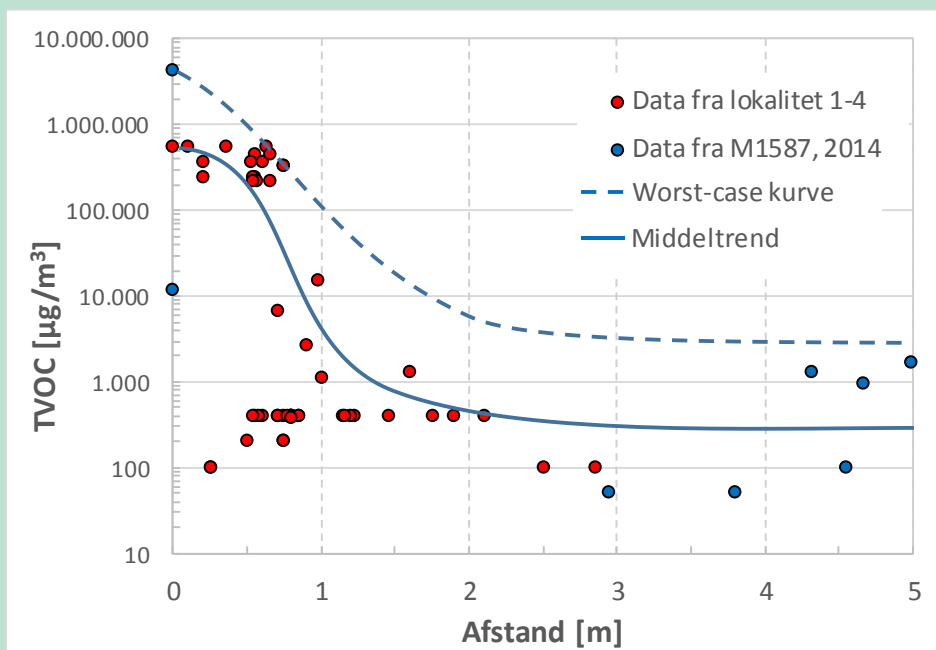
Rådata fra nærværende detailundersøgelser fremgår af bilag 1, mens de bearbejdede data og plots, relateret til de enkelte lokaliteter, er gengivet i bilag 2, inkl. data fra /2/. Absolutte TVOC-koncentrationer fra nærværende projekt (lokalitet 1-4) er plottet i nedenstående figurer, sammen med data fra /2/ og eye-fittede kurver for worst-case trend og middeltrenden i det samlede datamateriale.

Som det fremgår af figur 6 og 7, så er der, i det samlede datamateriale for ikke-friske fyringsoliespild, ikke konstateret poreluftkoncentrationer af TVOC, der overstiger $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i afstande på mere end 1 meter fra kilden/jordforureningen. Den højest målte TVOC-koncentration i afstande på mere end 1 meter fra kilden/jordforureningen er på $2.800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (datapunkt fra Miljøprojekt 1587, 2014).



FIGUR 6. TVOC-koncentration som funktion af afstand til kilden/jordforureningen (maks. afstand 16 meter). Bemærk at koncentrationsaksen er logaritmisk. I grafen er der indlagt eye-fittede kurver for worst-case trend og middeltrend.

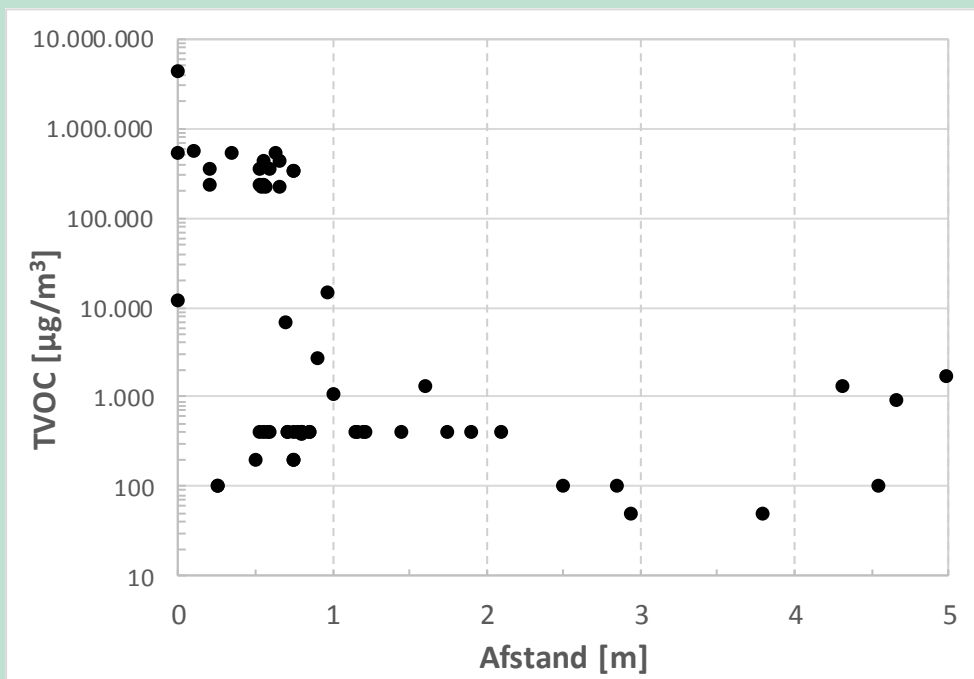
Figur 7 viser de samme data som figur 6, blot indenfor afstande op til 5 meter.



FIGUR 7. TVOC-koncentration som funktion af afstand til kilden/jordforureningen (maks. afstand 5 meter). Bemærk at koncentrationsaksen er logaritmisk. I grafen er der indlagt eye-fittede kurver for worst-case trend og middeltrend.

5. Vurderinger

I det følgende perspektiveres det samlede datasæt for poreluftresultater for TVOC (jf. figur 8) ved at sætte dem i relation til hhv. en dansk risikovurderingskontekst, og til screening efter ukendte jordforureninger med olieprodukter vha. poreluftprøver.



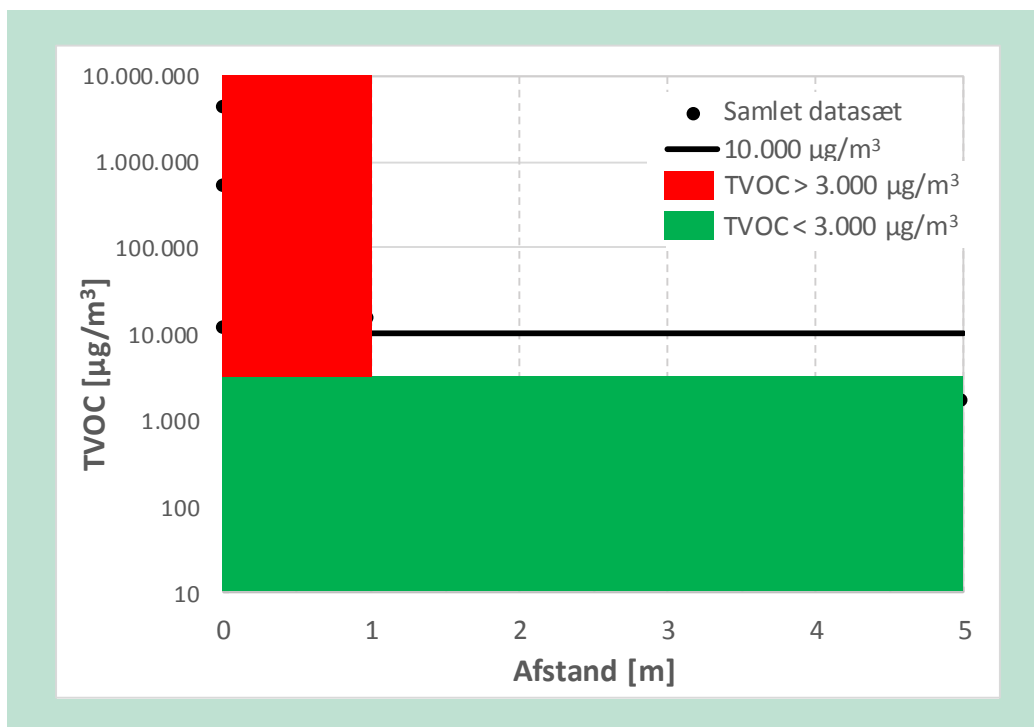
FIGUR 8. Samlet datasæt for TVOC-koncentration i poreluft som funktion af afstanden til kilden/jordforurening indenfor 5 meter til kilde/jordforurening (logaritmisk koncentrationsakse).

5.1 Resultaterne i kontekst af risikovurdering for indeklima

Resultaterne for TVOC-koncentrationen som funktion af afstand fra kilden/jordforurening relateres til en dansk risikovurderingskontekst, med to forskellige mål for risiko, hhv.:

- A. 30 gange Miljøstyrelsens afdampningskriterium (ADK) for TVOC ($= 3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), svarende til den reduktionsfaktor, der, med høj grad af sikkerhed, kan benyttes for poreluftens bidrag til indeklimaet, når der er tale om et støbt betongulv på mindst 5 cm tykkelse, uanset gulvets beskaffenhed, jf. /7/.
- B. 100 gange Miljøstyrelsens afdampningskriterium (ADK) for TVOC ($= 10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), svarende til den reduktionsfaktor, der kan benyttes for poreluftens bidrag til indeklimaet, når der er tale om et støbt betongulv uden synlige revner og sprækker, eller utætheder ved rørgennemføringer eller lignende, samt når der er et passivt luftsifte på 0,3 gange i timen, jf. /8/.

Som det fremgår af figur 9 er der kun konstateret poreluftkoncentrationer af TVOC, der overskrider hhv. 30 og 100 gange Miljøstyrelsens afdampningskriterium (ADK), indenfor 1 meter fra kilden/jordforureningen; hhv. beliggende i det røde område ($>3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) og over den sorte, vandrette streg ($>10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



FIGUR 9. TVOC-koncentration som funktion af afstand til kilden/jordforureningen (logaritmisk koncentrationsakse). Rødt område svarer til koncentrationer $>3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og grønt område svarer til koncentrationer $<3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Punkter over den sorte, vandrette streg svarer til koncentrationer $>10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dermed underbygger resultaterne i dette studium konklusionen i /1/: At der for fyringsoliespild ikke forventes poreluftkoncentrationer i en afstand >1 m fra jordforureningen, der umiddelbart giver anledning til indeklimarisiko, når poreluftprøverne udtages mere end 6 mdr. efter spildet.

5.2 Resultaterne i kontekst af poreluftscreening

I det følgende forudsættes resultaterne i figur 8 at være generelt gældende for gasolieforureninger, der er mere end 6 mdr. gamle, og det antages, at der foretages en poreluftscreening efter ukendt jordforurening med diesel-/fyringsolie; ikke for forureninger med væsentligt anderledes flygtighed eller nedbrydelighed.

I Miljøstyrelsens JAGG-model version 1.5 findes et modul til "Sandsynlighedsberegning", som kan anvendes til at beregne sandsynligheden for at ramme en cylinderformet jordforurening af en given størrelse med boringer/jordprøver placeret i en kvadratisk gitterstruktur, jf. figur 10. I princippet er "jordforurening" her defineret som indhold over en given målt værdi.

Med udgangspunkt i dette JAGG-modul er der i det følgende skitseret nogle beregningsmæssige betragtninger af sandsynligheden for at lokalisere en cylinderformet jordforurening med olieprodukter på baggrund af en screening i poreluften. Tilpasningen til anvendelse af modulet ved en poreluftscreening frem for en jordforurening, som modulet er beregnet til, er beskrevet i det følgende og tager udgangspunkt i /10/.

Sandsynlighedsberegning

Der antages kvadratiske boremønstre.

Gitterlængden er afstanden mellem de nærmeste borer i gitterets krydspunkter.

Det antages at det forurenede område er cylinderformet.

Der udtages prøver i borerne med kortere afstand end cylinderens antagede højde.

Radius af forurenede område r

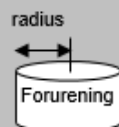
m

	Lagtykkelse (m)	Gitterlængde (m)	Sandsynlighed (%)
lag 1			0 %
lag 2			0 %
lag 3			0 %
lag 4			0 %

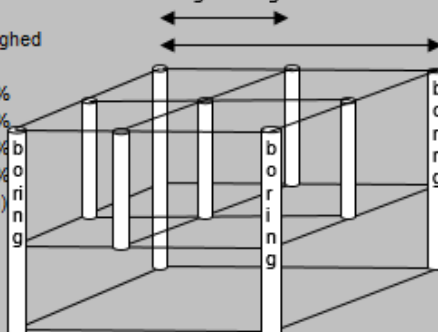
(Indtast kun et lag for 2D-beregning)

Samlet tykkelse: 0 m

Samlet sandsynlighed: 0 %

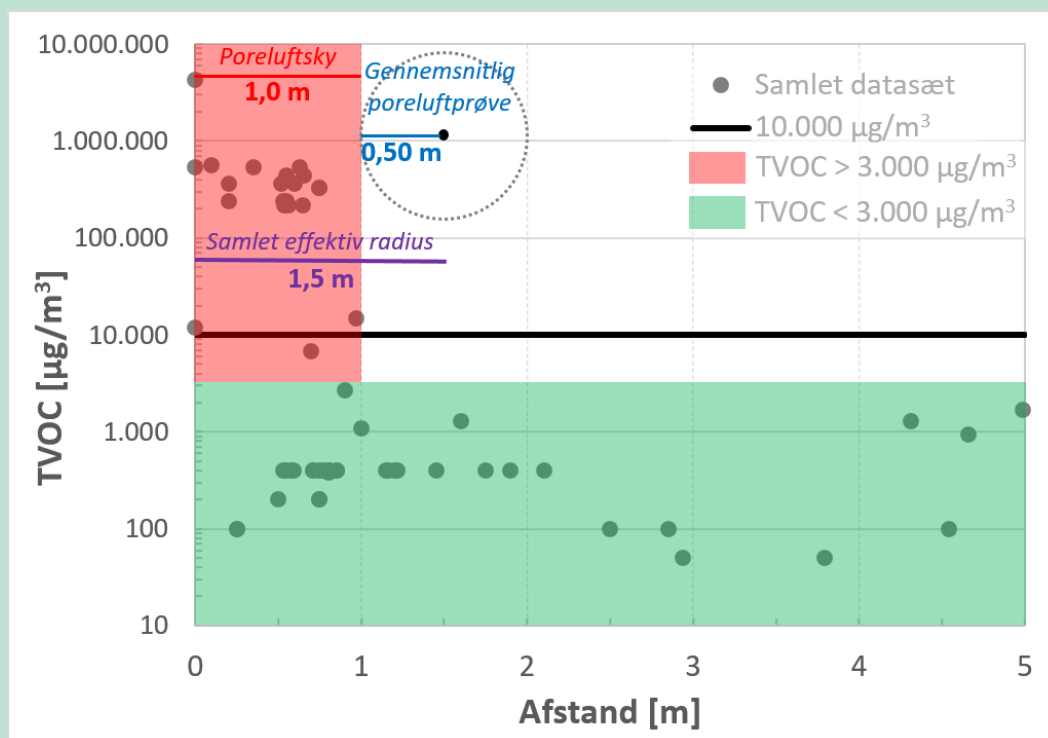


gitterlængde



FIGUR 10. Modulet til sandsynlighedsberegning i JAGG 1.5, /9/.

Med udgangspunkt i figur 9 antages det, at en jordforurening med diesel-/fyringsolie vil have en porelufts sky omkring sig, med en effektiv radius på 1 meter, og at TVOC-koncentrationer i poreluften $>3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tolkes som tegn på en nærliggende jordforurening. Det forudsættes også, at lokaliteten screenes med poreluftprøver på 100 L, jf. anbefalingerne i /2/. Med andre ord antages det, at en jordforurening kan lokaliseres med poreluftprøver indenfor en samlet effektiv radius på 1,5 meter: 1 meter for porelufts skyen (jf. figur 9) og 0,5 meter for poreluftprøven (jf. figur 3), som illustreret i figur 11.

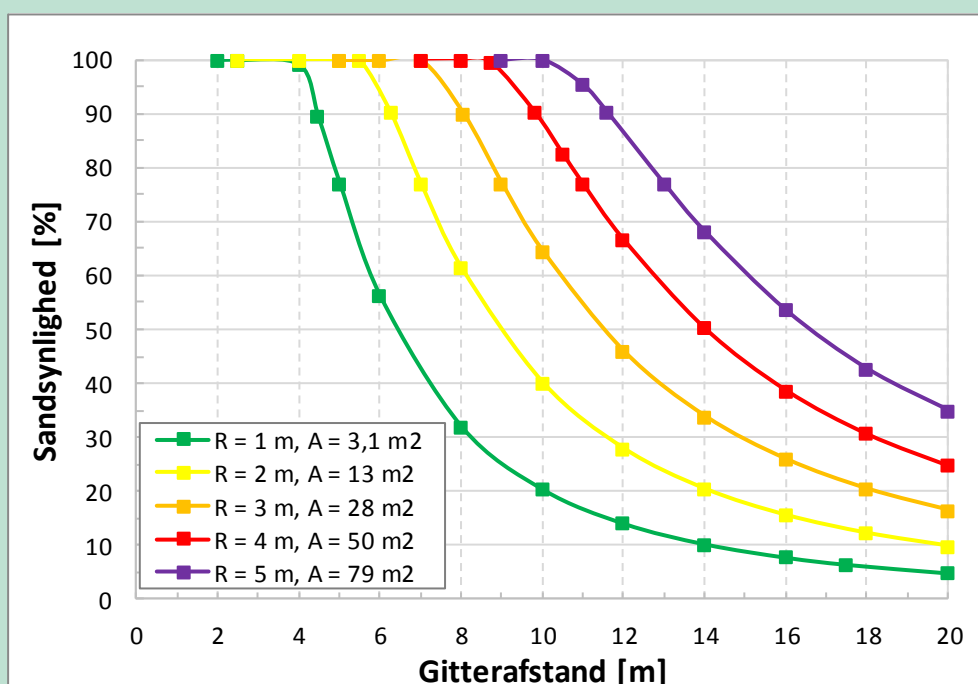


FIGUR 11. Samlet effektiv radius = 1,5 m (1 m for porelufts sky + 0,5 m for poreluftprøve).

Der tages udgangspunkt i screening efter en forholdsvis terrænnær jordforurening, beliggende med top maksimalt 0,7 meter under dybden på poreluftpunkterne (f.eks. poreluftprøver udtaget 1 m u.t. og en jordforurening beliggende med top maksimalt 1,7 m u.t.). Dermed kan problemstillingen reduceres til en 2D-flade-beregning, og der indtastes kun data i lag 1 i modellen, jf. figur 10.

I JAGG 1.5 er der nu udført beregninger for jordforureninger med forskellige radier på jordforureningen (hhv. 1, 2, 3, 4 og 5 meter), som i modellen er indtastet med en værdi, der er 1,5 meter større end selve forureningsradius, for at tage højde for at jordforureningen med poreluftprøver kan opdages 1,5 meter fra den faktiske jordforurening (1 meter poreluftsky og 0,5 meter radius på poreluftprøven).

Figur 12 viser dermed sandsynligheden for at placere et poreluftpunkt indenfor forureningens effektive radius (reel forureningsradius + 1,5 meter), som funktion af afstanden imellem poreluftpunkterne, når disse antages placeret i en kvadratisk gitterstruktur.



FIGUR 12. Sandsynlighed for at lokalisere en jordforurening med olie via poreluftprøver (100 L), estimeret via modulet "Sandsynlighedsberegning" i JAGG 1.5. Der er regnet med en effektiv radius for poreluftskyen omkring jordforureningen på 1,5 meter.

5.2.1 Sandsynlighed for at lokalisere jordforurening med en given prøvetagningstæthed

Hvis det antages, at der ligger en ukendt olieforurening, som forsøges lokaliseret ved at placere et antal poreluftpunkter i et kvadratisk grid med en gitterafstand på 10 meter, så er der ca. 20% sandsynlighed for at finde en forurening med en radius på 1 meter (areal 3,1 m²), ca. 40% sandsynlighed hvis den har en radius på 2 meter (areal 13 m²), ca. 65% sandsynlighed hvis den har en radius på 3 meter (areal 28 m²), ca. 88% sandsynlighed hvis den har en radius på 4 meter (areal 50 m²) og 100% sandsynlighed hvis den har en radius ≥ 5 meter.

Grafen kan også læses den anden vej. Hvis der f.eks. ønskes minimum 90% sikkerhed for at finde en jordforurening med en radius på 1 meter (areal 3,1 m²), så skal vi placere poreluftpunkterne med en gitterafstand på <4,5 meter. 90% sikkerhed for at finde en jordforurening

med en radius på 2 meter, kræver en gitterafstand på <6,3 meter. Tilsvarende fordrer mindst 90% sikkerhed og en forureningsradius på 3 meter en gitterafstand på <8 meter; en radius på 4 meter kræver en gitterafstand på <9,8 meter og en radius på 5 meter kræver en gitterafstand på <11,6 meter.

Hvis man således tager udgangspunkt i screening med poreluftprøver og en gitterafstand på 10 meter er der mindst 90% sikkerhed for at lokalisere jordforureninger med en radius >4,1 meter og ca. 75% sandsynlighed for at lokalisere jordforureninger med en radius på 3 meter. Afhængigt af den indbyrdes placering af punkterne, og arealets totale størrelse, svarer dette til en gennemsnitlig prøvetæthed på 1-4 poreluftprøver pr. 100 m².

5.2.2 Forurenede jordvolumen, jordmængde og produktmængde

Ovenfor er forureningen udelukkende karakteriseret ved en radius og en dybdemæssig placering. I det følgende påkøbes volumener, jordmængder og produktmængder. Til dette formål er der i det følgende udført beregninger med forskellige antagelser vedr. højder på det forurenede jordvolumen (H = 1; 1,5; 2 og 3 meter). Endvidere antages en våd volumenvægt på 2 tons/m³ til beregning af den jordmængde, der skal bortskaffes, hvis jordforureningen overses ved en V2-undersøgelse og senere opdages ifm. et §8-projekt, samt en bulk densitet på 1,7 ton TS/m³ (til beregning af produktmængde).

Resultaterne fremgår af nedenstående figur, med eksempler på gennemsnitlige oliekoncentrationer i det forurenede jordvolumen på hhv. 1.000 og 2.500 mg/kg TS (erfaringsmæssigt realistiske til lave koncentrationer). Hvis man antager, at koncentrationen er højere, kan produktmængderne skaleres tilsvarende; f.eks. vil en antaget koncentration på 5.000 mg/kg TS give dobbelt så stor en produktmængde som 2.500 mg/kg TS for en given forureningsstørrelse (radius og højde).

		Volumen [m ³]				Jordmængde [tons våd jord]			
R [m]	A [m ²]	H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m	H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m
1	3,1	3,1	4,7	6,3	9	6,3	9,4	13	19
2	13	13	19	25	38	25	38	50	75
3	28	28	42	57	85	57	85	113	170
4	50	50	75	101	151	101	151	201	302
5	79	79	118	157	236	157	236	314	471
		Olie [kg] C = 1.000 mg/kg TS				Olie [kg] C = 2.500 mg/kg TS			
R [m]	A [m ²]	H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m	H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m
1	3,1	5,3	8,0	11	16	13	20	27	40
2	13	21	32	43	64	53	80	107	160
3	28	48	72	96	144	120	180	240	360
4	50	85	128	171	256	214	320	427	641
5	79	134	200	267	401	334	501	668	1001

<10
10-50
50-100
100-250
>250

FIGUR 13. Beregnede jordvolumener og jordmasser (våd vægt) samt produktmængde ved antagelse af en gennemsnitlig koncentration på hhv. 1.000 og 2.500 mg/kg TS. Beregningerne er udført for forskellige kombinationer af radius (R) og højde (H) for cylinderformede jordforureninger.

Som det fremgår af figur 13, svarer en radius på 4 meter (areal 50 m²), og en højde på f.eks. 1,5 meter, til et jordvolumen på 75 m³ og en jordmængde på 151 tons (våd vægt). Ved en gennemsnitlig koncentration på 1.000 mg/kg TS svarer dette til en produktmængde på 128 kg olie, og ved en gennemsnitlig koncentration på 2.500 mg/kg TS svarer det til en produktmængde på ca. 320 kg olie.

5.2.3 Kobling af sandsynlighed og forureningsmængde

Hvis en forurening med en radius på 4 meter forsøges lokaliseret ved poreluftscreening med en gitterafstand på 10 meter er der, jf. figur 12, ca. 88% sandsynlighed for at finde den. Der er altså ca. 12% risiko for ikke at lokalisere en jordforurening på ca. 150 tons og i størrelsesordenen 128-320 kg olieprodukt (ved en gennemsnitlig koncentration på 1.000-2.500 mg/kg TS).

Hvis man forestiller sig, at den samme forurening er beliggende på en 3.000 m² stor grund, der screenes med en gitterafstand på 20 meter (ca. 11 poreluftprøver), så er der kun 25% sandsynlighed for at finde jordforureningen (og hele 75% risiko for at overse den), jf. figur 12.

Som det fremgår af figur 12, så er den højeste beregnede sandsynlighed for at lokalisere en jordforurening med en gitterafstand på 20 meter (ved en forureningsradius på 5 meter) = 35%. Med andre ord er der $\geq 65\%$ risiko for at overse jordforureninger med en radius ≤ 5 meter. Kobles det f.eks. til en højde på forureningen på 2 meter (jf. figur 13), så er der tale om en jordmængde på 314 tons og en produktmængde på 267-668 kg olie. Der er altså ca. 65% sandsynlighed for at overse en forurening på 270-670 kg olie med en gitterafstand på 20 meter.

Hvis der i stedet tages udgangspunkt i en jordforurening bestående af ≤ 10 kg olieprodukt, svarende til bagatelgrænsen i /11/ (og en forurening, der normalt ikke vil blive kortlagt), så er de eneste af ovenstående eksempler, der ligger under denne grænse, jordforureninger med en radius på 1 meter og en højde på $\leq 1,5$ meter. En forurening med en radius på 1 meter, en højde på 1,5 meter og en gennemsnitlig koncentration på 1.250 mg/kg TS vil således svare til ca. 10 kg olieprodukt, og dermed være på niveau med bagatelgrænsen i /11/. Hvis man vil være mindst 90% sikker på at lokalisere en ukendt jordforurening af denne størrelse vha. poreluftscreening, så skal poreluftpunkterne placeres med en gitterafstand på maksimalt 4,5 meter (ca. 150-170 poreluftpunkter på en 3.000 m² grund; ca. 5-6 prøver/100 m²). Vil man kunne acceptere kun at være 50% sikker på at lokalisere forureningen skal punkterne placeres med en gitterafstand på maksimalt 6,4 meter (ca. 80 poreluftpunkter på en 3.000 m² grund; ca. 2,5-3 prøver/100 m²).

6. Sammenfatning og diskussion

På baggrund af supplerende feltundersøgelser, på 9 lokaliteter med ældre fyringsoliespild (1996-2013) i Region Sjælland, har det været muligt at inddrage TVOC-koncentrationer fra 38 poreluftpunkter placeret indenfor en afstand af 3 meter fra kendte kilder/jordforureninger. Disse data, med stor prøvetæthed, er fremskaffet på 4 af de 9 lokaliteter. På 5 lokaliteter har det ikke været muligt at karakterisere en kildestyrkekoncentration i poreluften, enten fordi det ikke var muligt at udtage poreluftprøver i kilden eller fordi det ikke har været muligt at (gen)finde jordforureningen på ejendommen.

På baggrund af de nye data, indsamlet med stor rumlig tæthed, fra fyringsoliespild, der er mere end 4 år gamle, er tidligere konklusioner fra /1/ og /2/ omkring gasolieforureninger bestyrket i at:

- 1) Den relative koncentration af TVOC i poreluften falder hurtigt som funktion af afstanden til kilden/jordforureningen. Der er således ikke konstateret relative koncentrationer >20% af kildestyrkekoncentrationen ved afstande over 2 meter fra kilden/jordforureningen, og det er almindeligt, at den relative koncentration er faldet til <20% i blot 1 meters afstand fra kilden/jordforureningen.
- 2) Der ikke konstateres TVOC-koncentrationer i poreluften, der overskrider miljømæssige screeningskriterier på hhv. 30 og 100 gange Miljøstyrelsens afdampningskriterium, hvis der er mere end 1 meter imellem kilden/jordforureningen og poreluftpunktet. Den højeste TVOC-koncentration, der er målt mere end 1 meter fra kilden/jordforureningen er på 2.800 µg/m³.

Ovenstående konklusioner vurderes at være generelt gældende for olieforureninger, der er mere end 6 mdr. gamle, når der er tale om jordforurening med diesel-/fyringsolie; ikke forureninger med væsentligt anderledes flygtighed og/eller nedbrydelighed.

Populært sagt er disse konklusioner forbundet med en god og en dårlig nyhed:

”Den gode nyhed” er, at jordforureninger med fyrings-/dieselolie, med blot én meter ren jord imellem forurening og underside af gulv, som udgangspunkt ikke vil udgøre en risiko for nuværende eller fremtidigt indeklima.

”Den dårlige nyhed” er, at det er forholdsvis svært at lokalisere jordforureninger med fyrings-/dieselolie via poreluftscrening, med mindre man benytter en forholdsvis stor prøvetagningstæthed og et forholdsvis lavt koncentrationsniveau som indikation på at der er en nærliggende jordforurening.

Screening for ukendte olieforureninger, vha. poreluftprøver (100 L), kan således være et udmærket redskab, som et supplement til en punktmæssig undersøgelse af identificerede potentielle punktkilder med jord-/poreluftprøver. Dette skyldes, at olieforureninger – trods alt – kan antages at være forbundet med en vis poreluftsdybde, hvormed jordforureningen får en større ”effektiv radius”. Sammenlignes poreluftscrening med en screening foretaget med traditionelle borer kan prøvetætheden således – alt andet lige – reduceres. Dertil er poreluftmåling ligeledes forbundet med en mindre ”ødelæggelse” af gulve/belægninger end borer.

Ved poreluftscreening efter ukendte jordforureninger med olieprodukter er det, som nævnt ovenfor, essentielt, at der benyttes en forholdsvis stor prøvetagningstæthed og et forholdsvis lavt koncentrationsniveau, som indikator for at der kan forekomme en nærliggende jordforurening, jf. den følgende diskussion.

I afsnit 5.2 er der foretaget en række statistisk baserede betragtninger omkring sandsynligheden for at lokalisere ukendte jordforureninger med olieprodukter, via screening med poreluftmålinger. Som resultaterne af disse beregninger viser, er det nødvendigt, at punkterne til poreluftscreening placeres i et tilstrækkeligt finmasket net, for at undgå, at risikoen for at overse miljømæssigt relevante jordforureninger ikke bliver uhensigtsmæssigt stor. I afsnit 5.2 er redskaberne til at vurdere en given strategi præsenteret. Her blot ét eksempel:

Hvis en 3.000 m² stor grund screenes med en gitterafstand på 20 meter (ca. 11 poreluftprøver), så er der 25% sandsynlighed for at lokalisere en jordforurening med en radius på 4 meter (areal = 50 m²); og 75% risiko for at overse den. Hvis forureningen antages at have en højde/tykkelse på 1,5 meter er der tale om en jordmængde på ca. 150 tons (våd vægt) og ca. 130-320 kg olieprodukt (ved en gennemsnitlig koncentration på 1.000-2.500 mg/kg TS). 90% sandsynlighed for at lokalisere denne forurening vil kræve en gitterafstand på 4,5 meter (ca. 160 poreluftprøver).

Ved screening for ukendte forureninger med diesel-/fyringsolie via poreluftmålinger, er det væsentligt, at TVOC-koncentrationer på 3.000 µg/m³ (eller mindre) kan være et tegn på en nærliggende (ældre) jordforurening; muligvis en kortlægningsberettiget jordforurening. Dette er tilfældet selvom poreluftkoncentrationen i sig selv ikke udgør en risiko for indeklimaet (eller fremtidigt indeklima). Resultaterne viser således, at ældre spild med fyrings-/dieselolie ikke almindeligvis giver anledning til koncentrationer >3.000 µg/m³, når der er mere end 1 meter til jordforureningen (såvel horisontalt som vertikalt). Der kan således være en jordforurening med koncentrationer på f.eks. 300.000 µg/m³ blot én meter væk.

Sammenfattende vurderes det, at poreluftprøver (100 L) kan anvendes til screening for jordforurening med diesel-/fyringsolie under forudsætning af:

1. At poreluftindhold på maksimalt 3.000 µg/m³ benyttes som en indikation på tilstedeværelsen af en jordforurening (lavere koncentrationer kan også være udtryk for en nærliggende jordforurening).
2. At der benyttes en tilstrækkelig høj prøvetæthed (jf. afsnit 5.2); f.eks. at der i relevante dybder benyttes en maksimal gitterafstand på 4,5 meter (svarende til ca. 5-6 prøver pr. 100 m² horisontalt).
3. At prøverne udtages maksimalt 0,7 meter over toppen af de forureninger, der screenes for. Ved risiko for dybereliggende jordforureninger skal der evt. screenes i flere dybder.

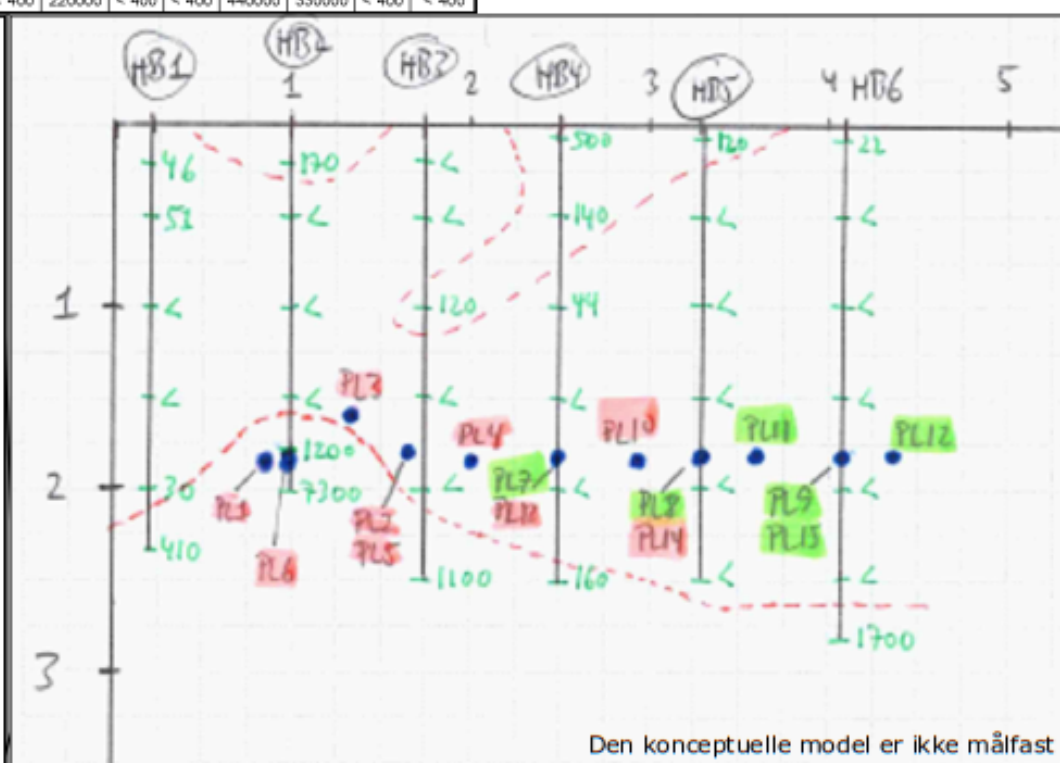
Tungere olieforureninger (f.eks. motor-/smøreolie) vurderes generelt at være forbundet med en mindre poreluftsky og/eller lavere poreluftkoncentrationer. Dermed vil de, alt andet lige, være sværere at lokalisere via en poreluftscreening. Ved screening efter tungere olieforureninger vurderes det således, at der skal benyttes en højere prøvetæthed og en lavere poreluftkoncentration som udtryk for en mulig nærliggende jordforurening.

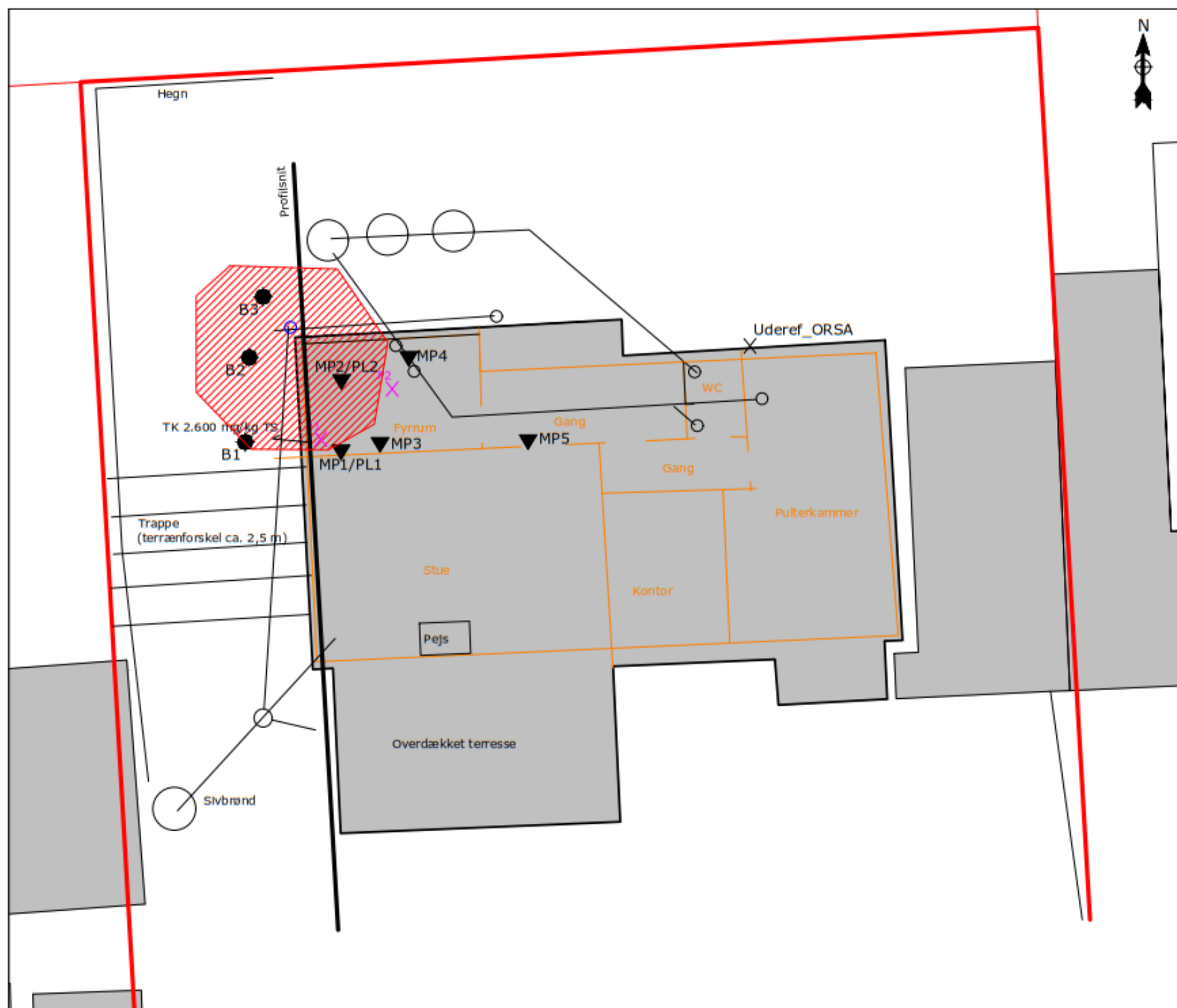
7. Referencer

- /1/ Erfaringsopsamling på udviklingen i poreluftkoncentrationer på villatanksager. Miljøprojekt nr. 1310, 2009.
- /2/ Effektive poreluftstrategier. Miljøprojekt nr. 1587, 2014.
- /3/ Dynamiske poreluftscreensinger – fra screening til optimal vidensudnyttelse. P. Loll, A.H. Kristensen, C. Larsen og A. Dohm. Præsentation på ATV Vintermøde, 5. marts, 2013.
- /4/ Litteraturgennemgang af strategier til dokumentation af nedbrydning af oliestoffer i den umættede zone. Miljøprojekt nr. 1413, 2012.
- /5/ Nedbrydning af oliestoffer i den umættede zone. A.H. Kristensen, P. Loll, K. Henriksen, L. Mortensen og P. Møldrup. Vand & Jord nr. 1 (12-16), 2011.
- /6/ Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons in a Layered Unsaturated Zone – Key Factors. A.H. Kristensen, P. Loll, L. Mortensen, K. Henriksen and P. Møldrup. Poster på First International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technologies, Battelle, Reno 2011.
- /7/ Reduktionsfaktorer for poreluftbidrag til indeklimaet, når der er betongulv – Erfaringer fra regionerne. Teknik og Administration nr. 2, 2013. Videncenter for Jordforurening.
- /8/ Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6, 1998.
- /9/ JAGG version 1.5. Downloadet fra Miljøstyrelsens hjemmeside: <http://mst.dk/affald-jord/jordforurening/it-vaerktoejer-til-vurdering-af-jord/jagg-programmet/>
- /10/ Er poreluftmålinger egnede i forhold til kortlægning af olieforureninger? C. Larsen og P. Loll. Jordforurening.*info* nr. 4 (2-6), 2012.
- /11/ Undersøgelse og oprensning af forurening fra villaolietanke. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2009.

Bilag 1. Situationsplaner, rådata og konceptuelle modeller

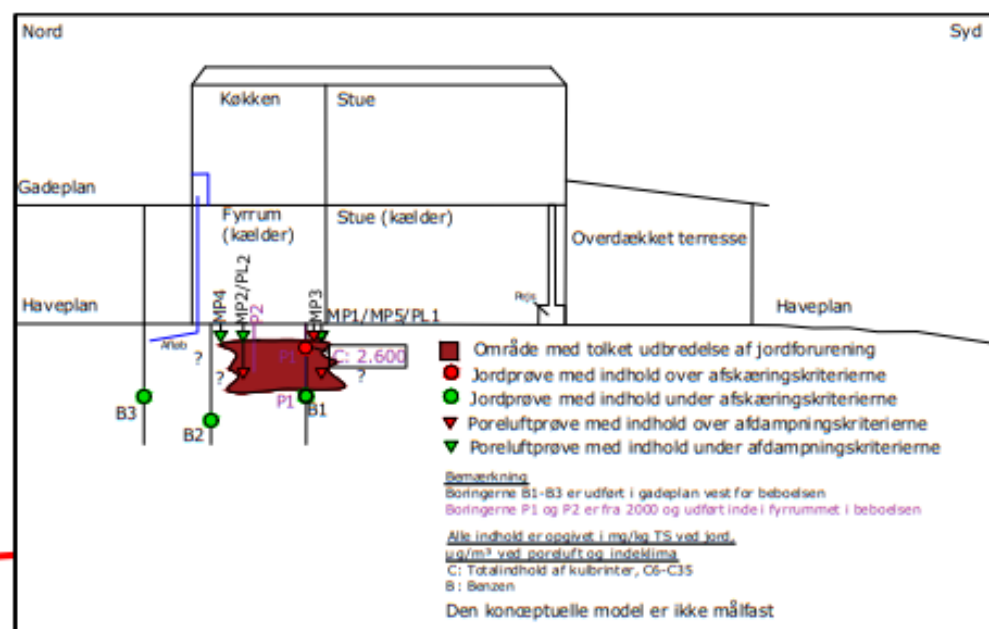
17.00	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
-------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----





Komponent	Enhed	PL1	PL2	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	Uderef
Opsamlingsmedie		Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør
Prøvedybde	m	2,85	2,85	2,6	2,6	2,6	2,6	2,65	-1
Luftvolumen	l	25	25	100	100	100	100	100	100
Benzen	µg/m³	< 0,2	< 0,2	< 0,05	< 0,05	0,14	0,054	0,28	< 0,05
Toluen	µg/m³	> 6,8	4,6	2,3	2,4	1	2	3,5	0,54
Ethylbenzen	µg/m³	> 1,8	> 2,0	0,62	0,68	0,27	0,54	1	0,12
o-Xylen	µg/m³	> 3,3	> 3,3	1,1	1,2	0,36	1	1,6	0,15
m+p-Xylen	µg/m³	> 8,4	> 8,2	2,6	2,9	0,91	2,3	3,7	0,4
C9-aromater	µg/m³	> 7,8	> 6,6	3,3	3,7	1	3,1	4,6	< 0,3
C10-aromater	µg/m³	1,4	< 1,2	1,4	1,6	0,71	1,3	1,9	< 0,3
Naphthalen	µg/m³	< 4	< 4	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
>C6H6-C10	µg/m³	< 200	230	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
C10-C15	µg/m³	3700	1100	< 30	< 30	< 30	< 30	47	< 30
C15-C20	µg/m³	< 120	< 120	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
C20-C25	µg/m³	< 200	< 200	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
C25-C35	µg/m³	< 240	< 240	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60
>C6H6-C35	µg/m³	3700	1300	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

Komponent	Enhed	B1	B2	B3	P1	P2
Prøvedybde	m	4	4,5	4	0,5	1,5
Tørstof	%	84	84	84	-	-
Benzen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Toluen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ethylbenzen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
o-Xylen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
m+p-Xylen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sum af xylen	mg/kg TS	#	#	#	< 0,1	< 0,1
BTEX (sum)	mg/kg TS	#	#	#	< 0,1	< 0,1
Naphthalen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
C6H6-C10	mg/kg TS	4,9	< 2	< 2	-	-
C10-C15	mg/kg TS	< 5	< 5	< 5	-	-
C15-C20	mg/kg TS	< 5	< 5	< 5	-	-
C20-C35	mg/kg TS	< 20	< 20	< 20	-	-
Sum (C10-C20)	mg/kg TS	#	#	#	-	-
Sum (C6H6-C35)	mg/kg TS	4,9	#	#	2600	23



SIGNATURER

- Projektafgrænsning
- Bygning
- Kælder
- Kortlægning
- Hegn/stakit
- Spilde- og vandsledning
- Boring (udført 2000)
- Poreluftmåling
- Miljøteknisk boring

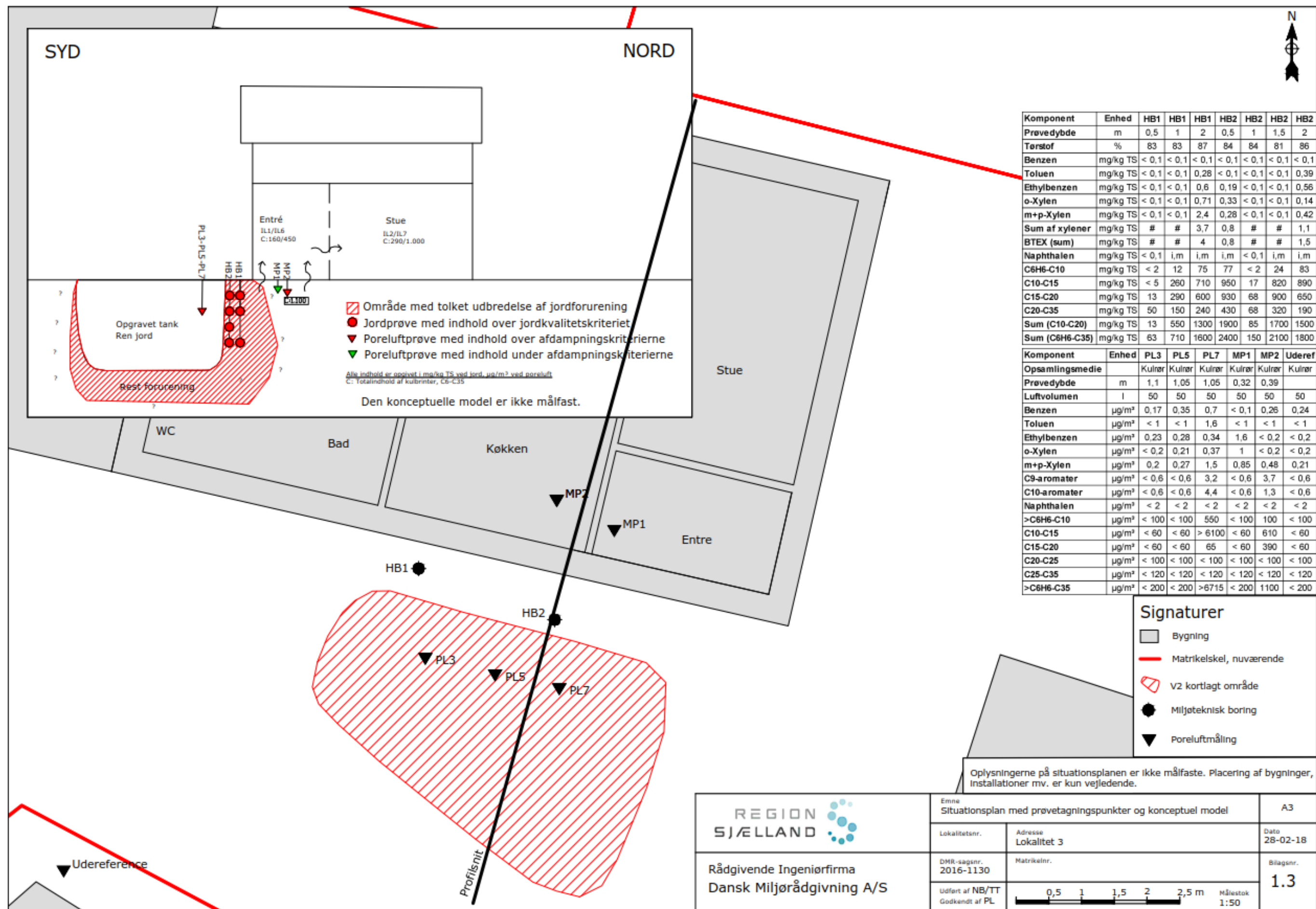
Oplysningerne på situationsplanen er ikke målfaste. Placering af bygninger, installationer mv. er kun vejledende.

REGION
SJÆLLAND

Rådgivende Ingeniørfirma
Dansk Miljørådgivning A/S

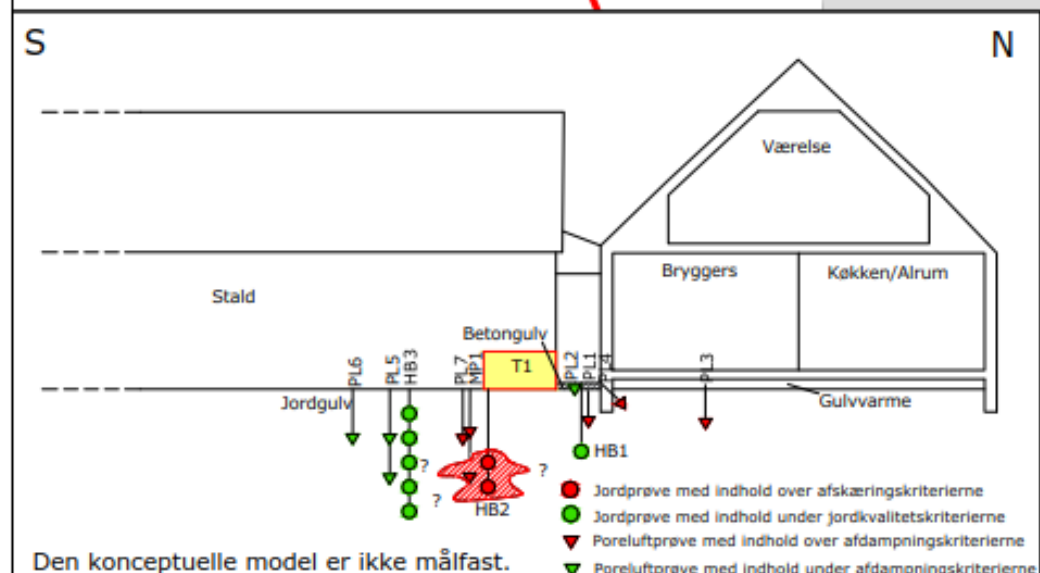
Emne: Situationsplan med prøvetagningspunkter og konceptuel model	A3
Lokalitetsnr.	Adresse: Lokalitet 2
DMR-sagsnr. 2016-1130	Matrikelnr.
Udført af TT Godkendt af PL	0 1 2 3 4 5 m Målestok 1:100

1.2



Komponent	Enhed	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	MP1	MP1	MP1	Uderet	Uderet	Uderet
Opsamlingsmedie		Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør
Prøvedybde	m	0,8	0,15	0,7	0,5	1	1,8	1	0,9	1	1,8	-0,5	-0,5	-0,5
Luftvolumen	l	100	100	100	100	25	25	25	100	25	25	100	100	25
Benzen	µg/m³	i.m.	1,2	0,18	1,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,2	< 0,2	34	< 0,3	< 0,05
Toluen	µg/m³	0,47	0,45	1,8	5,7	2,1	2,4	2,8	2,8	1,4	3	8,9	< 0,3	0,51
Ethylbenzen	µg/m³	1,3	< 0,05	0,38	1,2	0,59	0,78	0,78	0,85	< 0,05	0,82	220	< 0,1	< 0,4
o-Xylen	µg/m³	2,4	1,7	0,59	1,9	0,91	> 1,3	1,3	1,2	1,4	> 1,7	67	< 0,1	0,54
m+p-Xylen	µg/m³	0,55	0,34	1,6	4,8	2,5	> 3,8	3,4	3,1	0,31	> 4,6	400	< 0,1	0,25
C9-aromater	µg/m³	0,5	0,47	1,4	4,7	2,3	3,1	3,5	3,4	0,47	> 3,2	190	< 0,3	< 1,2
C10-aromater	µg/m³	1,4	1,4	0,53	1,9	< 1,2	< 1,2	< 1,2	9	1,3	< 1,2	110	< 0,3	< 1,2
Naphthalen	µg/m³	< 1	< 1	< 1	< 1	< 4	< 4	< 4	< 4	< 1	< 4	< 1	< 1	< 4
>C6H6-C10	µg/m³	< 50	< 50	< 50	< 50	< 200	< 200	< 200	< 200	< 50	< 200	340000	< 50	< 50
C10-C15	µg/m³	< 30	< 30	< 30	< 30	< 120	< 120	< 120	15000	2400	380	110000	< 30	< 30
C15-C20	µg/m³	< 30	< 30	< 30	< 30	< 120	< 120	< 120	300	280	< 120	410	< 30	< 30
C20-C25	µg/m³	< 50	< 50	< 50	< 50	< 200	< 200	< 200	< 200	< 50	< 200	< 200	< 50	< 200
C25-C35	µg/m³	< 60	< 60	< 60	< 60	< 240	< 240	< 240	< 240	< 60	< 240	< 240	< 60	< 240
>C6H6-C35	µg/m³	< 100	< 100	< 100	< 100	< 400	< 400	< 400	15000	2700	< 400	450000	< 100	< 100

Komponent	Enhed	HB1	HB2	HB3	HB3	HB3	HB3	HB3
Prøvedybde	m	1,4	1,5	2	0,5	1	1,5	2
Terstof	%	89	91	85	90	93	89	84
Benzen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Toluen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ethylbenzen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
o-Xylen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
m+p-Xylen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sum af xylen	mg/kg TS	#	#	#	#	#	#	#
BTEX (sum)	mg/kg TS	#	#	#	#	#	#	#
Naphthalen	mg/kg TS	< 2	< 2	10	< 2	< 2	< 2	< 2
C6H6-C10	mg/kg TS	< 5	12	210	< 5	< 5	< 5	< 5
C10-C15	mg/kg TS	< 5	140	400	< 5	< 5	6,2	< 5
C15-C20	mg/kg TS	< 20	220	240	< 20	< 20	< 20	< 20
C20-C35	mg/kg TS	#	150	610	#	#	6,2	#
Sum (C10-C20)	mg/kg TS	#	370	850	#	#	6,2	#
Sum (C6H6-C35)	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	2,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1



Overdækning

Kloak

1. Sal

Udhus

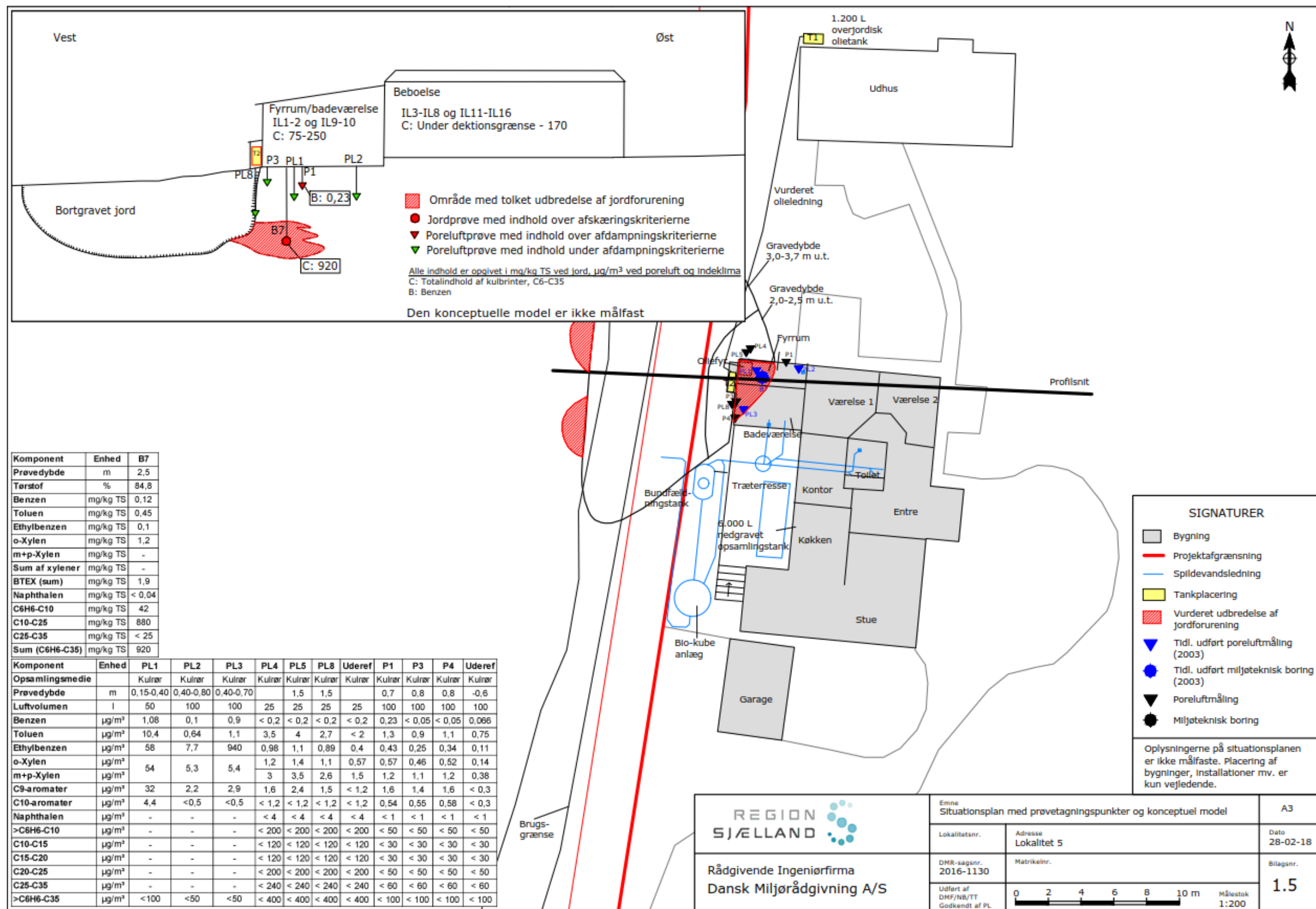
Udhus

SIGNATURER

- Bygning
- Projektafgrænsning
- Tankplacering
- Skorsten
- V2-kortlagt areal, 2009
- Miljøteknisk boring
- Poreluftmåling
- Gulvvarme

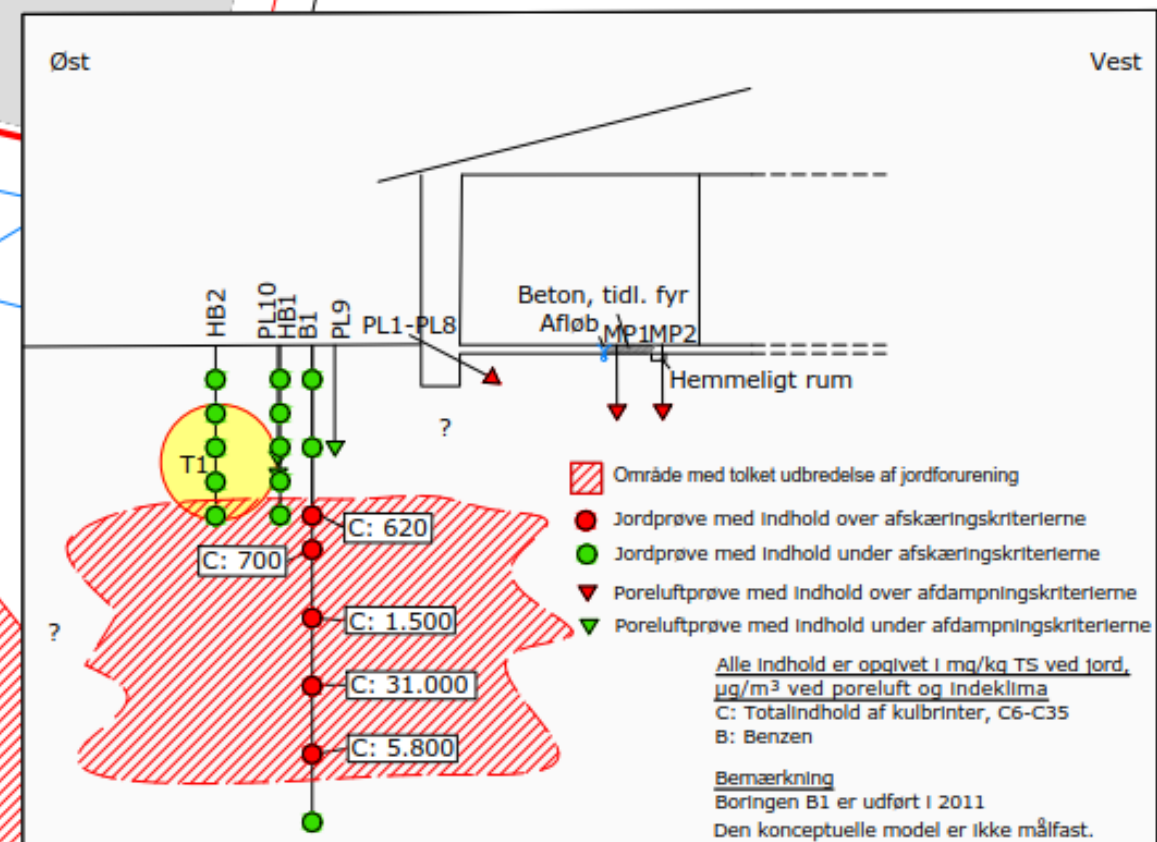
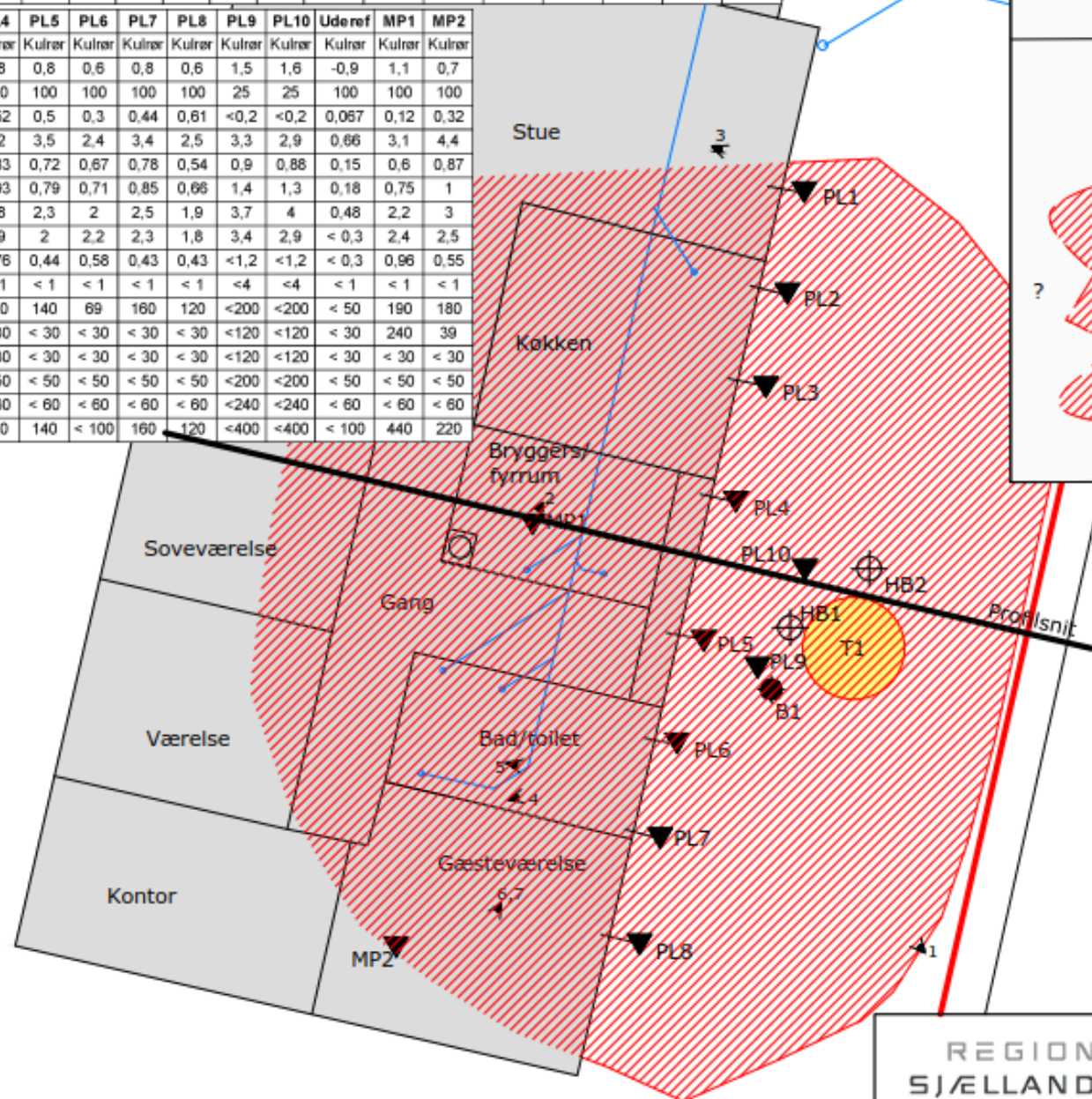
Oplysningerne på situationsplanen er ikke målfaste. Placering af bygninger, installationer mv. er kun vejledende.

REGION SJÆLLAND		Emne Situationsplan med prøvetagningspunkter og konceptuel model	A3
Rådgivende Ingeniørfirma Dansk Miljørådgivning A/S		Lokalitet Lokalitet 4	Dato 28-02-18
		DMR-sagsnr. 2016-1130	Matrikelnr.
		Udført af TL/NB/TT	Bilagsnr. 1.4
		Godkendt af PL	
		0 2 4 6 8 10 m	Målestok 1:200



Komponent	Enhed	HB1	HB1	HB1	HB1	HB1	HB2	HB2	HB2	HB2	HB2	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1
Prøvedybde	m	0,5	1	1,5	2	2,5	0,5	1	1,5	2	2,5	0,5	1,5	2,5	3	4	5	6
Tørstof	%	84	85	85	85	84	86	86	86	85	86	87,2	92	84,3	86,1	84,7	82,2	81,1
Benzen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	0,34	< 0,040
Toluen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040
Ethylbenzen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	0,27	9,8	2
o-Xylen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-
m+p-Xylen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-
Sum af xylener	mg/kg TS	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	< 0,040	< 0,040	< 0,040	< 0,040	0,81	20	1,2
BTEX (sum)	mg/kg TS	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	1,1	30	3,2
Naphthalen	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-
C6H6-C10	mg/kg TS	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	27	85	1400	310
C10-C15	mg/kg TS	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5,0	< 5,0	20	230	540	11000	2000
C15-C20	mg/kg TS	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5,0	< 5,0	250	280	600	11000	2100
C20-C35	mg/kg TS	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 25	< 25	350	160	360	7800	1400
Sum (C10-C20)	mg/kg TS	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	i.p.	i.p.	270	540	1200	23000	4400
Sum (C6H6-C35)	mg/kg TS	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	i.p.	i.p.	620	700	1500	31000	5800

Komponent	Enhed	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	PL8	PL9	PL10	Uderef	MP1	MP2
Opsamlingsmedie		Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør
Prøvedybde	m	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8	0,6	1,5	1,6	-0,9	1,1	0,7
Luftvolumen	l	100	100	100	100	100	100	100	100	25	25	100	100	100
Benzen	µg/m³	0,64	1,8	0,57	0,52	0,5	0,3	0,44	0,61	<0,2	<0,2	0,087	0,12	0,32
Toluen	µg/m³	4,1	7,1	4,5	3,2	3,5	2,4	3,4	2,5	3,3	2,9	0,66	3,1	4,4
Ethylbenzen	µg/m³	0,8	1,3	1,1	0,83	0,72	0,67	0,78	0,54	0,9	0,88	0,15	0,6	0,87
o-Xylen	µg/m³	0,82	1,4	1,3	0,93	0,79	0,71	0,85	0,66	1,4	1,3	0,18	0,75	1
m+p-Xylen	µg/m³	2,3	3,8	3,5	2,8	2,3	2	2,5	1,9	3,7	4	0,48	2,2	3
C9-aromater	µg/m³	2,4	3,4	2,9	2,9	2	2,2	2,3	1,8	3,4	2,9	< 0,3	2,4	2,5
C10-aromater	µg/m³	0,71	0,87	0,81	0,76	0,44	0,58	0,43	0,43	<1,2	<1,2	< 0,3	0,96	0,55
Naphthalen	µg/m³	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	<4	<4	< 1	< 1	< 1
>C6H6-C10	µg/m³	180	140	150	130	140	69	160	120	<200	<200	< 50	190	180
C10-C15	µg/m³	< 30	44	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	<120	<120	< 30	240	39
C15-C20	µg/m³	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	<120	<120	< 30	< 30	< 30
C20-C25	µg/m³	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	<200	<200	< 50	< 50	< 50
C25-C35	µg/m³	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	<240	<240	< 60	< 60	< 60
>C6H6-C35	µg/m³	180	180	150	130	140	< 100	160	120	<400	<400	< 100	440	220



SIGNATURER

- Bygning
- Projektafgrænsning
- Afløbssystem
- Tankplacering
- Skorsten
- Miljøteknisk boring, 2011
- V2-kortlagt areal, 2011
- Poreluftmåling

Oplysningerne på situationsplanen er ikke målfaste. Placering af bygninger, installationer mv. er kun vejledende.

REGION
SJÆLLAND

Rådgivende Ingeniørfirma
Dansk Miljørådgivning A/S

Emne
Situationsplan med prøvetagningspunkter og konceptuel model

A3

Lokalitetnr.

Adresse
Lokalitet 6

Dato
28-02-18

DMR-sagsnr.
2016-1130

Matrikelnr.

Bilagsnr.
1.6

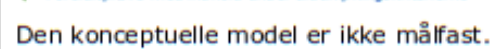
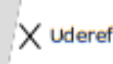
Udført af TL/NB/TT
Godkendt af PL

0 1 2 3 4 5 m

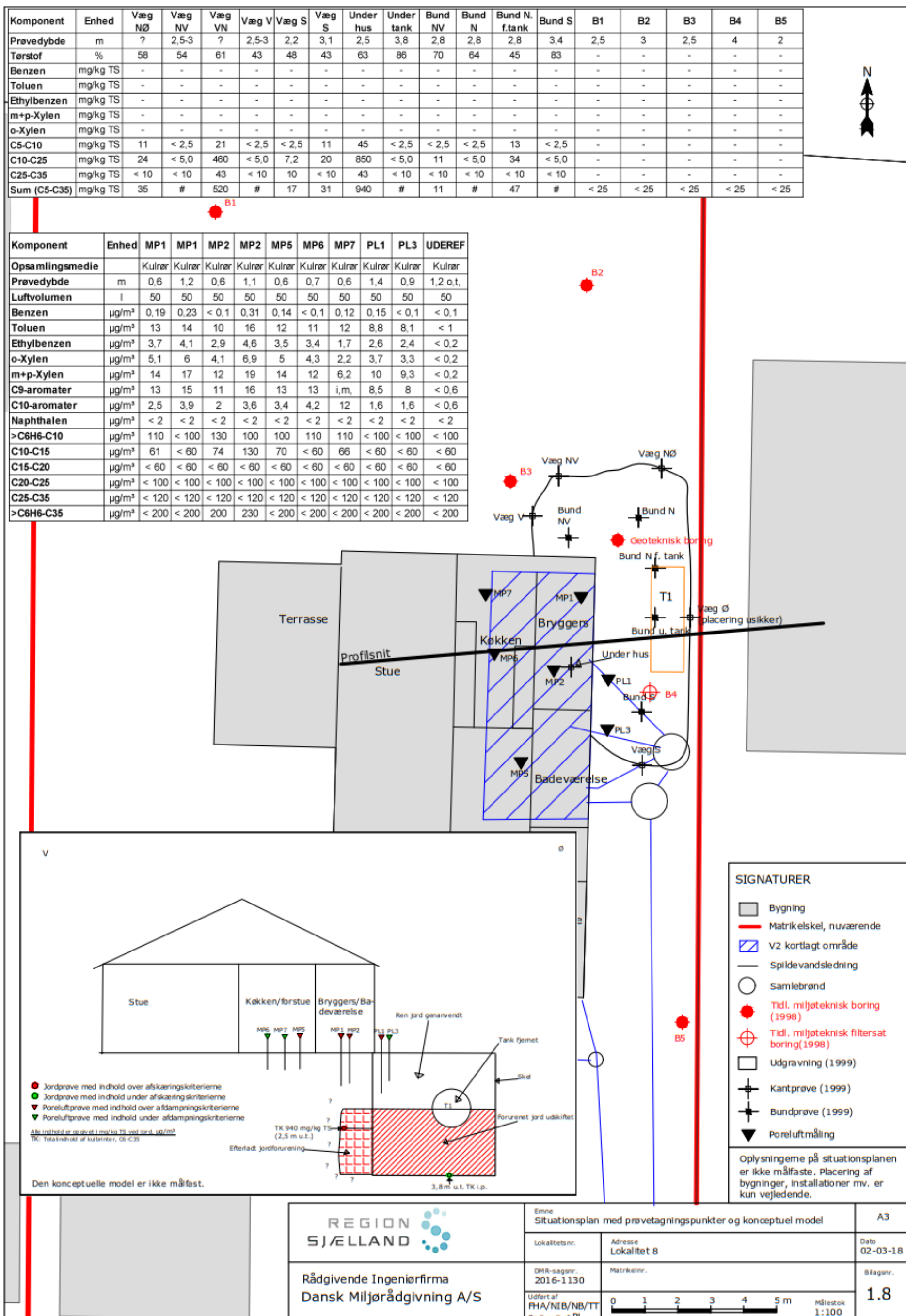
Målestok
1:100



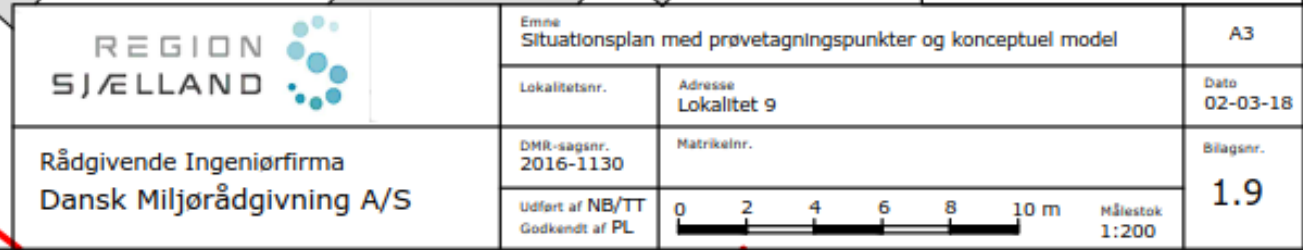
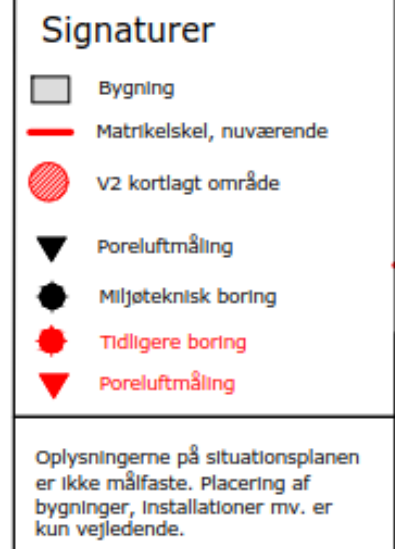
ingen prøver



Oplysningerne på situationsplanen er ikke målfaste. Placering af bygninger, installationer mv. er kun vejledende.



Komponent	Enhed	P1	PL1	MP1	Uderef
Opsamlingsmedie		Kulrør	Kulrør	Kulrør	Kulrør
Prøvedybde	m		0,6	0,6	-
Luftvolumen	l	100	50	50	50
Benzen	µg/m³	20	0,27	< 0,1	< 0,1
Toluen	µg/m³	170	5	29	< 1
Ethylbenzen	µg/m³	22	0,94	9,3	< 0,2
o-Xylen	µg/m³	25	1,2	7,3	< 0,2
m+p-Xylen	µg/m³	42	3,1	27	0,42
C9-aromater	µg/m³	22	2,8	5,5	< 0,6
C10-aromater	µg/m³	1,3	< 0,6	0,77	< 0,6
Naphthalen	µg/m³	-	< 2	< 2	< 2
>C6H6-C10	µg/m³	650	< 100	230	< 100
C10-C15	µg/m³	< 50	< 60	96	< 60
C15-C20	µg/m³		< 60	< 60	< 60
C20-C25	µg/m³		< 100	< 100	< 100
C25-C35	µg/m³	-	< 120	< 120	< 120
>C6H6-C35	µg/m³	650	< 200	330	< 200



Bilag 2. Bearbejdede data og tilhørende plots

De lokalitetsspecifikke data for TVOC (totalindhold af kulbrinter) i poreluften fra lokaliteterne er vist i nedenstående tabeller.

Lokalitet 1	Afstand	C ₀	C	C/C ₀
	[m]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
JF->PL1	0,00	550.000	540.000	0,98
JF->PL2	0,20	550.000	360.000	0,65
JF->PL3	0,10	550.000	560.000	1,02
JF->PL4	0,35	550.000	540.000	0,98
JF->PL5	0,20	550.000	240.000	0,44
JF->PL7	0,55	550.000	400	0,001
JF->PL8	0,75	550.000	400	0,001
JF->PL9	0,80	550.000	400	0,001
JF->PL10	0,65	550.000	220.000	0,40
JF->PL11	0,80	550.000	400	0,001
JF->PL12	0,80	550.000	400	0,001
JF->PL13	0,55	550.000	440.000	0,80
JF->PL14	0,75	550.000	330.000	0,60
JF->PL15	0,80	550.000	400	0,001
PL3->PL2	0,52	560.000	360.000	0,64
PL3->PL5	0,55	560.000	240.000	0,43
PL3->PL4	0,63	560.000	540.000	0,96
PL4->PL2	0,60	540.000	360.000	0,67
PL4->PL5	0,53	540.000	240.000	0,44
PL4->PL7	0,71	540.000	400	0,001
PL4->PL13	0,65	540.000	440.000	0,81
PL10->PL7	0,60	220.000	400	0,002
PL10->PL8	0,58	220.000	400	0,002
PL10->PL9	1,22	220.000	400	0,002
PL10->PL11	0,71	220.000	400	0,002
PL10->PL12	1,45	220.000	400	0,002
PL10->PL15	1,20	220.000	400	0,002
PL13->PL7	0,85	440.000	400	0,001
PL13->PL10	0,56	440.000	220.000	0,50
PL13->PL14	0,75	440.000	330.000	0,75
PL14->PL8	0,85	330.000	400	0,001
PL14->PL9	1,15	330.000	400	0,001
PL14->PL10	0,54	330.000	220.000	0,67
PL14->PL11	0,53	330.000	400	0,001
PL14->PL12	1,16	330.000	400	0,001
PL14->PL15	0,77	330.000	400	0,001

Lokalitet 2	Afstand	C ₀	C	C/C ₀
	[m]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
PL1->MP1	0,25	3700	100	0,03
PL2->MP2	0,25	1300	100	0,08
PL1->PL2	1,6	3700	1300	0,35

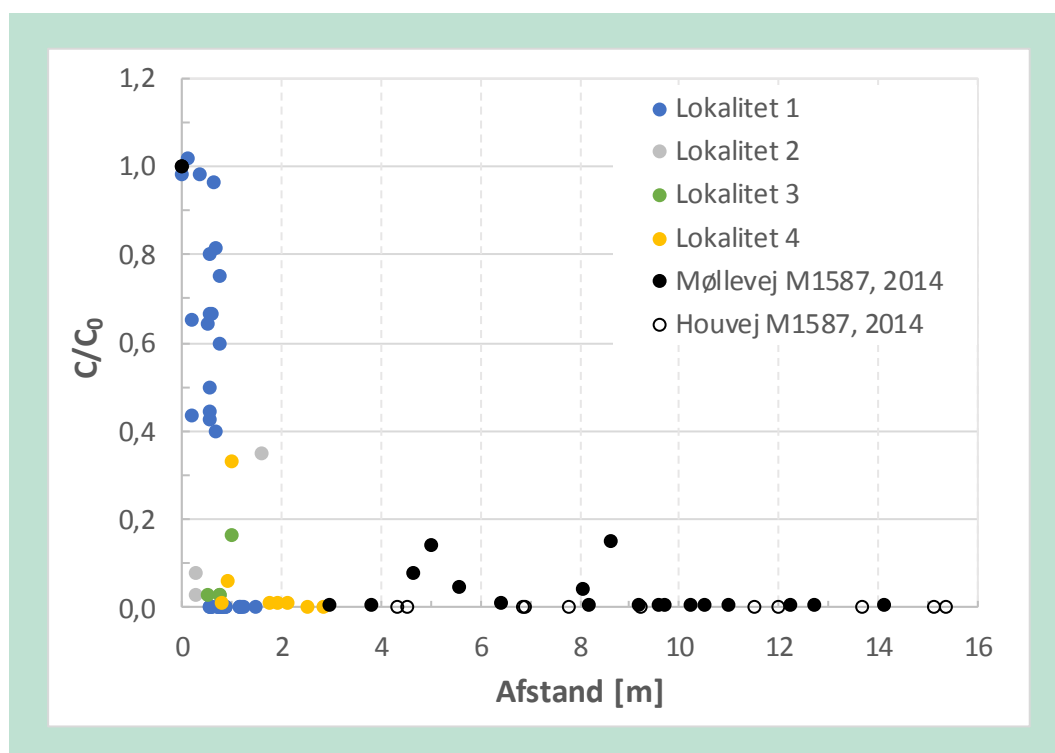
Lokalitet 3	Afstand	C ₀	C	C/C ₀
	[m]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
JF->PL7	0,70		6715	
PL7(JF)->PL3	0,75	6715	200	0,03
PL7->PL5	0,75	6715	200	0,03
PL7(JF)->MP1	0,50	6715	200	0,03
PL7(JF)->MP2	1,0	6715	1100	0,16

Lokalitet 4	Afstand	C ₀	C	C/C ₀
	[m]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
MP1(1,8)->MP1(1,0)	0,80	45000	380	0,01
MP1(1,8)->MP1(0,9)	0,90	45000	2700	0,06
MP1(1,8)->PL7	0,97	45000	15000	0,33
MP1(1,8)->PL5(1,8)	1,75	45000	400	0,01
MP1(1,8)->PL5(1,0)	1,9	45000	400	0,01
MP1(1,8)->PL6	2,1	45000	400	0,01
MP1(1,8)->PL1	2,5	45000	100	0,002
MP1(1,8)->PL2	2,85	45000	100	0,002

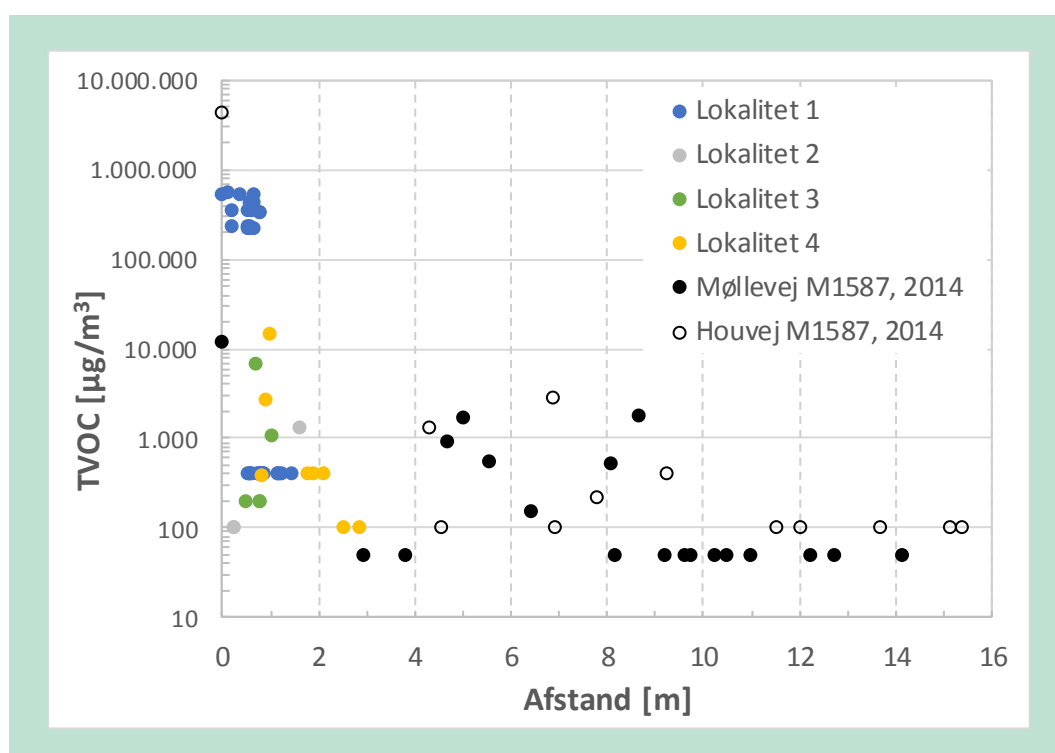
Møllevej M1587, 2014	Afstand	C ₀	C	C/C ₀
	[m]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
P46	0,00	12000	12000	1,00
P51	2,94	12000	50	0,004
P49	3,79	12000	50	0,004
P48	4,66	12000	930	0,08
P50	4,99	12000	1700	0,14
P55	5,56	12000	550	0,05
P47	6,40	12000	150	0,01
P56	8,06	12000	520	0,04
P39	8,17	12000	50	0,004
P57	8,64	12000	1800	0,15
P54	9,59	12000	50	0,004
P26	9,72	12000	50	0,004
P38	10,24	12000	50	0,004
P10	10,49	12000	50	0,004
P36	10,99	12000	50	0,004
P37	12,22	12000	50	0,004
P58	9,18	12000	50	0,00
P40	14,11	12000	50	0,00
P33	12,74	12000	50	0,004

Houvej M1587, 2014	Afstand	C ₀	C	C/C ₀
	[m]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
SP1	0,00	4300000	4300000	1,00
SP2	4,31	4300000	1300	0,0003
SP3	6,85	4300000	2800	0,001
SP4	9,23	4300000	400	0,0001
SP5	7,79	4300000	220	0,0001
SP6	4,54	4300000	100	0,00002
SP7	6,91	4300000	100	0,00002
SP8	13,67	4300000	100	0,00002
SP9	12,01	4300000	100	0,00002
SP10	11,53	4300000	100	0,00002
SP11	15,14	4300000	100	0,00002
SP12	15,38	4300000	100	0,00002

De lokalitetsspecifikke TVOC data fra poreluften er plottet i følgende figurer, hhv. den relative koncentration (C/C_0) og den absolutte koncentration (C), som funktion af afstanden til kilden.



FIGUR 14. Relativ TVOC-koncentration i poreluften (C/C_0) som funktion af afstanden til kilden.



FIGUR 15. Absolut TVOC-koncentration i poreluften (C) som funktion af afstanden til kilden.

Anvendelse af poreluftmålinger til påvisning af jordforurening med olie

Dette teknologiudviklingsprojekt er gennemført af DMR A/S i samarbejde med Region Sjælland. Projektet undersøger anvendeligheden af poreluftscreening, som redskab, til at screene arealer for ukendt jordforurening med diesel-/fyringsolie.

Der er gennemført supplerende feltundersøgelser på 9 lokaliteter i Region Sjælland med ældre fyringsoliespild. På baggrund heraf er der fremskaffet TVOC-koncentrationer med høj datatæthed for 38 poreluftpunkter placeret indenfor en afstand af 3 meter fra kendte kilder/jordforureninger.

På baggrund af de indsamlede data er det konkluderet, at poreluftkoncentrationen for TVOC omkring jordforureninger med fyringsolie, falder hurtigt med afstanden til kilden/jordforureningen. Ved mere end 1 meters afstand til jordforurening, kan det forventes at koncentrationen er faldet til <20% af kildekonzentrationen og <3.000 µg/m³.

På baggrund af de indsamlede data er der foretaget nogle statistisk baserede betragtninger omkring sandsynligheden for at lokalisere en ukendt jordforurening (af givne størrelser) ved anvendelse af forskellige prøvetagningstætheder, og der er opstillet anbefalinger ift. fremtidig poreluftscreening for ukendt olieforurening.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk