

Poreluftprojekt - Styrende parametre for tidslige variationer af indholdet af klorerede opløsningsmidler i sand- og lerjorde

Hovedrapport

Torben Højbjerg Jørgensen, Dorte Glensvig, Christian Buck,
Tage V. Bote & Lena Nilausen
COWI A/S

Peter Mortensen
Eurofins Danmark A/S

Hans Skou
Fyns Amt

Miljøprojekt **Nr. 1094** 2006
Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og
grundvandsforurening

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.

Indhold

FORORD	7
RESUME & KONKLUSIONER	9
SUMMARY & CONCLUSIONS	13
1 LÆSEVEJLEDNING	19
2 PROJEKTETS BAGGRUND	20
3 PROJEKTETS FORMÅL	21
3.1 FORMÅL LITTERATURSTUDIE	21
3.2 FORMÅL SANDLOKALITET	21
3.3 FORMÅL LERLOKALITETER	23
4 LITTERATURSTUDIE	24
4.1 LITTERATURSTUDIET	24
4.1.1 <i>Konceptuel model for gasmigration i den umættede zone</i>	24
4.1.2 <i>Konceptuel model for transport af miljøfremmede stoffer ind i bygninger</i>	25
4.1.3 <i>Influensradius og afdræning omkring bygninger</i>	26
4.1.4 <i>Tidslige variationer i gaskoncentrationer i umættet zone og bygninger</i>	28
4.2 SAMMENHÆNG MELLEM METEOROLOGISKE FORHOLD OG PORELUFTKONCENTRATION	28
4.2.1 <i>Differenstryk og atmosfæretryk</i>	29
4.2.2 <i>Teoretiske overvejelser - koncentrationsændringer</i>	29
4.2.3 <i>Responstid for trykændringer i ler- og sandformationer</i>	30
4.2.4 <i>Nedbør og ændringer i grundvandsspejlet</i>	33
5 UNDERSØGELSER PÅ SANDLOKALITET	36
5.1 IDENTIFIKATION AF EGNET SANDLOKALITET	36
5.2 KARAKTERISERING AF SANDLOKALITET	36
5.2.1 <i>Arealmæssige og bygningsmæssige forhold</i>	36
5.2.2 <i>Geologi og hydrogeologi</i>	36
5.2.3 <i>Forureningsmæssige forhold</i>	37
5.2.4 <i>Bygningsgennemgang</i>	39
5.3 UNDERSØGELSESPÅN FOR SANDLOKALITETEN	41
5.3.1 <i>Etablering af målestationer</i>	41
5.3.2 <i>Målemetoder og måleprogram</i>	44
5.4 PRÆSENTATION OG VURDERING AF RESULTATER	47
5.4.1 <i>Registrering af forureningsindtrængning i revner</i>	47
5.4.2 <i>Indhold af PCE i poreluft og inde-/udeluft</i>	47
5.4.3 <i>Indhold af Radon i poreluft og inde-/udeluft</i>	54
5.4.4 <i>Trykmålinger</i>	57
5.4.5 <i>Temperatur</i>	64

5.4.6	Luftskiftemålinger	67
5.4.7	Vandindhold	67
5.4.8	Grundvandspotentiale	71
5.4.9	Øvrige måledata	71
5.5	FORPUMPNINGSFORSØG	72
5.6	VURDERING AF SAMMENHÆNGE I MÅLERESULTATER	75
5.6.1	Delformål 1: Udendørs poreluftmålinger	75
5.6.2	Delformål 2: Poreluft under gulv	76
5.6.3	Delformål 3: Indeluft	76
5.6.4	Delformål 4: Vurdering af anvendelse af radonmålinger	82
5.6.5	Delformål 5: Prøvetagning under gulv	84
5.6.6	Delformål 6: Prøvetagning i udendørs poreluftsonder	84
5.7	SAMMENLIGNING MED JAGG BEREGNINGER	87
6	UNDERSØGELSER PÅ LERLOKALITETER	89
6.1	IDENTIFIKATION AF ENEDE LERLOKALITETER	89
6.2	FØRESPØRGSEL HOS AMTER OG ANDRE RÅDGIVERE	90
6.3	KARAKTERISERING AF LERLOKALITET L1	90
6.4	KARAKTERISERING AF LERLOKALITET L2	91
6.5	UNDERSØGELSESPÅN FOR LERLOKALITETERNE	92
6.5.1	Etablering af sonder og kortvarig sugetest	92
6.5.2	Udvikling af ny sonde	93
6.5.3	Etablering af boringssonder og kortvarig sugetest	94
6.5.4	Periodisk kontrol af sonder og boringssonder	95
6.5.5	Bestemmelse af vandindhold og pejling af grundvandsstand	96
6.5.6	Forpumpningsforsøg	96
6.5.7	Udluftningsforsøg	97
6.5.8	Intensiverede målinger	98
6.5.9	Måleprogram, oversigt	98
6.6	ETABLERING OG DRIFT AF MÅLEPUNKTER, LOKALITET L1	99
6.6.1	Etablering af sonder og kortvarig sugetest	99
6.6.2	Etablering af boringssonder og kortvarige sugetests	100
6.6.3	Periodiske kontrol og prøvetagning fra sonder og boringssonder	100
6.6.4	Bestemmelse af vandindhold og pejling af grundvandsstand	101
6.6.5	Forpumpningsforsøg	101
6.6.6	Udluftningsforsøg	102
6.6.7	Intensive målinger	103
6.7	ETABLERING OG DRIFT AF MÅLEPUNKTER, LOKALITET L2	103
6.7.1	Etablering af sonder og kortvarige sugetest	103
6.7.2	Etablering af boringssonder og kortvarige sugetest	103
6.7.3	Periodiske kontrol og prøvetagning fra sonder og boringssonder	104
6.7.4	Bestemmelse af vandindhold og pejling af grundvandsstand	105
6.7.5	Øvrige forsøg	105
6.8	RESULTATER - LOKALITET L1	105
6.8.1	Sugeforsøg ved etablering af sonder og boringssonder	105
6.8.2	Resultater af periodiske målerunder på sonder og boringssonder	106
6.8.3	Resultater af grundvandspejlinger og vandindhold	111
6.8.4	Resultater af forpumpningsforsøg	113
6.8.5	Resultater af udluftningsforsøg	116
6.8.6	Resultater af intensiverede målinger	117
6.9	RESULTATER - LOKALITET L2	118
6.9.1	Sugeforsøg ved etablering af sonder og boringssonder	118
6.9.2	Resultater af periodiske målerunder på sonder og boringssonder	119
6.9.3	Resultater af grundvandspejlinger og vandindhold	122
6.10	VURDERING AF RESULTATER FRA LERLOKALITET L1	122
6.10.1	Trykdifferensmålinger	122

6.10.2	Koncentration og atmosfæretryk	127
6.10.3	Koncentration og nedbørshændelser	131
6.10.4	Koncentration og grundvandsstand	131
6.10.5	Koncentration og lufttemperatur	133
6.11	VURDERING AF RESULTATER FRA LERLOKALITET L2	133
6.11.1	Trykdifferens	134
6.11.2	Koncentration og atmosfæretryk	134
6.11.3	Koncentration, nedbør og grundvandsstand	135
6.11.4	Koncentration og lufttemperatur	136
6.12	OPSUMMERING LERLOKALITETER	137
7	DISKUSSION OG ANBEFALINGER	139
7.1	PRØVETAGNING	139
7.1.1	Metoder til udtagning af poreluft	139
7.1.2	Betydningen af utætheder ved prøvetagning	141
7.1.3	Metoder til prøvetagning i indeklime	141
7.1.4	Metoder til vandbestemmelse i umættet zone	142
7.2	VARIATIONSSPÆND	143
7.2.1	Variationsspænd i poreluft i terræn	143
7.2.2	Variationsspænd i poreluft under gulv	144
7.2.3	Variationsspænd i luft i indeklime	144
7.2.4	Anvendelse af radonmålinger som indikator for indtrængning	145
7.3	ÅRSAGER TIL VARIATIONSSPÆND	145
7.3.1	Meteorologiske og hydrogeologiske processer	145
7.4	ANBEFALINGER FOR VIDERE ARBEJDE	146
7.4.1	Forbedring af vidensniveauet	146
7.4.2	Udvikling af nye metoder	148
8	REFERENCER	149

BILAG

BILAG 1: RESULTATER FRA SANDLOKALITET

- 1.1: PCE I UDENDØRS PORELUFTSONDER
- 1.2: PCE I PORELUFT UNDER GULV OG INDEKLIMA
- 1.3: RADON I UDENDØRS PORELUFTSONDER
- 1.4: RADON I PORELUFT UNDER GULV OG INDEKLIMA
- 1.5: DÆMPNING AF PCE OG RADON GENNEM GULV
- 1.6: SAMMENHÆNG MELLEM PCE OG RADON
- 1.7: ÆNDRING I BAROMETERTRYK OG PCE I INDELUFT
- 1.8: TEMPERATUR I UDELUFT OG PCE I INDELUFT
- 1.9: DIFFERENSTRYK OVER/UNDER GULV OG PCE I INDELUFT
- 1.10: VEJROBSEVATIONER FRA AALBORG FLYVESTATION
- 1.11: RELATIV FUGTIGHED I PORELUFTSONDER
- 1.12: RESULTATER FRA FORPUMPINGSFORSØG
- 1.13: KULRØRSPRØVER TIL KONTROL AF MIMS MÅLINGER
- 1.14: LANGTIDSMÅLINGER AF INDE- OG UDELUFT VED PASSIV SAMPLING
- 1.15: VANDINDHOLDBESTEMMELSE MED TDR UDSTYR
- 1.16: RESULTATER FRA TIDLIGERE UNDERSØGELSER
- 1.17: BYGNINGSGENNEMGANG
- 1.18: PID MÅLINGER I KÆLDERRUM
- 1.19: FOTOS AF MÅLEOPSTILLING

BILAG 2: LERLOKALITETER

- 2.1: KARAKTERISERING AF LOKALITET L1
- 2.2: LOKALITET L1 – SITUATIONSPLAN MED TIDLIGERE BYGNINGER
- 2.3: LOKALITET L1 – SITUATIONSPLAN MED BORINGER OG FORSØGSFELTER
- 2.4: LOKALITET L1 - GEOLOGISKE SNIT
- 2.5: LOKALITET L1 – FORURENINGSUDBREDELSE, 0-3 m u.t.
- 2.6: LOKALITET L1- FORURENINGSUDBREDELSE, 3-7 m u.t.
- 2.7: LOKALITET L1 – VERTIKAL FORURENINGSUDBREDELSE
- 2.8: LOKALITET L1 - BOREPROFILER, BORINGSSONDER L1-B1 TIL L2-B3
- 2.9: LOKALITET L1 – FORSØGSRESULTATER OG METEOROLOGISKE DATA
- 2.10: KARAKTERISERING AF LOKALITET L2
- 2.11: LOKALITET L2 – FORURENINGSUDBREDELSE
- 2.12: LOKALITET L2 – SITUATIONSPLAN MED BORINGER OG FORSØGSFELTER
- 2.13: LOKALITET L2 – GEOLOGISKE SNIT
- 2.14: LOKALITET L2 – BOREPROFILER L2-B1 TIL L2-B4
- 2.15: LOKALITET L2 - - FORSØGSRESULTATER OG METEOROLOGISKE DATA

BILAG 3: FORSØGSOPSTILLING PÅ SANDLOKALITETEN

BILAG 4: METODEBESKRIVELSER

BILAG 5: ØVRIGE BESIGTIGEDE LERLOKALITETER

Forord

Projektet er igangsat af Fyns Amt, Miljøstyrelsen og Amternes Videntcenter for Jordforurening (AVJ) i samarbejde med det formål at belyse transporten af poreluft i den umættede zone i hhv. moræneler- og sandformationer.

Projektet er gennemført af et tværfagligt team bestående af medarbejdere fra Eurofins Danmark A/S og COWI A/S. Disse er

- Eurofins Danmark A/S: Peter Mortensen
- COWI A/S: Torben Jørgensen, Dorte Glensvig, Christian Buck, Tage V. Bote og Lena Nilausen, idet sidstnævnte har varetaget kvalitetssikringen af rapporten.

Projektets succes har været afhængig af samarbejde med en række amter, kommuner og grundejere, idet sidstnævnte velvilligt har stillet deres ejendomme til rådighed for undersøgelserne. Der skal derfor rettes en særlig tak til alle dem, der har medvirket i projektet.

Projektets primære målgruppe er Miljøstyrelsen, amter, kommuner, miljørådgivere og andre, som arbejder med forureningsforhold i jord, poreluft og grundvand.

Miljøstyrelsen har nedsat en styregruppe til at følge arbejdet. Styregruppen har bestået af:

- Hans Skou (formand), Fyns Amt
- Preben Bruun, Miljøstyrelsen
- Charlotte Weber og Berit H. Hansen, Amternes Videntcenter for jordforurening
- Jes Holm (faglig sekretær), GEO
- Tom Heron, NIRAS
- Lotte Tombak, Københavns Amt

Rapporten er opdelt i en hovedrapport og en særskilt bilagsrapport

Resume & Konklusioner

Erfaringer fra mangeårige målinger af poreluftskoncentrationer og indeklimakoncentrationer viser, at den tidslige variation i koncentrationen er stor. Nærværende projekt er igangsat af Miljøstyrelsen i samarbejde med Fyns Amt og Amternes Videncenter for Jordforurening med henblik på at få større viden om disse tidslige variationer såvel på en sandlokalitet som på 2 lerlokaliteter.

Litteraturstudie

Indledningsvis er der gennemført et litteraturstudie, som viste, at naturlige tidslige variationer i poreluftskoncentrationer på flere størrelsesordener forekommer. Litteraturstudiet er afrapporteret via Amternes Videncenter for Jordforurening. Litteraturstudiet viser tidslige variationer i et givent målepunkt på op til 2-4 størrelsesordener, mens de arealmæssige variationer kan udgøre helt op til 6 størrelsesordener.

Målinger

Projektet indeholder omfattende målinger på hhv. sandlokaliteten og på lerlokaliteterne.

For sandlokaliteten omfatter målingerne:

- Etablering af udendørs målefelt med 7 poreluftsonder
- Etablering af indendørs målefelt i kælderlokale med 8 poreluftsonder under gulv
- Etablering af indendørs målestation i kælderlokale til måling af indeluft
- Etablering af udendørs målestation til måling af udeluft og meteorologiske forhold
- 3 målerunder af 2-3 ugers varighed med kontinuerte målinger af tetraklorethylen, radon, barometertryk, differenstryk (over/under gulv, ude/inde, poreluft/atmosfære), temperatur og relativ fugtighed. Herudover periodevise målinger af luftskifte, vandindhold i jorden, grundvandspotentiale, meteorologiske forhold (nedbør, soltimer, vindretning, vindstyrke).
- Forpumpningsforsøg på udvalgte udendørs poreluftsonder og sonder under gulv, hvor der måles på, om den målte koncentration i en sonde ændres som følge af, at der suges væsentlige luftmængder.

For lerlokaliteterne omfatter målingerne:

- Etablering af sonder og efterfølgende sugetest. Herunder udvikling af ny lersonde.

- 5 målerunder fordelt på forskellige tidspunkter af året med øjebliksmålinger af differenstryk, flow og modtryk i sonderne, indhold af triklorethylen og tetraklorethylen i pore-/udeluften samt grundvandsspejlinger i udvalgte boringer.
- Intensiveret målerunde, med kontinuerte målinger af differenstryk og grundvandsstand over en 3 ugers periode på udvalgte sonder. Sideløbende udføres der 4 målerunder, hvor der måles tri- og tetraklorethylen i poreluften fra sonderne.
- Forpumpningsforsøg på udvalgte sonder, hvor der måles på, om den målte koncentration i en sonde ændres som følge af, at der suges væsentlige luftmængder.
- Udluftningsforsøg på udvalgte sonder, hvor der måles på om en åbenstående sonde eller en sonde, der lige er etableret, skaber en forstyrrelse af forureningskoncentrationen og trykforholdene i poreluften.

Der er indsamlet data for temperatur, atmosfæretryk og regnvandsmængder for perioden, der dækker alle forsøg og målerunder.

Resultater

Resultaterne fra sandlokaliteten viser følgende:

- Der er generelt kun fundet mindre variationer i PCE indholdet i poreluften ved de 3 målerunder. Over året er der fundet variationer i den samme målesonde på op til faktor 2. Arealmæssig ses variationer på op til faktor 3 over en afstand på 4-5 m. Medtages tidligere resultater fra sandlokaliteten ses langtidsvariationer i poreluften på op til 2 størrelsesordener.
- De indendørs poreluftmålinger viser lille tidlig variation både over kort tid og gennem året. Korttidsvariationerne ligger typisk inden for 5-10 % af middelværdien. Koncentrationerne mellem de enkelte målerunder varierer op til faktor 2. Tidligere målinger i perioden 1996 - 2002 på lokaliteten viser dog variationer op til 2 størrelsesordener.
- På sandlokaliteten ses variationsspænd i indeluften op til en faktor 20, dvs. et dekadespring. Tidligere målinger i perioden 1996-2002 viser variationsspænd op til faktor 100.
- Radonmålingerne giver en rimelig beskrivelse af dæmpningsfaktoren mellem koncentrationer under/over gulv for PCE. Radon kan derfor anvendes til vurdering af dæmpningsfaktor over betondække.
- Forpumpningsforsøgene af poreluft under gulv og i udendørs poreluftsonder viste, at prøvetagning på sandlokaliteten var meget robuste over for forskellige pumpeflow. Ved prøvetagning på en sandlokalitet anbefales et flow på 0,1-1 l/min og et maksimalt modtryk i sonden på 150 mbar. Et fornuftigt renpumpningsvolumen vurderes at være 5-10 gange det etablerede porevolumen i formationen og i spyd og slanger frem til prøvetagningsstedet.

- Undersøgelserne på sandlokaliteten har vist, at indtrængningen af jordluft til indeklimaet er styret af mange faktorer og at det ikke er muligt entydigt at udpege årsagssammenhænge mellem PCE i poreluft og indeklima. Drivkræfter som ændringer i barometertryk, temperaturforskelle i inde-/udeluft, og trykdifferens over/under gulv kan forklare nogle af variationerne i indeluften, men ikke alle. Tilstrømningen af atmosfærisk luft via indflydelseszonen, afdampning fra grundvand/jordforurening, variationer i ventilationsforhold og luftudskiftning over terrænoverfladen kan også spille en rolle. Det, som gør tolkningen vanskelig, er, at de forskellige drivkræfter optræder samtidigt og er indbyrdes afhængige.
- Fald i barometertrykket er den mest markante drivkraft for indtrængning af poreluft til indeklimaet på lokaliteten. Generelt synes trykdifferensen over/under gulv og temperaturforskellen mellem ude- og indeluft ikke at have en væsentlig rolle for PCE indholdet i indeluften på den konkrete lokalitet i Aalborg. Det skal bemærkes, at disse resultater ikke er i overensstemmelse med resultaterne fra Risø (1997) hvor temperaturforskellen i ude/indeluft var en væsentlig drivkraft for indtrængning af jordluft.

Resultaterne fra lerlokaliteten viser følgende:

- Der er konstateret op til 3 størrelsesordener arealmæssige variationer på de 2 lerlokaliteter og tidlige variationer over måleperioden (måneder) på typisk 2 størrelsesordener, dog for enkelte sonder op til 3 størrelsesordener.
- Ud fra de tidligere udførte undersøgelser på lokaliteterne kan det ikke afvises, at der vil kunne forekomme større tidlige variationer i poreluftskoncentrationen, særligt som langtidsvariationer (årsvariationer). Ud fra litteraturstudiet vurderes det, at realistiske variationer vil være på mellem 3 og 4 størrelsesordener.
- Forpumpning og prøvetagning bør gennemføres ved så lavt et flow som muligt - helst 0,1-0,5 l/min. Umiddelbart efter etablering af sonder eller ved sonder som har henstået lukket bør forpumpningen ikke overstige 2 gange sondens kunstige volumen (voluminet af sonde, slanger og evt. gruskastning).
- Ved kortvarige utætheder i måleopstillingen (få minutter) kan retablering af stabile forhold i formation opnås med en forpumpning på 2-3 gange sondens kunstige volumen.
- Trykændringer i atmosfæren har væsentlig betydning for korttidsvariationer i poreluftskoncentrationen. En trykstigning medfører almindeligvis et fald i koncentrationen, mens et trykfald medfører en stigning i koncentration. For de længerevarende variationer i poreluftkoncentrationen (årsvariationer) vurderes det, at nedbør og ændringer i grundvandsspejlets beliggenhed, herunder blottelse af en smearzone, ligeledes har væsentlig betydning.
- Nedbør har også stor betydning for korttidsvariationerne. Nedbør medfører almindeligvis et fald i koncentration som følge af

udvaskning. Særligt kan effekten af kraftige nedbør overskygge den samtidige effekt af trykfald i atmosfæren.

- Ved tolkning af den målte koncentration i poreluften bør man som en tommelfingerregel medtage effekter af trykændringer og nedbør i en periode forud for målingen. Periodens længde afhænger af geologien og grundvandsspejlets placering, og undersøgelserne viser, at responstiden for trykudbredelsen i den umættede zone er en god rettesnor for periodens længde.
- Der er i målingerne en svag tendens til, at stigninger i grundvandsstanden medfører stigning i poreluftskoncentrationen, mens fald i grundvandsstanden medfører fald i poreluftskoncentrationen.
- Temperaturen i udeluften har tilsyneladende ikke væsentlig betydning for koncentrationen i poreluften i de foretagne målinger.
- Ud fra de foreliggende data og de teoretiske betragtninger formodes det, at de højeste poreluftskoncentrationer på lerlokaliteter forekommer i sensommeren/det tidlige efterår. Dette begrundes i, at denne periode almindeligvis er karakteriseret af:
 - lavt grundvandsspejl med heraf følgende større kildeafdampning,
 - lavt vandindhold i den umættede zone pga. ringe nedbør igennem sommeren, hvilket øger den vertikale gaspermeabilitet,
 - begyndende mætning af toplaget pga. efterårsregn, hvilket mindsker udvekslingen med atmosfæren.

Bemærk, at lignende fysiske forhold kan forekomme på andre tidspunkter af året.

Diskussion og anbefalinger

Trods det, at det er muligt at give forklaringer på nogle af de konstaterede variationer i koncentrationen på såvel sand- som lerlokaliteterne, viser undersøgelserne dog tydeligt, at det ikke på nuværende tidspunkt er muligt at forklare alle de konstaterede variationer i koncentrationerne. Der er således fortsat en række uafdækkede sammenhænge, som påvirker koncentrationsniveauet.

De store tidlige variationer betyder, at risikovurderinger, afgørelser vedrørende kortlægning efter jordforureningsloven eller afværge er forbundet med en stor usikkerhed.

Det anbefales derfor, at man ved fremtidige poreluftsundersøgelser foretager gentagelser af målinger samt holder sig for øje, at følsomheden af afgørelser skal vurderes ud fra såvel de arealmæssige som de tidlige variationer.

Ydermere anbefales det, at der igangsættes arbejder med det mål at få bedre forståelse for de naturlige variationer, herunder at der udarbejdes et nyt risikovurderingsværktøj.

Summary & Conclusions

Experience from many years' measurement of soil gas and indoor air concentrations shows that variations in concentrations over time are significant. This project was initiated by the Danish EPA in cooperation with the County of Funen and "Amternes Videntcenter for Jordforurening" (Danish counties' knowledge centre for soil contamination) with the aim of acquiring further knowledge of these time-related variations at a sand locality (a site with a sandy geology) as well as at 2 clay localities (sites with clay geology).

Literature study

Initially, a literature study was carried out. The study showed that soil gas concentrations vary naturally over time by several orders of magnitude. The literature study was published by "Amternes Videntcenter for Jordforurening". The literature study has shown time-related concentration variations at a given sampling point of up to 2-4 orders of magnitude, whereas concentration in sampling points placed in the same area showed variation of up to 6 orders of magnitude (area variations).

Sampling

The project included extensive sampling and measurements at the sand locality and the two clay localities.

At the sand locality, the measurement set-up included:

- Establishment of an outdoor sampling field with 7 soil gas probes
- Establishment of an indoor sampling field in a cellar with 8 soil gas probes for sub-slab sampling
- Establishment of an indoor measuring station in the cellar for sampling of indoor air
- Establishment of an outdoor measuring station for sampling of outdoor air and measurement of the meteorological conditions
- 3 rounds of 2-3 weeks' duration with continuous measurement of tetrachloroethylene, radon, barometric pressure, differential pressure (above/below floor level, outdoors/indoors, soil gas/atmosphere), temperature and relative humidity. Additionally, periodical measurement of air exchange, moisture content in the soil, ground water potential, meteorological conditions (atmospheric precipitation, sunny hours, wind direction, wind force)
- Preliminary test pumping on selected outdoor soil gas probes and probes below floor level, to investigate whether the soil gas concentration in a probe changes, when significant air volumes are drawn.

At the two clay localities, the measurement set-up included:

- Establishment of probes and subsequent draw test, including development of new sampling probe for use in clay
- 5 measuring rounds distributed to different times of the year with momentary measurement of differential pressure, flow and counter pressure in the probes, content of trichloroethylene and tetrachloroethylene in the soil gas/outdoor air and ground-water sounding in selected borings
- Intensified measuring round with continuous measurement of differential pressure and ground-water level on selected probes during a 3-week period. Simultaneously, 4 measuring rounds with measurement of trichloroethylene and tetrachloroethylene in the soil gas from the probes
- Preliminary test pumping on selected probes, to investigate whether the soil gas concentration in a probe changes when significant air volumes are drawn
- Ventilation tests on selected probes, where it was measured whether an open probe or a recently established probe affects the contamination concentration and the pressure conditions of the soil gas
- Collection of data on temperature, atmospheric pressure and precipitation of the period covering all tests and measuring rounds.

Results

Results from the sand locality showed:

- Generally, only minor variations in the PCE content of the soil gas were found in the three measuring rounds. Annual variations of up to a factor of 2 have been found in the same probe. With respect to area, variations of up to a factor of 3 over a distance of 4-5 m were seen. If previous results from the sand locality are included, long-term variations of the soil gas of up to 2 orders of magnitude are seen
- The sub-slab soil gas measurement showed small time-related variations – both short-term and annually. The short-term variations are typically within 5-10 % of the mean value. The concentrations between the individual measuring rounds vary up to a factor of 2. However, previous measurements during the period from 1996 to 2002 at the locality showed variations of up to 2 orders of magnitude
- At the sand locality variations of the indoor air concentrations of up to a factor 20 were seen, i.e. a range of a decade. Previous measurements during the period 1996 to 2002 showed variation of a range of up to a factor of 100
- The radon measurement provided a fairly good description of the attenuation factor between concentrations of PCE below/above floor level. Radon can consequently be applied for assessment of the attenuation of concrete floors
- The preliminary pumping tests on sub-slab soil gas probes and outdoor soil gas probes showed that sampling at the sand locality was very robust in relation to various pump flows. When sampling at a sand locality, a

flow of 0.1-1 l/min. and a maximum counter pressure of 150 mbar in the probe are recommended. A reasonable preliminary pumping volume is estimated at 5-10 times the established pore volume in the formation and in the probe and hoses up to the sampling spot

- Investigations at the sand locality showed that vapour intrusion to indoor air is controlled by many factors and that it is not possible to identify cause-and-effect relationships between PCE in soil gas and indoor climate unambiguously. Driving forces like changes in barometric pressure, temperature differences in indoor/outdoor air and pressure difference above/below floor level can explain some of the variations in the indoor air, but not all. Inflow of atmospheric air via the impact zone, evaporation from ground water/soil contamination, variations in ventilation conditions and air exchange above the terrain surface may explain other variations. What makes the interpretation difficult is that the various driving forces are acting simultaneously and are mutually dependant
- A fall in the barometric pressure is the most significant driving force for vapour intrusion to indoor air at the locality. In general, the pressure difference above/below floor level and the temperature difference between outdoor and indoor air seem to have no significant influence on the PCE content in indoor air at the specific locality in the city of Aalborg. It should be noted that these results are not in accordance with the results from Risø (1997), in which the temperature difference in outdoor/indoor air was a significant driving force for soil air intrusion.

Results from the two clay localities show the following:

- At the 2 clay localities, area variations were found in soil gas concentrations of up to 3 orders of magnitude and time-related concentration variations during the measuring period (months) of typically 2 orders of magnitude – however for a few probes up to 3 orders of magnitude
- Based on the investigations previously carried out at the localities it cannot be rejected that significant time-related variations in the soil gas concentration might occur, especially as long-term variations (annual variations). Based on the literature study it is assessed that realistic concentration variations will be between 3 and 4 orders of magnitude
- Preliminary pumping and sampling should be carried out at the lowest possible flow – preferably 0.1-0.5 l/min. Immediately after establishment of probes - or for probes that have been closed for some time - the preliminary pumping should not exceed twice the artificial volume of the probe (the volume of probe, hoses and placement of gravel, if any)
- In the event of short-time leaks in the measuring arrangement (a few minutes), re-establishment of stable conditions in the formation can be achieved by a preliminary pumping of 2-3 times the artificial volume of the probe
- Pressure changes in the atmosphere have significant importance to short-term variations in the soil gas concentration. Generally, a pressure rise results in a fall in the concentration, whereas a pressure fall results in a rise in the concentration. As regards the long-term variations in the soil gas

concentration (annual variations) it is assessed that also precipitation and changes in the ground-water level, including uncovering of a smear zone, have significant importance

- Precipitation also shows significant importance to the short-term variations. Precipitation generally results in a concentration fall because of leaching. Especially the impact by heavy precipitation overshadows the simultaneous impact by pressure fall in the atmosphere
- At interpretation of the measured concentration in the soil gas - and as a rule-of-thumb – the impacts by pressure changes and precipitation during a period of time prior to the measurement should be taken into consideration. The length of the period depends on the geology and the ground-water level. The investigations have shown that the response time of the pressure extension in the unsaturated zone is a good guide for the length of the period
- According to the results there is a faint tendency that a rise in the ground-water level results in a rise in the soil gas concentration, whereas a fall in the ground-water level results in a fall in the soil gas concentration
- Apparently the outdoor temperature has no significant importance as regards the concentration in the soil gas in the measurement carried out.
- Based on the available data and the theoretical considerations it is assumed that the highest soil gas concentrations at the clay localities occur in late summer/early autumn. This assumption is based on the fact that this period is generally characterized by:
 - Low ground-water level resulting in higher source evaporation
 - Low water content in the unsaturated zone because of low precipitation during the summertime resulting in an increase of the vertical gas permeability
 - Incipient saturation of the top layer because of autumn rain diminishing the exchange with the atmosphere

It should be noted that similar physical conditions may occur at other times of the year.

Discussion and recommendations

Although it is possible to explain some of the stated concentration variations at both the sand and the clay localities, the investigations have however shown clearly that it is not possible at present to explain all the found variations in the concentrations. Thus there are still a series of unrevealed contexts affecting the concentration level.

Risk assessments, decisions concerning charting in conformity with the soil contamination law or protective measures based on sampling concentrations are subject to a considerable uncertainty due to the considerable time-related variations.

Consequently at future soil gas investigations it is recommended to carry out repeated measurement and be aware that the sensitivity of decisions must be assessed on the basis of both the area and the time-related variations.

Furthermore it is recommended to initiate work with the purpose of achieving a better understanding of the natural variations, including development of new risk assessment tools.

1 Læsevejledning

Nærværende rapport beskriver resultaterne af omfattende poreluftmålinger på i alt 3 lokaliteter - heraf én sandlokalitet og to lerlokaliteter.

Projektets baggrund og formål fremgår af hhv. kapitel 2 og 3.

Kapitel 4 - Teoretiske overvejelser vedr. gasmigration

I forbindelse med projektet er der gennemført en litteraturgennemgang med henblik på at skønne den naturlige variation i poreluftkoncentrationen over tid samt at få større kendskab til de betydende processer og faktorer for koncentrationsvariationerne. Litteraturstudiet er afrapporteret via Amternes Videncenter for Jordforurening, og der er i kapitel 4 alene foretaget en opsummering af dette arbejde.

Kapitel 5 - Sandlokalitet

Undersøgelserne på sandlokaliteten består af i alt 3 serier af kontinuerte eller semikontinuerte målinger i poreluft uden for bygning, i poreluft under bygning samt i indeklima. Ud over bestemmelse af poreluftkoncentrationen af tetraklorethylen (PCE) bestemmes også radon-indhold og differenstræk. Der foretages bestemmelse af en række meteorologiske og geologiske/hydrogeologiske forhold.

Data vurderes ud fra de teoretiske betragtninger beskrevet i kapitel 4.

Kapitel 6 - Lerlokalitet

Undersøgelserne på lerlokaliteterne omfatter periodiske målinger af poreluftens indhold af PCE og TCE (triklorethylen), differenstræk samt en række geologiske og hydrogeologiske forhold i forskellige dybder i moræneleret samt i fylden. Der er gennemført i alt 5 målerunder på begge lokaliteter. Yderligere er der udført en intensiveret målerunde med bl.a. kontinuert logning af en række parametre. I forsøgene blev 2 forskellige typer af poreluftssonder afprøvet.

Ydermere er betydningen af varierende pumpeflow i relation til den målte koncentration belyst, og der er gennemført forsøg til vurdering af betydningen af udluftning af sonder og udstyr i forbindelse med prøvetagning.

Data vurderes ud fra de teoretiske betragtninger beskrevet i kapitel 4.

Kapitel 7 - Diskussion og anbefalinger

Afslutningsvis diskuteres resultaterne fra de 3 lokaliteter, og der gives anbefalinger mht. fremtidige undersøgelser af luftkoncentrationer på hhv. sand- og lerlokaliteter.

Ønskes en hurtig introduktion til problemstillingen anbefales det, at alene kapitel 4 og kapitel 7 læses.

2 Projektets baggrund

Flere undersøgelser udført af offentlige myndigheder og private virksomheder har vist en meget stor variation i indholdet af klorerede opløsningsmidler i poreluften, i poreluft under bygninger med betongulv og i indeklimaet. Ofte er variationerne flere størrelsesordener, og ydermere er resultaterne ofte svære at reproducere. Dette gav anledning til tvivl omkring resultaternes troværdighed, ligesom entydige tolkninger f.eks. i relation til en risiko for mennesker og miljø blev væsentlig kompliceret.

I en årrække var det den almindelige opfattelse, at disse væsentlige variationer skyldtes fejl ved prøvetagning, analysefejl eller særlige ekstreme meteorologiske forhold. Efterhånden som vidensniveauet er øget, står det klart, at selv variationer på op til 2-4 størrelsesordener er normale og ikke skyldes fejl.

Årsager til koncentrationsvariationerne er bl.a.

- Geologiske og hydrogeologiske forhold, som bl.a. er medvirkende årsag til arealmæssige variationer på op til 6 størrelsesordener som følge af forskellige udbredelsesmuligheder i givne retninger.
- Prøvetagningsteknik, herunder bl.a. udtagningsmetode, flow, måletid og eventuelle fejl eller uhensigtsmæssigheder ved prøvetagningen.
- Meteorologiske forhold såsom atmosfæriske trykforhold, nedbør, vind, temperatur mm.

Der anvendes i Danmark væsentlige summer årligt til såvel kortids- som langtidsmålinger i poreluft og indeklima. Da der træffes store økonomiske, miljø- og sundhedsmæssige beslutninger på basis af disse resultater, er der behov for at få vurderet, i hvilket omfang målingerne er retvisende.

Disse forhold var medvirkende til, at Fyns Amt i samarbejde med Miljøstyrelsen og AVJ udbød et poreluftsprojekt i marts 2003 omfattende en lang række af undersøgelser med henblik på at opnå en bedre forståelse af de naturlige variationer.

COWI fik til opgave at gennemføre undersøgelserne i samarbejde med Eurofins Danmark A/S. Nærværende projekt beskriver resultatet af disse undersøgelser.

3 Projektets formål

Fælles for poreluftprojektet er, at der fokuseres på klorerede opløsningsmidler.

3.1 Formål Litteraturstudie

Formålet med litteraturstudiet er:

- at gennemgå relevant litteratur og give et konceptuelt overblik over transporten af gasformig forurening i den umættede zone, særligt i relation til transport under forskellige klimatiske forhold og omkring bygninger.

3.2 Formål Sandlokalitet

De overordnede formål med undersøgelser på sandlokaliteten er at dokumentere og redegøre for:

- Variationer i og sammenhæng mellem målte forureningsniveauer under gulv, i indeklima og i umættet zone. Herunder belysning af betydningen af vandindholdet i jorden udendørs.
- Anvendeligheden af radonmålinger til dokumentation af indeklimapåvirkninger og til kvalitetssikring af prøvetagning fra poreluftsonder.
- Betydningen af forskellig forpumpning for prøveresultater fra poreluftsonder i umættet zone og under gulv.

Disse overordnede mål er opdelt i en række delformål, som er beskrevet skematisk i tabel 3.1. I skemaet er der desuden angivet typen af målinger, som er gennemført, samt hvilke hovedpunkter, der ønskes belyst ved afrapporteringen af opgaven.

Tabel 3.1 Del formål med undersøgelser på sandlokaliteten, gennemførte aktiviteter og indhold af rapport

Delformål At beskrive/dokumentere:	Type af målinger Overordnet	Beskrives i rapport
<i>Formål nr. 1</i> Variationer over tid og sted i forureningsniveauet i poreluften i den umættede zone i områder uden befæstelse. Disse sammenholdes med målingerne udført under gulv og i indeklima (formål 2 og 3).	Måling af forureningsniveau, radon, tryk og temperatur i umættet zone og i udeluft. Desuden registrering af vandindhold i umættet zone samt meteorologiske parametre som vindstyrke og retning, nedbør, snedække, solindstråling.	Tidslige variationer i de målte parametre. Arealmæssige variationer i de målte parametre. Beskrivelse og tolkning af sammenhængen mellem de målte parametre i umættet zone indbyrdes og i udeluft. Beskrivelse og tolkning af sammenhæng mellem målinger under gulv, i indeklima, i den umættede zone og i udeluften sammenholdes. Forslag til procedure ved poreluftmålinger, herunder måletidspunkt, gentagne målinger mv.
<i>Formål nr. 2</i> Variationer i forureningsniveauet under gulv mellem målepunkter i samme rum.	Samtidig måling af forureningsniveau i flere målepunkter under samme gulv.	Forskellen i målte værdier mellem målepunkterne samt beskrivelse af mulige årsager til variationer. Vurdering af betydningen for undersøgelser under gulv. Er ét målepunkt under hvert gulv tilstrækkeligt? Hvor mange målepunkter anbefales (afstand, pr. m ² mv.)? Hvad er styrende for variationerne i forureningsniveauet under gulv og i indeklima?
<i>Formål nr. 3</i> Tidslige variationer i forureningsniveauet i luften under gulv samt i indeklimaet.	Måling af tryk, temperatur, forureningsniveau, radon under gulv i indeklima samt i udeluft. Desuden registrering af meteorologiske parametre som vindstyrke og retning, nedbør, snedække, solindstråling.	Tidslige variationer i de målte parametre. Tolkning af sammenhænge mellem parametrene. Hvad er styrende for variationerne i forureningsniveauet under gulv? Forslag til procedure ved luftmålinger under gulv og i indeklimaet: Hvornår på døgnet/over året måles maksimale, gennemsnitlige og minimale niveauer? Anbefales gentagne målinger, hvor mange, hvornår? Hvad er styrende for variationerne i forureningsniveauet under gulv og i indeklima?
<i>Formål nr. 4</i> Anvendelsen af radonmålinger.	Her anvendes målinger af radon og øvrige parametre udført under ovenstående punkter.	Præsentation og vurdering af sammenhængen mellem målte koncentrationer af radon og PCE/TCE. Kan spredningen af PCE op gennem gulvet estimeres ved radonmålinger under gulv og i indeklimaet? Anvendeligheden af radonmålinger til vurdering af fortynding, luftskifte og dokumentation af poreluftmålinger i umættet zone og under gulv. Kan prøvetagningen af poreluft dokumenteres/kvalitetssikres ved måling af radon? Forslag til procedure ved anvendelse af radonmålinger ved dokumentation af indeklimabelastning med forureningskomponenter og ved kvalitetssikring af prøvetagning. Vurdering af omkostninger og sammenligning med traditionel metode.
<i>Formål nr. 5</i> Betydningen af omstændigheder ved prøvetagning ved målinger under gulv.	Måling af forureningsniveau samt trykdifference over gulv ved forpumpning med 3 forskellige flow.	Tolkning af resultater og vurdering af betydningen af forskelligt flow og varighed af forpumpningen. Forslag til procedure ved forpumpning.
<i>Formål nr. 6</i> Betydningen af prøvetagningsomstændigheder ved målinger i umættet zone udendørs.	Måling af trykdifference mellem målepunkt og atmosfæren samt måling af radon ved 3 forskellige flow.	Tolkning af resultater og vurdering af betydningen af forskelligt flow og varighed af forpumpningen. Forslag til procedure ved forpumpning.

3.3 Formål Lerlokaliteter

Formålet med undersøgelser på lerlokaliteterne L1 og L2 er:

- Delformål 1
At undersøge hvorvidt det er muligt at suge poreluft ud af forskellige lerformationer som for eksempel sandet moræneler og/eller sprækket moræneler samt de overliggende fyldlag.
- Delformål 2
At udvikle og afprøve en simpel boringssonde målrettet til anvendelse i lavpermeable lag.
- Delformål 3
For de sonder, hvor det er muligt at udtage poreluft, at undersøge årstidsvariationen i forureningskoncentrationen i udvalgte punkter i leret og fyldet.
- Delformål 4
Under forudsætning af, at det er muligt at suge poreluft ud af lerformationen, at undersøge sammenhængen mellem porelufts-koncentrationer i ler og fyld, pumpeflow og -volumen samt trykforhold under forpumpning og udtagning af prøve til analyse. Om muligt ud fra de foreliggende resultater at klarlægge den optimale prøvetagningsmetode.

4 Litteraturstudie

4.1 Litteraturstudiet

I forbindelse med nærværende projekt er der foretaget en gennemgang af relevant litteratur.

Ved litteraturgennemgangen har vægten været lagt på referencer om tidlige variationsspænd i poreluftskoncentrationer, årsager til disse tidlige variationer samt modellering af forskellige faktorerers effekter på poreluftskoncentrationen.

Litteraturstudiet er afrapporteret af AVJ i Teknik og Administrationsrapport nr. 7/2004 med titlen "Transport af gasformig forurening i umættet zone og i bygninger" (AVJ 2004). Rapporten findes på AVJ's hjemmeside www.avjinfo.dk.

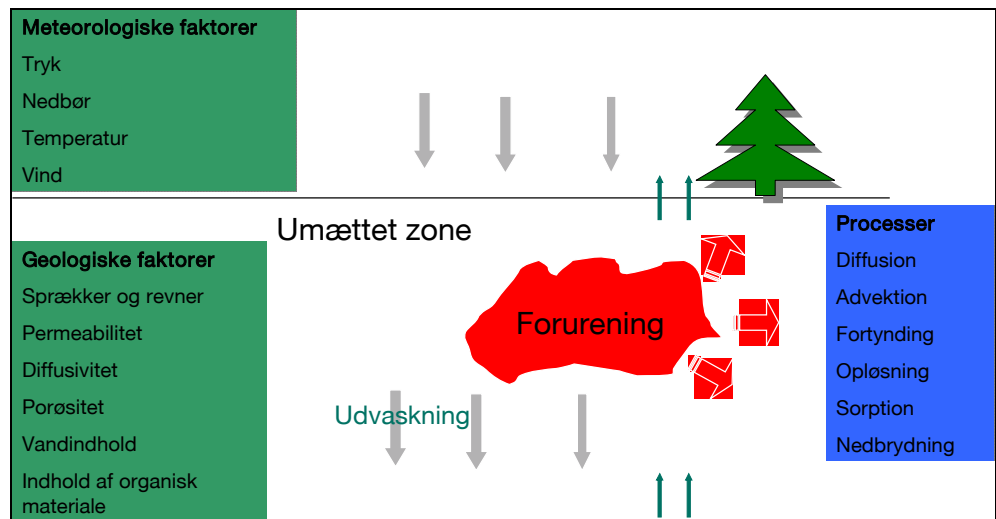
I nærværende rapport er således alene fremhævet hovedlinierne i litteraturstudiet, idet der afslutningsvis er beskrevet nogle teoretiske overvejelser om poreluftskoncentrationens variation med forskellige meteorologiske og hydrogeologiske faktorer.

4.1.1 Konceptuel model for gasmigration i den umættede zone

I figur 4.1 er vist de processer, som styrer gasmigrationen sammen med de faktorer, der har betydning for omfanget af gasmigrationen i den umættede zone.

For at opnå gasmigration skal der være en drivende kraft og en eller flere strømningsveje. Gravitation spiller oftest kun en ubetydelig rolle som drivende kraft ved gasmigration, og strømningsvejene er principielt alle 3 dimensioner. Gassen vil principielt lige så gerne bevæge sig vertikalt som horisontalt, afhængig af den drivende krafts størrelse og retning samt hvilken strømningsvej, der er den letteste. De væsentligste drivende kræfter i relation til gasmigration i den umættede zone er diffusion og advektion.

Af de væsentligste betydende faktorer for gasmigrationen kan nævnes gaspermeabiliteten og variationer i atmosfæretrykket. Der henvises til AVJ (2004) for nærmere beskrivelse af øvrige betydende faktorer.



Figur 4.1: Processer og faktorer, som påvirker transporten af miljøfremmede stoffer i den umættede zone.

Gaspermeabiliteten kan jf. Miljøstyrelsens vejledning nr. 6 og 7/1998 variere 2-4 størrelsesordner afhængig af jordtypen. Permeabiliteten i lerjorder er generelt lavest og skyldes i væsentligste omfang tilstedeværelsen af sprækker og sandslirer. Dermed bliver gaspermeabiliteten af lerjorde meget afhængig af vandindholdet og porøsiteten i jorden, idet eksempelvis et regnskyl kan lukke alle spredningsveje i jorden. I den umættede zone under bygninger kan jorden ofte være udtørret og opsprækket, hvorfor gaspermeabiliteten under bygninger kan være forholdsvis stor - selv i lerede jorde. Tilsvarende kan fyldmaterialer omkring installationer sammen med ormehuller og hulrum eller rødder og lignende udgøre væsentlige spredningsveje særligt i lerede jorder, som følge af lokale områder med høj gaspermeabilitet.

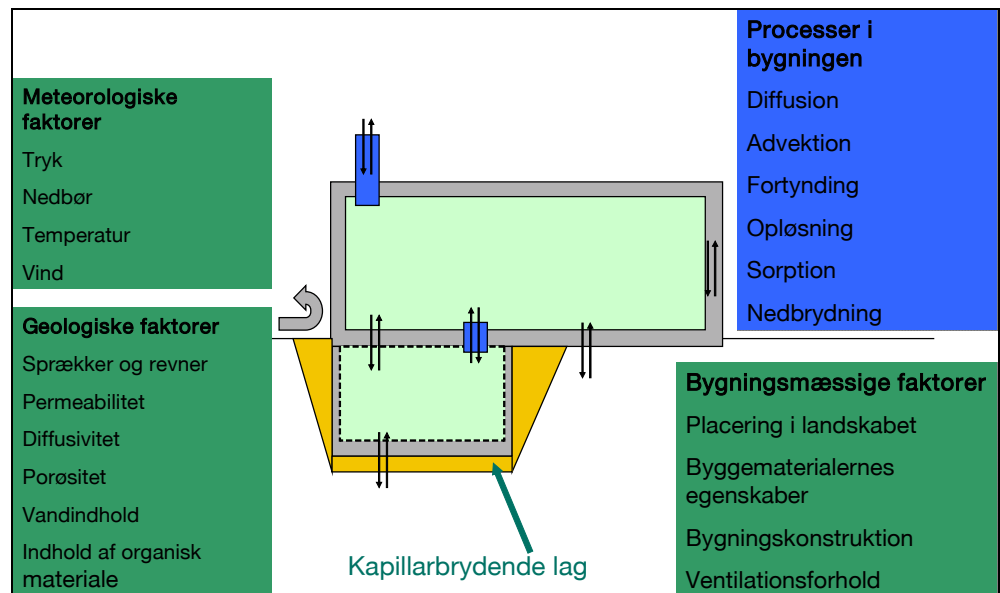
Undersøgelser beskrevet i litteraturstudiet (AVJ 2004) viser, at ændringer i atmosfæretrykket bevirker, at der i perioder opstår trykforskelle mellem atmosfære og de terrænnære jordlag. Denne trykforskel kaldes differenstrykket mellem atmosfæren og jorden, og det er differenstrykket, som virker som "motoren" for den advective gasmigration.

4.1.2 Konceptuel model for transport af miljøfremmede stoffer ind i bygninger

I figur 4.2 er skitseret de processer og faktorer, som påvirker gastransporten af miljøfremmede stoffer omkring og ind i en bygning. For transporten ind i bygninger sker det almindeligvis ved diffusion gennem gulvkonstruktionerne og f.eks. kældervægge og som trykdreven indtrængning (advektionen). Det er normalt advektionen, der udgør den væsentligste transportproces.

De væsentligste variable for den resulterende koncentration i indeklimaet som følge af oprængende forurening gennem gulv er:

- fluxen gennem gulvet, som bl.a. afhænger af differenstrykket over og tætheden af gulvet, koncentrationen under gulvet og i indeklimaet samt forureningskomponenternes karakteristika,
- luftskiftet, der bl.a. er afhængig af udluftningsforhold i bygninger, herunder differenstryk og temperaturforskelle mellem bygningen og udeluften.



Figur 4.2: Processer og faktorer, som påvirker transporten af miljøfremmede stoffer i den umættede zone og ind i bygninger.

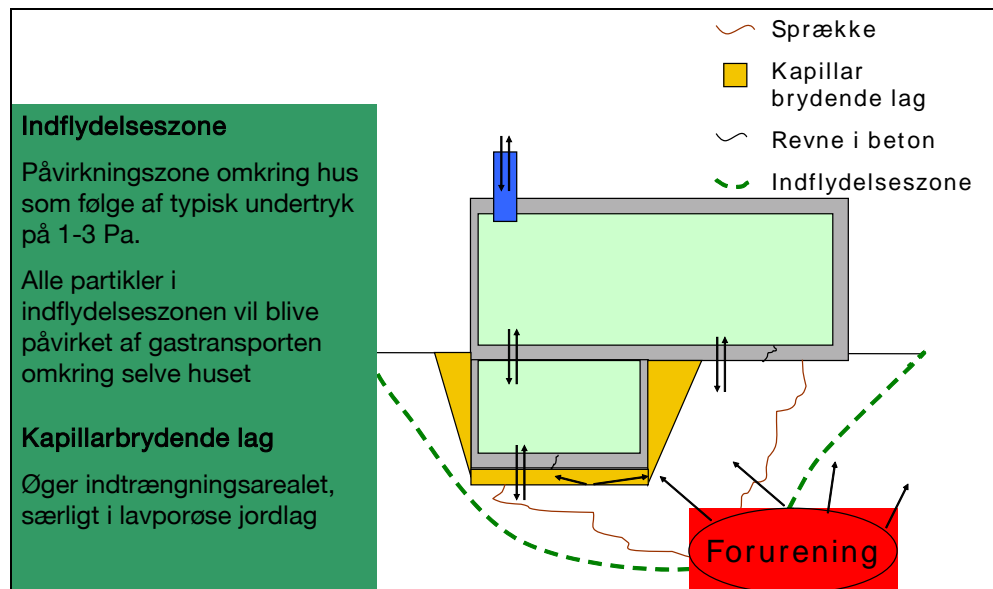
4.1.3 Influenzradius og afdræning omkring bygninger

Gastransporten i jorden under bygninger adskiller sig fra gastransporten i de omkringliggende jordlag på grund af primært to forhold: En såkaldt indflydelseszone under og omkring bygningen og en ændret gaspermeabilitet som følge af afdræning omkring bygningerne, se figur 4.3.

Når en bygning etableres, vil de umættede jordlag under bygningen med tiden udtørre som følge af, at nedbør ikke længere infiltrerer i jordlagene. Udtørring af jordlagene bevirker, at gaspermeabiliteten øges. Erfaringer fra Irland, se også AVJ (2004), viser forøget radonflux ind i bygninger efter 5-7 år, hvilket tillægges udtørring under bygningen. Betydningen af udtørringen er almindeligvis størst for lerede jorde.

Ligesom der kan opstå differensterik mellem jorden og atmosfæren, kan der tilsvarende opstå differensterik mellem atmosfæren og indeklimaet eller mellem jorden og indeklimaet.

Erfaringer fra bl.a. radonundersøgelser viser, at indendørs-udendørs temperaturforskelle, vind og drift af mekanisk ventilation normal frembringer et lille undertryk i bygningen på 1-3 Pa i forhold til den omgivende atmosfære. Undertrykkets størrelse varierer igennem døgnet (normalt med maksimum tidligt på morgenen) og gennem året (normalt med maksimum om vinteren). Denne trykforskel giver sammen med udtørringen af jorden under bygningen anledning til, at jordluft suges ind i huset, hvilket danner et strømningsfelt i jorden i en zone under og omkring huset. Typiske værdier for indtrængningsraten til et almindeligt dansk parcelhus vurderes at være omkring 0,1 til 1 m³/time (Miljøstyrelsen 2001a). Zonen kaldes for husets indflydelseszone, se også figur 4.3, idet man kan påregne, at enhver gaspartikel, som kommer ind i denne zone, vil blive ført ind i huset af gasstrømmen. Indtrængningsraten er proportional med undertrykkets størrelse. Hvis der kommer 1 m³/time ind i huset ved 1 Pa, så vil indtrængningen stige til 3 m³/time ved 3 Pa (Miljøstyrelsen 2001a).



Figur 4.3: Illustrering af afdræning under bygning, indflydelseszone og betydningen af sprækker i terrændækket hhv. med og uden kapillarbrydende lag.

Ved transport af luft ind i bygninger og internt i bygninger kan almindeligvis konstateres en reduktionsfaktor ved transporten over terrændækket og over etageadskillelser. Erfaringerne er opsummeret i figur 4.4. Reduktionsfaktoren er bl.a. afhængig af beskaffenheden af bygningsdelen, trykforskelle, luftskifte mm.

Indtrængningsraten stiger med jordens gaspermeabilitet. Der er stort set proportionalitet mellem jordens gaspermeabilitet og indtrængningen i en bygning.

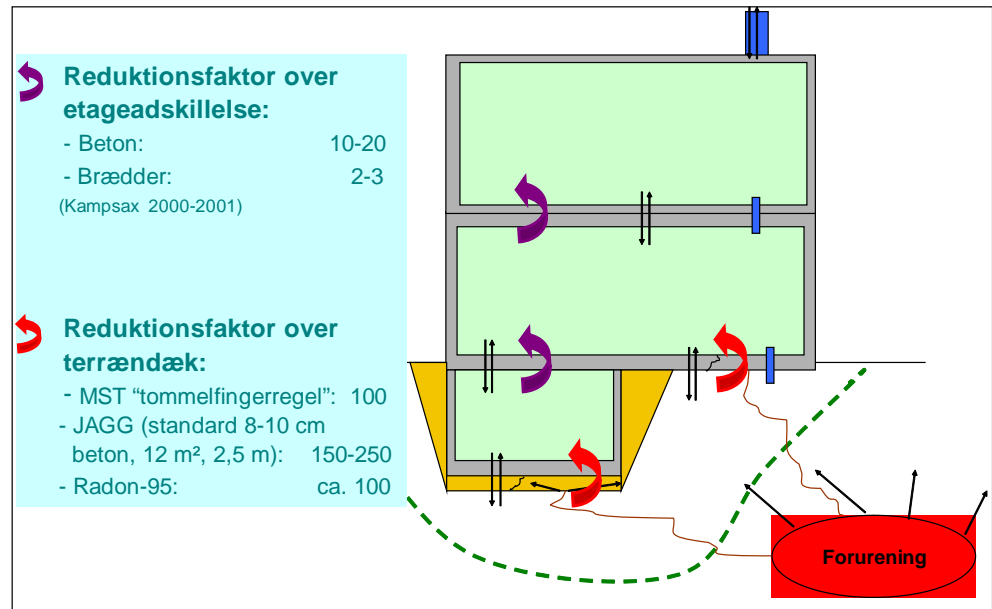
Modelberegninger viser, at hvis der for en given bygning sker en luftindtrængning på omkring $1,6 \text{ m}^3/\text{time}$ ved en gaspermeabilitet på 10^{-10} m^2 i jorden, så vil gasindtrængningen kun være $0,18 \text{ m}^3/\text{time}$ ved en gaspermeabilitet på 10^{-11} m^2 og $0,018 \text{ m}^3/\text{time}$ ved en gaspermeabilitet på 10^{-12} m^2 (Miljøstyrelsen 2001a).

Det kapillarbrydende lag, antallet af revner i betondækket og revnernes størrelse spiller naturligvis en rolle for jordluftindtrængningens størrelse. Revnebredden har specielt betydning ved små revner. Revner bredere end 1 mm er så store, at gasindtrængningen stort set sker uhindret, og gasindtrængningen er stort set den samme, uanset om revnen er 50 eller 1 mm bred. Først når revnen kommer under en brøkdel af en mm, begrænses indtrængningen væsentligt.

Det kapillarbrydende lag spiller en vigtig rolle for indtrængningen. Det skyldes, at jorden ikke er homogen (men f.eks. opsprækket), og at revnerne i betondækket er spredt over gulvarealet. I sådanne tilfælde vil det kapillarbrydende lag tilvejebringe en god forbindelse mellem særligt hurtige transportveje i betondækket og i jorden.

Eksperimentelle undersøgelser og modelberegninger har vist, at hvis man betragter mindre revner eller huller i betondækket (frem for en enkelt sammenhørende revne langs hængende dæk og ydermur), da vil indtrængningen til et hus uden kapillarbrydende lag stort set være proportional med det samlede lækareal af revner. For et sådant hus vil

indtrængningen altså direkte afhænge af antallet og størrelsen af revnerne. For huse med et kapillarbrydende lag vil lækarealet derimod være uden betydning, hvis dækket blot er "punkteret" et enkelt sted. For danske huse med kapillarbrydende lag kan man altså ikke forvente, at indtrængningen af jordluft kan begrænses væsentligt ved at tætte dækket, med mindre man effektivt stopper alle utætheder (Miljøstyrelsen 2001a).



Figur 4.4: Forventelige reduktionsfaktorer over hhv. terrændæk og etageadskillelse.

4.1.4 Tidslige variationer i gaskoncentrationer i umættet zone og bygninger

Erfaringerne fra litteraturstudiet (AVJ 2004) og nærværende projekts undersøgelser viser, at naturlige tidslige variationer i koncentrationer i poreluft kan spænde over flere størrelsesordener såvel i den umættede zone som i indeklimaet.

Erfaringer fra undersøgelserne viser, at da der er mange processer og faktorer, som påvirker målesituationen, er det yderst kompliceret at forudsige effekten af ændrede måleforhold - såvel i indeklimaet som i poreluften. Litteraturstudiet og nærværende projekt viser således, at man ved tolkning af koncentrationsdata fra poreluft og indeklima skal tage højde for en mulig betydelig naturlig variation.

4.2 Sammenhæng mellem meteorologiske forhold og poreluftkoncentration

I de følgende afsnit er der foretaget teoretiske betragtninger vedr. differenstrykkets variation mellem poreluften og atmosfæren, responstid for trykændringer samt koncentrationsniveauets variation som følge af ændringer i meteorologiske forhold og ændringer i grundvandsstand. Bemærk, at der ved den teoretiske gennemgang alene ses på én enkelt meteorologisk faktor ad gangen. Flere samtidige meteorologiske faktorer kan medføre andre effekter end beskrevet.

4.2.1 Differenstryk og atmosfæretryk

Er der god udveksling af luft mellem atmosfæren og poreluften, vil differenstrykket være lille. Er der forholdsvis dårligere udveksling af luft mellem atmosfæren og poreluften, vil der opstå større differensundertryk eller - overtryk som følge af, at trykændringer forplanter sig langsommere i poreluften end i atmosfæren. Ved tolkningen af differenstrykmålinger skal følgende holdes for øje, se figur 4.5:

Er der tale om jordlag, hvor en forsinkelse af trykændringerne forekommer, kan man teoretisk forvente følgende:

Hvis der er et relativt undertryk i poreluften i forhold til atmosfæren (Trykdifferens $P_{diff} < 0$):

- Et trykfald i atmosfæren vil medføre et mindre differensundertryk
- En trykstigning i atmosfæren vil medføre et større differensundertryk

Hvis der er et relativt overtryk i poreluften i forhold til atmosfæren (Trykdifferens $P_{diff} > 0$):

- Et trykfald i atmosfæren vil medføre et større differensovertryk
- En trykstigning i atmosfæren vil medføre et mindre differensovertryk

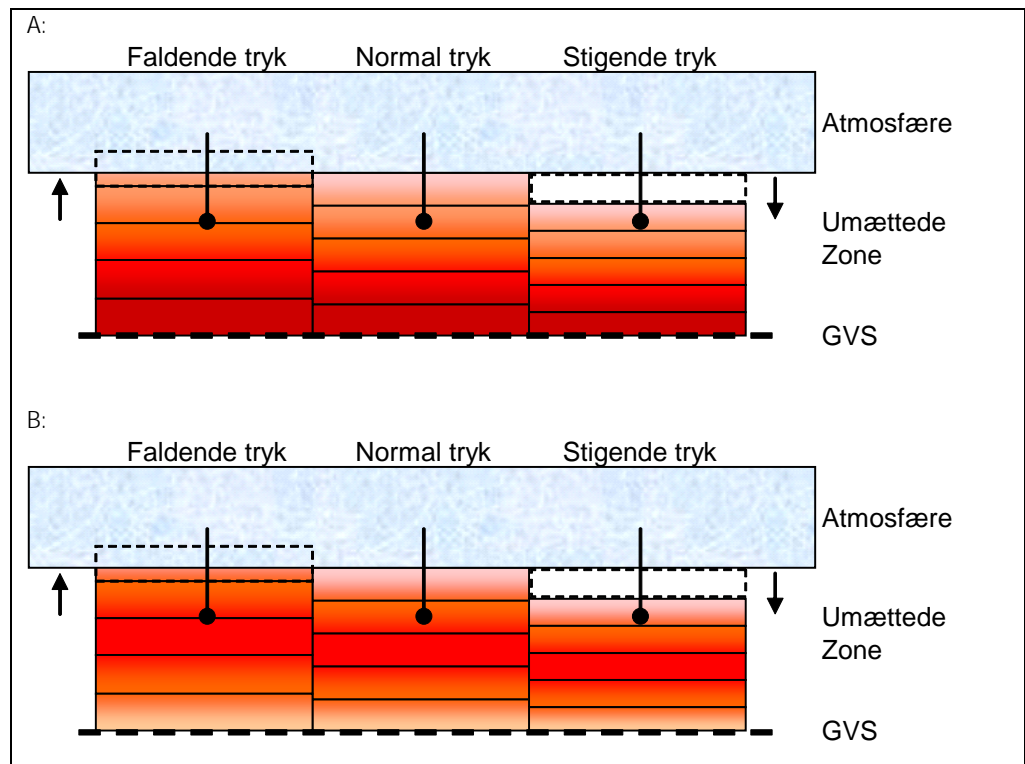
Det betyder, at ved afbildning af atmosfæretrykket mod differenstrykket, skal disse være i modfase.

Figur 4.5: Teoretiske betragtninger om trykdifferensens variation med atmosfæretrykket.

4.2.2 Teoretiske overvejelser - koncentrationsændringer

Teoretisk set vil trykændringer i atmosfæren påvirke gasstrømningen specielt i de øvre jordlag. Når trykket i atmosfæren falder, vil trykket i poreluften ligeledes falde. Ud fra idealgasloven ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T$) kan man estimere, hvor stor en gasflux/udveksling, der vil ske mellem atmosfæren og poreluften ved en given trykændring. Et trykfald i atmosfæren vil ikke bevirke, at der sker en gastransport fra hele den umættede zone til atmosfæren, men snarere, at der sker en forskydning af poreluften, idet poreluften presses op i en stempelbevægelse, således at det kun er poreluft fra de øverste jordlag, som presses op i atmosfæren. Jo større den umættede zone, er desto mere markant er denne effekt.

I det tilfælde, hvor der findes en grundvandsbåren forurening, vil poreluftens koncentration typisk være stigende over dybden, se også figur 4.6A. Et fald i atmosfæretrykket vil da bevirke, at koncentrationerne i et givet punkt vil stige, idet poreluft med højere koncentration vil blive presset op ad. Modsat vil en stigning i atmosfæretrykket bevirke, at koncentrationen i et givet punkt vil falde.



Figur 4.6: Illustration af gasbevægelserne i den umættede zone i forbindelse med trykændringer i atmosfæretrykket. A: Illustrationen viser en dybereliggende forurening, f.eks. en grundvandsforurening. B: Illustrationen viser en terrænnær forurening i den mættede zone. Der er antaget homogene materialer og at der ikke er påvirkning fra andre samtidige meteorologiske faktorer.

I det tilfælde hvor forureningen er en mere terrænnær jordforurening (figur 4.6B), vil effekten af ændringer i atmosfæretrykket være lidt anderledes end beskrevet for grundvandsforureningen. Dette skyldes primært, at fordelingen af forureningen i poreluften er anderledes, idet der alt andet lige er mere homogene koncentrationer i den umættede zone end i tilfældet med en grundvandsbåren forurening. I jordlag over den terrænnære forurening forventes forureningskoncentrationen at variere med lavere koncentrationer ved stigende tryk, og højere koncentrationer ved faldende tryk. I den umættede zone under forureningen forventes poreluftskoncentrationen at være tilnærmelsesvis konstant, muligvis faldende med dybden, som følge af, at forureningsmasse fjernes via grundvandet. Forureningskoncentrationerne i poreluften under forureningen forventes at være forholdsvis mindre påvirkede af variationerne i atmosfæretrykket og således kun stige eller falde svagt ved en trykændring.

4.2.3 Responstid for trykændringer i ler- og sandformationer

En ændring i atmosfæretrykket vil forplante sig i den geologiske formation.

Trykforplantningen skaber strømning af poreluft, og denne strømning vil påvirke den koncentration, som måles i et givent punkt, idet trykændringerne kan medføre transport af mere eller mindre forurennet poreluft.

Trykændringen forplanter sig i jorden med udbredelsestider, som bl.a. afhænger af jordens porøsitet og permeabilitet (Miljøstyrelsen 2001a).

Miljøstyrelsen (2001a) anfører, at jordens responstid T i relation til trykændringer kan estimeres efter formlen (1):

$$(1) T = L^2 \mu \varepsilon / k P_0$$

hvor

L afstanden, som trykket skal udlignes over i m (f.eks. afstanden fra jordoverfladen til grundvandsspejlet)

μ den dynamiske viskositet i Pa·s

ε jordens porøsitet i m^3/m^3

k jordens gaspermeabilitet i m^2

P_0 middeltrykket i Pa

Formlen er gældende for homogene jordmatricer. I jorder, hvor sprække transport er dominerende, vil trykforplantningen i selve sprækkerne ske væsentligt hurtigere end den hastighed, man beregner ved anvendelse af standardværdier. Dette kan reguleres ved at anvende en større porøsitet end de værdier, der angives i f.eks. opslagsværker. Ved anvendelse af formlen er det vigtigt, at de gaspermeabiliteter og porøsiteter, der anvendes, er afpasset de gældende forhold, specielt hvis formlen benyttes til beregninger over kortere afstande.

I nedenstående tabel 4.1 er responstiden T beregnet for hhv. en sand- og en lerlokalitet under antagelse af forskellig afstand til grundvandsspejlet.

Tabel 4.1: Beregnede responstider for trykændringer i atmosfæren i forskellige geologiske formationer.

$\mu = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Pa·s; $P_0 = 1,0 \cdot 10^5$ Pa; $\varepsilon = 0,25$

Jordtype	L m	k m ²	T sek.	T time
Lerjord	1	$1,00 \cdot 10^{-14}$	4.500	1,3
Lerjord	2	$1,00 \cdot 10^{-14}$	18.000	5
Lerjord	4	$1,00 \cdot 10^{-14}$	72.000	20
Sand	4	$1,00 \cdot 10^{-10}$	7	0,002
Sand	10	$1,00 \cdot 10^{-10}$	45	0,0125

Som det fremgår af tabellen, er den teoretiske responstid for sandlokaliteten i sekunder, mens den regnes i timer for lerlokaliteter. Det er sandsynligt, at responstider i eksempelvis 2 m fyld ligger i intervallet sekunder til minutter afhængig af fylldypen.

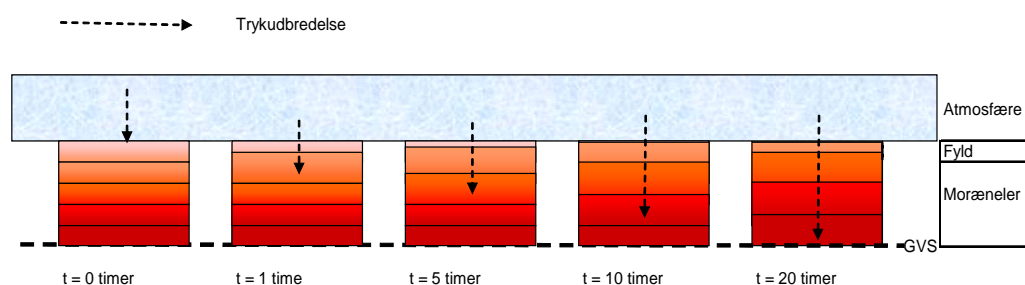
Selv efter at trykændringen har udbredt sig til en given dybde i en given formation, vil koncentrationen i denne dybde kunne påvirkes af trykændringen. Trykændringerne forplantes først senere i de dybereliggende lag og den heraf følgende stempelstrømning af poreluft vil betyde, at der kan tilføres mere eller mindre forurenede poreluft til den givne dybde.

Dette er illustreret i figur 4.7 under antagelse af, at det tager ca. 20 timer for et trykfald at forplante sig til grundvandsspejlet beliggende i en morænelerformation.

Forestiller man sig en lerlokalitet med et grundvandsmagasin beliggende ca. 4 m under en morænelerspakke, vil et trykfald i atmosfæretrykket medføre følgende: Trykfaldet vil først have udbredt sig til grundvandsmagasinet efter

ca. 1 døgn og først da vil effekten af trykændringen give anledning til en heraf følgende transport af poreluft fra 4 m u.t. og op gennem de overliggende lag. Denne transport af poreluft vil påvirke koncentrationen i poreluften i dybder mindre end 4 meter. Lagene beliggende fra terræn og ca. 3-4 m ned har dog allerede i ca. 1 døgn været påvirket af tryk-inducerede poreluftsstrømninger.

Kommer der i mellemtiden yderligere en modsat rettet trykændring i atmosfæretryk vil effekten af denne trykændring skulle "konkurrere" med den første trykændring.



Figur 4.7: Skematisk beskrivelse af forplantningen af et atmosfærisk trykfald ned gennem en formation. Formationen består af 1 m fyld under lejret af ca. 4 meter moræneler ned til grundvandsspejlet. Det er antaget, at der er tale om en grundvandsbåren forurening. Der er antaget homogene materialer og at der ikke er påvirkning fra andre samtidige meteorologiske faktorer. Farvestyrken angiver variation i poreluftskoncentration. Trykfaldet starter til $t = 0$ timer. Som det fremgår, vil der blive presset mere og mere forurenede poreluft op efterhånden som trykforplantningen når tættere og tættere på grundvandsspejlet.

Dette betyder eksempelvis, at på en lerlokalitet med et grundvandsspejl beliggende ca. 5 m u.t. og et fyldlag på fx 1,0 m vil man kunne se koncentrationsændringer såvel i fylden som i leret over flere dage som følge af en enkelt trykændring. Ved tolkning af koncentrationsdata fra en lerlokalitet bør man således vurdere koncentrationsdata sammen med trykændringen over nogle dage i stedet for at se på den momentane trykændring. Findes der måledata, som er udtaget i forbindelse med et tydeligt skift i trykændringerne (f.eks. lige efter at en periode med stigende tryk er afløst af faldende tryk), kan det være svært at adskille effekten af hhv. trykfaldet og trykstigningen.

Forestiller man sig en lokalitet med et fyldlag på ca. 1 m under lejret af et umættet lerlag på ca. 1-1½ m, er det sandsynligt, at koncentrationer målt i fyldet i høj grad vil svinge med trykændringer over en kort periode, f.eks. 1-3 timer. Dette begrundes i, at lerlagets tykkelse er lille og kun udgør en forholdsvis lille del af den umættede zone.

Gennemfører man tilsvarende betragtninger for sandlokaliteter, kan man af tabellen se, at trykændringer udbreder sig inden for sekunder til selv store dybder i sandmagasinet. Dette betyder alt andet lige, at man ved tolkning af koncentrationsdata fra en sandlokalitet bør sammenligne med den aktuelle trykændring i timerne umiddelbart før målingen.

Andre meteorologiske forhold vil selvsagt også påvirke koncentrationen.

4.2.4 Nedbør og ændringer i grundvandsspejlet

Ved beskrivelsen af koncentrationseffekter som følge af nedbør er der to effekter, som bør holdes adskilt:

- Nedsivningen af vand gennem jordmatricen
- Ændringer i grundvandsspejlet

Nedsivning af vand gennem jordmatricen

I forbindelse med regn/nedbør, eller i forbindelse med tøvejr, vil der ske en nedsivning af vand gennem den umættede zone i jorden.

Denne infiltration vil udvaske vandopløselige forureningskomponenter fra både poreluften og selve jordmatricen, hvilket resulterer i et fald i poreluftskoncentrationen på bagsiden af vandfronten. Ved større nedbørmængder kan der muligvis skabes en egentlig vandfront, der som et stempel bevæger sig ned gennem jordmatricen. Under bygninger vil jordmatricen fortsat være tør. Den tørre jord vil kunne virke som en skorsten, som bortleder dele af den poreluft, der er indesluttet under den vandfront som omslutter bygningen.

Det, at der er mindre vandindhold i jorden under bygningen og våd jord omkring bygningen, vil formentlig bevirke, at influenszonen omkring bygningen bliver mindre ved en regnhændelse, men at influenszonen til gengæld går dybere ned i jorden.

Jordens markkapacitet gør, at der bindes en tynd vandhinde på jordpartiklerne. Markkapaciteten afhænger af jordens tekstur. Jordens fugtighed vil afgøre, hvor stor en del af markkapaciteten, som er udnyttet. Hvis markkapaciteten ikke er udnyttet, vil mindre mængder af nedbør bevirke, at vandet bindes i jorden, hvorved gaspermeabiliteten i jorden falder. Dette bevirker, at poreluftkoncentrationerne vil mindskes.

Ved kraftige regnskyl vil vandindholdet blive større end markkapaciteten, og den førnævnte vandfront kan skabes. Er regnskyllet meget kraftigt, kan man forestille sig, at gennemsivningen af vandet i jordens porøsitet vil "rense" jorden for urenheder i hulrum og dermed øge den effektive gaspermeabilitet i den givne dybde.

Nedbørshændelser forekommer almindeligvis i forbindelse med fald i atmosfæretrykket. I nedenstående figur 4.8 er der foretaget en teoretisk vurdering af effekten af en regnhændelse på poreluftkoncentrationen forskellige steder i den umættede zone i en formation bestående af fyld og moræneler.

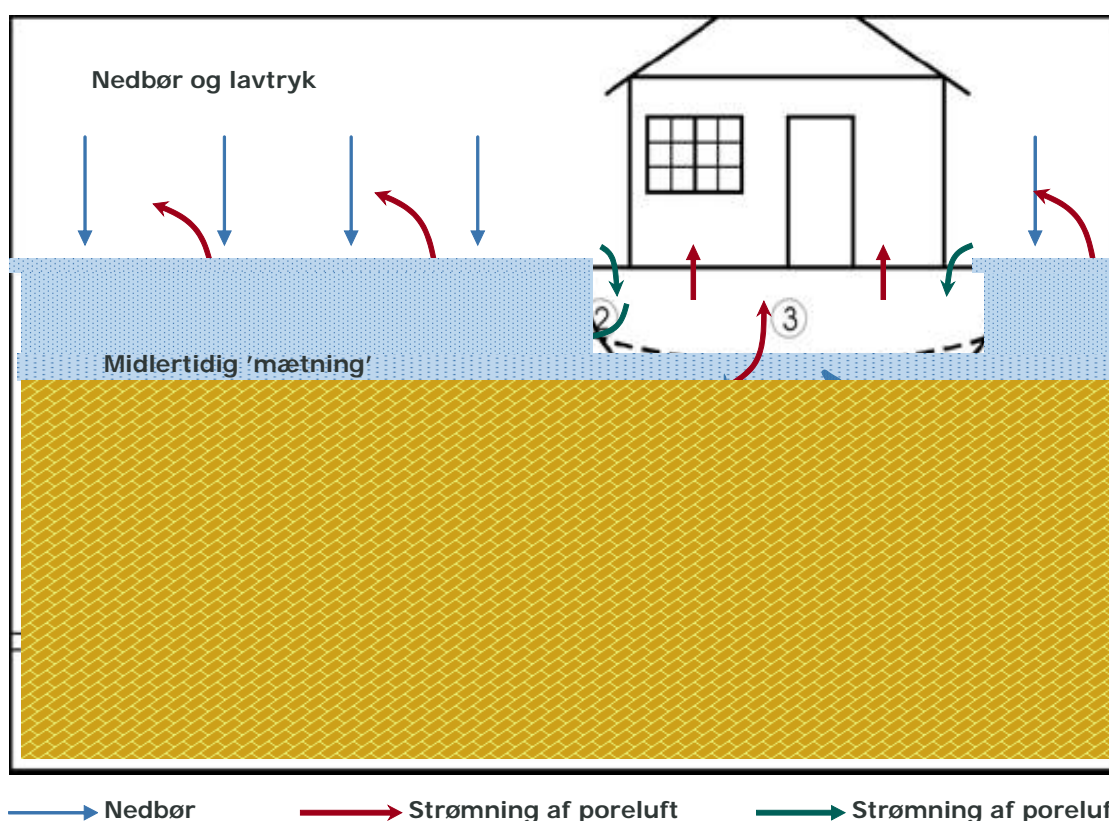
Ved nedbørshændelser vil der formodentlig ske en hel eller delvis vandmætning på terræn. Vandet vil sive ned, og er vandpermeabiliteten af moræneleret lille nok – og regnen tilstrækkelig kraftig – vil der danne sig et midlertidigt vandmættet lag i fyldet over leret.

Jævnfør de tidligere teoretiske betragtninger i afsnit 4.2.2, medfører et lavtryk almindeligvis øgede poreluftkoncentrationer. I og med at der opstår en midlertidig vandmætning i fyldet over leret, reduceres den vertikale transport af forurenede poreluft fra moræneleret til fyldlaget. Koncentrationen i pkt. (1) i

figur 4.8 vil derfor falde, særligt hvis målepunktet er beliggende i nærheden af en influenszone fra en bygning eller et anlæg i jorden.

I moræneleret under 'vandfronten' vil der være en mindre lokal udvaskning, som muligvis vil mindske koncentrationerne i (4) og (5) lidt. Sad der et spyd i (4), ville dette være vandmættet.

Ved nedbørshændelser vil influenszonen ændre form til et forholdsvis mindre areal og større dybde. Under bygningen i influenszonen er jorden forholdsvis tør, hvilket betyder, at regnvandet forholdsvis let kan sive ned i jorden. Der vil således ske en vis udvaskning af forurening, samtidig med at trykfaldet vil medvirke, at forurenede poreluft vil presse sig opad. Samlet vurderes det, at koncentrationen i (2) og (3) vil falde.



Figur 4.8 Illustration af poreluftsstrømninger i den umættede zone i forbindelse med samtidig nedbør og trykfald i atmosfæren. Se tekst for forklaringer.

Ændringer i grundvandsspejlet

Afhængigt af forureningens beskaffenhed og beliggenhed vil ændringer i grundvandsspejlet have forskellig indflydelse på poreluftsconcentrationerne.

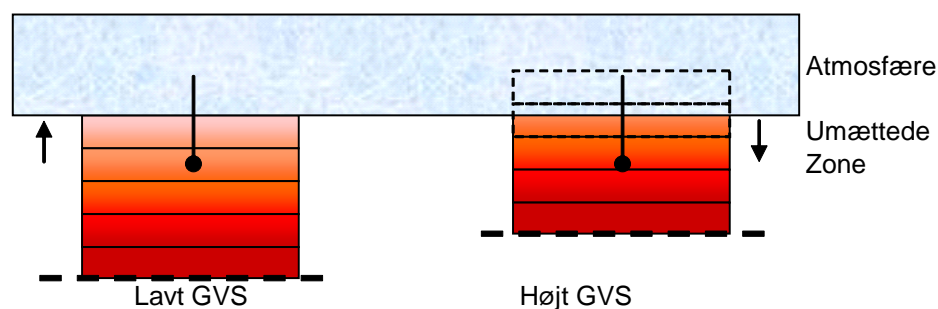
For forureninger med fri fase, hvor den frie fase er beliggende i overgangen til den mættede zone - også kaldet smear zonen - vil en hævnning af grundvandsspejlet dække smear zonen. Derved vil poreluftsconcentrationerne falde, idet forureningskilden i smear zonen afskæres. En sænkning af grundvandsspejlet vil igen blotlægge forureningen, hvorved poreluftsconcentrationerne stiger.

Hvis forureningen er en grundvandsbåren forurening, vil et stigende grundvandsspejl betyde, at den umættede zone mindskes, og at poreluftsconcentrationerne vil stige, se også figur 4.9. Dette skyldes dels, at

forureningskilden kommer tættere på terræn, dels at det stigende grundvandsspejl virker som et stempel, der presser poreluften op gennem jordmatricen. Specielt på lokaliteter med meget terrænnært grundvandsspejl forventes fluktuationer i grundvandsspejlets beliggenhed have stor betydning for poreluftskonsentrationen.

Hvis et stigende grundvandsspejl skyldes, at rent vand lægger sig oven på dette forurenede grundvand, vil stigningen på lidt længere sigt medføre faldende koncentrationer i poreluften.

Er der tale om flere ikke-sammenhængende vandsspejl, bliver effekten af ændringer i grundvandsspejlet placering på poreluftskonsentration kompliceret at forudsige.



Figur 4.8 Illustration af vandsspejlets indflydelse på poreluftskonsentrationen. Der er antaget homogene materialer og at der ikke er påvirkning fra andre samtidige meteorologiske faktorer.

5 Undersøgelser på sandlokalitet

5.1 Identifikation af egnet sandlokalitet

Sandlokaliteten er udvalgt i samråd med Fyns Amt og Miljøstyrelsens faglige sekretær. På baggrund af de opstillede krav til lokaliteten blev Fredericiagade udvalgt som den lokalitet, som på forhånd blev vurderet som den mest egnede sandlokalitet, se tabel 5.1.

Tabel 5.1 Vurdering af sandlokalitet ved udvælgelse af egnet lokalitet

	Krav til sandlokalitet	Viden om Fredericiagade 13, Aalborg ¹⁾ før igangsætning af poreluftprojektet
1	Forureningsniveauet med klorerede opløsningsmidler (PCE eller TCE) under gulv skal være mindst 1 mg/m ³ og koncentrationsbidraget til indeklimaet minimum ca. 10 µg/m ³	PCE op til 120 mg/m ³ under gulv i 2002. Indeklima i kælder op til 390 µg/m ³ i 2002
2	Tilgængelige ubefæstede dele af lokaliteterne - nær det rum, hvori der foretages målinger - skal være omfattet af en poreluftforurening på minimum 50-1.000 mg/m ³	>100 mg PCE/m ³ . Dokumenteret i nov. 2003 før igangsætning af poreluftprojekt
3	Lokaliteterne må ikke ligge inden for ca. 300 m fra virksomheder som anvender klorerede opløsningsmidler	Formodentligt opfyldt men ikke dokumenteret
4	Den påvirkede bygning skal have et veludført kapillarbrydende lag på 10-20 cm. Bygninger med kælder må mangle et egentligt kapillarbrydende lag	Kapillarbrydende lag under kælder
5	Den sandede lokalitet skal have en umættet zone fra terræn til minimum 3 m u.t., eller umættet sand på minimum 2 meter med et dæklag på minimum 0,5 m	3 m umættet zone af fyldsand. Grundvandsspejlet står ca. 3 m u.t.

1) På baggrund af Nordjyllands Amt (2003)

5.2 Karakterisering af Sandlokalitet

5.2.1 Arealmæssige og bygningsmæssige forhold

Fredericiagade 13 ligger i den vestlige del af Aalborg Centrum, der er et ældre byområde, som primært anvendes til bolig og i mindre grad liberalt erhverv.

Figur 5.1 og 5.3 viser fotos af ejendommen.

5.2.2 Geologi og hydrogeologi

Lokaliteten ligger ca. i kote 3 m. Geologien består øverst af ca. 3 m fyld, heraf øverst 0,1 - 0,25 m let sandmuld og ca. 3 m velsorteret fyldsand, som er indbygget i forbindelse med tidligere afgravning af jordforurening på lokaliteten. Fyldsandet består af mellemkornet sand med vekslende indhold af mindre sten. Fra 2-2,5 m u.t. er fyldsandet mere stenet i det udendørs målefelt. Under fyldsandet findes intakte aflejringer af marint postglacialt sand (fint-mellemkornet) ned til ca. 20 m's dybde. Omkring 17 m's dybde findes et lag af sten og grus med en tykkelse på ca. 0,5 m. Grundvandsspejlet er frit og står ca. 3 m u.t. Strømningsretningen er mod nord mod Limfjorden.

Ved borearbejde i forbindelse med poreluftprojektet var jorden tør ned til ca. 2,5 m, herefter blev jorden lidt mere fugtig pga. den kapillære stighøjde fra grundvandet.

5.2.2.1 Permeabilitetsforhold

Poreluftmålinger i dette projekt er udført i fyldsandet. De dybeste poreluftfiltre står ca. 2,5 m u.t. Fyldsandet består af forholdsvis velsorteret sand. Det vurderes, at gaspermeabiliteten er nogenlunde ens i både horisontal og vertikal retning, og at gaspermeabiliteten er i størrelsesorden $1 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ (Miljøstyrelsen 2001a).



figur 5.1 Luftfoto af Fredericiagade 13 i Aalborg

5.2.3 Forureningsmæssige forhold

På grunden har der i perioden 1897 og indtil 1985 bl.a. ligget en af Aalborgs største renserivirksomheder (Aalborg Dampvaskeri/ISS Linnedservice). Virksomhedens hovedaktivitet var vask og kemisk rensning af beklædningsgenstande m.v., hvortil man bl.a. anvendte terpentiner og TCE indtil 1954 og herefter primært PCE. Sidst i driftsperioden blev der anvendt ca. 56 tons PCE årligt.

I forbindelse med opstart af 2. og 3. etape af boligbyggeri på Fredericiagade 13-17 blev der i sommeren 1987 fundet forurening med klorerede opløsningsmidler. Efterfølgende undersøgelser i 1988 viste forureningsindhold i jorden på op til 1.768 mg PCE/kg TS og i grundvandet op til ca. 78.000 µg PCE/l.

I 1988 blev der opgravet ca. 1.200 tons stærkt forurenede jord (>10 mg PCE/kg) og 2.900 tons svagt forurenede jord ned til grundvandsspejlet (ca. 2,5-3 m under det daværende terræn). Afgravningsområdet fremgår af bilag 1.16. Efter jordopgravningen blev det planlagte boligbyggeri opført oven på udgravningsområdet. Målelokaliteten ligger således oven på et tidligere afgravet område.

På trods af jordafravningen blev der efterladt en kraftig grundvandsforurening med fri fase forurening. Grundvandsforureningen er fra august 1988 til oktober 1996 forsøgt oprenset med oppumpning. I

perioden 1988 til 1992 foregik det ved anvendelse af sugespidsanlæg og i perioden 1993 til 1996 ved oppumpning fra én filtersat boring i kildeområdet (DGU 26.4043). Der blev overslagsmæssigt oppumpet 2,9 tons PCE.

På trods af de gennemførte afværgeforanstaltninger mod jord- og grundvandsforureningen i perioden 1988 til 1996 er der efterladt en kraftig restforurening. Restforureningen er primært knyttet til den mættede zone (og kapillærzonen).

Under grundvandsoppumpningen og frem til 2002 blev der gennemført et monitoringsprogram med målinger af poreluft under gulv, indeklime samt grundvandsprøver. Resultater fra monitoringen fremgår af bilag 1.16 (Nordjyllands Amt 2003). Resultaterne herfra gennemgås i det følgende:

5.2.3.1 Forurening i kapillærbrydende lag under kældergulv

Under afværgepumpningen blev der i perioden 1992 til 1996 observeret store variationer i koncentrationen af PCE. I 1992 blev der efter en længerevarende standsning af grundvandsoppumpningen påvist indhold af PCE på 737-5.220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i det kapillærbrydende lag under bygningerne på Fredericiagade 13. Under afværgeperioden blev der påvist indhold af PCE op til 1.050.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; dog med betydende variationer afhængig af driftsstrategien under prøvetagningen (start/stop eller kontinuert).

Efter stop af afværgepumpningen er der observeret et betydeligt fald i indholdet af PCE i det kapillærbrydende lag. I 1999 blev der således fundet indhold i poreluften under 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ved den seneste målerunde i 2002 blev der imidlertid konstateret en væsentlig stigning i poreluftkoncentrationerne med indhold i intervallet 43.000 - 120.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dvs. væsentligt over niveauet i 1999.

De meget høje værdier i poreluften og i indeklimaet frem til 1996 skyldtes sandsynligvis, at der ved afværgepumpningen blev blottet kraftig jordforurening (evt. fri fase) som kunne afdampe til poreluften.

5.2.3.2 Forurening i indeklime

Ligesom målingerne i det kapillærbrydende lag udviser indeklime målingerne på Fredericiagade 13 store variationer i perioden 1993-1996. Indeklimamålingerne i kælderen 1993 viste indhold på 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Her skete der kontinuert oppumpning. De efterfølgende målinger i 1993 - 1996 under start/stop af afværgepumpningen viste kraftigt forhøjede værdier i kælderen med indhold op til 6.260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Efter ophør af afværgepumpningen blev der observeret faldende indhold. I 1999 var indholdet faldet til ca. 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, men ved den seneste målerunde i 2002 blev der fundet stigende indhold på 390 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.3.3 Grundvandsforurening

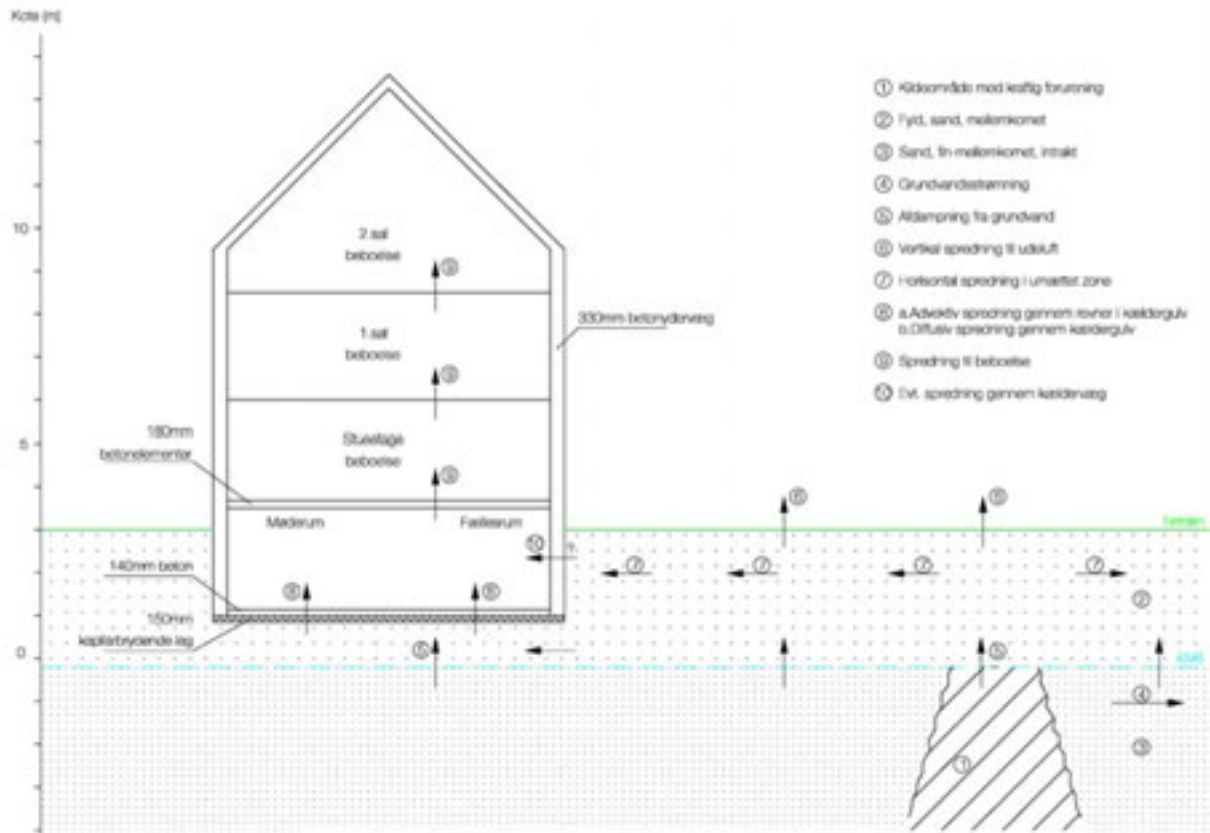
Det højeste indhold af PCE er fundet i det øverste filter i monitoringsboringen DGU 26.4044-1. Den seneste måling fra 2002 viste et indhold på 14.000 μg PCE/l i det øverste grundvand fra 3-6 m u.t. I de dybereliggende filtre i samme boring er indholdet væsentlig lavere (< 140 $\mu\text{g}/\text{l}$).

5.2.3.4 Kilde til poreluft- og indeklimeforurening

Under de nuværende forhold (uden afværgepumpning) vurderes det, at afdampning fra grundvandsforureningen er den væsentligste kilde til den konstaterede indeklimeforurening. Under afværgepumpningen skete der

blotlægning af jordforurening og evt. fri fase. Dette forklarer de forhøjede indhold under afværgepumpningen.

Konceptuel model af forureningsforholdene fremgår af figur 5.2.



Figur 5.2 Konceptuel forureningsspredning til indekl. maet på Fredericiagade 13

5.2.4 Bygningsgennemgang

I dette afsnit beskrives de væsentligst observationer ved bygningsgennemgangen. For en mere detaljeret beskrivelse henvises til bilag 1.17.



Figur 5.3 Fredericiagade 13 set fra syd

Gennemgang af tegninger og registrering på stedet giver anledning til følgende generelle kommentarer for kælderetagen:

- 330 mm pladsstøbt betonydervæg med udvendig asfaltering, isolering og med omfangsdræn
- 250 mm pladsstøbte betonindervægge
- 40 mm uarmeret betonslidlag på betongulv
- 100 mm uarmeret betongulv. Tegninger giver ikke indtryk af, at der er udført radon-spærre. Støbeskel væg/gulv kan således ikke forventes at være effektivt mod indtrængning af gas/luft
- Placering af revner er vist i bilag 1.17 kælderplanen. Revnevidden er overvejende 0,1-0,3 mm. Et fåtal af revner har revnevidde på ca. 1,0 mm
- Der er ikke foretaget destruktive undersøgelser, men det er overvejende sandsynligt, at de registrerede revner er gennemgående revner i både betonslidlag og -gulv
- 150 mm kapillarbrydende stenlag. Der er ikke etableret forbindelse mellem stenlag og omfangsdræn
- Etagedæk udført i 600 mm brede fabriksfremstillede betonelementer (ikke støbt på stedet som vist på tegninger). Det må antages, at der er udført traditionel sammenstøbning af betonelementer, og det må forventes, at samlinger ikke er gas-/lufttætte
- Vinduer og døre udført i træ med kalfatringsfuge af elastisk fugemasse
- Loftshøjde overalt ca. 2,3 m
- Der forekommer kun i uvæsentligt omfang revner i kældervægge
- Af tegninger fremgår, at der til betonkonstruktioner generelt er anvendt beton i styrkeklasse Beton 20 MN/m² svarende til passiv miljøklasse
- Generelt ingen tegn på fugt i kælder
- Ved gennemgangen blev der ikke konstateret luftgener i kælderen

Fællesrummet er det rum, hvor det indendørs forsøgsfelt er placeret:

- Er kun møbleret med billardbord
- Betongulv er forsynet med pålimet tæppe af nålefilt. Ved gennemgangen kunne der på grund af tæppebelægningen ikke konstateres forekomst af eventuelle revner i betongulv
- Ingen gennemføringer i betongulv

- Vindue i ydervæg er forsynet med ventilationsrist svarende til 30 cm²

I cykelkælder er der ligeledes udført indeklimamålinger:

- Anvendes til cykelparkering
- Betongulv med slidlag. Revner - se optegning på kælderplan i bilag 1.17
- Ingen gennemføringer i betongulv
- Oplukkeligt, normalt tæt vindue til det fri.

5.3 Undersøgel sesplan for sandlokaliteten

5.3.1 Etablering af målestationer

Beskrivelse af målepunkter/målestationer fremgår af tabel 5.2. Placering af forsøgsfelt fremgår af figur 5.4 og figur 5.5 viser et konceptuelt tværsnit af forsøgsfeltet.

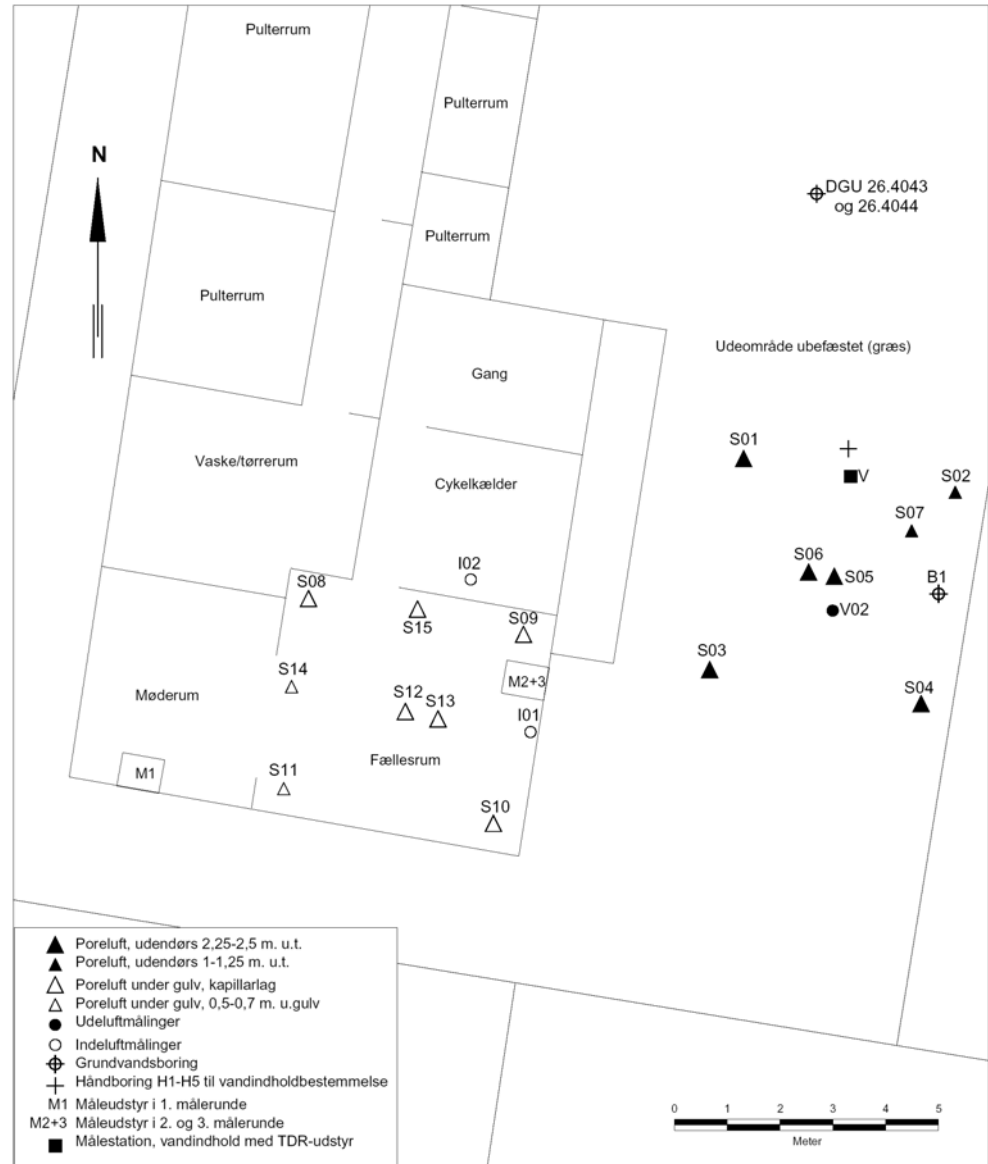
Tabel 5.2 Oplysninger om målestationer

Målepunkt	Dybde (m u.t.)	Funktion	Kontinuert PCE, Rn, fugtighed	Kontinuert tryk og temperatur	Kulrør for PCE/TCE
S01	2,25-2,5	Poreluft	x		x
S02	1-1,2	Poreluft	x		x
S03	2,25-2,5	Poreluft	x		x
S04	2,25-2,5	Poreluft	x ¹⁾		x
S05	2,25-2,5	Poreluft	x		x
S06	2,25-2,5	Poreluft		x	x
S07	1-1,2	Poreluft		x	x
S08	0,2-0,35	Under gulv			x
S09	0,2-0,35	Under gulv	x		x
S10	0,2-0,35	Under gulv			x
S11	0,5-0,7	Under gulv			x
S12	0,2-0,35	Under gulv	x		x
S13	0,2-0,35	Under gulv		x	
S14	0,5-0,7	Under gulv			
S15	0,2-0,35	Under gulv		x	
I01	1,5 m o.t.	Indeluft i billardlokale	x		x
I02	1,5 m o.t.	Indeluft i cykelkælder	x		x
U1	ca. 1,5 m o.t.	Udeluft ved S05	x		x
V	0,5 - 1,0 -1,5 - 2,0 - 2,5	Vandindhold- TDR			
H1-H5	0,5-1,0-1,5- 2,0- 2,5	Vandindhold tørring			

1): Kun første målerunde

5.3.1.1 Udendørs målefelt

Der er etableret 7 permanente udendørs poreluftstationer (S01-S07). Sonderne S01-S05 er indrettet for måling af forureningsniveau og radon med 25 cm filterindtag i intervallet 2,25 - 2,5 m u.t. S02 har dog filterindtag i niveauet 1,0-1,2 m u.t. Sonderne er placeret i 4 m x 4 m kvadrat med den femte målestation i centrum. Målefeltet er placeret tættest muligt det rum, hvori der gennemføres målinger under gulv mv. Feltet er ligeledes forsøgt rykket væk fra selve kildeområdet ved boring DGU 26.4044 pga. for høje koncentrationer af PCE i hotspot. Herudover er der etableret 2 sonder til måling af tryk og temperatur (S06-S07) med filterindtag i henholdsvis 2,25-2,5 m u.t. og 1,0 - 1,2 m u.t.



Figur 5.4 Placering af målestationer

Måleproberne for bestemmelse af vandindhold med TDR udstyr er placeret få meter nord for det udendørs målefelt. Sonderne er placeret i dybdeintervallet 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 og 2,5 m u.t. Sonderne er etableret skråt for at undgå at regnvand kan bevæge sig vertikalt langs proberne. Proberne står vertikalt lige under hinanden.

Poreluftsonder er $\varnothing 12$ mm aluminiumsrør med filterslidser i bund af rør. Sonderne er nedrammet manuelt.

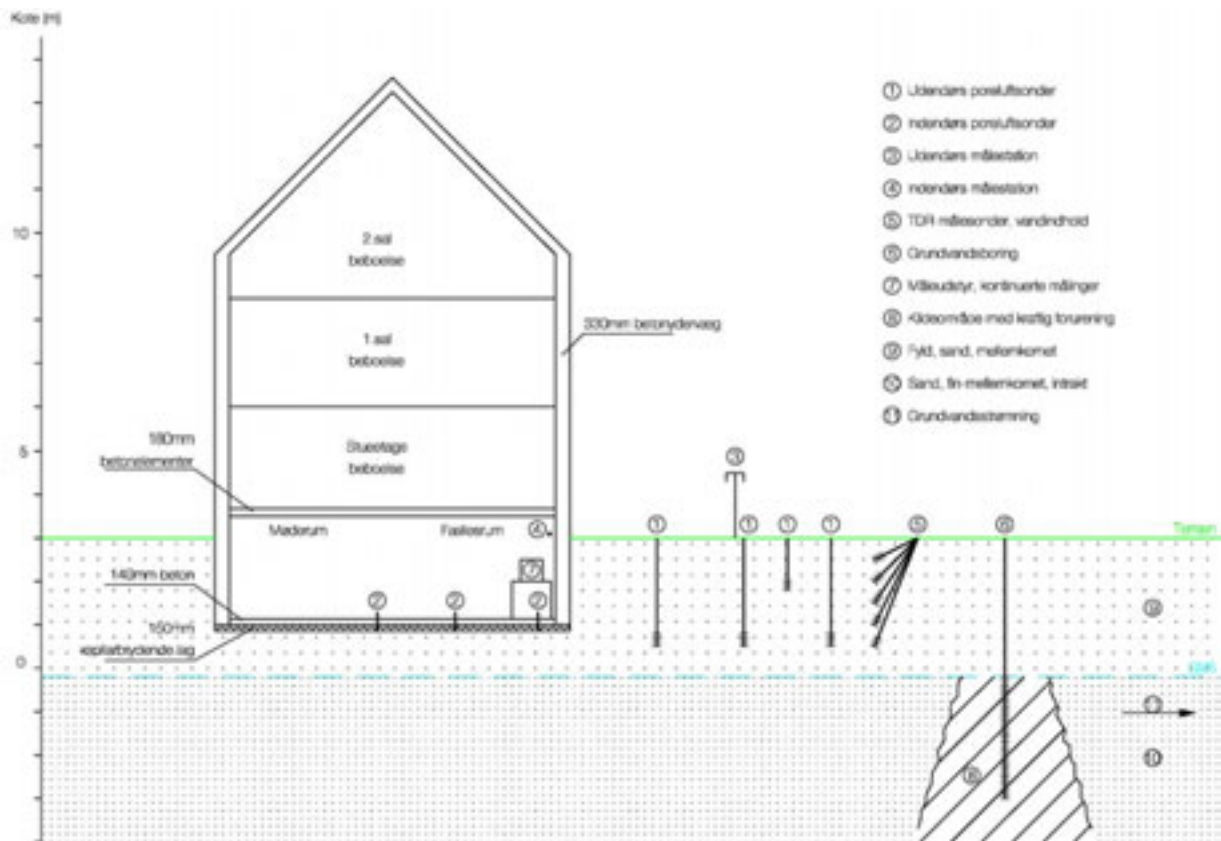
Der er etableret en station (U01) for måling af forureningsniveau, radon, tryk og temperatur i udeluft. Stationen er placeret i det udendørs målefelt. Den udendørs målestation U01 er etableret i midten af prøvefeltet for poreluftsonderne. Prøverne er udtaget 1,5 m over terræn og er beskyttet af vejrhæt (plastikspand som er placeret med åbning nedad).

5.3.1.2 Indendørs målestationer

Der er etableret 8 permanente målesonder (S08-S15) i gulv i det udvalgte fællesrum. Seks af sonderne har filterindtag i det kapillarbrydende lag (0,15-0,30 m under kældergulv). To af sonderne (S11 og S14) har filterindtag fra 0,5 - 0,7 m under kældergulv. S09 og S12 er indrettet til kontinuert måling af forureningsniveau, radon, temperatur og fugtighed. Sonde S13 og S15 er indrettet til differenstrykmålinger over/under gulv. De øvrige sonder er indrettet til måling af forureningsniveau med kulrørspøvrer for at vurdere variationer i forureningsniveauet under gulv mellem målepunkter i samme rum.

Poreluftsonder er $\varnothing 12$ mm aluminiumsrør med filterslidser i bunden af røret. Betongulvet er først gennemboret med slagbor. Herefter er rørene ført ned til den ønskede dybde. Omkring rørene er der tætnet med epoxy, så de slutter fuldstændig tæt til betonen.

De indendørs stationer for måling af tryk, temperatur, radon og forureningsniveau i indeklimaet er udført i fællesrum (I01) og i cykelkælder (I02). Prøverne er udtaget ca. 1,7 m over kældergulv.



Figur 5.5 Tværsnit af forsøgsopstilling.

5.3.2 Målemetoder og måleprogram

For at afspejle variationerne gennem året er der udført 3 målerunder på forskellige tidspunkter, henholdsvis en sommer-, vinter og efterårssituation, se tabel 5.3.

Tabel 5.3 Måleperiode for de 3 målerunder

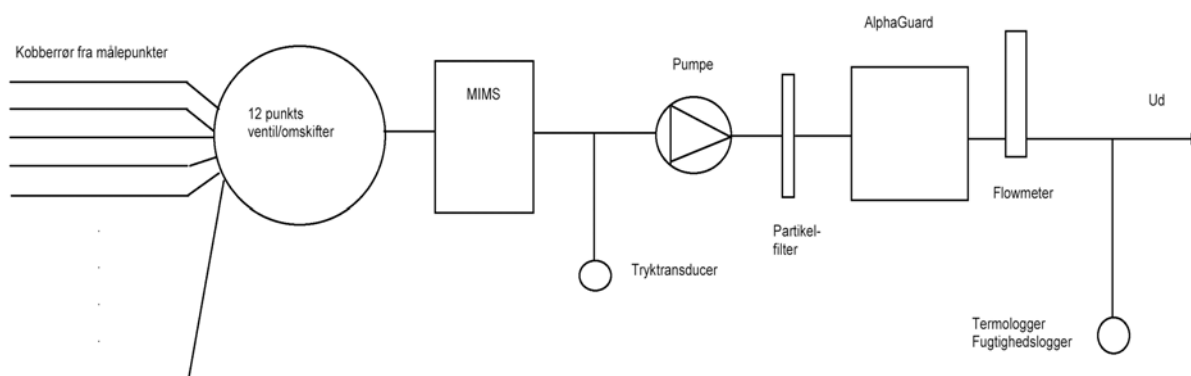
Målerunde	Måleperiode	Måleperiode i dage	Årstid
1	10. - 26. november 2003 ¹⁾	16 dage	Efterår
2	23. feb. - 22. marts 2004 ²⁾	28 dage	Vinter
3	27. august 2004 - 13. sep. 2004	17 dage	Sommer

1): Komplet dataserie fra 16. - 26. november 2003

2): Fuld måleperiode fra 1. til 22. marts 2004 (21 dage)

På sandlokaliteten blev der opbygget en måleopstilling for kontinuert registrering af tetraklorethylen, radon, temperatur og luftfugtighed på 12 målepositioner.

Opstillingen er skitseret på figur 5.6.



Figur 5.6 Måleopstilling til kontinuerte målinger

Bestykningen af opstillingen var som følger:

- Måling for tetraklorethylen: Membrane Inlet Mass Spectrometer (MIMS)
- Måling for radon: AlphaGUARD PQ2000 Pro med tilhørende pumpe, datalogger og software
- Måling af tryk: Furness Controll tryktransducere, type FCO 332 temperatur kompenseret
- Måling for temperatur og fugtighed: CelciPick og HumiPick transducerer med intern datalogger
- Overvågning af flow: Porter flowmeter.

Alle rørføringer og samlinger blev udført i enten kobberør eller glas.

Opstillingen blev anvendt til måling af tetraklorethylen og luftfugtighed på poreluftsonder, sonder under gulv og i indeklime samt radonmålinger på poreluftsonder og under gulv.

Radonmålinger i indeklime og i udeluft blev foretaget med separat radonmåler af hensyn til tællestatistikken og dermed målenøjagtigheden ved de lave koncentrationer disse steder.

Fra den enkelte måleposition blev der trukket kobberrør til en 12-punkts opvarmet Valco-ventil med omskifter. Til at suge luft fra målepositionerne blev anvendt en regulerbar 220 Volts pumpe. Skitse af målepositioner fremgår af figur 5.4.

Fra ventilen blev luften ledt til MIMS'en og derfra videre til AlphaGUARD udstyret. Mellem MIMS og pumpe var placeret en tryktransducer, som kontinuert loggede undertrykket på pumpens sugeside. Til at beskytte AlphaGUARD'en mod tilsmudsning var der placeret et partikelfilter ved indgangen til måleren.

Flowet gennem måleopstillingen blev overvåget ved hjælp af et flowmeter placeret ved afgang fra AlphaGUARD'en. Ved flowændringer blev flowet reguleret via pumpen.

I samtlige målerunder på sandlokaliteten blev der anvendt en periodisering på 10 minutter på hver måleposition. I løbet af en cyklus på 2 timer blev der således målt på alle målepositioner. Mellem sugeperioderne (10 minutter pr. 2 timer) var den pågældende måleposition i ro.

I bilag 4 er vedlagt detaljeret beskrivelse af måleudstyr samt kalibrering af udstyr.

Det gennemførte måleprogram på sandlokaliteten er skitseret overordnet i tabel 5.4.

Tabel 5.4 Måleprogram for de 3 målerunder

Målepunkt	Parameter	Frekvens	Detektionsgrænse	Målemetode/ opsamlingsmedie
Poreluft udenfor bygning				
S01-S05 ¹⁾	PCE, kontinuert	120 min.	1 mg/m ³	MIMS
	PCE, kulrør	Start og slut i måleperiode	0,1 µg/m ³	Kulrør
	Radon	120 min.	1 Bq/m ³	AlphaGuard
	Relativ fugtighed	120 min.	5% RF	HumiPick
S06-S07	Temperatur	15 min.	± 0,1°C	Termoelement type K
	Differenstryk udeluft-poreluft	15 min.	± 10 Pa	Furness Controll
Poreluft under gulv				
S09, S12	PCE	120 min.	0,5 µg/m ³	MIMS
S08-S12	PCE	Opstart og slut	0,1 µg/m ³	Kulrør
S09, S12	Radon	120 min	1 Bq/m ³	AlphaGuard
S13, S15	Relativ fugtighed	120 min.	10% RF	HumiPick
	Differenstryk inde/under gulv	15 min.	± 0,1 Pa	Furness Controll
	Temperatur	15 min.	± 0,1°C	Termoelement type K
Indeklima				
I01, I02 ²⁾	PCE	120 min.	0,5 µg/m ³	MIMS
	PCE	Over 14 dage	0,1 µg/m ³	ATD-rør
	PCE	Opstart og slut	0,1 µg/m ³	Kulrør
	Radon	120 min.	1 Bq/m ³	AlphaGuard
	Relativ fugtighed	120 min.	10% RF	HumiPick
	Temperatur	15 min.	± 0,1°C	Termoelement type K
	Barometertryk	15 min.	1 Pa	AlphaGuard
	Luftskifte	6 á 1-2 h og 2 langtids		Sporgas
Udeluft				
U01	PCE	120 min.	0,5 µg/m ³	MIMS
	PCE	Over 14 dage.	0,1 µg/m ³	ATD-rør
	PCE	Opstart og slut	0,1 µg/m ³	Kulrør
	Radon	120 min	1 Bq/m ³	AlphaGuard
	Differenstryk ude/inde	15 min.	± 10 Pa	Furness Control
	Temperatur	15 min.	± 0,1°C	Termoelement type K
	Nedbør	Ved tilsynsbesøg	± 1 mm	Regnmåler
Vandindhold				
V1	Vandindhold, TDR Vandindhold, gravimetrisk	2-3 målinger/uge 1-2 målinger pr målerunde	Ikke oplyst -	TDR udstyr Boring + tørring
Grundvand				
DGU 26.4044-1	Pejlinger, kontinuerte Pejlinger, enkeltmålinger PCE	1 min 2-3 målinger/runde 1 analyse/runde	± 1 mm ± 5 mm < 0,1 µg/l	Datalogger Pejler GC/ECD
Forpumpningsforsøg				
S02, S04, S08, S10	Pumpeydelse Modtryk PCE CO ₂	Kontinuert Kontinuert Enkeltmålinger, 5 min. Kontinuert	0,1 l/min 1 mbar 0,1 µg/m ³ 100 ppm	ATD-rør IR
Meteorologiske forhold				
Vejrstation, Aalborg	Barometertryk Nedbør Soltimer Vind	Kontinuert Hver time Hver time Hver time		DMI Regnmåler + DMI DMI DMI

Note

1): S04 kun i 1. målerunde

2): I02 kun i 2. og 3. målerunde

5.4 Præsentation og vurdering af resultater

5.4.1 Registrering af forureningsindtrængning i revner

Forud for 1. målerunde blev det forsøgt at spore indtrængning af forurenede poreluft gennem kældergulvet med håndholdt PID måler. Der blev anvendt en PID måler af typen HNU. PID måleren blev kalibreret med isobutan. Baggrundssignalet var 0,5 ppm i indeluft og 0,7 ppm i udeluft. PID signaler over ca. 1 ppm vurderes at indikere signifikant indtrængning af PCE.

Målingerne viste, at der i sprækker og andre "huller" i betondækket kunne registreres forhøjede værdier af PID. I revnerne blev der typisk målt indhold mellem 1 - 3 ppm, men der var også revner uden forhøjet signal. I de besluttede huller i betongulvet blev der målt op til 8 ppm. Gennem betongulv uden sprækker sås intet forhøjet signal. Resultater fra PID målingerne fremgår af bilag 1.18.

Undersøgelsen viste, at indtrængning af PCE gennem sprækker og huller i betondækket relativt nemt kunne måles med almindelig PID måler. Det skal i den forbindelse bemærkes, at målingerne med PID vil være semikvantitative og ikke et nøjagtigt mål for optrængningen af fx PCE.

I forbindelse med PID målingerne blev det konstateret, at der strømmede luft ind gennem ventilationsristen i fællesrummet, dvs. der var undertryk i kælderen og dermed øjensynligt også indstrømning af jordluft.

5.4.2 Indhold af PCE i poreluft og inde-/udeluft

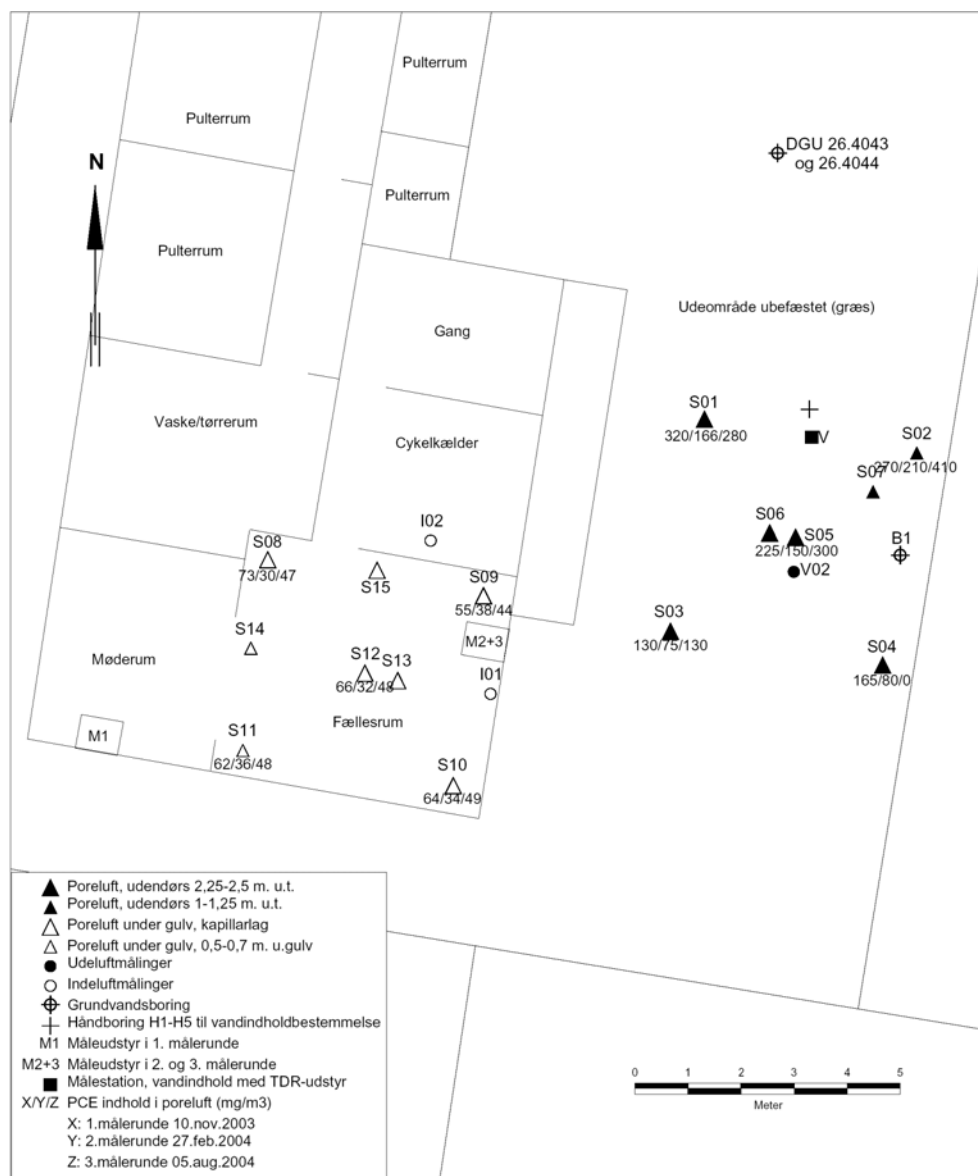
Figur 5.8 viser udvalgte resultater fra de kontinuerte målinger for udendørs poreluftsonde (S05 - centersonde), indendørs poreluftsonde (S12 - centersonde) samt indeklima i fællesrummet. Ved 1. målerunde erstatter sonde S09 dog S12 pga. bedre måleserie for denne sonde. Tabel 5.5 viser statistik over måleresultaterne med angivelse af middelværdi, antal målinger og mindste og højeste koncentrationer.

5.4.2.1 Udendørs poreluftmålinger

Figur 5.7 viser den horisontale forureningsfordeling af målinger ved opstart af de 3 målerunder. Resultaterne er fra de udførte kulrørsmålinger. Det ses, at de højeste koncentrationer findes i retning mod kildeområdet ved DGU 26.4044. Koncentrationerne aftager hen mod kælderen, hvor det indendørs måleområde findes.

Resultaterne for alle de kontinuerte poreluftmålinger for PCE fremgår af bilag 1.1, og PCE indholdet i den centrale udendørs poreluftsonde fremgår af figur 5.8. Det ses, at variationerne i PCE indholdet i den enkelte målerunde er relativt lille. Standardafvigelsen ligger typisk på 10-20 %, med den største afvigelse i 3. målerunde. Den større spredning i 3. målerunde skyldes primært enkelte måledata i starten af 3. målerunde, men årsagen til uregelmæssighederne kendes ikke. De karakteristiske toppe i 3. målerunde skyldes tilsynsbesøg, hvor prøvetagningen er stoppet under tilsynsbesøget (få timer). Ved genopstart af prøvetagningen ses generelt højere koncentrationer. Det tyder på, at prøvetagningen medfører en vis fortynding af jordluften omkring sonderne med lavere koncentrationer til følge. Det vurderes, at toppene repræsenterer det sande koncentrationsniveau, og at de målte koncentrationer i 3. målerunde er underestimeret med ca. 25 %. Den sande koncentration kan endda være højere, da det ikke ser ud til at være opnået en

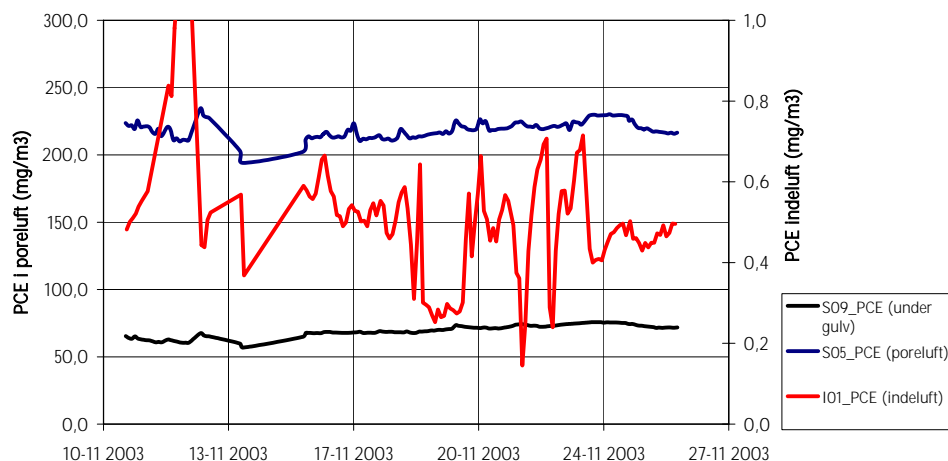
ligevægtskoncentration. I overensstemmelse hermed viser kulrørsmålinger et højere PCE indhold end MIMS målingerne (se bilag 1.13). En forklaring kunne være, at jordoverfladen som følge af udtørring i løbet af sommeren er blevet mere åben, og den oppumpning af poreluft, der foregår til prøvetagning og skylning af rør/ventiler, kan have ført til en fortykning med atmosfærisk luft. Denne forklaring understøttes dog ikke fuldt ud af vandindholdsbestemmelserne i afsnit 5.4.7. Her er det laveste vandindhold målt i 1. målerunde.



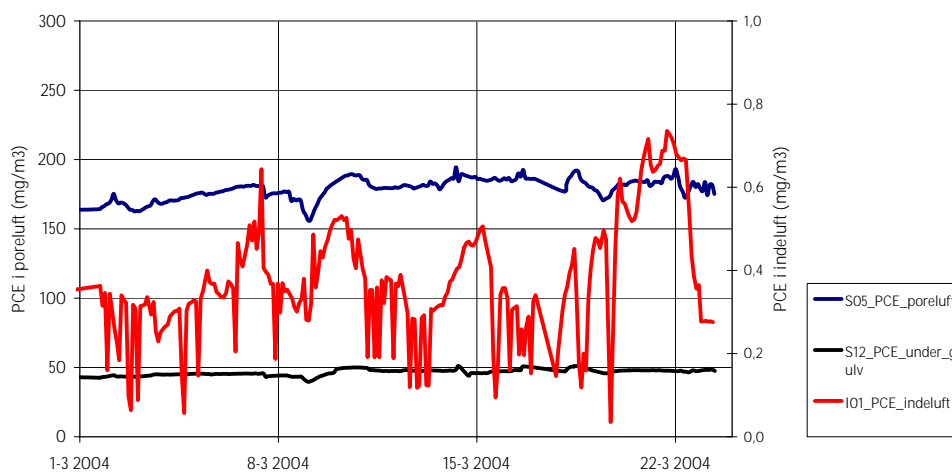
Figur 5.7 PCE indhold i poreluftsonder ved opstart af de 3 målerunder. Målingerne er udført som kort tidsprøver med kul rør.

PCE indholdet mellem de 3 målerunder varierer lidt mere. Der ses en forskel på faktor ca. 1,5 mellem den højeste og den laveste koncentration på den samme sonde. Der er således ikke tale om et dekadespring mellem målingerne. De højeste indhold er gennemgående fundet i 1. målerunde (efterår), bortset fra sonde S02, som har det højeste niveau i 3. målerunde (sommer). Det bemærkes, at sonde S02 har luftindtag fra 1-1,25 m u.t. De laveste indhold vurderes at være vintermålingerne (2. målerunde).

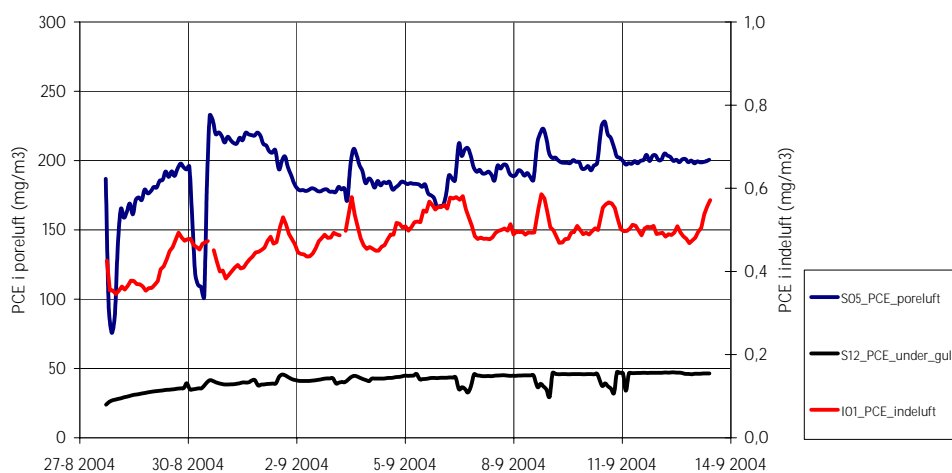
PCE i pore- og indeluft, målerunde 1



PCE i poreluft og i indeklima, målerunde 2



PCE i poreluft og indeluft, målerunde 3



Figur 5.8 PCE i udendørs og indendørs poreluft samt i indeklima. Enhed i mg/m^3 .

Forklaringen på de høje indhold i målerunde 1 kan være, at det er her grundvandspejlet har stået lavest, hvorved der er sket blottelse af jordforurening med større afdampning til følge. Den horisontale koncentrationsforskel mellem de 5 udendørs sonder varierer typisk med en faktor 3-4 mellem højeste og laveste værdi. Alle sonder er filtersat fra 2,25-2,5 m u.t. bortset fra sonde S02, der er filtersat 1,0-1,25 m u.t. Målingerne fra denne sonde ser dog ikke ud til at være anderledes end målingerne fra de dybereliggende sonder.

5.4.2.2 Poreluft under gulv

Målinger af poreluft under gulv er ca. en faktor 4-5 mindre end de højeste koncentrationer i udendørs poreluftsonder. Poreluftmålingerne under gulv viser et nogenlunde ens forureningsniveau i alle 5 målepunkter (vurderet på baggrund af kulrørprøver, se tabel 5.6). Der ses således ikke nogen betydende horisontal forskel i forureningskoncentrationen. Det tyder på, at det kapillarbrydende lag under kældergulvet effektivt fordeler forureningen under hele rummet, og sandsynligvis under hele bygningen på lokaliteten. De højeste koncentrationer ses for målerunde 1. Niveaue for 2. og 3. målerunde er nogenlunde ens, når der tages hensyn til, at resultaterne i 3. målerunde sandsynligvis er underestimeret med ca. 25 %. For kulrørsmålingerne er det 2. målerunde, som har de laveste indhold. Variationen mellem målerunderne for den enkelte sonde er typisk væsentligt mindre end 40-50 %.

I de enkelte poreluftsonder ses der generelt små udsving, dels inden for den enkelte målerunde og dels mellem de 3 målerunder. Variationer over tiden i udendørs poreluftmålinger slår ikke tydeligt igennem på målingerne under gulv. Koncentrationsniveauet synes at være stabilt over året. Variationer i PCE indholdet i indeklimaet kan derfor ikke forklares ved variationer i kildestyrken under gulv.

Tabel 5.5 Samlede resultater for kontinuerte PCE målinger i udendørs og indendørs poreluftsonder (3 målerunder). Antal svarer til antal målinger, som indgår i gennemsnitsberegningerne. Enhed er mg PCE/m³. Målefrekvens er hver 2 time.

Målepunkt		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3 1)	Samlet
Udendørs poreluftmåling					
S01	Gns.	282 ± 17	221 ± 12	191 ± 25	-
	Min	244	168	94	94
	Max	318	249	242	318
	Antal	144	288	199	-
S02	Gns.	260 ± 17	246 ± 22	305 ± 34	-
	Min	220	161	203	161
	Max	296	280	374	374
	Antal	150	273	201	-
S03	Gns.	124 ± 3	92 ± 6	76 ± 20	-
	Min	113	64	26	26
	Max	134	100	109	134
	Antal	152	286	202	-
S04	Gns.	153 ± 4	-	-	-
	Min	141	-	-	141
	Max	168	-	-	168
	Antal	152	-	-	-
S05	Gns.	219 ± 6	176 ± 12	190 ± 23	-
	Min	194	127	76	76
	Max	234	194	233	234
	Antal	151	285	202	-
Poreluftmåling under gulv					
S09	Gns.	70 ± 4	54 ± 4	41 ± 5	-
	Min	57	39	30	30
	Max	76	60	53	76
	Antal	145	284	200	-
S12	Gns.	59 ± 3	46 ± 3	41 ± 5	-
	Min	48	35	24	24
	Max	64	51	47	64
	Antal	102	273	200	-

1): PCE indholdet i 3 målerunde viser for lave indhold i forhold til det reelle indhold i poreluften. Det vurderes at indholdet skal tillægges ca. 25 %.

Tabel 5.6 Kulrørsanalyser fra 5 poreluftsonder under gulv i fællesrum. Enhed er mg PCE/m³

Målepunkt	Tidspunkt 1)	Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3
S08	Start	73	30	47
	Slut	71	56	59
S09	Start	55	38	44
	Slut	45	23	-
S10	Start	64	34	49
	Slut	46	41	68
S11	Start	62	36	48
	Slut	51	49	47
S12	Start	66	32	48
	Slut	-	40	52

1): Start og stop af målerunde

5.4.2.3 Indeluft

Resultaterne for de kontinuerte indeklimamålinger fra I01 (fællesrum) er vist på figur 5.8. Resultater fra I02 er vist i bilag 1.2. Tabel 5.7 viser statistik over måleresultaterne for I01 og I02 med angivelse af middelværdi, antal målinger samt mindste og højeste koncentrationer.

Af figur 5.8 ses, at indeluftmålingerne relativt varierer betydeligt mere end poreluftmålingerne. Især ses store variationer under målerunde 1, som sandsynligvis skyldes beboernes brug af kælderlokalet. Brug af kælderlokalet har medført et større luftskifte med varierende koncentrationer i indeklimaet til følge. På baggrund af disse variationer blev fællesrummet aflukket ved 2. og

3. målerunde. Målingerne i 3. målerunde er langt mere stabile end for målerunde 1, mens der stadig ses store variationer under målerunde 2.

De højeste gennemsnitskoncentrationer er fundet ved 1. målerunde og de laveste ved 2. målerunde (se tabel 5.7). Dette er i overensstemmelse med de gennemførte udendørs og indendørs poreluftmålinger. I 1. og 2. målerunde ses variationer mellem de højeste og laveste koncentrationer på op til en faktor 20, dvs. et dekadespring. I 3. målerunde er koncentrationerne meget stabile. Der er således under en faktor 2 mellem laveste og højeste værdi.

Der ses stor forskel mellem I01 og I02 i 3. målerunde. Forklaringen herpå er sandsynligvis et større luftskifte i cykelkælderen på grund af den daglige brug af kælderen. Cykelkælderen står desuden i åben forbindelse med resten af kælderen.

Tabel 5.7 Kontinuerte målinger med PCE indhold i indeklima. Enhed er mg PCE/m³
Målefrekvens er hver 2. time.

Målepunkt		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3	Samlet
I01	Gns.	0,51 ± 0,17	0,36 ± 0,14	0,48 ± 0,05	-
	Min	0,15	0,04	0,35	0,04
	Max	1,21	0,74	0,59	1,21
	Antal	143	280	198	-
I02	Gns.	-	0,35 ± 0,33	0,17 ± 0,09	-
	Min	-	0,03	0,05	0,03
	Max	-	3,64	0,50	3,64
	Antal	-	277	195	-

5.4.2.4 Udeluft

Det var ikke muligt at udføre kontinuerte MIMS-målinger af PCE i udeluft pga. afsmitning fra rørføringer og ventiler (memory-effekt). På trods af, at der blev anvendt metal og glas ved alle rørføringer og samlinger, var koncentrationsspringene på 6 dekader mellem poreluft og udeluft for store til, at vedhæftning helt kunne undgås. Måling af udeluft blev derfor påvirket af de forudgående høje koncentrationer fra poreluft. Udendørs målinger er derfor udført dels som korttidsmålinger med aktiv opsamling på ATD rør, og dels som langtidsmålinger ved passiv opsamling på ATD-rør. Resultater fremgår af tabel 5.8.

De højeste koncentrationer er fundet ved sommermålingerne (målerunde 3), og de laveste indhold er fundet ved efterårsmålingerne (målerunde 1). Dette er i modsætning til poreluft og indeklimate målingerne, hvor de højeste koncentrationer blev fundet ved 1. målerunde. De højere koncentrationer i 3. målerunde kan skyldes, at jordoverfladen om sommeren tørrer ud og muliggør en øget forureningstransport til udeluften. De målte vandindhold i jorden (se afsnit 5.4.7) er dog ikke helt i overensstemmelse med denne vurdering.

Tabel 5.8 PCE i udeluftprøver

Målerunde	Dato	Korttidsmåling (PCE, µg/m ³)	Langtidsmåling over 14 dage (PCE, µg/m ³)
1. målerunde		Ingen resultater ¹⁾	0,3 10. - 26. november 2003
2. målerunde	23.02.2004 25.02.2004 27.02.2004 01.03.2004 03.03.2004 05.03.2004 08.03.2004 10.03.2004 12.03.2004 15.03.2004 17.03.2004 19.03.2004 22.03.2004 Gns.	0,29 0,31 0,72 0,45 0,58 0,45 0,65 0,52 1,1 1,9 0,39 0,83 0,63 0,7	0,53 23. feb. - 17. marts 2004
3. målerunde	11.08.2004 13.08.2004 16.08.2004 18.08.2004 20.08.2004 23.08.2004 25.08.2004 27.08.2004 01.09.2004 03.09.2004 06.09.2004 08.09.2004 10.09.2004 13.09.2004 Gns.	3,5 2,4 6,8 2,1 3,0 4,5 5,1 2,8 1,4 1,7 1,6 0,86 1,2 2,2 2,8	1,7 27. aug. - 13. sep. 2004

1): Målinger udført med MIMS, men målingerne er fejlbehæftet pga. afsmitning fra måleudstyr

5.4.2.5 Grundvand

En grundvandsprøve fra den nærliggende boring DGU 26-4044 viser et forureningsniveau i samme størrelsesorden, som der blev målt i 2002 (se tabel 5.9).

Tabel 5.9 PCE i grundvand fra boring DGU 26.4044-1. Boringen er filtersat fra ca. 3-6 m u.t. Koncentration i µg/l.

Målepunkt	5. 11. 2002	Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3
26.4044-1	14.000	-	18.000	26.000

5.4.3 Indhold af Radon i poreluft og inde-/udeluft

5.4.3.1 Radon i udendørs og indendørs poreluftsonder

Resultaterne fra de kontinuerte radonmålinger fremgår af bilag 1.3. Figur 5.9 viser resultater fra den centrale udendørs poreluftsonde (S05), den centrale indendørs poreluftsonde (S12) samt for inde- og udeluft. Tabel 5.10 viser statistik over måleresultaterne med angivelse af middelværdi, antal målinger samt mindste og højeste koncentrationer.

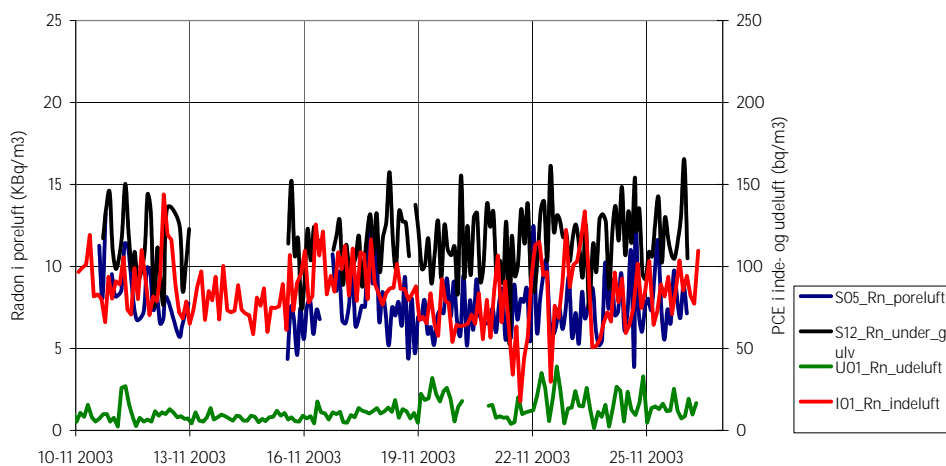
Radonmålingerne er karakteriseret ved relative store korttidsvariationer i den samme sonde. Der ses ligeledes en relativ stor spredning mellem de enkelte målerunde, især 3. målerunde har markant lavere radonindhold. Korttidsvariationer kan forklares ved måleusikkerhed, idet der ved måling over 10 min er en usikkerhed på ca. 25 % på enkeltmålinger. Dette ses tydeligt på figur 5.9 og i bilag 1.3. De markant lavere radonkoncentrationer i 3. målerunde kan ikke umiddelbart forklares. Målingerne er tjekket af det tyske firma (Genitron), som har udlejet instrumenterne, og det vurderes, at målingerne ikke er fejlbehæftet. En større luftudveksling med atmosfæren kan have medført en fortynding, men om det er hele forklaringen vides ikke.

I 1. og 2. målerunde ses nogenlunde samme niveau for radon under gulv når der ses på gennemsnitsværdier, men også her er indholdet markant lavere i 3. målerunde. Poreluftmålingerne under gulv ser ud til at være mere stabile end de udendørs poreluftmålinger.

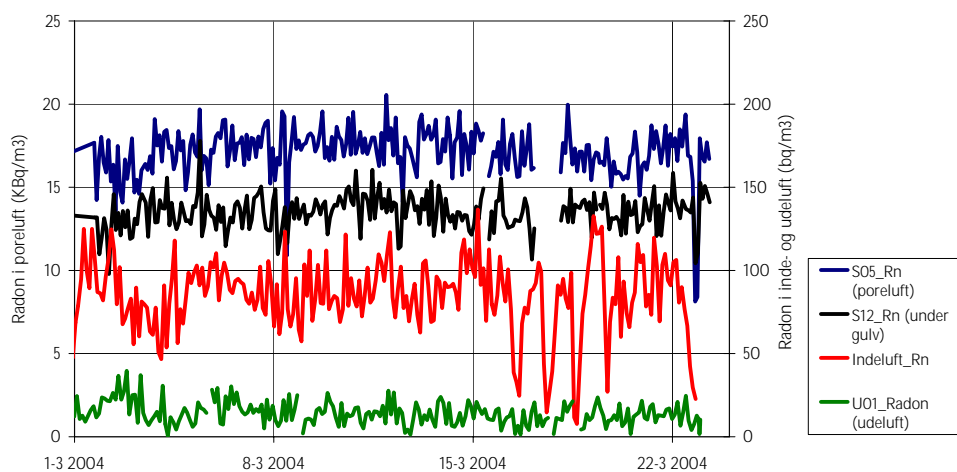
Tabel 5.10 Kontinuerte radonmålinger i poreluftsonder. Enhed er bq/m³. Målefrekvens er hver 2. time.

Målepunkt		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3	Samlet
Poreluft, udendørs					
S01	Gns.	12.100 ± 2.430	19.300 ± 1.310	2.200 ± 270	-
	Min	1.870	6.460	1.020	1.020
	Max	15.800	21.800	2.850	21.800
	Antal	136	285	203	-
S02	Gns.	15.400 ± 2.870	11.100 ± 2.760	2.480 ± 260	-
	Min	1.180	100	1.910	100
	Max	21.600	21.500	3.120	21.600
	Antal	136	285	202	-
S03	Gns.	9.960 ± 1.780	17.500	3.230 ± 340	-
	Min	4.730	13.100	2.430	2.430
	Max	16.300	20.800	4.400	20.800
	Antal	144	286	201	-
S04	Gns.	15.200 ± 2.400	-	-	-
	Min	7.870	-	-	-
	Max	21.100	-	-	-
	Antal	144	-	-	-
S05	Gns.	7.650 ± 1.810	16.900 ± 1.510	3.190 ± 370	-
	Min	3.870	8.130	2.060	2.060
	Max	13.200	20.500	4.230	8.130
	Antal	145	285	202	-
Poreluft, under gulv					
S09	Gns.	13.600	11.400 ± 1.060	2.740 ± 280	-
	Min	8.320	8.830	2.120	2.120
	Max	17.900	17.700	3.550	17.900
	Antal	139	285	200	-
S12	Gns.	11.400 ± 1.950	13.400 ± 1.050	2.700 ± 300	-
	Min	5.240	9.790	1.930	1.930
	Max	16.500	17.700	3.470	17.700
	Antal	145	285	202	-

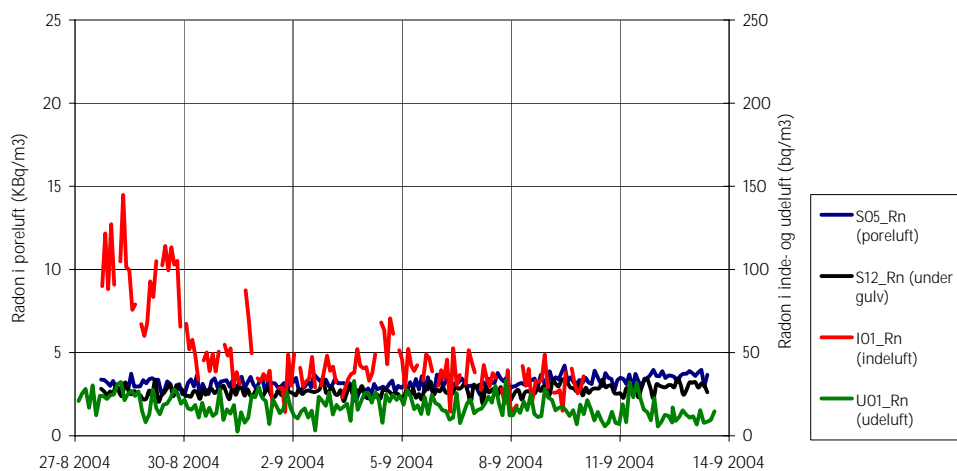
Radonmålinger, 1. målerunde



Radonmålinger, 2. målerunde



Radonmålinger, 3. målerunde



Figur 5.9 Kontinuerte radonmålinger

5.4.3.2 Radon i inde- og udeluft

Radonindholdet i indeklimaet (I01) er på samme niveau i 1. og 2. målerunde, når der ses på middelværdier (se tabel 5.11). Indholdet i 3. målerunde er ca. 50 % af indholdet i 1. og 2. runde.

Radon i udeluften er ca. en faktor 3 - 5 gange lavere end radonindholdet i indeluften. De højeste gennemsnitlige radonindhold i udeluften er fundet i 3. målerunde og det laveste i 1. målerunde. Forskellen er maksimalt 50 %. Samme tendens ses for PCE indholdet i udeluften.

Tabel 5.11 Kontinuerede radonmålinger i inde- og udeluft. Enhed er bq/m³

Målepunkt	Frekvens		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3	Samlet
Indeklimamåling						
I01	120 min	Gns.	83 ± 19	82 ± 24	48 ± 26 1)	6 144
		Min	18	6	14	
		Max	144	137	145	
		Antal	167	282	139	
I02	120 min	Gns.	-	46	-	17 95
		Min	-	17	-	
		Max	-	17	-	
		Antal	-	280	-	
Udeluftmåling						
U01	120 min	Gns.	12 ± 7	14 ± 7	17,4 ± 6,7	0,6 53
		Min	1,3	0,6	2,5	
		Max	53	51	33	
		Antal	162	295	183	

5.4.4 Trykmålinger

5.4.4.1 Modtryk i formation

Sugetrykket (vakuum) i alle poreluftsonderne har ligget mellem 50 og 100 mbar i alle 3 målerunder.

5.4.4.2 Barometertryk

Figur 5.10 viser kontinuerte målinger af barometertryk samt differenstræk over/under gulv og differenstræk i inde/udeluft.

Statistiske data for barometertrykket ved de 3 målerunder fremgår af tabel 5.12. Målerunde 1 er præget af et moderat længerevarende trykfald i den første del af måleperioden, men det samlede trykfald og især hastighed hvormed trykfaldet sker, er ikke så store som ved målerunde 2 og 3.

Ved målerunde 2 og 3 ses både lav- og højtrykspassager. De største korttids- og langtidstrykfald ses for målerunde 2. Her er målt trykfald på 4 mbar over 1 time og 24 mbar over 12 timer. Dette er væsentligt større end ved målerunde 1 og 3.

Tabel 5.12 Statistiske data for barometertryk for de 3 målerunder. enhed er mbar. Målefrekvens er hver 10. minut.

Målepunkt		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3
Barometertryk	Gns.	1015 ± 13	1012 ± 15	1014 ± 12
	Min	994	971	995
	Max	1043	1038	1034
	Antal	2836	4230	995
Trykændringer 1)	dP, 1 time	+2/-2	3/-4	2/-2
	dP, 3 timer	+4/-4	6/-9	3/-4
	dP, 6 timer	+7/-7	9/-15	5/-6
	dP, 12 timer	+10/-10	13/-24	8/-9
	dP, 24 timer	+12/-15	20/-27	14/-16

1): x/xx: hvor x er max. trykstigning og xx er max. trykfald

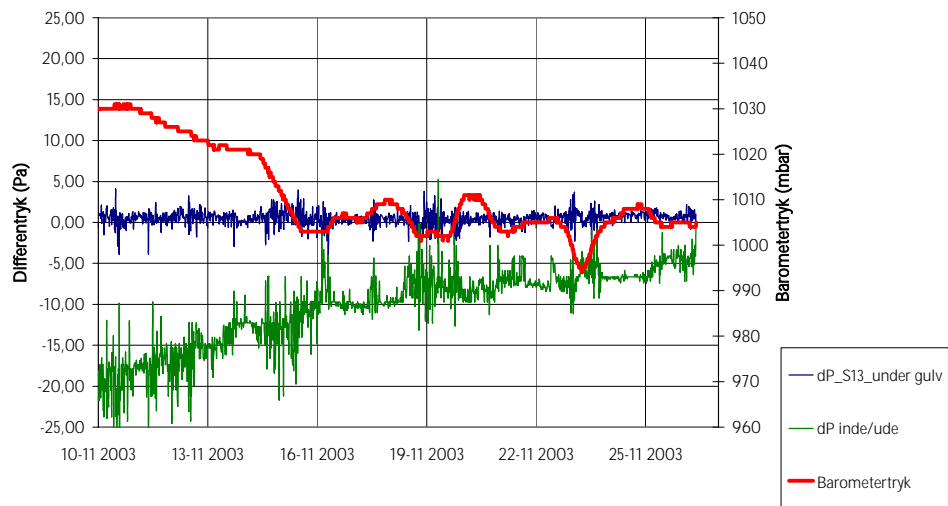
5.4.4.3 Differenstræk over/under gulv

Data er grafisk afbildet på figur 5.10. Positive værdier for differenstræk over/under gulv viser et overtryk under gulv, dvs. at der ved positive værdier på grafen sker transport af jordluft ind i kælderen (fællesrummet).

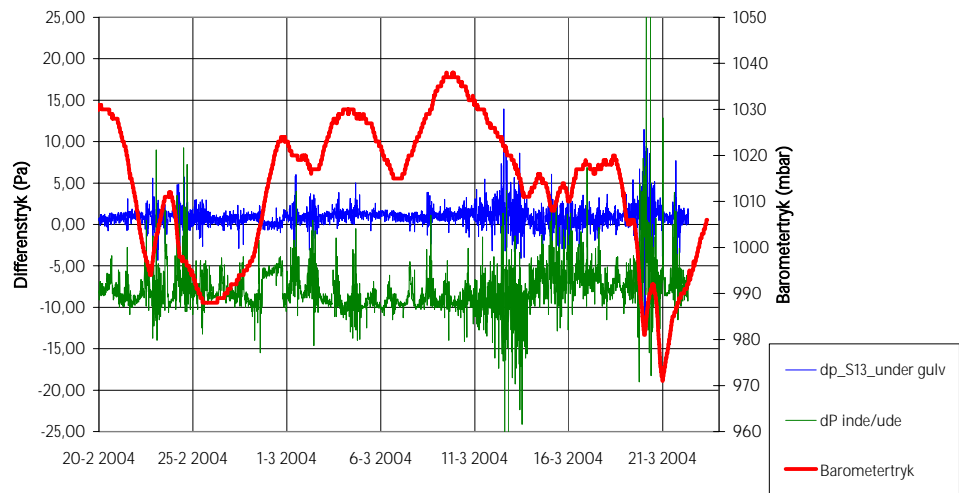
Tabel 5.13 viser statistiske data med middelværdi, mindste og højeste værdier samt antal målinger. Det fremgår, at der i alle 3 målerunder overvejende har været overtryk under gulv, dvs. en situation hvor der sker indtrængning af jordluft til kælderrummet. Dette er i overensstemmelse med teorien, hvor der forventes et svagt undertryk i boligen i forhold til poreluften under gulvet. Det skal dog bemærkes, at differenstrækket svinger omkring nulpunktet med en typisk amplitude på 1-3 Pa. I perioder med lavtrykspassager (målerunde 2) ses større svingninger med overvejende højere overtryk under gulvet.

Det gennemsnitlige differenstræk i de 3 målerunde er mellem 0,1 og 1 Pa. I målerunde 2 ses det højeste gennemsnitlige undertryk (vintermålingerne). Dette er i overensstemmelse med det forventede, idet der forventes at være det største undertryk i en bolig om vinteren, bl.a. pga. temperaturforskelle mellem ude og inde.

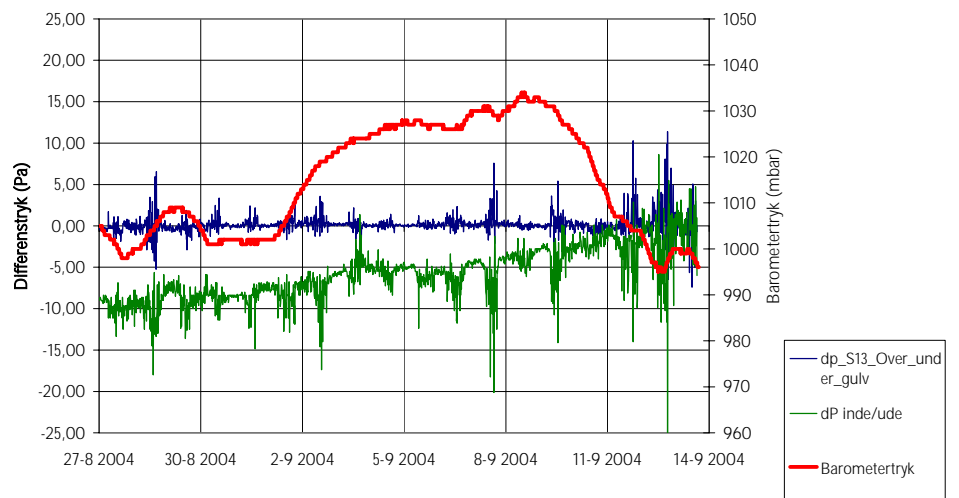
Trykmålinger, 1. målerunde



Trykmålinger, 2. målerunde



Trykmålinger, 3. målerunde



Figur 5.10 Differenstræk over/under gulv (positiv værdi = overtryk under gulv), ude/inde (positiv værdi = overtryk i indeluft) samt barometertryk.

Tabel 5.13 Statistiske data for differenstræk over/under gulv. Enhed er pascal

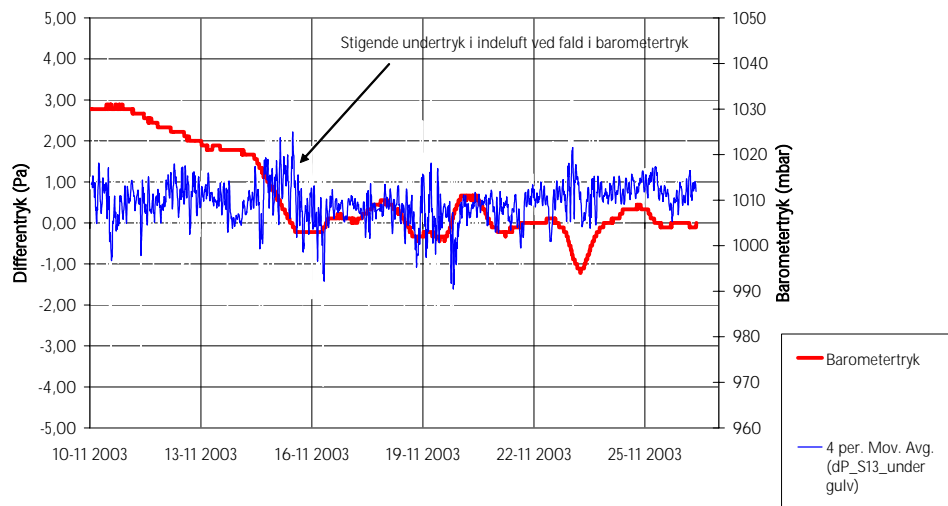
Målepunkt		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3 ¹⁾	Samlet
S13	Gns.	0,50 ± 0,81	0,93 ± 1,37	0,13 ± 1,11	-
	Min	-3,9	-12,7	-7,4	-12,7
	Max	4,1	14,0	11,4	14
	Antal	1564	2707	1691	-
S15	Gns.	0,54 ± 0,65	0,88 ± 1,38	0,07 ± 1,10	-
	Min	-0,79	-13,0	-7,8	-13
	Max	4,3	13,9	11,5	13,9
	Antal	1564	2707	1691	-

Ændret fortegn i forhold til rådata

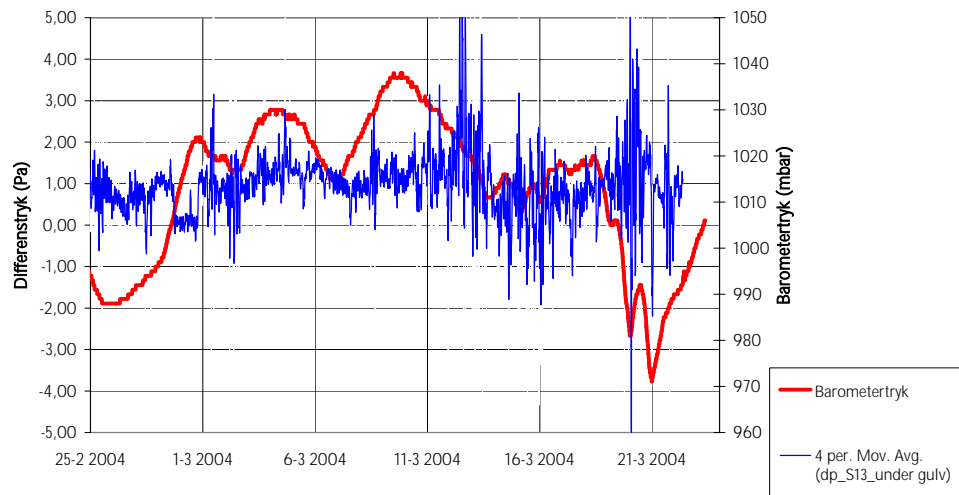
Figur 5.11 viser sammenhørende målinger af differenstræk og barometertryk. Differenstræk er afbildet som glidende gennemsnit over 1 time. Der ses generelt større undertryk i indeluften i målerunde 2. For lettere at se fluktuationerne for differenstræk, er der valgt en anden skalering end på figur 5.10.

Ved lavtrykspassager ses større spredning på resultaterne, og en tendens til større undertryk i indeluften. Dette er dog ikke så markant i målerunde 3, men her er barometertrykændringen heller ikke så stor som ved målerunde 2. Ved stigning i barometertrykket ses ikke den samme tydelige tendens til ændring i differenstræk.

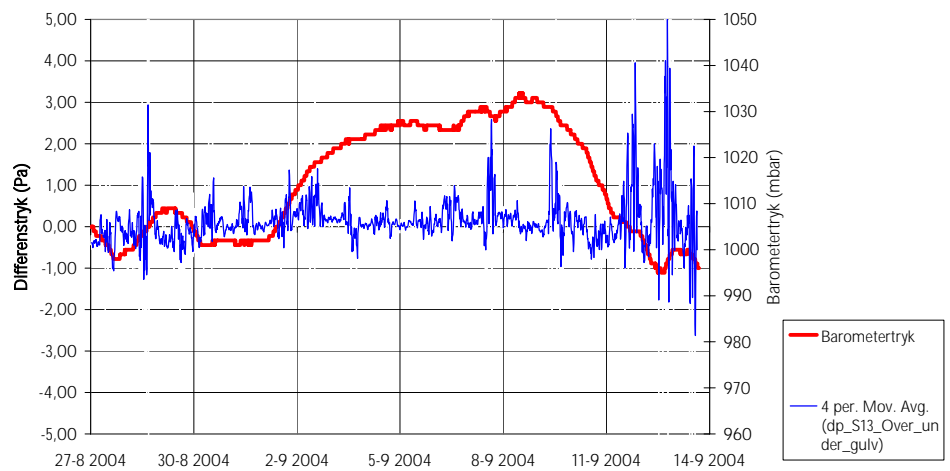
Trykmålinger, 1. målerunde



Trykmålinger, 2. målerunde



Trykmålinger, 3. målerunde



Figur 5.11 Sammenhæng mellem barometertryk og differenstryk over/under gulv. Den blå kurve viser glidende gennemsnit for hver time for differenstrykmålinger

5.4.4.4 *Differenstryk mellem inde- og udeluft*

Data er grafisk afbildet på figur 5.10. Negative værdier for differenstryk mellem inde/udeluft betyder, at der er et undertryk i indeluften i forhold til udeluften. Der sker her en indtrængning af udeluft til indeklimaet.

Tabel 5.14 viser statistiske data med middelværdi, mindste og højeste værdier samt antal målinger. Det fremgår, at der i alle 3 målerunder har været undertryk i kælderlokalet (fællesrummet) i forhold til udeluften. Dette er i overensstemmelse med det forventede ifølge Miljøstyrelsen (2001a).

Det gennemsnitlige undertryk i indeluften ligger omkring 5-10 Pa, men dette dækker over en forholdsvis stor variation mellem målerunderne og inden for de enkelte målerunder. For målerunde 1 og 3 bliver trykforskellen generelt mindre gennem måleperioden, mens målerunde 2 har været mere stabil. Det er vanskeligt at se nogen entydig sammenhæng med barometertrykket, men der er en tendens til, at trykforskellen mellem inde/udeluft bliver mindre ved faldende barometertryk.

Tabel 5.14 Statistiske data for differenstryk i inde/udeluft. enhed er pascal

Målepunkt		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3 ¹⁾	Samlet
Dp inde/ude	Gns.	-10,3 ± 4,7	-7,9 ± 2,2	-5,87 ± 3,2	
	Min	-29,3	-15,5	-27,2	
	Max	5,1	9,3	8,6	
	Antal	1564	1563	1691	

5.4.4.5 *Differenstryk i poreluft og atmosfæretrykket*

Data er grafisk afbildet på figur 5.12. Negative værdier for differenstryk mellem poreluft og udeluft betyder, at der er et undertryk i poreluften i forhold til udeluften, dvs. lufttransport fra atmosfæren.

Tabel 5.15 viser statistiske data med middelværdi, mindste og højeste værdier samt antal målinger. Det fremgår, at der i alle 3 målerunder gennemsnitligt har været undertryk i poreluften i forhold til udeluften, dvs. en transport af poreluft til udeluften.

Målingerne viser dog meget store variationer mellem målerunderne og inden for målerunden. For målerunde 1 og 2 ses meget store differenstryk, som hyppigt men ikke altid modsvarer ændringerne i barometertrykket. Disse resultater var meget overraskende og ikke efter teorien, hvor der på sandlokaliteten blev forventet en hurtig trykudligning mellem poreluft og udeluft. Specielt ses der meget store udsving i målerunde 2 (vintermålinger).

I 1. målerunde ses sammenhæng mellem barometertryk og differenstryk. Nedre målegrænse i S06 og S07 er henholdsvis -62 Pa -122 Pa. De store differensovertryk i S06 i starten af måleperioden optræder ikke hver gang sammen med barometertrykændring.

I 2. målerunde ses et væsentligt større differenstryk i poreluften med målinger op til ± 2.000 Pa - i samme størrelsesorden som ændringer i barometertrykket. Sonde S06 skifter karakter efter den 3. marts 2004. Forklaringen herpå kendes ikke, men kan fx skyldes en bedre kontakt til atmosfæren som følge af et ornehul.

Undersøgelser som er udført på Aalborg Universitet (AUC, 2005) indikerer, at de store differenstryk i målerunde 1 og 2 skyldes, at topjorden (muldlaget) i har været vandmættet, og derfor har virket som en næsten impermeabel

barriere mellem atmosfæren og poreluften (se beskrivelse i afsnit 5.4.7). Forklaringen på nogle af variationerne i 1. og 2. målerunde kunne evt. også skyldes en temporær vandmætning omkring sondespidsen.

I 3. målerunde (sommermålingerne) er differenstrykkene markant lavere end i de øvrige 2 målerunder. Sonde S07 svinger omkring ± 5 Pa. Sonde S06 har en døgnsvingning på -20 til +10 Pa. Der ses ikke nogen tydelig sammenhæng med barometertrykket. Døgnrytmerne kan evt. skyldes temperatursvingninger i jorden, men dette er ikke eftervist med temperaturmålinger.

Differenstrykket i S04 falder hen over måleperioden, men har også døgnsvingninger på ± 5 Pa.

Målingerne for sonde S06 og S07 er udført i kælderrummet ved, at der blev trukket et kobberrør fra poreluftsonden ned til kælderrummet, hvor tryktransducerne var tilkoblet. I 2. målerunde blev tryktransducerne kontrolleret med uafhængigt måleudstyr. Kontrolmålinger viste samme høje differenstryk.

I 3. målerunde blev der udført kontrolmålinger på sonde S04. Kontrolmålingen blev udført ved at placere tryktransduceren udendørs og direkte tilkoblet poreluftsonden. Disse målinger viste nogenlunde samme differenstryk som det indendørs måleudstyr. Der er altså ikke noget, der tyder på, at det har været måleopstillingen, der er årsag til de store differenstryk under målerunde 1 og 2.

De mindre differenstrykforskelle i 3. målerunde skyldes sandsynligvis, at topjorden er mere tør (og dermed mere permeabel) således, at der sker en bedre udveksling mellem atmosfæren og poreluften.

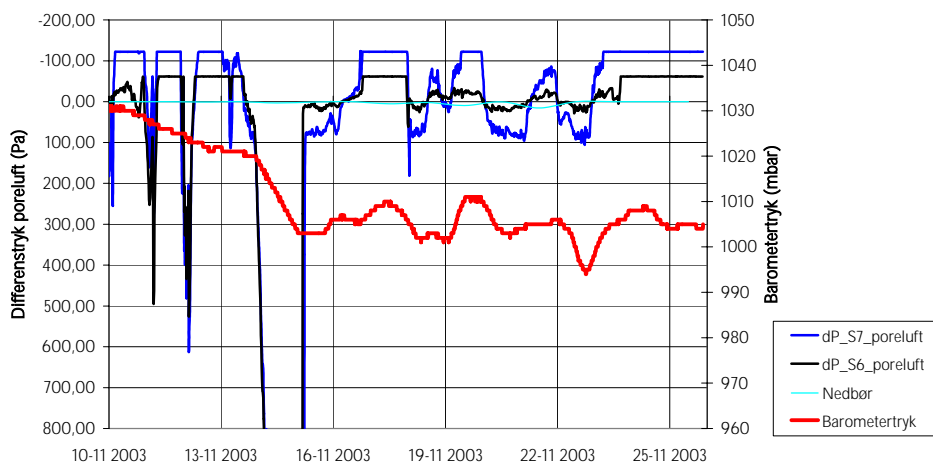
Tabel 5.15 Statistik over resultater for differenstryk i poreluft og atmosfæren (Enhed er Pa).

Målepunkt	Frekvens		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3 ³⁾
S04	15 min	Gns. Min Max Antal			11,2 \pm 10,8 -8,7 32 1691
S06	15 min	Gns. Min Max Antal	71 \pm 328 - 62 ¹⁾ 2033 1563	374 \pm 786 -779 2113 2708	5,0 \pm 8,5 -21,5 24 1691
S07	15 min	Gns. Min Max Antal	56 \pm 368 -122 ²⁾ 2004 1564	-73 \pm 1374 -2125 2127 2709	0,9 \pm 1,2 -14,5 9 1691

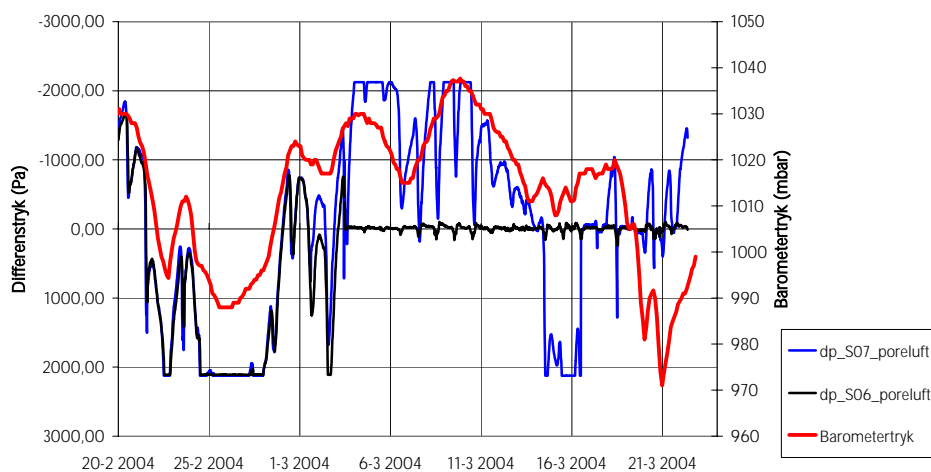
1): Undertryk > -62 registreres som -62 Pa

2): Kan ikke måle undertryk under 122 Pa

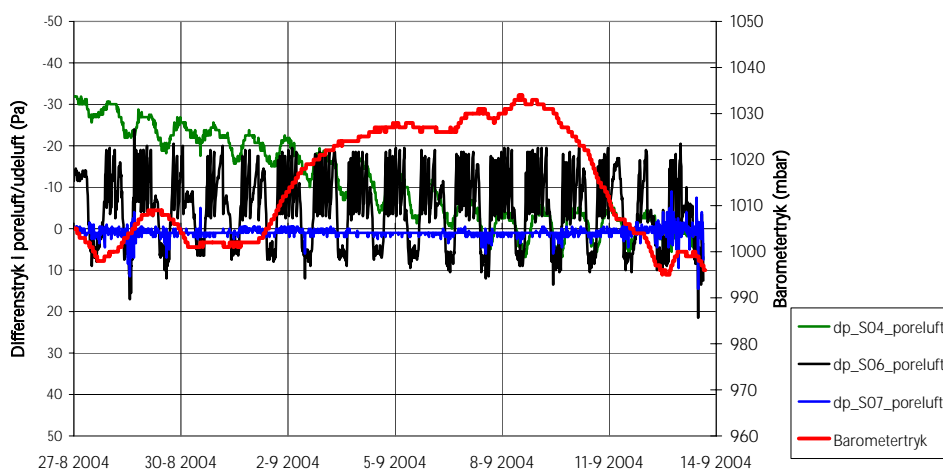
Differenstryk i poreluft, målerunde 1



Differenstryk i poreluft, målerunde 2



Differenstryk i poreluft/atmosfære, målerunde 3



Figur 5.12 Differenstrykmålinger i poreluft. Bemærk at skalering for differenstryk er forskellig for de enkelte målerunder

5.4.5 Temperatur

Resultater for temperatur i poreluft, indeklime og udeluft er vist statistisk i tabel 5.16 og 5.17. Den centrale ude- og indendørs poreluftsonde er grafisk afbildet på figur 5.13 sammen med temperaturen i inde- og udeluft.

Temperaturen i de udendørs poreluftsonder er meget stabil inden for målerunden, men varierer med årstiden. I efterårs- og vintermålinger er temperaturen typisk omkring 10 grader (°C). I sommermålingen er temperaturen noget højere, omkring 15-16 grader.

Temperaturen i poreluften under gulv er ligeledes konstant inden for målerunden. I forhold til udendørs poreluftmålinger varierer temperaturen under gulv mere hen over året. Der ses således større påvirkning fra udeluften. Særligt i 2. målerunde ses en lav temperatur under gulvet (4-6 grader), hvilket kun er lidt over udetemperaturen. Den lave temperatur viser, at der suges atmosfærisk luft ind under bygningen via influenszonen.

Temperaturen i indeluften har været meget konstant i 1. og 3. målerunde, ca. 20-21 grader. I 2. målerunde (vinter) har temperaturen været noget lavere, gennemsnitligt omkring 16 grader. I 1. målerunde blev kælderlokalet opvarmet af Eurofins i forbindelse med udførelse af målingerne. I 1. målerunde kan temperaturen under gulv derfor have været påvirket lidt af rumopvarmningen. Det betyder, at strømningsmønstret til bygningen kan være påvirket af opvarmningen. Luftsiftet har således været dobbelt så stort i 1. målerunde sammenlignet med 2. og 3. målerunde (se afsnit 5.4.6).

Temperaturen i udeluften har været som forventet med de højeste temperaturer ved sommermålinger og de laveste ved vintermålingerne. Der ses en tydelig dagsvariation ved målerunde 2 og 3. Målerunde 1 udviser ikke samme tydelige dagsvariation.

Tabel 5.16 Temperatur i poreluftsonder. Enhed er °C.

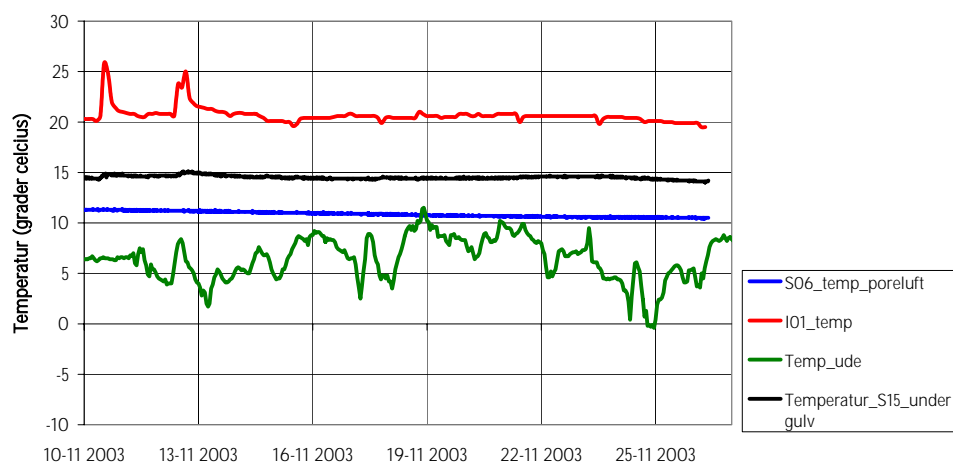
Måle-punkt	Frekvens		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3	Samlet
S06	15 min	Gns.	10,9 ± 0,2	11,6 ± 0,3	15,2 ± 0,07	-
		Min	10,4	11,1	15,0	10,4
		Max	11,4	12,4	15,4	15,4
		Antal	1564	2708	1691	-
S07	15 min	Gns.	8,5 ± 0,2	11,8 ± 0,3	16,1 ± 0,14	-
		Min	8,2	11,3	15,9	8,2
		Max	9,1	12,5	16,6	16,6
		Antal	1564	2708	1691	-
S13	15 min	Gns.	14 ± 0,14	6,1 ± 0,1	17,9 ± 0,1	-
		Min	13,6	5,8	17,8	5,8
		Max	14,4	6,4	18,3	18,3
		Antal	1564	2507	1691	-
S15	15 min	Gns.	14,5 ± 0,2	3,6 ± 0,6	18 ± 0,1	-
		Min	14	3,0	17,8	3,0
		Max	15,1	5,5	18,2	18,2
		Antal	1564	2708	1691	-

Tabel 5.17 Temperatur i inde- og udeklima. Enhed er °C

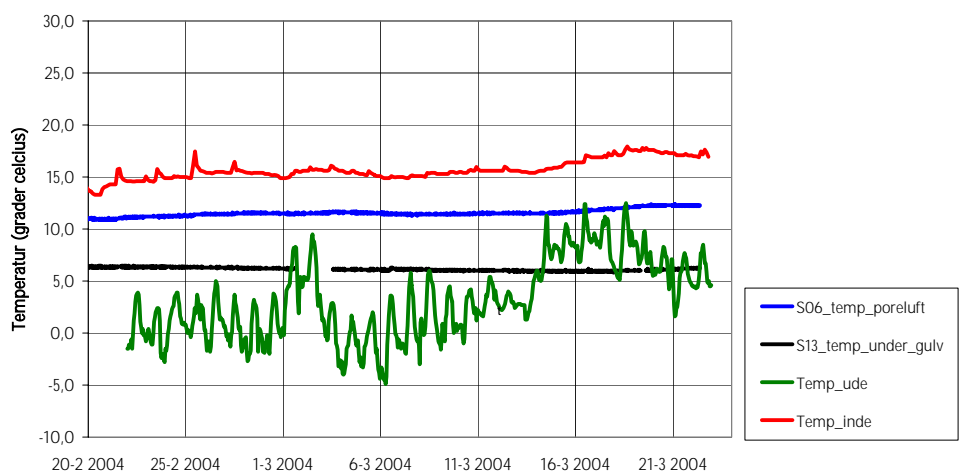
Målepunkt	Frekvens		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3	Samlet
I01, Indetemp. i fællesrum	140 min	Gns.	20,6 ± 0,8	15,8 ± 0,8	20,8 ± 0,2	-
		Min	19,5	14,5	20,6	14,5
		Max	25,8	19,3	21,6	25,8
		Antal	173	298	8946	-
U01, Udetemp.		Gns.	6,3 ± 2,1 1)	3,2 ± 3,7 1)	15,2 ± 3,4 1)	-
		Min	-0,4	-4,9	6,7	-4,9
		Max	11,5	12,5	23,8	23,8
		Antal	501	719	431	-

1) Målinger fra Flyvestation Aalborg

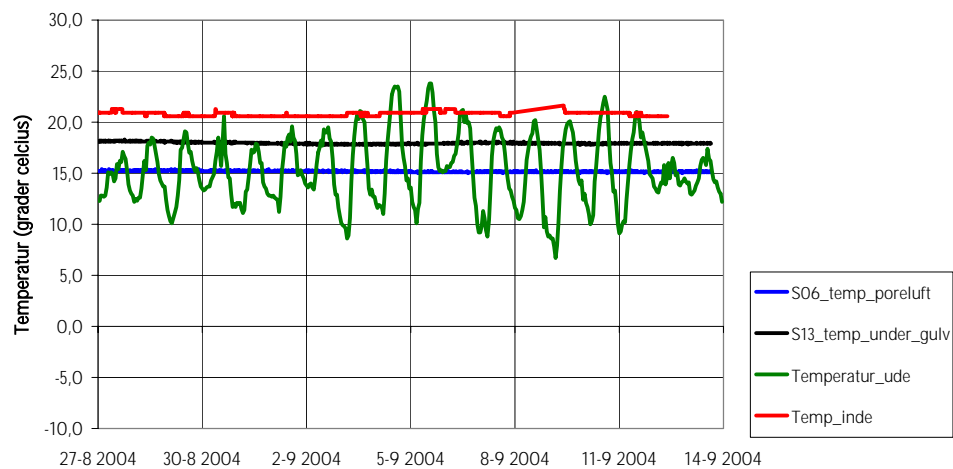
Temperaturmål inger, 1. målerunde



Temperaturmål inger, 2. målerunde



Temperaturmål inger, 3. målerunde



Figur 5.13 Temperaturmål inger

5.4.6 Luftskeftemålinger

Resultater af luftskeftemålinger fremgår af tabel 5.18. Der er udført både korttids- og langtidsmålinger. Korttidsmålinger er målt over 1-2 timer og langtidsmålingerne er udført over 2-3 uger.

Det største luftskefte ses for målerunde 1. Det er i overensstemmelse med, at målerummet i 1. målerunde blev anvendt af beboerne. Der var således en større aktivitet end ved 2. og 3. målerunde, hvor rummet var aflåst og kun blev benyttet ved tilsynsbesøg. Korttidsmålinger har generelt et højere luftskefte ved målerunde 2 end for målerunde 3, men dette vurderes at være inden for usikkerheden for målingerne.

Tabel 5.18 Resultat af Luftskeftemålinger i fællesrum

Målerunde	Dato	Tid	Korttidsmålinger af luftskefte h-1	Langtidsmålinger af luftskefte h-1
Målerunde 1	24-11-03	-	0,24	0,78 Målinger udført i perioden 10-11 til 26. - 11 2003
Målerunde 2	27-2-2004 - - 4-3-2004 12-3-2004 16-3-2004 - -	Kl. 08.00-09.00 Kl. 12.00-13.00 Kl. 14.50-15.50 Kl. 12.55-13.55 Kl. 08.00-08.50 Kl. 08.40-09.40 Kl. 11.00-12.05 Kl. 15.05-15.50	0,33 0,47 0,41 0,55 0,62 0,54 0,42 0,48	0,32 Målinger udført i perioden 27-2 til 17-3-2004
Målerunde 3	11-8-04 18-8-04 - - 13-9-04 - 14-9-04 -	Kl. 10-12 Kl. 11.50-12.50 Kl. 14-15 Kl. 15-16 Kl. 12.40-13.20 Kl. 20.40-22.40 Kl. 2-4 Kl. 6-8	0,19 0,14 0,25 0,22 0,26 0,22 0,14 0,13	0,32 Målinger udført i perioden 27-8 til 13-9-2004

5.4.7 Vandindhold

En oversigt over det gennemsnitlige vandindhold i jorden udført med TDR måleudstyr fremgår af tabel 5.19. Kontrolmålingerne med tørring af jordprøver fremgår af tabel 5.20 (gravimetrisk metode). Figur 5.14 viser resultaterne grafisk. Resultaterne af alle TDR målinger fremgår af bilag 1.15.

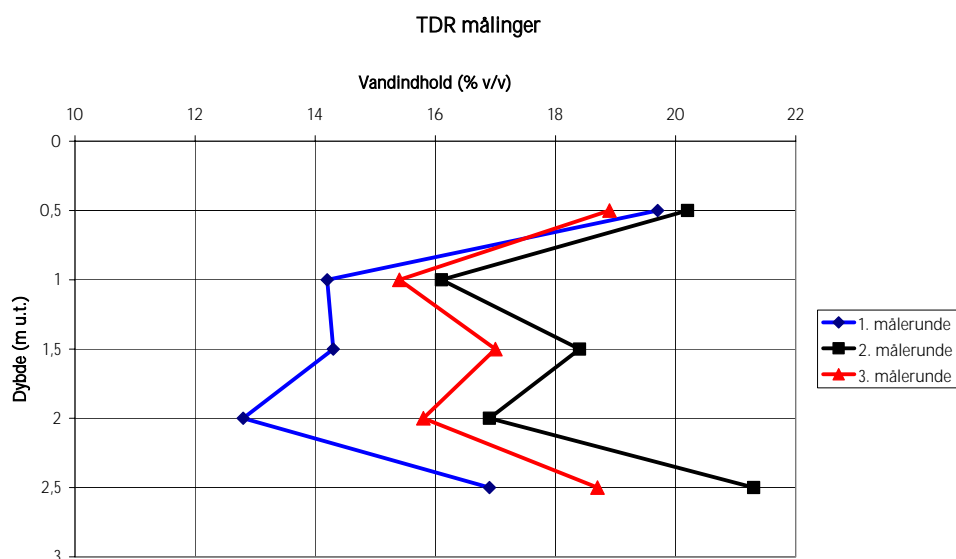
Det skal bemærkes, at alle TDR målingerne for 3. målerunde er gennemført før de kontinuerte målinger af PCE og Radon. Det skyldes, at der var flere nedbrud af måleudstyret, hvorfor 3. målerunde blev udskudt flere gange. Efter opstart af de kontinuerte målinger var der nedbrud på software til registrering af vandindholdet i TDR-sonderne. Som erstatning for TDR målingerne blev der i stedet lavet 2 ekstra håndboringer til udtagning af jordprøver til gravimetrisk bestemmelse af vandindholdet. Resultaterne af disse målinger indikerer, at vandindholdet i jorden har været nogenlunde konstant efter nedbrud af TDR udstyret.

Det højeste vandindhold er fundet i målerunde 2 (vintermålingerne). Det laveste vandindhold i 0,5 m's dybde er fundet i 3. målerunde (sommermålinger), men i dybderne fra 1,0 til 2,5 m u.t. er det laveste vandindhold fundet i målerunde 2. Det er overraskende, at sommermålingerne ikke havde det laveste vandindhold i hele dybden, men det

skyldes sandsynligvis, at sommeren 2004 var meget våd i Aalborg-området. Fordelt over dybden ses de højeste indhold i 0,5 og 2,5 m's dybde. Det høje indhold i 0,5 m's dybde skyldes påvirkning af nedbør. Det høje indhold i 2,5 m's dybde skyldes større jordfugtighed pga. den kapillære stighøjde fra grundvandet.

Resultaterne af TDR målingerne er højere end de gravimetriske målinger, hvor der er sket tørring af jordprøven. Det vurderes, at TDR målingerne sandsynligvis overestimerer vandindholdet.

Jordlagenes opbygning på lokaliteten viser øverst ca. 0,25 m let sandmuld underlejret af velsorteret fyldsand til ca. 3 m's dybde. Måling af vandindholdet i poreluftprojektet er udført i selve sandlaget og ikke i det overliggende muldlag. I forbindelse med efterfølgende studier på lokaliteten, som er udført af Aalborg Universitet (AUC, 2005), er der udført undersøgelser af topjordens fysiske egenskaber i det udendørs målefelt. Resultaterne af disse undersøgelser indikerer, at topjorden (muldlaget) sandsynligvis er vandmættet den største del af året. Dette medfører, at topjorden sandsynligvis udgør en barriere mod udveksling af luft mellem jord og atmosfæren. Det vurderes således, at topjorden i målerunde 1 og 2 har været vandmættet og dermed mere næsten impermeabel. I målerunde 3, der er gennemført i sensommeren, er der sandsynligvis sket en udtørring af topjorden. Her har jorden været mere permeabel, og der har kunne sket en større udveksling af luft mellem jord og atmosfæren.



Figur 5.14 Det gennemsnitlige vandindhold i de 3 målerunder.

Tabel 5.19 Resultater af bestemmelse af vandindhold med TDR udstyr. enhed i v/v %

Målerunde		Dybde (m u.t.)				
		0,5	1	1,5	2	2,5
Målerunde 1	Gns.	19,7	14,2	14,3	12,8	16,9
	Min	12,2	11,1	13,3	12,5	16,5
	Max	25,0	19,5	15,9	13,2	17,4
	Antal	9	9	9	9	9
Målerunde 2	Gns.	20,2	16,1	18,4	16,9	21,3
	Min	19,22	15,52	17,28	16,51	20,4
	Max	20,9	16,33	19,03	17,33	21,94
	Antal	10	10	10	10	10
Målerunde 3	Gns.	18,9	15,4	17,0	15,8	18,7
	Min	17,1	14,68	16,21	15,03	18,53
	Max	20,14	16,66	17,48	16,08	18,98
	Antal	6	6	6	6	6

Tabel 5.20 Resultater af bestemmelse af vandindhold ved gravimetrisk metode (tørring). Enhed er % v/v. Der er anvendt en omregningsfaktor på 1,8 fra enhed i % w/w til % v/v.

Målerunde	Dato	Dybde (m u.t.)				
		0,5	1	1,5	2	2,5
Målerunde 1 ¹⁾	10-11-2003	(5,6)	(5,8)	(4,5)	(6,8)	(7,4)
Målerunde 2	26-02-2004	11,34	9,72	12,24	11,7	11,16
	17-08-2004	12,6	10,26	9,72	10,62	12,96
Målerunde 3	25-08-2004	15,3	9,72	10,62	9,54	IM
	17-09-2004	9,9	8,82	11,34	9	IM

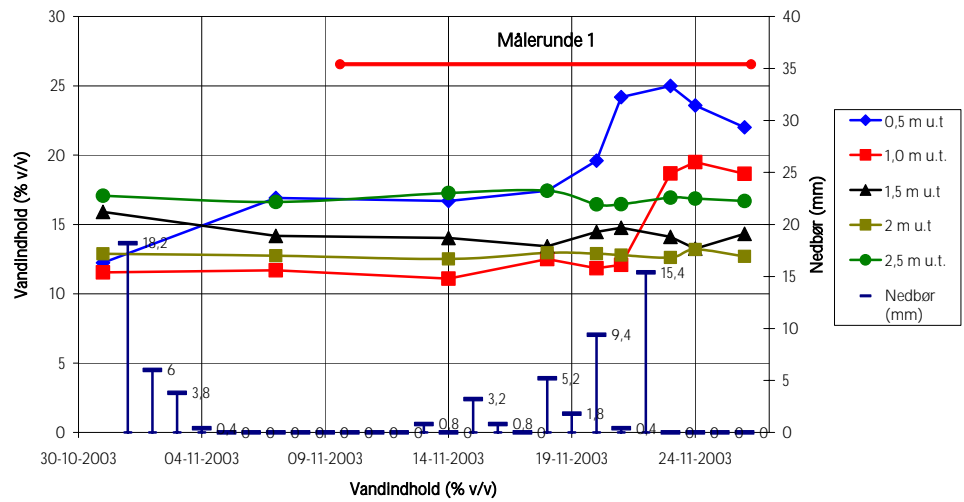
IM: ingen måling

1): Prøver evt. udtørret inden prøvebehandling i laboratoriet

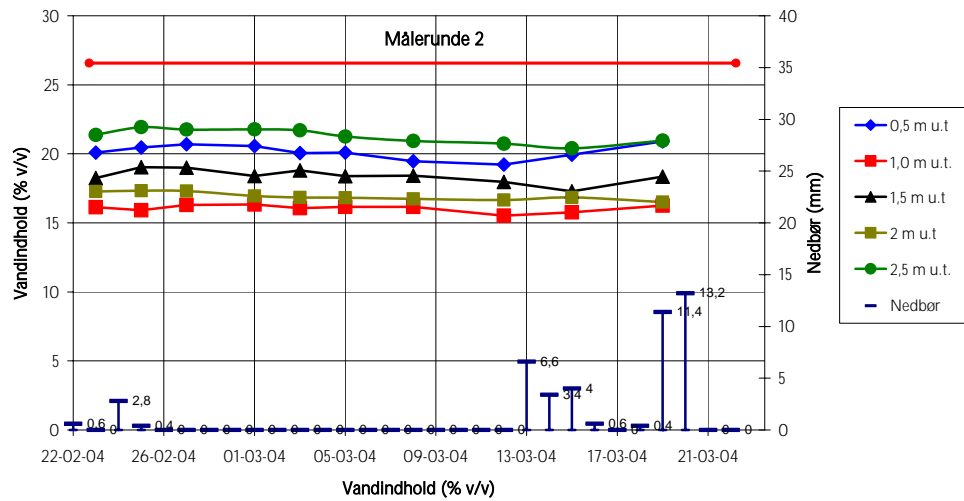
Figur 5.15 viser optegning af alle TDR målinger sammen med nedbøren. Ved 1. målerunde ses, at nedbøren har en tydelig effekt på vandindholdet. Efter regnvejret omkring den 20. november 2003 ses en stigning i vandindholdet i 0,5 m's dybde, som forplanter sig ned til 1,0 og 1,5 m's dybde over kort tid (ca. 1 døgn). Ved 3. målerunde er der en kraftig nedbørshændelse i starten af august 2004, men dette slår ikke tydeligt igennem - sandsynligvis pga. fordampning af nedbøren. Nedbørshændelsen i midten af august ses dog at slå igennem, så på dette tidspunkt sker der ikke en fuldstændig fordampning af nedbøren.

På baggrund af ovenstående betragtninger samt kontrolmålinger med traditionel tørring af jordprøver vurderes det, at TDR målinger giver en god beskrivelse af udviklingen i vandindholdet i den umættede zone. Det vurderes, at TDR målingerne generelt overestimerer vandindholdet, men relativt vurderes målingerne at være repræsentative.

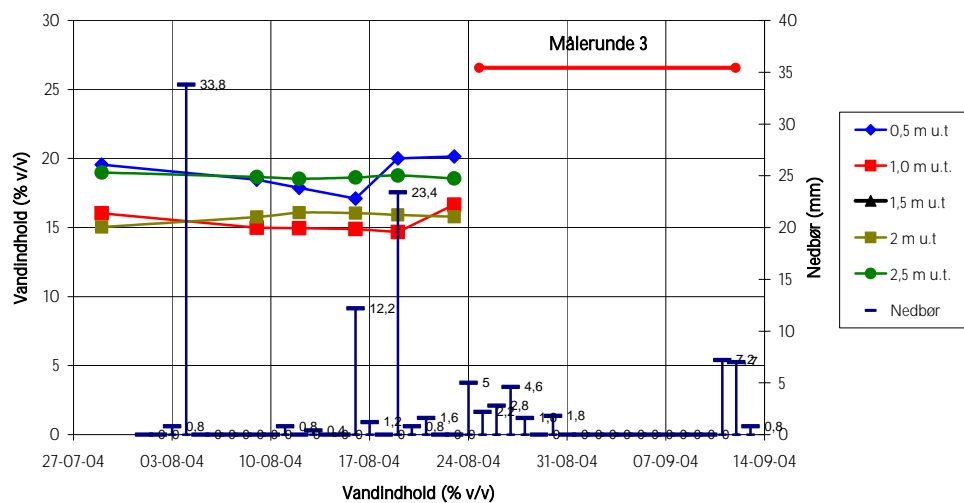
TDR målinger, målerunde 1



TDR målinger, målerunde 2



TDR målinger, målerunde 3



Figur 5.15 TDR målinger og nedbør (vejrstation - Aalborg renseanlæg)

5.4.8 Grundvandspotentiale

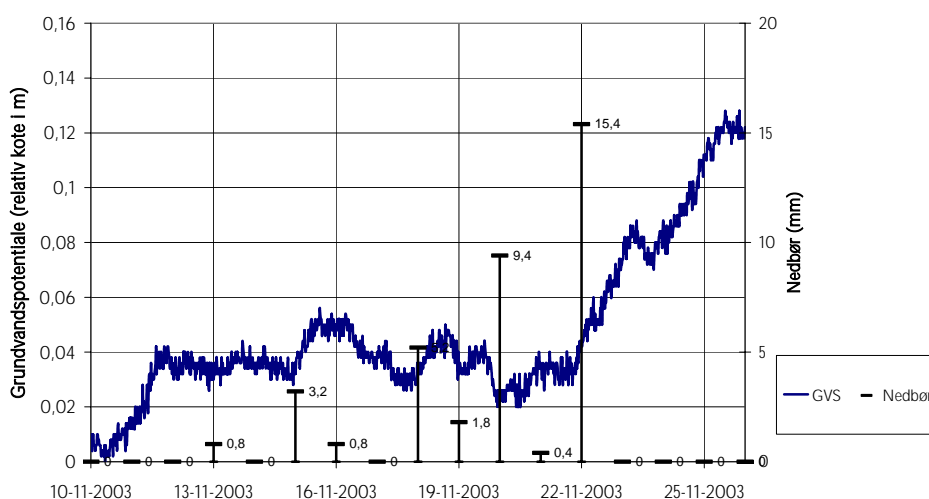
Det øverste filter i boring DGU 26-4044-1 er håndpejlet ved alle 3 målerunder. Resultater fremgår af tabel 5.21. Ved 1. målerunde blev der desuden udført kontinuert registrering af grundvandspotentialet med datalogger. Nedbørsdata sammen med de kontinuerte pejlinger fremgår af figur 5.16. Grundvandspotentialet har været lavest i november 2003 og højest i 2. målerunde i marts 2004 med en maksimal potentialeforskel på ca. 30 cm. Grundvandspotentialet ved 3. målerunde (august) er relativt højt pga. den våde sommer i 2004.

De kontinuerte målinger ved 1. målerunde viser en stigning på ca. 12 cm i grundvandspotentialet gennem måleperioden. Regnvejrshændelser ses at slå hurtigt igennem (i løbet af få dage). Der ses ikke et tilsvarende gennemslag til 2 og 2,5 m's dybde ved vandindholdsmålingerne (se figur 5.16). Det tyder på, at transporten af regnvand til magasinet overvejende sker via regnvands- og kloakledninger.

Tabel 5.21 Grundvandspotentiale i boring 26-4044-1 udført med håndpejler

Målerunde	Dato	Pejling (m u.t.)
1. målerunde	21-11-03	3,37
	28-11-03	3,29
2. målerunde	8-3-04	3,08
	12-3-04	3,06
	15-3-04	3,07
	19-3-04	3,09
3. målerunde	12-08-04	3,13
	19-08-04	3,18
	23-08-04	3,17

Grundvandspotentiale i DGU 26-4044-1



Figur 5.16 Kontinuerte vandstandsmålinger og nedbørsmålinger ved 1. målerunde.

5.4.9 Øvrige måledata

I bilag 1.10 er der vist udvalgte vejrobservationer fra Aalborg Lufthavn (nedbør, soltimer, vindstyrke og vindretning). Bilag 1.11 viser kontinuerte målinger af den relative fugtighed i poreluften.

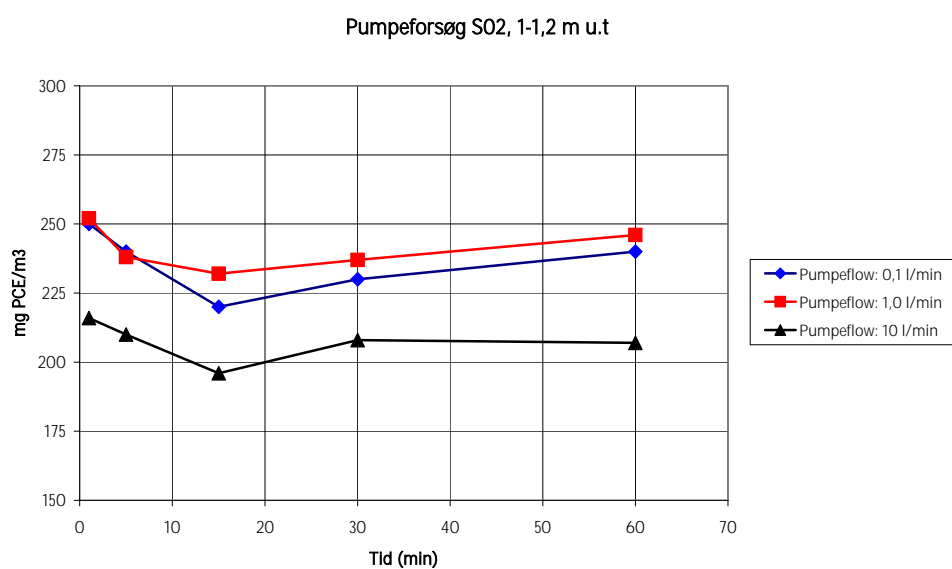
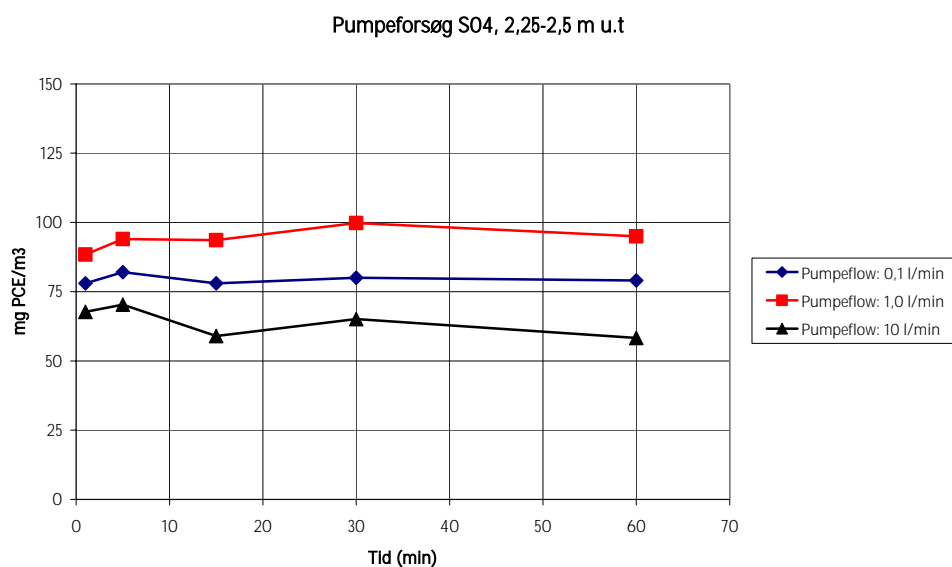
5.5 Forpumpningsforsøg

Der er udført prøvepumpningsforsøg med forskellige pumpeydeler (henholdsvis 0,1, 1 og 10 l/min) og med sammenhængende målinger af PCE og kuldioxid. Målingerne er foretaget på to udendørs og to indendørs poreluftsonder. De to udendørs sonder har indtag fra henholdsvis 1-1,2 m u.t. (S02) og 2,25-2,5 m u.t. (S04). Begge de to indendørs poreluftsonder har luftindtag i det kapillarbrydende lag. Forpumpningsforsøget er udført ved afslutningen af 2. målerunde. Alle måleresultater fremgår af bilag 1.12.

5.5.1.1 Udendørs poreluftsonder

Resultaterne af de udendørs poreluftmålinger for PCE fremgår af figur 5.17. Det fremgår at pumpeflowet ikke har afgørende betydning for PCE indholdet. Der ses ikke nogen entydig forskel ved de 2 lave pumpeflow, mens der er en klar tendens til, at det højeste flow giver mindre koncentrationer.

Der ses ikke nogen forskel i kuldioxidindholdet for nogen af forsøgene (se bilag 1.12). Der sker derfor ikke nogen nedtrængning af atmosfærisk luft selv med et pumpeflow på 10 l/min. Det er overraskende, at især målingerne på S02 er så robuste på trods af, at luftindtaget er tæt på terræn (1-1,25 m u.t.). Det skyldes måske, at målingerne er udført om vinteren, hvor jordoverfladen på lokaliteten vurderes at være relativ tæt. Om sommeren kunne det høje flow sandsynligvis medføre et større fald i koncentrationen.

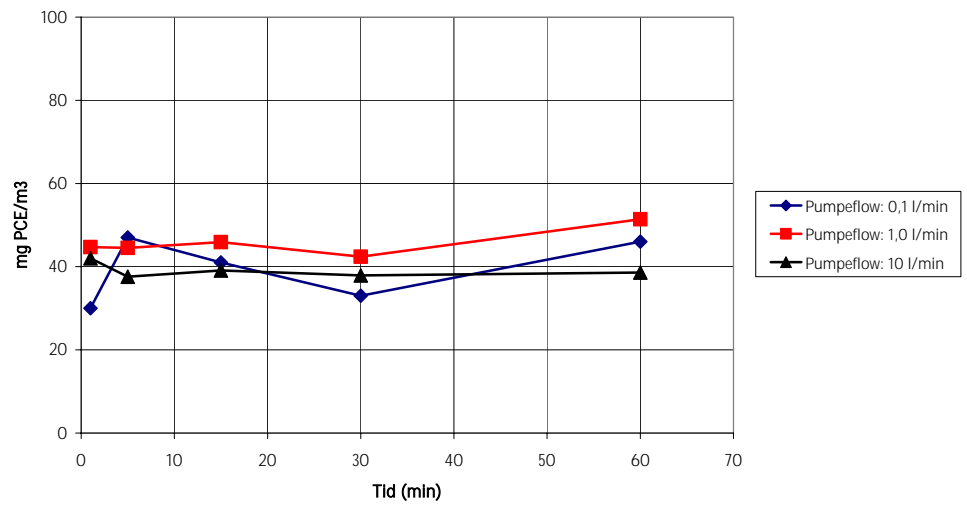


Figur 5.17 Forpumpningsforsøg på udendørs poreluftsonder

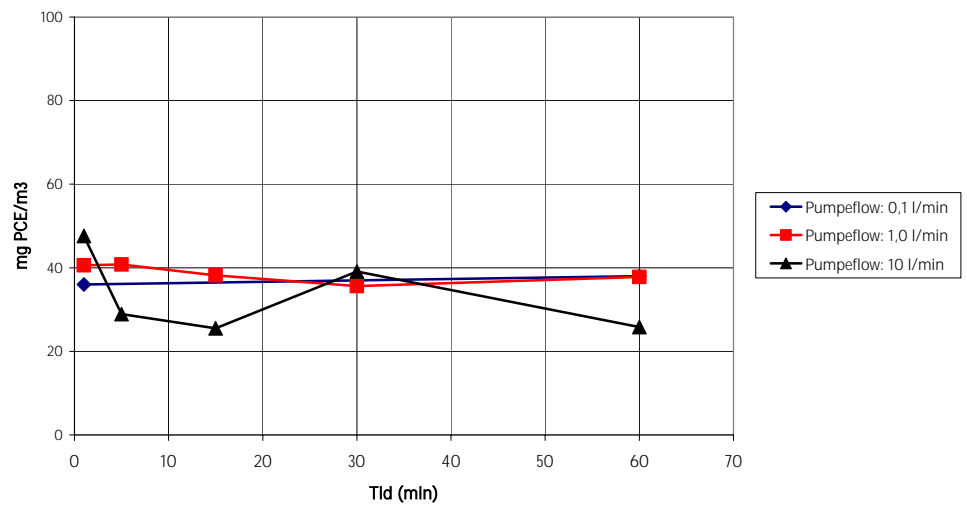
5.5.1.2 Indendørs poreluftmålinger

Resultaterne af indendørs poreluftmålinger for PCE fremgår af figur 5.18. Som for de udendørs målinger ses ikke den store forskel mellem et pumpeflow på 0,1 og 1 l/min. Et pumpeflow på 10 l/min giver generelt lidt lavere indhold, men forskellen ligger inden for 25 %. Der ses ikke nogen forskel i kuldioxidindholdet for nogen af forsøgene (se bilag 1.12). Der sker derfor ikke nogen nedtrængning af atmosfærisk luft, selv med et pumpeflow på 10 l/min.

Pumpeforsøg S08-under gulv



Pumpeforsøg S10-under gulv



Figur 5.18 Forpumpningsforsøg på indendørs porøse luftsonder

5.6 Vurdering af sammenhænge i måleresultater

I de foregående afsnit i dette kapitel er måleresultaterne gennemgået og vurderet. I dette afsnit gennemgås de enkelte delformål for målingerne på sandlokaliteten med beskrivelse af relevante årsagssammenhænge. Der fokuseres på hvilke faktorer, der er styrende for variationerne i PCE indholdet i poreluft, inde- og udeluft. Desuden vurderes egnetheden af radon som sporgas for PCE.

5.6.1 Delformål 1: Udendørs poreluftmålinger

De udendørs poreluftmålinger viser en lille tidlig variation både over kort tid og gennem året. Korttidsvariationer ligger typisk inden for 10-20 % af middelværdien. Årstidsvariationerne mellem de enkelte målerunder varierer mellem en faktor 1-2. De tidligere målinger i perioden 1996 til 2002 viste variationer i poreluften med op til en faktor 300, dvs. 2 størrelsesordener (se afsnit 5.6.3.7).

Den arealmæssige variation er også relativ lille. Inden for målefeltet, der er på 16 m², ses variationer inden for en faktor 2-3. Der er således ikke tale om dekadespring, som der ses på de 2 undersøgte lerlokaliteter i afsnit 6.

Da PCE indholdet er relativt konstant over kort tid, vurderes faktorer som barometertryk, temperatur, vandindhold, trykdifferens med atmosfæren ikke at have afgørende betydning på den konkrete lokalitet. Det skal bemærkes, at disse konklusioner ikke umiddelbart kan overføres generelt til sandlokaliteter, idet den horisontale og vertikale permeabilitet på Fredericiagade 13 vurderes at være ens, hvilket normalt ikke er tilfældet ved intakte sandaflejringer.

Grundvandsspejlet ses historisk at have stor betydning for langtidsvariationerne af PCE- indholdet i poreluften. Det laveste grundvandspotentiale ses ved 1. målerunde, og det er også her, at de højeste poreluftindhold af PCE forekommer. Denne sammenhæng skyldes sandsynligvis, at der blotlægges jordforurening, når grundvandsspejlet falder, hvorved der sker en større afdampning til poreluften fra forureningskilden.

Mht. den vertikale transport af PCE vurderes det, at vandindholdet i overfladejorden har en væsentlig betydning herfor. Således ses de højeste koncentrationer i den terrænnære sonde i 3. målerunde (sommer, se bilag 1.1), hvor det må formodes, at jorden har været mest tør. Denne vurdering er ikke helt i overensstemmelse med resultaterne fra målinger af vandindholdet i jorden med TDR-sonder, men derimod i god overensstemmelse med efterfølgende undersøgelser på Aalborg Universitet (AUC, 2005). Disse undersøgelser indikerer, at toplaget (muldlaget) virker som en barriere i den våde del af året (eksempelvis under målerunde 1 og 2). Om sommeren (målerunde 3) vurderes det, at toplaget bliver mere tørt, hvorfor der kan ske en større udveksling mellem atmosfæren og poreluften.

Det forhøjede indhold af PCE i 3. målerunde i den terrænnære sonde indikerer således en højere vertikal gaspermeabilitet i denne periode og dermed en større vertikal forureningstransport. Nedenstående faktorer peger i samme retning:

- De højeste PCE indhold i udeluften ses i 3. målerunde

- PCE indholdet i poreluften under gulv er lavere i 3. målerunde end i de to første runder. Dette indikerer en mindre horisontal spredning i den umættede zone
- Radonindholdet i poreluften i 3. målerunde er markant lavere end i de to første runder, hvilket indikerer en større udveksling med atmosfæren
- Differenstryk mellem poreluft og atmosfæren er mindre i 3. målerunde end i 1. og 2. målerunde.

Undersøgelserne i AUC (2005) indikerer, at muldlaget i det meste af året virker som en næsten impermeabel barriere, der modvirker gastransporten mellem poreluften og atmosfæren.

5.6.2 Delformål 2: Poreluft under gulv

Poreluftmålinger under gulv viser lille tidslig variation både over kort tid og gennem året. Korttidsvariationerne ligger typisk inden for 5-10 % af middelværdien. Variationerne mellem de enkelte målerunder er mindre end en faktor 2 (se figur 5.8).

Da PCE indholdet er meget konstant over kort tid, vurderes faktorer som barometertryk, temperatur, vandindhold, trykdifferens med atmosfæren ikke at have nogen væsentlig betydning. Langtidsvariationerne følger ændringer i kildestyrken, dvs. med de højeste koncentrationer i 1. målerunde og de lavest koncentrationer i 2. målerunde. Herudover skyldes langtidsvariationerne under gulv bl.a. luftstrømning i indflydelseszonen.

De 5 målepunkter i kælderen er rigeligt til at beskrive forureningsindholdet under gulv. 1 målepunkt vil i den konkrete sag have været tilstrækkeligt til at belyse forureningsituationen under målerummet, dvs. ét målepunkt pr. 20 m².

Den horisontale variation er meget lille inden for målefeltet, der er på ca. 16 m². Kulrørsanalyser viser her variationer inden for 10-20 %. Da der ikke ses aftagende koncentrationer bort fra kildeområdet, tyder det på, at det kapillarbrydende lag effektivt fordeler PCE forureningen under hele gulvet.

5.6.3 Delformål 3: Indeluft

Indeluftmålingerne varierer relativt set betydeligt mere end poreluftmålingerne. Især ses store variationer under målerunde 1, men også i anden målerunde ses store variationer. Målingerne i 3. målerunde er langt mere stabile.

De højeste gennemsnitskoncentrationer er fundet ved 1. målerunde og de laveste ved 2. målerunde. Dette er i overensstemmelse med de gennemførte poreluftmålinger udendørs og under gulv. I 1. og 2. målerunde ses variationer mellem de højeste og laveste koncentrationer på op til en faktor 20, dvs. et dekadespring. I 3. målerunde er koncentrationerne meget stabile. Der er således under en faktor 2 mellem laveste og højeste værdi. Ved målingerne i perioden 1996-2002 blev der observeret variationer af PCE-indholdet op til faktor 100.

5.6.3.1 PCE og trykforhold

I bilag 1.7 er ændringer i barometertrykket sammenlignet med PCE indholdet i indeluften.

I 1. målerunde er middelkoncentrationen for PCE i indeluften omkring 0,5 mg/m³. Variationerne af PCE indholdet kan til dels tilskrives ændringer i barometertrykket, men tendensen er ikke så tydelig som ved 2. målerunde. Variationerne kan også skyldes udluftningerne i forbindelse med brug af rummet.

I 2. målerunde ses de markant højeste trykfald. Der ses således et trykfald på ca. 23 mbar over 12 timer. Trykfaldet over 3 timer er målt op til ca. 10 mbar. Der ses en tydelig sammenhæng mellem ændringer i barometertryk og PCE i indeluften. Basiskoncentrationen for PCE i indeluften er omkring 0,3 mg/m³. Ved trykfald ses koncentrationen generelt at stige. Det kraftige trykfald omkring den 18. marts 2004 ses at øge PCE indholdet med ca. 50 %.

I 3. målerunde er middelkoncentrationen for PCE i indeluften omkring 0,4 mg/m³. Der ses ingen tydelig sammenhæng mellem barometertrykket og PCE indholdet. Det forholdsvis kraftige trykfald i slutningen af måleperioden ses således ikke at påvirke PCE indholdet.

Beregning af den vertikale migration af jordluft

Teoretisk kan den vertikale gasmigration beregnes ud fra idealgasloven (Miljøstyrelsen, 2001):

$$P * V = n * R * T \text{ (idealgasloven),}$$

hvor P er trykket (Pa)
V er volumen af gassen (m³)
n er antallet af mol gas (mol)
R er gaskonstanten (Pa m³ mol⁻¹ Kelvin⁻¹)
T er temperaturen i grader Kelvin

Det forudsættes, at temperaturen er konstant under trykfaldet, og da antallet af mol holdes konstant, er:

$$P * V = K$$

Det betyder, at der er følgende sammenhæng mellem tryk og volumen før og efter trykfaldet:

$$P * V = P' * V' \leftrightarrow V' = P * V / P'$$

hvor: P' og V' er tryk og volumen efter trykfaldet.

Fluxen (Q) af poreluft pr. areal overflade (A), der vil ske som følge af et trykfald, vil afhænge af jordens/fyldens porøsitet (ε) og vandindhold (S), samt højden af den umættede zone (h). Gasopsivningen kan ifølge Miljøstyrelsen (2001a) beregnes ud fra formlen:

$$Q = (P - P') * (\epsilon * (1 - S) * h) / P' \quad (5.1)$$

hvor P = barometertryk før trykfald (mbar)
P' = barometertryk efter trykfald (mbar)
ε = porøsitet af jorden
S = Vandindhold (procent)
h = højde af umættet zone (m)

Tabel 5.22 viser beregnede maksimale luftflow gennem jordlagene som følge af ændringer i barometertrykket. Beregningerne er foretaget ud fra formel 5.1. Det ses, at den største teoretiske flux kan forventes i 2. målerunde. Lavtrykspassagen omkring den 18. marts 2004 svarer til en beregnet vertikal strømning på 1,5 - 4,5 l/h/m². Pga. en højdeforskel mellem kældergulv og udendørs terræn på ca. 2 m er der regnet med flow for henholdsvis 1 og 3 m mættet zone. Beregninger skal selvfølgelig tages med et vist forbehold, men giver alligevel en størrelsesorden for effekten af en lavtrykspassage. I afsnit 5.6.6 er det beregnet, at den gennemsnitlige indtrængning af jordluft til kælderen varierer fra 5,5 og 14 l/h/m². De beregnede flux som følge af lavtrykspassager er således relativt lave i forhold hertil. Det skyldes formentlig, at afstanden til den umættede zone på lokaliteten er forholdsvis lille. Under kældergulvet er afstanden således kun ca. 1 m. På baggrund af ovenstående beregninger er det derfor ikke overraskende, at barometertrykket øjensynligt kun spiller en væsentlig rolle under korte kraftig trykfald (> 2 mbar/h).

Tabel 5.22 Beregning af den maksimale flux gennem jorden som følge af fald i barometertryk

Post	Enhed	Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3
Maksimal flux over 1 time	l/m ² /h	0,8 - 2,3	1,5 - 4,4	0,8 - 2,3
p (barometertryk, start)	mbar	1020	1020	1030
p' (barometertryk, slut)	mbar	1018	1016	1028
max Δp over 1 time	mbar	2	4	2
ε (porøsitet)	%	0,45	0,45	0,45
S (Vandindhold)	v/v	14	17	16
Højde af umættet zone ¹⁾	m	1-3	1-3	1-3

1): I forhold til terræn er der ca. 3 m mættet zone. Under kældergulv er der ca. 1 m umættet zone.

5.6.3.2 Differenstryk under/over gulv

Bilag 1.9 viser sammenhæng mellem differenstryk over/under gulv og PCE i indeluft.

Overordnet er det vanskeligt at se tydelige sammenhænge mellem differenstryk og PCE i indeluften. Der ses dog en tendens til, at høje differenstryk medfører forhøjede PCE indhold. Dette er mest markant for 2. målerunde. I 2. målerunde ses desuden en vis forsinkelse mellem undertryk og PCE i indeluften.

I 3. målerunde ses denne sammenhæng ikke.

5.6.3.3 PCE og temperaturforskelle

Bilag 1.8 viser sammenhænge mellem ude-/indetemperatur og PCE i indeluften. Temperaturgradienten mellem ude- og indeluften er størst ved 1. og 2. målerunde (efterårs- og vintermålinger). I 3. målerunde er der som forventet ikke den store temperaturforskel mellem inde- og udeluften.

Ifølge teorien vil temperaturforskelle mellem ude- og indeluft medføre en trykforskel mellem inde- og udeluft, og derved give øget indtrængning af jordluft. Normalt forventes de højeste koncentrationer af PCE (og radon) derfor at forekomme i vinterperioden. På lokaliteten er dette dog ikke tilfældet. Selvom temperaturgradienten er væsentlig større i 1. og 2. målerunde, medfører dette tilsyneladende ikke højere koncentrationer i indeluften.

I 1. målerunde er forholdene påvirket af opvarmning af målerummet og brugen af rummet. I 2. målerunde ses en meget lav temperatur under gulvet. Dette viser, at der sker en stor atmosfærisk lufttilstrømning via

indflydelseszonen. Fyldsandets formodede ensartede permeabilitet horisontalt og vertikalt kan have stor betydning for den atmosfæriske luftandel i indflydelseszonen, og dermed være årsag til, at vi observerer relativt lidt forurening om vinteren.

5.6.3.4 PCE og vandindhold

På baggrund af målinger af vandindholdet, er det umiddelbart vanskeligt at se nogle tydelige sammenhænge mellem vandindholdet og PCE indholdet i indeklimaet.

5.6.3.5 Massebalance for PCE til indeklimaet

Tabel 5.23 viser beregning af jordluftindtrængning til kælderlokalet (fællesrummet). Beregningerne er foretaget ud fra nedenstående formel:

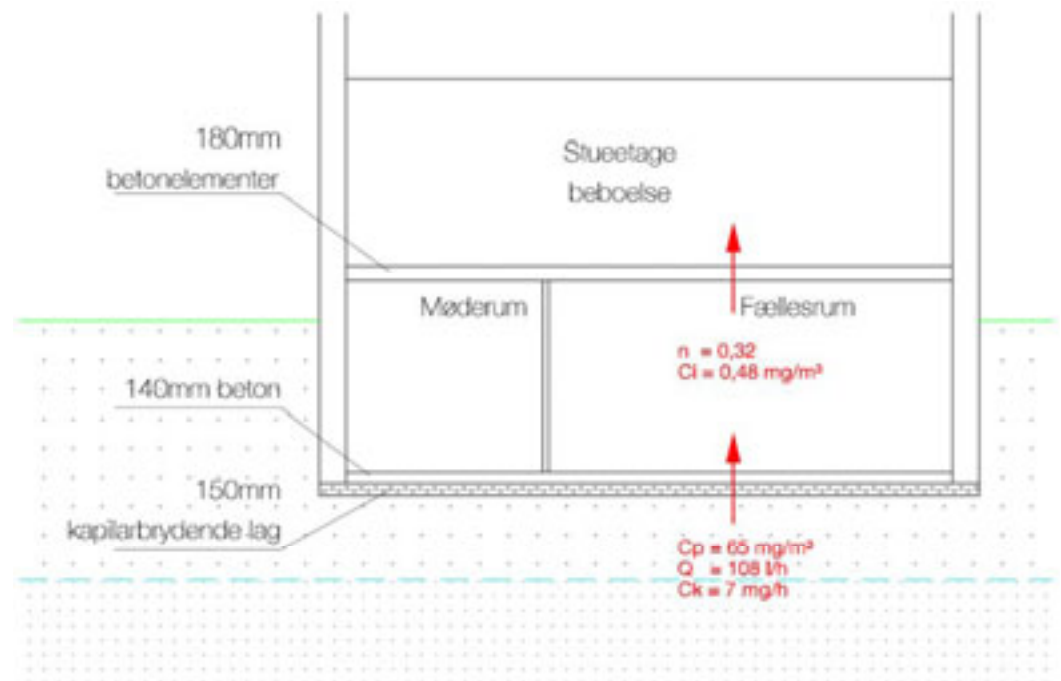
$$Q = C_i * n * V / C_p / A \quad (5.2)$$

hvor Q = Mængde af indtrængende jordluft til kælderlokalet ($m^3/h/m^2$)
 C_p = koncentration af PCE i poreluft under gulv ($mg\ PCE/m^3$)
 C_i = koncentration af PCE i indeluften ($mg\ PCE/m^3$)
 n = luftskifte ($time^{-1}$)
 V = Volumen af kælderrum (m^3)
 A = Areal af kælderrum (m^2)

Det fremgår, at indtrængning af jordluft varierer fra ca. 5 - 14 l/h/m².

Tabel 5.23 Beregning af jordluftindtrængning til kælderlokale (fællesrum)

Post	Enhed	Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3 ³⁾
Indtrængning af jordluft til kælderlokale (Q)	l/h/m ²	14	5,5	8,9
C _p (PCE i poreluft, S09 og S12)	mg PCE/m ³	65	50	41
C _i (PCE i indeluft, I01)	mg PCE/m ³	0,5	0,36	0,48
n (luftskifte)	h ⁻¹	0,78	0,32	0,32
A (Areal af kælderrum)	m ²	19,7	19,7	19,7
V (volumen)	m ³	45,5	45,5	45,5



Figur 5.19 Massebalance for 2. målerunde. Ck = kildestyrke af PCE til indeluft. Øvrige forkortelser fremgår af tabel 5.23.

5.6.3.6 Sammenligning med tidligere undersøgelser på lokaliteten

Tabel 5.24 viser sammenhørende data for PCE i poreluft under gulv og i indeluften i kælderen. Der er medtaget data fra tidligere målerunder i perioden 1996 - 2002. Prøverne er alle udtaget efter afslutning af afværgepumpningen, som blev standset i oktober 1996.

Data fra de tidligere undersøgelser repræsenterer middelværdier for 3 målepunkter i kælderen (P1, P3 og P5, se bilag 1.16). Indeluftmålingerne er lavet ca. i midten af kælderlokalet og er derfor ikke helt sammenligneligt med målepunktet I01 i nærværende undersøgelse.

Resultaterne fra de tidligere undersøgelser i 1996 - 2002 viser, at PCE indholdet i både poreluft og i indeluften varierer med flere størrelsesordener. De nye målinger, som er udført i forbindelse med poreluftprojektet, er langt mere stabile.

Dæmpningsfaktoren fra de tidligere undersøgelser over/under gulv varierer fra en faktor 13 til 250. Til sammenligning er dæmpningsfaktoren fra 83 - 139 ved de nye målinger i 2003-2004.

Der er ingen umiddelbare forklaringer på de store årstidsvariationer ved de tidligere undersøgelser, men ændringer i grundvandspotentialen vurderes at være en væsentlig faktor.

Sammenfattende kan det konkluderes, at de tidligere målinger i 1996 udviser langt større årstidsvariationer end de nye målinger i 2003-2004. Set over en periode fra 1996 - 2004 varierer PCE indholdet i både poreluft og indeluft med op til 2 størrelsesordener.

Tabel 5.24 Dæmpningsfaktor over/under gulv i kælderens på sandlokaliteten. Der er vist data fra tidligere undersøgelser (se bilag 1.16) samt data fra poreluftprojektet

Dato	Dec. 1996	Juni 1998	Feb. 1999	Okt. 1999	Nov. 2002	Nov. 2003	Feb. 2004	Aug. 2004
	Tidligere målinger					Nye målinger i 2003-2004		
Gns. i poreluft (mg PCE/m ³)	84	45,9	0,277	0,66	97,7	ca. 65	ca. 50	ca. 40
Indeklima (mg PCE/m ³), I01	1,99	0,677	0,021	0,02	0,390	0,5	0,36	0,48
Dæmpningsfaktor	42	69	13	33	250	151 ¹⁾	154 ¹⁾	86 ¹⁾

1): Beregninger fremgår af tabel 5.25

5.6.3.7 Sammenfattende vurdering af de væsentligste drivkræfter

Undersøgelserne på sandlokaliteten har vist, at indtrængningen af jordluft til indeklimaet er styret af mange faktorer. Det er således ikke muligt entydigt at udpege årsagssammenhænge mellem PCE i poreluft og indeklima. Drivkræfter som ændringer i barometertryk, temperaturforskelle i inde-/udeluft, og trykdifferens over/under gulv kan forklare nogle af variationerne i indeluften, men ikke alle. Det, som gør tolkningen vanskelig, er, at de forskellige drivkræfter er indbyrdes afhængige. Eksempelvis vil en lavtrykspassage oftest ske sammen med nedbør, øget vindhastighed, temperaturfald mm., større vandindhold og højere grundvandspotentiale etc.

Følgende forhold er konstateret:

- Fald i barometertrykket er den mest markante drivkraft for indtrængning af poreluft til indeklimaet på lokaliteten. Trykfald over 2 mbar/h ses at medføre forhøjede koncentrationer i indeluften. For mindre trykfald (1-2 mbar/h) ses også en tendens til stigende indhold af PCE, men dette er ikke entydigt. En lavtrykspassage på 16 mbar over 24 timer ved 3. målerunde ses således ikke at medføre nogen ændring i PCE indholdet i indeluften.
- Generelt synes trykdifferensen over/under gulv ikke at have en væsentlig rolle for PCE indholdet i indeluften. I 2. målerunde var det midlede undertryk på 1 Pa og i 3. målerunde var det på 0,1 Pa. Alligevel var PCE indholdet i indeluften på samme niveau i de to målerunder.

Under en lavtrykspassage ses der generelt et større undertryk i indeluften, men som for barometertrykket er sammenhængen med forhøjet PCE i indeluften ikke entydig.

- Temperaturforskellen mellem ude- og indeluft ses ikke at have nogen sammenhæng med PCE indholdet i indeluften. Dette er overraskende og ikke i overensstemmelse med resultaterne fra Risø (1997) hvor temperaturforskellen i ude/indeluft var en væsentlig drivkraft for indtrængning af jordluft.

Den højeste temperaturforskel mellem inde- og udeluften ses i efterårs- og vintermålinger. Det er også her de højeste differenstræk over/under gulv findes. Efter teorien ville man også forvente de højeste indhold af PCE i indeluften i denne periode. Dette er dog ikke tilfældet, hvorfor temperaturforskellen ikke vurderes at være den vigtigste drivkraft.

Forhold som tilstrømningen af atmosfærisk luft via indflydelseszonen, afdampning fra grundvand/jordforurening og luftudskiftning over

terrænoverfladen spiller sandsynligvis også en rolle. En entydig tolkning på enkeltfænomener er dermed vanskelig.

5.6.4 Delformål 4: Vurdering af anvendelse af radonmålinger

Mange af tidligere betragtninger vedr. indtrængning af poreluft til indeklimaet bygger på erfaringer fra radon. Det skyldes, at der er foretaget radonmålinger i et relativt stort antal huse. Det er af betydning, da radon er en naturlig forekommende radioaktiv gas, som findes i høje koncentrationer under de fleste danske huse. Typisk er radonkoncentrationen i poreluften 10.000 gange højere end koncentrationen i udeluft. Radon er således en god sporgas for identifikation af jordluftindtrængning (Miljøstyrelsen 2001a og Risø 1997).

Generelt er usikkerheden på radonmålingerne væsentligt større end for PCE målingerne. Det betyder, at måleusikkerheden typisk er større end de naturlige variationer i indeluften, hvorfor det kan være vanskeligt at se nogen tydelig sammenhæng mellem målingerne.

5.6.4.1 Poreluft

Bilag 1.6 viser sammenhæng mellem PCE og radon i poreluften for den centrale sonde i henholdsvis uden- og indendørs målefeltet. Som følge af de relativt store måleusikkerheder af radonmålinger sammenholdt med små variationer i PCE indholdet, er det ikke muligt at se nogen tydelig sammenhæng mellem PCE og radon i poreluften.

5.6.4.2 Indeluft

Figur 5.20 viser sammenhæng mellem PCE og radon i poreluft og indeklima for de 3 målerunder.

I 1. målerunde ses en god sammenhæng mellem radon og PCE i indeluften. Peakværdier forekommer nogenlunde samtidigt for både PCE og radon.

I 2. målerunde er sammenhængen ikke så entydig. I den første del af måleperioden frem til den 13. marts 2004 ses ingen sammenhæng. Efter den 14. marts anes en vis sammenhæng mellem radon og PCE, men dette er ikke entydigt.

I 3. målerunde ses ingen sammenhæng mellem PCE og radon værdierne. Denne målerunde er karakteriseret ved næsten konstant PCE indhold i indeluften.

5.6.4.3 Udeluft

Det har ikke været måleteknisk muligt at udføre kontinuerte målinger for PCE pga. den store koncentrationsforskel mellem poreluft og udeluft. PCE indholdet i udeluften er derfor målt med traditionelle opsamlingssteknikker (ATD) Det samme problem gælder for radon, men ved radonmålingerne er der anvendt 2 måleinstrumenter, hvor ét instrument måler de høje indhold i poreluften og ét andet instrument måler de lave indhold i inde- og udeluft. Der findes derfor ikke kontinuerte PCE målinger. Radon og PCE målinger viser dog de samme tendenser med de højeste koncentrationer i 3. målerunde og de laveste indhold i 1. målerunde (se tabel 5.8 og 5.11).

5.6.4.4 Dæmpningsfaktor over gulv i kælderrum

Bilag 1.5 viser grafisk fremstilling af dæmpningsfaktor for de 3 målerunder. Tabel 5.25 viser de statistiske data for dæmpningsfaktoren af PCE og radon over/under gulv i kælderlokalet (fællesrummet). Dæmpningsfaktoren er

udregnet ved at tage sammenhørende data for PCE og radon i poreluft under gulv og indhold i indeluften (I01). Da målingerne ikke er taget på nøjagtig samme tidspunkt, er det valgt at anvende data for indeluftkoncentrationerne målt efter koncentrationer under gulv. Tidsforskydningen mellem målinger under gulv og indeluft er typisk ½-1 time. Der er kun udregnet dæmpningsfaktor, når der har været data inden for samme målesekvens inden for 2 timer.

Af tabel 5.25 ses, at den gennemsnitlige dæmpningsfaktor for PCE i 1. og 2. målerunde er en faktor ca. 150, dvs. inden for det forventelige område, jf. figur 4.4. Der er dog stor variation i dæmpningsfaktoren (fra 50 - 1300 gange). Da poreluftindholdet er næsten konstant under gulv, er det variationerne i indeluften, som giver den store variation i dæmpningsfaktoren. Til sammenligning er medianværdien ca. en faktor 130. Den lavere medianværdi giver et bedre mål for dæmpningen, idet de få meget høje dæmpningsfaktorer, som betyder en højere middelværdi, kun optræder en forholdsvis lille del af tiden.

I 3. målerunde er dæmpningsfaktoren væsentlig lavere for PCE med en gennemsnitlig faktor på ca. 85-90. Her er der ikke væsentlig forskel på middelværdi og medianværdien, da dæmpningsfaktoren er mere konstant over tiden.

Dæmpningsfaktoren for radon er gennemgående højere end for PCE i 1. og 2. målerunde med en middelværdi på ca. 180-190 og medianværdi på ca. en faktor 165.

I 3. målerunde ses en væsentlig mindre dæmpning for radon med en middelværdi på en faktor 68. Dæmpningen i 3. målerunde er således under dæmpningsfaktoren for PCE. Der er ikke umiddelbart nogen forklaring på dette, men det kunne eventuelt være de relativt store usikkerheder på radonmålingerne i 3. målerunde.

Tabel 5.25 Dæmpningsfaktor for PCE og radon over/under gulv i kælderrum (fællesrum).

Sonde		Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3	Samlet
Frekvens					
Dæmpningsfaktor for PCE over/under gulv					
Dæmpning mellem S12 ¹⁾ og IO1. Måledata for hver 2. time	Gns.	151 ± 59	154 ± 113	86 ± 9	
	Median	138	130	89	
	Min	50	65	56	50
	Max	512	1.300	100	1.300
	Antal	139	269	198	
Dæmpningsfaktor for radon over/under gulv					
Dæmpning mellem S12 ¹⁾ og IO1. Måledata for hver 2. time	Gns.	178 ± 84	192 ± 147	68 ± 33	
	Median	164	160	65	
	Min	80	99	16	16
	Max	815	1.860	198	1.860
	Antal	120	273	139	

1): S12 i 2. og 3. målerunde og S09 for 1. målerunde

5.6.4.5 Samlet vurdering af radonmålinger

Det er vanskeligt at se nogen sammenhæng mellem radon og PCE i poreluftmålingerne. Det kan skyldes, at måleusikkerheden på radon typisk er større end de naturlige variationer i PCE-indholdet på lokaliteten.

I indeluften ses der nogen sammenhæng mellem de kontinuerte målinger af radon og PCE, men også her er usikkerheden på radonmålingerne typisk større end de naturlige variationer. Kun store koncentrationsforskelle i PCE indholdet registreres ved radonmålingerne.

Derimod giver radon en rimelig beskrivelse af dæmpningsfaktoren mellem koncentrationer under/over gulv for PCE. Radon kan derfor godt anvendes til vurdering af fortynding, luftskifte og dokumentation af dæmpningsfaktor over betondække.

Med de nye målemetoder, hvor der nu kan udføres kontinuerte målinger af PCE i poreluft og indeklima, vurderes radonmålinger ikke mere at være så relevante. Dels udføres kontinuerte radonmålinger normalt ikke kommercielt i Danmark, og dels vurderes udgifterne til kontinuerte radonmålinger at være mindst lige så store som kontinuerte MIMS målinger. Desuden synes usikkerhederne på radonmålingerne at være større end for PCE målingerne.

5.6.5 Delformål 5: Prøvetagning under gulv

Forpumpningsforsøgene under gulv i kælderrummet viste, at der ikke var den store forskel mellem pumpeflow på 0,1 - 10 l/min. Pumpeflow på 0,1 - 1 l/min viste dog de mest stabile koncentrationer. Kuldioxid målinger viser, at der ikke sker nogen indtrængning af atmosfærisk luft selv med et pumpeflow på 10 l/min.

Det anbefales derfor at anvende et pumpeflow mellem 0,1 - 1 l/min ved prøvetagning under gulv. Koncentrationerne var stort set stabile fra start af forpumpningen. En forpumpning på ca. 5 min vurderes derfor tilstrækkeligt.

5.6.6 Delformål 6: Prøvetagning i udendørs poreluftsonder

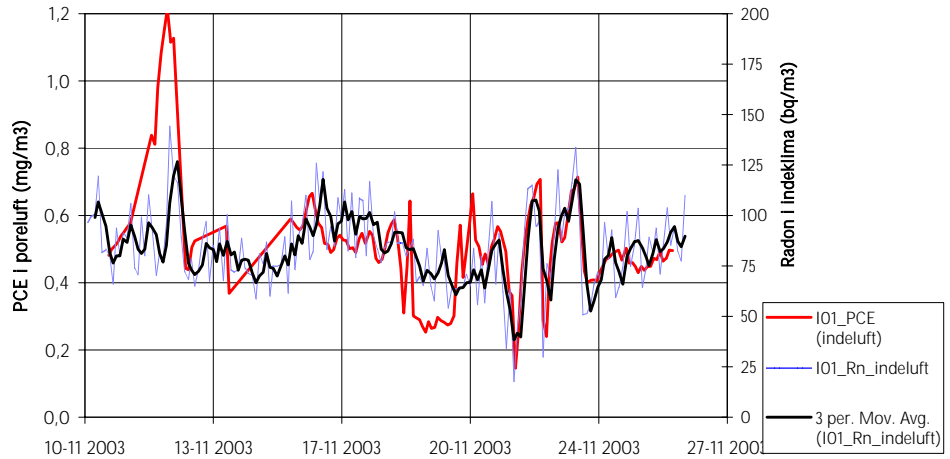
Der ses ikke nogen entydig forskel i poreluftkoncentrationen ved de 2 laveste pumpeflow (0,1 og 1 l/min), mens der er en klar tendens til, at et pumpeflow på 10 l/min giver mindre koncentrationer. Selv det høje pumpeflow på 10 l/min ser ud til at give rimelige resultater (< 50 % afvigelse). Kuldioxid

målinger viser også, at der ikke sker nogen indtrængning af atmosfærisk luft selv med et pumpeflow på 10 l/min.

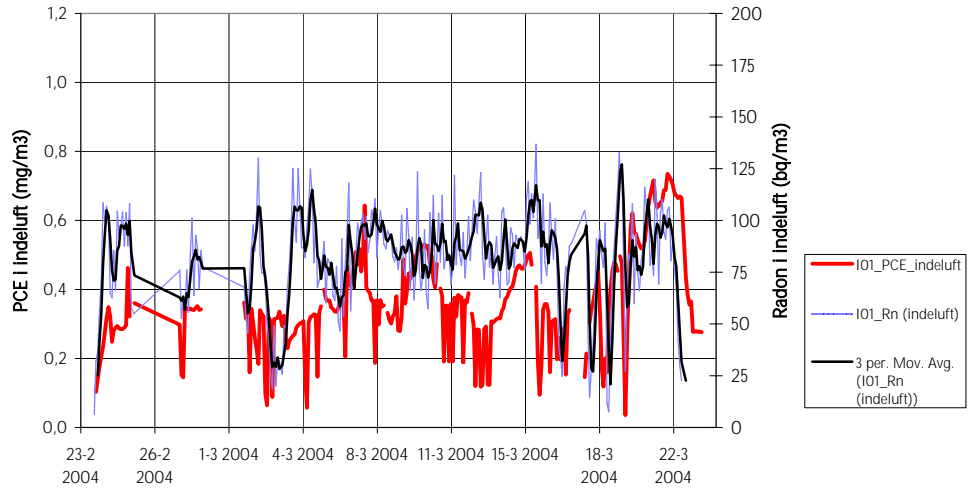
Sammenfattende viser forpumpningsforsøget, at prøvetagning på sandlokaliteten er meget robuste over for forskellige pumpeflow.

Ved prøvetagning på lokaliteten anbefales et flow på maksimalt 1 l/min og med en forpumpning på få minutter.

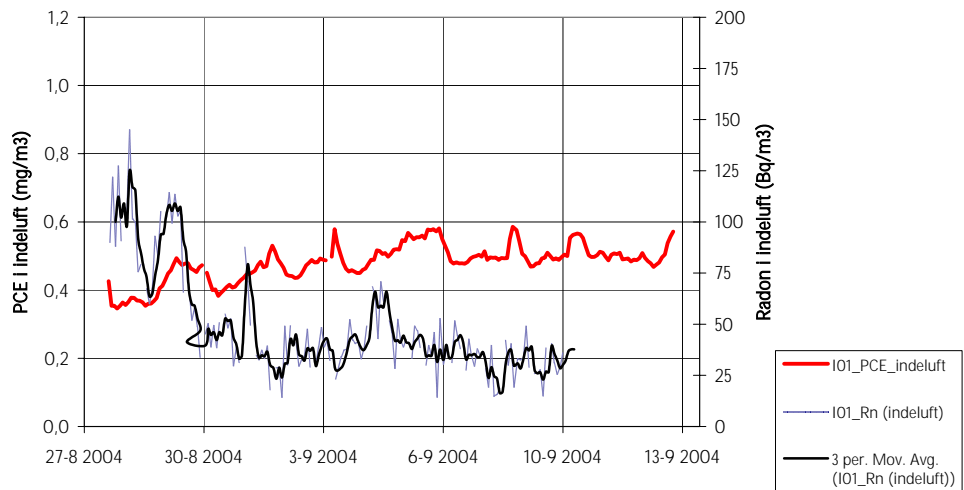
PCE og radon i indeluft, målerunde 1



PCE i indeluft, målerunde 2



PCE og Radon i indeluft, 3. målerunde



Figur 5.20 sammenhæng mellem radon og PCE i indeluft (målefrekvens er hver 2. time). For radon er ligeledes angivet glidende gennemsnit for hver 6. time.

5.7 Sammenligning med JAGG beregninger

Ved vurdering af indeklimarisiko anvendes oftest JAGG modellen (Miljøstyrelsen, 1997). Ved JAGG modellen kan man beregne bidraget til indeklimaet ud fra eksempelvis poreluftmålinger under gulv eller i jorden.

I det følgende sammenlignes beregnede PCE indhold i indeluften med målte koncentrationer. Beregningerne foretages ud fra målte gennemsnitskoncentrationer i de enkelte målerunder.

Tabel 5.26 viser de beregnede og målte PCE i indeluften i kælderlokalet (fællesrummet). Der er udført 2 beregningsscenarier for JAGG beregninger:

1. Her anvendes standardværdier for revner, differenstryk over betondæk (5 Pa) og luftskifte ($0,3 \text{ h}^{-1}$)
2. Her anvendes målte værdier for differenstryk over betondæk, luftskifte og revner.

På forhånd må det fastslås, at det ikke kan forventes, at JAGG beregninger giver det samme som det målte indhold, da nogle af forudsætningerne for anvendelse af JAGG modellen ikke er kendte, herunder at:

- revneudbredelse og revnevidde ikke kendes i målerummet pga. pålimet tæppe
- der sandsynligvis er en markant spredningsvej i støbeskel mellem betongulv og væg, som ikke indgår i JAGG beregningerne,
- betondækket på lokaliteten ikke er armeret som forudsat i JAGG modellen.

På baggrund af de observerede revner i det tilstødende cykelrum og vaske/tørrerum (se bilag 1.17) vurderes det, at der er 30-40 m revner i målerummet med en revnevidde på 0,1 - 1 mm. Det vurderes, at der vil være revner i selve betongulvet og i støbeskel langs vægge. Ved beregning af konvektionsbidraget opløftes revnevidden i 3. potens, hvilket betyder, at det er de største revner som har klart den største betydning, dvs. at revner på 1 mm har langt større betydning end revner på fx 0,1 og 0,3 mm. Ved de gennemførte JAGG beregninger er det forudsat, at 10 % af revnerne har en revnevidde på 1 mm, dvs. at der i JAGG modellen er indsat 3 m som revnelængde og 1 mm revnevidde.

Ved anvendelse af standardværdier i JAGG beregningerne (scenarie 1) ses rimelig overensstemmelse med de målte indhold. De beregnede indhold er generelt lavere end de målte værdier.

Ved anvendelse af målte værdier for luftskifte og differenstryk over betondækket ses indeklimabidraget også at være af nogenlunde samme størrelsesorden, dog med nogen variation mellem runderne.

Sammenfattende må det konkluderes, at de beregnede indeklimabidrag er af nogenlunde samme størrelsesorden som de målte. Da revnevidden har meget stor betydning og at denne ikke kendes i selve målerummet må beregningerne dog siges at være usikre.

Tabel 5.26 Beregnede og målte indeluftkoncentrationer for PCE (mg/m³).

Post	Forudsætninger	Målerunde 1	Målerunde 2	Målerunde 3
Målt PCE indhold under gulv	Middelværdier i de enkelte målerunder	65	50	41
Beregningsscenario 1: Beregnet PCE indhold i kælder Dæmpningsfaktor	Standardværdier i JAGG ¹⁾ ($\Delta P = 5 \text{ Pa}$, $L_s = 0,3 \text{ h}^{-1}$)	0,29	0,226	0,185
		221	221	221
Beregningsscenario 2: Beregnet PCE indhold i kælder Dæmpningsfaktor	$\Delta P = 0,5 - 0,9 - 0,1 \text{ Pa}$ $L_s = 0,78 - 0,32 - 0,32 \text{ h}^{-1}$ Revnevidde = 1 mm Revnelængde = 3 m	0,48	1,59	0,17
		135	31	241
Målt PCE indhold i kælder (I01) Dæmpningsfaktor	$\Delta P = 0,5 - 0,9 - 0,1 \text{ Pa}$ $L_s = 0,78 - 0,32 - 0,32 \text{ h}^{-1}$	0,5	0,36	0,48
		130	139	83

1): $L_s = \text{luftskifte (h-1)} = 0,3 \text{ h}^{-1}$, $\Delta P = \text{diffenstryk over betondæk} = 5 \text{ Pa}$

6 Undersøgelser på lerlokaliteter

6.1 Identifikation af egnede lerlokaliteter

Det var oprindeligt målet at udføre samme måleprogram som for sandlokaliteten på en lerlokalitet. Der blev taget kontakt til en række amter og rådgivere, og en lang række lokaliteter blev screenet for deres anvendelighed til formålet. Tre af lokaliteterne blev udvalgt til besigtigelse, men måtte forkastes af forskellige årsager, se også bilag 5. Efter dette blev formålet og forsøgsplanen på lerlokaliteterne taget op til overvejelse. Det blev i samråd med Styregruppen besluttet at ændre formålet til alene at omfatte forsøg på udearealer, samt væsentligt at reducere omfanget af kontinuerte målinger.

På baggrund heraf blev der iværksat endnu en forespørgsel angående anvendelige lokaliteter hos amter og rådgivere. Det blev besluttet at undersøgelserne skulle udføres på 2 lerlokaliteter, som gerne skulle repræsentere forskellige lertyper.

Udvælgelsen af lerlokaliteterne blev foretaget ud fra følgende kriterier:

- Lokaliteten skal have fyldlag med en maksimal tykkelse på ca. 1 m underlejet af periodisk umættet moræneler til minimum 3 m u.t. Dette begrundes i et ønske om, at der kan måles i forskellige intervaller i det umættede ler, samtidig med at der skal være et lerlag mellem fyldlaget og toppen af sonderingens filtersætning.
- Der udvælges 2 lokaliteter, hvor lertyperne sandet ler samt ler med sprækker og/eller sandslirer, forsøges repræsenteret.
- Lokaliteter, hvorfra rådgivere tidligere har kunnet udtage poreluft foretrækkes.
- Terrænforholdene prioriteres som følger: Helst ubefæstet areal, dernæst flise/stenbelagte områder og sidst asfalterede arealer. Det kan blive nødvendigt at placere forsøgsfeltet over flere typer af befæstning.
- Det skal være gode adgangsforhold, og måleudstyret skal i perioder kunne efterlades ubeskyttet.
- Tilgængelige ubefæstede dele af lokaliteten skal fortrinsvis være omfattet af en poreluftsforurening med primært tetraklorethylen i koncentrationer på 50-1.000 mg/m³.
- Fyldlaget i det tilsigtede prøvetagningsfelt må ikke gennemløbes af ledninger, borer, fundamenter eller andre anlæg og udgravninger samtidig med at moræneleret i det tilsigtede prøvetagningsfelt skal være intakt.

- Forureningen på de enkelte lerlokaliteter skal om muligt hidrøre fra en og samme kilde.
- Der vælges om muligt lokaliteter, hvor det er muligt at placere sondefiltrene i god vertikal afstand til erkendte vandfyldte lag, såsom sekundære magasiner.
- Der må ikke ligge en virksomhed, der anvender chlorerede opløsningsmidler, inden for 300 meter i omkreds fra lokaliteten.

6.2 Forespørgsel hos Amter og andre rådgivere

Med udgangspunkt i ovenstående kriterier rettede Fyns Amt henvendelse til en række amter og rådgivere, som fremkom med en række potentielle lerlokaliteter.

Data for alle de forslåede lokaliteter blev gennemgået, hvorefter de 2 lokaliteter, der matchede udvælgelseskriterierne bedst, blev besigtiget. Disse er benævnt lokalitet L1 og L2, og lokaliteterne er beskrevet i de følgende afsnit.

Ud fra de første forsøgsresultater kunne det konstateres, at det ikke umiddelbart var muligt at suge luft ud af moræneleret, idet moræneleret var vandmættet. Det blev derfor i samråd med Fyns Amt besluttet at undersøge, om det var muligt at udforme en alternativ sonde, som gav en bedre mulighed for at udtage poreluft fra lavpermeable lag. I slutningen af forsøgsperioden kunne der suges luft fra flere sonder på lokalitet L1, men ikke fra nogen sonder fra lokalitet L2. Det blev derfor valgt at koncentrere de supplerende forsøg på lokalitet L1.

6.3 Karakterisering af Lerlokalitet L1

For at opnå det bedst mulige grundlag for undersøgelserne blev der foretaget en detaljeret gennemgang af de arealmæssige, geologiske og forureningsmæssige forhold på lokaliteten.

De primære kilder ved gennemgangen af lokaliteten var to tidligere rapporter fra Københavns Amt (Københavns Amt 2003 og 2004) samt telefonisk kontakt til Krüger (Krüger 2004).

Resultaterne af den detaljerede gennemgang af lokaliteten fremgår af bilag 2.1. Nedenfor findes en kort gennemgang af hovedtrækkene for lokaliteten:

- Lokalitet L1 er beliggende på M.W. Gjøesvej i Reerslev nær Hedehusene.
- Terrænet på lokaliteten hælder i østlig retning, og den geologiske lagfølge på lokaliteten kan beskrives som følgende: Fyld i op til 2 meters dybde, herefter en kvartær morænelersaflejring med en tykkelse på 6-7 meter, der overlejrer en kvartær smeltevandsaflejring, der fortsætter til ca. 25 m u.t. (Københavns Amt 2004). Et geologisk snit af lokaliteten er vedlagt i bilag 2.4.

- Der er lokale vandmættede områder i de øverste 5-6 m, som kun i begrænset omfang er sammenhængende. Et egentligt sekundært magasin ligger dybere.
- Der er generelt varierende permeabilitet i moræneleret med en tendens til større opsprækninger mod bunden af morænelerslaget (Københavns Amt 2004).
- Lokalitet L1 er primært forurenede med tetraklorethylen. I poreluften er der konstateret koncentrationer af tetraklorethylen på op til 520 mg/m³, mens der i grundvandet er fundet fri fase tetraklorethylen. Der er yderligere fundet mindre indhold af triklorethylen (Københavns Amt 2004). Forureningsudbredelsen på lokaliteten fremgår af bilag 2.5 til bilag 2.7.

På baggrund af karakteriseringen blev der udvalgt et forsøgsområde. Forsøgsområdets placering samt placering af øvrige sonderinger, boringer samt bygning mv. på lokaliteten er vist i bilag 2.3.

6.4 Karakterisering af lokalitet L2

For at opnå det bedst mulige grundlag for undersøgelserne blev der foretaget en detaljeret gennemgang af de arealmæssige, geologiske og forureningsmæssige forhold på lokaliteten.

De primære kilder ved karakterisering af lokaliteten var en undersøgelsesrapport fra Københavns Amt (Københavns Amt 2001) samt telefoniske kontakt til Hedeselskabet A/S (Hedeselskabet 2004).

Resultaterne af den detaljerede gennemgang af lokaliteten fremgår af bilag 2.10. Nedenfor findes en kort gennemgang af hovedtrækkene for lokaliteten:

- Lokalitet 2 er beliggende i et industriområde i Glostrup.
- Terræn skræner svagt i SV-lig retning, og den geologiske lagfølge på lokaliteten kan beskrives som følgende: Fyld- og muldlag i op til ca. 1 meters dybde, herefter kvartær moræneler til 6-10 m u.t., der enkelte steder overlejrer et lag af smeltevandssand. Kalkoverfladen træffes 10 til 13 m u.t. (København 2001). Et geologisk snit af lokaliteten er vedlagt i bilag 2.13.
- Det vurderes, at den umættede zone er stærkt påvirket af nedbørsforhold. Det skønnes i Københavns Amt (2001), at sekundære grundvandsforekomster i området er knyttet til mindre og usammenhængende indslag af sand og grus i moræneleret. Grundet den lave mægtighed af den kvartære lagserie kan det ikke udelukkes, at de sekundære magasiner står i forbindelse med det primære magasin i kalken.
- I forbindelse med undersøgelserne i København (2001) samt grundvandspejlingerne i nærværende projekt vurderes det, at den øverste del af moræneleret stedvis er opsprækket samt, at morænelerslaget generelt er vandmættet fra ca. 2-3 m u.t. og ned, men at niveauet for vandmætning er stærkt afhængig af nedbørsforhold.

- Lokalitet 2 er primært forurenet med tetraklorethylen, sekundært triklorethylen. Forureningen med triklorethylen er i enkelte områder større end forureningen med tetraklorethylen. Der er fundet poreluftkoncentrationer af de chlorerede opløsningsmidler på op til 10.000 mg/m³ (Københavns Amt 2001). Forureningsudbredelsen på lokaliteten fremgår af bilag 2.11 samt af det geologiske snit i bilag 2.13.

På baggrund af karakteriseringen blev der udvalgt et forsøgsområde. Forsøgsområdets placering samt placering af øvrige sonderinger, boringer samt bygning mv. på lokaliteten er vist i bilag 2.12.

6.5 Undersøgellesplan for lerlokaliteterne

Jf. kapitel 3 var det målet med undersøgelserne på lerlokaliteterne at belyse i alt 4 delformål. En række aktiviteter knytter sig til delformålene, og disse er opsummeret under det pågældende delformål herunder:

- Delformål 1 - kan det lade sig gøre at suge poreluft ud af forskellige lerformationer ved anvendelse af klassiske sonderinger?
 - Etablering af sonder
 - Kortvarig sugetest for at afklare om der er luftstrømning.
- Delformål 2 - kan udformningen af sonderingerne forbedres således, at sandsynligheden for prøvetagning af poreluft i den umættede zone kan øges?
 - Udvikling af ny sondeudformning
 - Etablering af nye sonder
 - Kortvarig sugetest for at afklare om der er luftstrømning.
- Delformål 3 - hvorledes varierer poreluftskoncentrationen over året?
 - Periodisk kontrol og prøvetagning fra sonder og boringssonder
 - Bestemmelse af vandindhold i jorden og pejling af grundvandsstand.
- Delformål 4 - hvorledes afhænger poreluftskoncentrationen med den valgte pumpestrategi (flow, volumen, tryk mm.)?
 - Forpumpningsforsøg - Betydningen for koncentrationen ved forskellige pumpeflow
 - Udluftningsforsøg - Betydningen af utætheder/udluftning for koncentrationen
 - Intensiveret måling af differenstryk, temperatur, nedbør og koncentration samt logning af grundvandsstand.

Forsøgsplanen til belysning af disse delformål er beskrevet i det følgende.

Generelt gælder, at meteorologiske data indhentes via DMI for hele forsøgsperioden.

6.5.1 Etablering af sonder og kortvarig sugetest

Såvel på lokalitet L1 som L2 placeres i alt 10 sonder i det udvalgte forsøgsfelt.

Sonderne, der anvendes, er Ø22 mm jernrør forsynet med en løs spids.

Spidsen vil ved tilbagetrækning af sonden blive siddende i formationen, hvorved der blotlægges en filterstrækning på for eksempel ca. 40 cm med et tværsnitsareal svarende til sondens tykkelse. Det kunstigt skabte filtervolumen fyldes med sand, således at hullet ikke lukker sig med tiden.

Sonderne placeres parvis i forskellige dybder i moræneleret, idet et sæt sonder placeres i fyldet. Sonde nr. 1 i hver række sættes i fylden lige over moræneleret. Sonde nr. 2, 3, 4 og 5 sættes således, at filterstrækningen dækker forskellige intervaller af 40 cm i leret f. eks. 0,3-0,7 og 0,8-1,2 og 1,3-1,7 og 1,8-2,2 meter under lerets overflade. Sonderne 6-10 sættes tilsvarende sonde 1-5, blot i en anden del af forsøgsfeltet. Efter etableringen af sonderne lukkes sonderne med snap-lock påsat ventiler, således at sonden sikres mod udluftning af jordlagene samtidig med, at der kan foretages målinger af trykdifference samt pumpning.

Det er afgørende, at poreluften omkring sonden forstyrres så lidt som muligt i forbindelse med pumpningen, idet det skal sikres, at sugningen i en given sonde ikke påvirker de øvrige sonder. Der skal derfor arbejdes med forholdsvis lave luftvoluminer og flow.

Der forsøges indledningsvis ved pumpehastigheder på hhv. 100 ml/min i 5 min., 1.000 ml/min i 1 min. samt 5.000 ml/min. i 1 min, men anden løsning kan vælges, såfremt forholdene kræver det. Modtrykket registreres.

Herved afklares det, hvilke sonder der på det pågældende tidspunkt kan suges fra, og som dermed kan anvendes til de øvrige aktiviteter.

Sonderne lukkes forsvarligt og henstår 1-2 uger for at opnå ligevægt inden næste forsøg.

Bemærk at belysning af delformål 2, 3 og 4 forudsætter, at der kan udtages poreluft fra de etablerede sonder.

6.5.2 Udvikling af ny sonde

Da det i løbet af projektet viste sig, at vandmætning/lavpermeable forhold gjorde det umuligt at udtage repræsentative poreluftsprøver fra de traditionelle sonder sat i leret på lokalitet L1 og L2, blev der gjort en række overvejelser mht. alternative sonderingsudformninger.

For begge lokaliteter er der ved tidligere undersøgelser rapporteret om mulighed for at udtage poreluftsprøver. Ydermere kan det konstateres, at vand kan strømme i morænelersformationen og at der periodisk opstår et midlertidigt vandspejl i pejleboringer sat i den ellers umættede zone i leret.

Dette betyder, at der vil være en vis transport af gasformig forurening i de lavpermeable lag ved konvektion og diffusion. Er der tilnærmelsesvis vandfyldte sprækker og slirer, formodes diffusionen at have større betydning end konvektionen.

I det ideelle tilfælde uden vandmætning betyder konvektionen og diffusionen, at poreluften i et mindre sandvolumen, f.eks. en sandslire i moræneleret ved ligevægt, vil være repræsentativ for den forurening, som findes i den

omkringliggende jord. Kunsten er her blot at ramme dette sandvolumen med de traditionelle sonder.

Som alternativ til de traditionelle sonder blev det derfor overvejet, om man kan etablere et tilstrækkeligt stort "kunstigt" porevolumen i ligevægt med den omkringliggende jord til, at en poreluftsprøve kan udtages, og forureningsniveauet kan bestemmes. Et sådant kunstigt porevolumen kan f.eks. være gruskastningen i en boring. Sondetypen kaldes i det følgende en boringssonde.

Skal der udtages repræsentative luftprøver fra lavpermeable lerede materialer kræver dette, at der skabes et tilstrækkeligt porevolumen til, at en repræsentativ delmængde af poreluften kan udtages på egnet adsorbent. Nødvendige luftmængder for at opnå detektionsgrænser på 10-20 % af Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterier er for de fleste stoffer erfaringsmæssig mellem 2 og 10 liter luft.

Sættes eksempelvis et 3 m langt \varnothing 32 mm porelufrør i en 6" boring med 1 m gruskastning og 2 m bentonitprop og antages en porøsitet i gruskastningen på 25 %, vil det samlede volumen af poreluft i gruskastning og rør være ca. 5,5 l, heraf ca. 4,4 l i selve gruskastningen. For en 2 meter gruskastning er voluminet ca. 10,5 l.

Under forudsætning af, at der ikke er fri fase forurening eller vandfyldning i gruskastningen, vil luften i gruskastningen ved ligevægt afspejle den koncentration, der opstår naturligt i f.eks. en sandslire som følge af diffusion af forurening.

Sættes således en gruskastning på 1-2 m, svarende til ca. 10 l kunstig poreluft, kan der principielt undersøges for de fleste stoffer, under forudsætning af, at der ikke foretages forpumpning/renpumpning, at der ikke sker tab af poreluft ved opsætning af udstyr eller at gruskastningen ikke er stoppet til eller fyldt med vand.

Er der god permeabilitet i jorden omkring boringssonen, kan der udtages poreluftsprøver med den tilrådelige ren- og forpumpning.

Ydermere er det selvsagt en forudsætning, at afpropningen er fuldstændig tæt. Da fjernelse af poreluft ved prøvetagningen vil medføre et stigende undertryk i sonden, vil der være en risiko for, at der trækkes vand til sonden eller at undertrykket bliver så stort, at dette begrænser mulighederne for udtagning af luft.

Det blev valgt at afprøve den ovenfor beskrevne boringssonde på lokaliteterne L1 og L2.

For at opnå de bedste muligheder for at sammenligne måleresultater blev boringssonderne etableret med én meter filterstrækning, der blev placeret i niveau med filtersætningerne af lersonderne, som beskrevet i afsnit 6.5.1.

6.5.3 Etablering af boringssonder og kortvarig sugetest

Boringssonderne blev placeret i nærheden af forsøgsfeltet for de traditionelle sonder. Boringssonderne blev udformet som 6 " borer med en \varnothing 32 mm filtersætning med filter og filtersand på den sidste meter. Efterfølgende er der

lukket af mod terræn med ½-1 m beton og herefter bentonit som pellets til terræn.

Efter etableringen blev der efterhældt vand på bentonitten. Betonproppen er anvendt for at sikre, at filtersandet ikke klokkes til af den opslemmede bentonit.

Sonderne blev udstyret med quick-locks shut-off-ventiler, så det var muligt at starte udtagningen af poreluft direkte på adsorbenterne uden tab til omgivelserne.

Der etableredes i alt 3 boringssonder pr. lerlokalitet.

For at kontrollere om der var en luftstrømning i boringssonderne, blev der foretaget indledende kortvarige sugetests. De indledende kortvarige sugetest på boringssonderne blev gennemført som beskrevet i afsnit 6.5.1.

Der henvises til bilag 4 for beskrivelse af forsøgsopstilling.

6.5.4 Periodisk kontrol af sonder og boringssonder

Forsøgene er igangsat ca. 1-2 uger efter etablering af sonder og boringssonder, således at det er sikret, at der er opnået ligevægt i poreluften omkring sonderne.

Der er udført årsvariationsforsøg på begge lokaliteter, idet målerunder er udført på forskellige årstider.

Antallet af sonder, hhv. boringssonder, der løbende skal måles på, kan naturligt være begrænset af, hvor mange, det er muligt at suge poreluft ud af. Det er antaget, at der måles på op til 5 sonder/boringssonder pr. lokalitet, hvoraf den ene skal være placeret i fylDET.

Differenstrykket måles som enkeltbestemmelse inden igangsætning af hver serie af målinger.

Der foretages følgende forsøg:

- **Sonder:** Der gennemføres kortvarige sugeforsøg for at kontrollere, om der er et flow i formationen, se også beskrivelsen i afsnit 6.5.1. Er der flow i sonderne forpumpes til en stabil CO₂ koncentration, hvorefter der udtages poreluftsprøve på ATD-rør ved 100 ml/min, idet der totalt opsamles en luftmængde på ca. 0,5 l. Der foretages dobbeltbestemmelse.
- **Boringssonder:** ATD-rør påsættes boringssonde umiddelbart efter måling af differenstryk, og der suges med et flow på 100 ml/min. Såfremt der ikke kan opretholdes et flow svarende til en oppumpet mængde på min. 2 l betyder dette, at boringssonden er helt eller delvist vandfyldt. Prøven kasseres i dette tilfælde. Såfremt der kan opretholdes et flow svarende til en oppumpet luftmængde på mere end 2 l fortsættes udtagningen. Er der et reelt flow kasseres ATD-røret, og forsøget fortsættes med et nyt ATD-rør. Dette svarer til, at der er foretaget en forpumpning inden prøvetagning.

Efter testene efterlades sonderne og boringssonderne lukkede.

Der måles på de udvalgte sonder i alt 5 gange med ca. 1-2 måneders mellemrum. Der kan vælges større mellemrum mellem målingerne, hvis vejrforholdene kræver dette.

På boringssonderne måles der i alt 2 gange.

På hver lokalitet foretages ved hver målerunde en referencemåling i udeluften ved opsamling på ATD-rør ved et flow på 200 ml/min, idet der pumpes i alt ca. 6 l.

Alle analyser for chlorerede opløsningsmidler udføres som akkrediteret analyse med GC-MS.

Målinger for CO₂ udføres med IR måleudstyr. I forbindelse med alle prøvetagningerne registreres flow og tryk.

Der henvises til bilag 4 for beskrivelse af forsøgsopstilling.

6.5.5 Bestemmelse af vandindhold og pejling af grundvandsstand

Vandindholdet i leret registres i alt 3 gange i undersøgelsesforløbet på hver af lokaliteterne. Dette sker ved, at der tæt ved forsøgsfeltet udtages en prøve af moræneleret til bestemmelse af vandindhold. Prøve af moræneler til vandbestemmelse udtages ved hjælp af sneglebor i en dybde svarende til 0,5 m under morænelerlagets overflade. Prøverne anbringes i forvejede red-cap glas med henblik på bestemmelse af vandindholdet.

Desuden pejles grundvandstanden på begge lokaliteter enten ved at anvende gamle boringer i området eller ved etablering af nye boringer. Eventuelle nye boringer udføres i en passende afstand - f. eks. 10 meter - fra forsøgsfeltet og åbne huller lukkes efterfølgende med bentonit.

6.5.6 Forpumpningsforsøg

Forpumpningsforsøget har til formål at give en indikation af, om den målte koncentration i en sonde ændres som følge af, at der suges væsentlige luftmængder, f.eks. ved længerevarende prøvetagning eller flere prøvetagninger efter hinanden.

For bedst muligt at kunne registrere effekten af en længerevarende prøvetagning måles der kontinuert på koncentrationen af tetraklorethylen i poreluften, mens den suges op af sonderne. Koncentrationen af tetraklorethylen måles med en MIMS, som er nærmere beskrevet i bilag 4.

Forpumpningsforsøget er på lokalitet L1 foretaget i perioden mellem målerunde 4 og 5. De valgte sonder skal have stået urørt i mindst 3 dage inden målingerne.

Det blev valgt at anvende fyldsonde L1-01 samt boringssonderne L1-B3 og B11 til forsøgene. Ved valget af sonderne blev der lagt vægt på, at sonderne skulle repræsentere forskellige forhold af koncentration og filterplacering. Ud fra oplysningerne om forureningsudbredelse som fundet ved tidligere undersøgelser, se bilag 2.5, vurderes det, at L1-01 repræsenterer et filter

placeret i fyldet i udkanten af et forureningsområde, hvor der tidligere var konstateret moderate koncentrationer af forurening. Boringssonderne L1-B3 og B11 er udformet således, at luften der suges op, repræsenterer poreluft fra sprækker mv. i leret. Tidligere målinger i L1-B3 og B11 havde vist henholdsvis "hotspot koncentrationer" og forholdsvis lave koncentrationer.

Der måles på en sonde af gangen. Før opstarten af pumpeforsøgene måles differensterykket på sonderne og i boringssonderne.

Herefter tilkobler et målesystem, hvor en ekstern pumpe pumper poreluft op fra sonden. MIMS'en tilkobles således at den udtager en delstrøm af den luft, der kommer fra pumpen, opstillingen er nærmere beskrevet i bilag 4. Startkoncentrationen registreres som udgangspunkt ved et lavt flow på 100 ml/min, idet det på forhånd formodes, at det lave flow giver det bedste grundlag for at måle en repræsentativ koncentration. Der måles ved et flow på 100 ml/min, indtil der kan registreres en stabil koncentration på MIMS'en.

Efter registrering af startkoncentrationen øges flowet på den eksterne pumpe til 1.000 ml/min. Når der igen registreres en stabil koncentration af tetraklorethylen på MIMS'en, hæves flowet på den eksterne pumpe til 5.000 ml/min, og målingerne af tetraklorethylen fortsætter indtil en stabil koncentration igen er opnået.

Differensterykket registreres jævnlige i sonderne i forbindelse med de kontinuerte målinger, dog som minimum ved start og slut.

Forsøgsopstilling fremgår af bilag 4.

6.5.7 Udluftningsforsøg

Når en sonde har stået åben eller lige er etableret, skabes der sandsynligvis en forstyrrelse af forureningskoncentrationen og trykforholdene i poreluften. Udluftningsforsøgene udføres med henblik på at få en indikation på, hvor meget der skal forpumpes efter en udluftning, for at der igen opnås en konstant koncentration (ligevægt) i den oppumpede luft.

Udluftningsforsøgene udføres på fyldsonde L1-01 og boringssonde L1-B3, der også blev anvendt ved forpumpningsforsøgene, se afsnit 6.5.6.

Udluftningsforsøgene skal som udgangspunkt beskrive den situation, hvor sonden utilsigtet åbnes, mens der er undertryk i sonden. Dette simuleres ved at der pumpes med et moderat undertryk på 15 mbar, hvorefter der åbnes til sonden. Der vil ligeledes blive udført et forsøg, hvor der pumpes ved et højere undertryk, ca. 250-300 mbar lige før udluftningen.

Der måles kontinuert på koncentrationen af tetraklorethylen i poreluften med en MIMS. Forsøgsopstilling er nærmere beskrevet i bilag 4.

Der måles på én sonde af gangen. Der tilkobles et målesystem, hvor en ekstern pumpe pumper poreluft op fra sonden. MIMS'en tilkobles, således at den udtager en delstrøm af den luft, der kommer fra pumpen.

Startkoncentration registreres som den stabile koncentration ved et eksternt pumpeflow på 100 ml/min. Det formodes på forhånd, at lave flow giver det bedste grundlag for at måle en repræsentativ koncentration.

Efter registrering af startkoncentrationen skabes et undertryk på ca. 15 mbar i sonden, hvorefter sonden åbnes pludseligt. Efter 15 minutter henstand lukkes sonden igen. Straks efter lukningen tilkobles MIMS'en og der pumpes med 1.000 ml/min til en stabil koncentration er opnået.

Der udføres forsøg med undertryk på 15 mbar i både L1-01 og L1-B3. I L1-B3 foretages der yderligere et forsøg med udluftning, efter der er pumpet med et undertryk på 250-300 mbar.

6.5.8 Intensiverede målinger

I forbindelse med de naturlige atmosfæriske tryk- og temperaturforandringer vil der skiftevis være over- og undertryk i sonderne. Dette påvirker koncentrationen i poreluften. Ydermere er der mulighed for at grundvandsstanden influerer på koncentrationerne.

For at kunne registrere variationer af koncentrationer som følge af ændringer i de naturlige temperatur-, tryk- og grundvandsniveauer, udføres der intensiverede målinger på udvalgte sonder.

Det blev valgt at anvende fyldsonde L1-06, lersonde L1-07 og boringssonde L1-B2. Ved valget af sonderne blev der primært langt vægt på at udvælge sonder, der repræsenterer forskellige geologiske forhold. L1-06 repræsenterer således et filter placeret i fyldet, mens lersonde L1-07 og boringssonde L1-B2 repræsenterer 2 forskellige sonde- og filtertyper placeret i leret.

På de udvalgte sonder/boringssonde udføres der samtidige og kontinuerte målinger af differenstryk, atmosfæretryk og grundvandsstand over en 3 ugers periode. I løbet af denne 3 ugers periode udtages der 4 prøver af poreluften på ATD-rør fra hver af sonderne/boringssonden til registrering af poreluftens koncentration af tri- og tetraklorethylen. Alle kontinuerte målinger sættes i gang mindst 3 døgn før den første koncentrationsbestemmelse og stoppes 3 døgn efter den sidste koncentrationsbestemmelse.

Grundvandsspejlet registreres i nærliggende boringer med en trykmåler som sænkes ned under grundvandsspejlet i boringerne. De eneste nærtliggende boringer, der var egnede, var boring B10 og boring B13.

Måleopstillingen og udstyret til kontinuert registrering af differenstryk er beskrevet i bilag 4.

6.5.9 Måleprogram, oversigt

Det udførte måleprogram på lokalitet L1 og L2 er skitseret i tabel 6.1 for hhv. sonder og boringssonder.

Tabel 6.1: Måleprogram for lokalitet L1 og L2. Bemærk, at visse undersøgelser alene laves på lokalitet L1 som følge af utilstrækkeligt flow i sonder og boringssonder på lokalitet L2.

Omtalt i afsnit	Måned (2004)	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov	Dec
For lokalitet L1 og L2 (dec. kun L1)										
6.5.1	Etablering af sonder og kortvarig sugetests	■								
6.5.3	Etablering af boringssonder og kortvarige sugetests					■				
6.5.4	Periodisk kontrol på sonder: Differenstryk på poreluftspyd Sugetest Udtagning af luftprøver fra sonder der giver luft samt én ude reference på hver lokalitet. Metode: ATD-rør samt analyse for tetraklorethylen + triklorethylen Måling af flow, tryk og CO ₂ i sonder		■		■			■		■
6.5.3	Periodisk kontrol på boringssonder. Som for sonder, dog om muligt uden forudgående sugetest/forpumpning					■		■		■
6.5.5	Bestemmelse af vandindhold i ler		■			■			■	
6.5.5	Pejling af grundvandstand i udvalgte boringer		■		■	■		■	■	■
For lokalitet L1										
6.5.6	Forpumpningsforsøg							■		
6.5.7	Udluftningsforsøg							■		
6.5.8	Intensiverede målinger							■	■	

Udover de planlagte pejlinger jf. 6.1 blev der udført ekstra pejlerunder på både lokalitet L1 og L2. Tidspunktet for disse pejlerunder fremgår af tabellerne 6.6 og 6.13.

6.6 Etablering og drift af målepunkter, Lokalitet L1

For beskrivelse af det måletekniske udstyr henvises til bilag 4.

6.6.1 Etablering af sonder og kortvarig sugetest

Sonderingerne L1-01 til L1-10 blev etableret d. 1. april 2004 af COWI med håndudstyr, idet poreluftspumper og måleudstyr i COWI's poreluftsbil blev anvendt.

Sonderne blev placeret i det valgte forsøgsfelt, se også afsnit 6.3.4. Sonderne er nummereret fortløbende fra parkeringsarealet mod søen/branddammen, se også situationsplanen i bilag 2.2.

Den første sonde er således sat i et område, hvor der jf. tidligere resultater (Københavns Amt, 2004) må forventes moderate poreluftskoncentrationer af tetraklorethylen på omkring 100 mg/m³, mens de resterende sonder er sat i et område, hvor der tidligere er konstateret poreluftskoncentrationer af tetraklorethylen på op til 520 mg/m³.

Fyldlagets tykkelse blev ud fra tidligere undersøgelser vurderet at være ca. 1-2 m. Tykkelsen af det permeable lag - her primært fyldlaget - blev bestemt ved tilbagetrækning af sonde L1-01 og L1-06 til hhv. 1,6 og 1,15 m.

Sonderne blev endeligt udstyret med snap-locks med ventiler.

Der blev målt modtryk ved forskellige flow på alle de etablerede sonder i henhold til 6.6.2. Sugemodstanden i måleudstyret blev bestemt og resultaterne blev korrigeret herfor. Resultaterne fremgår af tabel 6.2.

6.6.2 Etablering af boringssonder og kortvarige sugetests

Boringssonderne blev etableret d. 5. august 2004. Boringssonderne er benævnt L1-B1 til L1-B3. Boreprofiler fremgår af bilag 2.7. Borearbejdet blev foretaget af Jord Teknik, og COWI førte tilsyn med arbejdet.

Boringssonderingerne L1-B1 og L1-B2 blev placeret i nærheden af forsøgsfeltet med det formål at kunne sammenligne eventuelle resultater og klarlægge de geologiske forhold i nærheden af feltet, se også bilag 2.2.

L1-B3 blev placeret i nærheden af MIP15 i et område, hvor tidligere pejlinger viste et forholdsvis dybtliggende grundvandsspejl og dermed en mulighed for at sætte et filter uden, at dette efterfølgende blev vandfyldt.

Opbygningen af borerne fremgår af boreprofilerne, og det ses, at der er sat 1 m filter i sonderne. De geologiske beskrivelser viser, at der i alle borerne er ca. 1,4-1,6 m fyld, idet den nederste del af fyldet er mørkebrunt, fast, sandet ler. Fyldet er underlejret af moræneler.

Moræneleret karakteriseres i L1-B1 som svagt sandet og let stenet moræneler indtil 2,1 m u.t. Herunder var en slire-serie af sand og ler, der var misfarvet og lugtede af kulbrinter i den nederste del. Fra 2,6 m u.t. kunne konstateres en lysbrun, fast og sandet moræneler med enkelte kalkstykker. Filteret blev sat mellem 1,7 og 2,7 m u.t.

I boringssonde L1-B2 kunne konstateres fyldlag til 1,4 m u.t. af samme karakter som fundet i L1-B1. Herunder kunne konstateres fast, svagt stenet grålig moræneler med okkerstriber. Filteret blev placeret mellem 1,7 og 2,7 m u.t.

I boringssonde L1-B3 bestod fyldlaget af ler og sand, med teglstykker og sten. Herunder var der lysebrunt, fast, let sandet moræneler. Filteret blev placeret 2-3 m u.t.

I forbindelse med borearbejdet blev alene konstateret fugtighed i sonde L1-B1 mellem 2,1 og 2,6 m u.t.

Boringerne blev pejlet ½-1 time, efter de var udført, og pejlingerne viste grundvand i boring L1-B1, mens der kunne spores fugt i bunden af L1-B2 og L1-B3. Resultaterne af pejlingerne fremgår af tabel 6.6.

Der blev foretaget kortvarige sugetest på boringssonderne d. 12. august 2004. Sugetestene viste svagt flow med høje sugemodtryk, på 700-800 mbar i boringssonderne.

6.6.3 Periodiske kontrol og prøvetagning fra sonder og boringssonder

Differenstrykket blev bestemt i alle sonder og boringssonder. Resultaterne fremgår af tabel 6.3.

Flowet i sonder og boringssonder blev kontrolleret. Resultaterne fremgår af tabel 6.4. For de sonder og boringssonder, hvor der kunne konstateres et flow, blev der udtaget poreluftsprøver på ATD-rør. I alt blev sonderne kontrolleret fem gange, og der kunne udtages prøver fra fyldsonderne L1-01 og L1-06 i alt 5 gange. Boringssonderne blev kontrolleret tre gange for flow i forbindelse med målerunderne 3, 4 og 5. Ved målerunde 3, blev der konstateret vand i L1-B1 og L1-B3, men der var fugtigt i bunden af L1-B2. Der kunne kun flyttes et meget lille luftvolumen fra boringssonderne under et højt sugemodtryk, som ikke muliggjorde prøvetagning. Ved 4. og 5. kontrol kunne konstateres et flow, der var tilstrækkeligt til såvel forpumpning som prøvetagning.

Pejlingerne af grundvandsstanden på lokaliteten, se også afsnit 6.6.4, viste, at der var faldende vandstand på ejendommen i løbet af efteråret. Derfor kunne det ultimo august 2004 konstateres, at de eksisterende boringssonder B11 og B15 kunne anvendes til periodisk kontrol af poreluftskoncentrationen. Ifølge oplysninger fra Krüger (2004) er disse boringssonder udført med betonprop og afpropning såvel mod underliggende sandlag som overliggende fyldlag. Boringssonde B11 blev derfor medtaget i målerunde 4 og 5, idet B11 er behandlet på samme måde som projektets øvrige boringssonder.

Undersøgelserne blev foretaget af Eurofins Danmark A/S og resultaterne af de kemiske analyser fremgår af tabel 6.5.

6.6.4 Bestemmelse af vandindhold og pejling af grundvandsstand

Der blev i alt tre gange foretaget bestemmelse af vandindhold i jordprøver udtaget 0,5 m under morænelerets overflade. Udtagningssteder for prøver til vandindhold fremgår af situationsplanen i bilag 2.2. Udtagning af prøver samt vandprøvebestemmelsen blev varetaget af Eurofins Danmark A/S. Resultaterne af bestemmelsen fremgår af tabel 6.6.

Grundvandsspejlet blev pejlet i boring L1-B1 til L1-B3 samt tidligere etablerede boringer B3, B10 til B16 samt MIP-15, -27, -29 og -34. Pejlingerne blev foretaget af Eurofins Danmark A/S samt COWI. Pejleresultaterne fremgår af tabel 6.6.

6.6.5 Forpumpningsforsøg

Forpumpningsforsøget blev gennemført d. 25. – 26. oktober 2004 af Eurofins Danmark A/S under tilsyn af COWI. Forpumpningsforsøget blev gennemført på sonde L1-01 samt boringssonder L1-B3 og B11.

Prøverne blev udtaget gennem et ca. 10 meter langt ¼" kobberrør, der blev tilsluttet sonden med en snapkobling. Pumpeflow blev etableret med to 220V's pumper til henholdsvis et flow på 100-1.000 ml/min og 5.000 ml/min. Kobberrøret gav følgende modtryk:

100 ml/min: 8 cm vandsøjle.
1.000 ml/min: 10 cm vandsøjle.
5.000 ml/min: 41 cm vandsøjle.

Under forpumpningsforsøgene blev det totale modtryk kontrolleret med få minutters mellemrum. Det totale modtryk defineres som modtrykket i

kobberrør + jordmatrice. Da MIMS-resultaterne er afhængige af det tryk, hvorunder de måles, er alle MIMS resultater korrigeret for det totale modtrykstab.

Det aktuelle flow målt med kugleflowmeter, og vakuomet blev målt med differenstrøkmåner med måleområde 0-160 cm vandsøjle og 0-1 Bar.

MIMS-målingerne blev foretaget på en delmængde (100 ml/min) af den totale udtagne prøvemængde.

MIMS-målingerne blev opstartet samtidig med, at kobberrøret blev tilsluttet sonden/boringssonden. Dette betyder, at en del af den første luft fra sonden har været fortyndet. Efter tilkoblingen/opstarten af MIMS'en gik der 0,5 min, før den første MIMS-måling blev registreret. Dette svarer til, at der er pumpet 0,05 liter, idet kobberrøret har et volumen svarende til 0,03 liter. Det vurderes derfor, at prøvetagningsudstyret i væsentlig omfang er tømt, inden den første måling er foretaget.

Mellem hver prøvetagning var det nødvendigt at flytte MIMS'en, og derfor blev instrumentet slukket. Det tager normalt ½-1 time før instrumentet fungerer optimalt efter start. Der blev derfor foretaget kalibrering før og efter hver måleserie. Til kalibrering benyttedes en standardgas indeholdende 1.040 mg/m³ tetraklorethylen i nitrogen. Blindprøver består af luft rensset med aktivt kul.

Det er fravalgt at måle for indhold af CO₂ under såvel pumpeforsøgene som udluftsforøgene. Dette begrundes såvel i måletekniske forhold, som i at anvendelse af CO₂ indhold som indikator for lækage mod terræn kan være misvisende i lerformationer grundet redoxprocesser i jorden: Selvom der ikke er lækage mod terræn, kan CO₂ koncentrationen være meget lav eller nul. Forholdet er velkendt fra bl.a. kontinuerede poreluftmålinger, og CO₂ målinger kan således alene bruges til at sige, om der trækkes poreluft op i det tilfælde, hvor der er CO₂.

6.6.6 Udluftsforø

Udluftsforøgene blev gennemført d. 26. oktober 2004 af Eurofins Danmark A/S under tilsyn af COWI. Forsøgene blev udført på sonde L1-01 og boringssonde L1-B3.

Prøverne ved udluftsforøget blev udtaget på samme måde som under forpumpningsforøgene og pumperater og modtryk var de samme (se afsnit 6.6.5).

Ved udluftsforøgene blev startkoncentrationen i sonden bestemt ved prøvetagning med 100 ml/min til maksimum-koncentrationen var nået. Derefter skabtes et undertryk på 15 mbar i sonden. Kobberrøret åbnedes til atmosfæren umiddelbart over sonden. Sonden blev holdt åben i 15 minutter, hvorefter sonden blev lukket, og der blev pumpet med 1.000 ml/min til konstant koncentration. Der blev foretaget MIMS-målinger af tetraklorethylen gennem hele forløbet.

For boringssonde L1-B3 blev der umiddelbart efter afslutning af forøget med 15 mbar foretaget yderligere et forøget med et vakuum på 250-300 mbar.

6.6.7 Intensive målinger

De intensiverede målinger af differenstryk blev udført på fyldsonde L1-06, lersonde L1-07 og boringssonde L1-B2 af Eurofins Danmark A/S i perioden fra den 8. oktober til den 15. november 2004. De fire udtagninger af ATD-rørsprøver blev foretaget henholdsvis den 19., 22., 25. og 29. oktober 2004.

ATD-rørsprøverne blev udtaget med et flow på 100 ml/min. Under forpumpningen blev der registreret differenstryk samt indhold af CO₂. Der blev pumpet indtil CO₂-indholdet var stabilt, hvorefter ATD-rørsprøven blev udtaget.

COWI opsatte loggere til registrering af grundvandsspejl i boringerne B10 og B13 d. 8. okt. 2004. Grundvandsloggerne blev nedtaget d. 15. nov. 2004 af Eurofins Danmark A/S.

6.7 Etablering og drift af målepunkter, Lokalitet L2

For beskrivelse af det måletekniske udstyr henvises til bilag 4.

6.7.1 Etablering af sonder og kortvarige sugetest

Sonderingerne L2-01 til L2-10 blev etableret d. 1. april 2004 af COWI med håndudstyr. Alle målinger blev foretaget af COWI med poreluftspumper og måleudstyr fra COWI's poreluftsbil.

Sonderne er placeret i den nordligste del af bedet langs det østlige skel/hegn, se også situationsplanen i bilag 2.12. Sonderne er nummereret fortløbende fra nord mod syd, og placeringen fremgår af situationsplanen i bilag 2.12. Efter sætning af sonderne blev disse trukket ca. 40 cm tilbage, og der blev fyldt filtersand i hulrummet. Sonderne L2-05 og L2-10 måtte opgives pga. hårde aflejringer i jorden.

Ud fra tidligere undersøgelser blev det vurderet, at fyldlagets tykkelse var mellem 1 og 2 m. Tykkelsen af det permeable lag, hvilket primært vil være fyldmaterialer, blev bestemt til hhv. 1,2 og 0,9 m ved tilbagetrækning af sonde L2-01 og L2-06.

Der blev målt modtryk ved forskellige flow på alle de etablerede sonder. Sugemodstanden i måleudstyret blev bestemt, og resultaterne blev korrigeret herfor. Resultaterne fremgår af tabel 6.9.

Sonderne blev endelig udstyret med snap-locks med ventiler, som muliggør direkte tilkobling af tryktransducere og måleudstyr i øvrigt, uden at sonden åbnes.

6.7.2 Etablering af boringssonder og kortvarige sugetest

Den 20. juli 2004 blev der etableret 3 boringssonder på lokalitet L2. Boringssonderne er benævnt L2-B2 til L2-B4 og deres placering fremgår af bilag 2.12. Boreprofiler for L2-B2 til L2-B4 fremgår af bilag 2.14. Borearbejdet blev foretaget af Jord Teknik, og COWI førte tilsyn med

arbejdet. Før etableringen af boringssonderne L2-B2 til L2-B4 blev der jf. afsnit 6.7.4 udført en pejleboring benævnt L2-B1.

Opbygningen af boringerne fremgår af boreprofilerne, og det ses, at der er sat 1 m filter 2-3 m u.t. De geologiske beskrivelser viser, at der i boringssonderne L2-B1 til -B4 er 40-60 cm fyld underlejret af moræneler. Moræneleret karakteriseres som gulbrun/gulgrå, som med dybden bliver mere gråbrun, siltet til stærkt sandet. I den øverste del af moræneleret i L2-B2 til -B4 er der i den øverste meter af moræneleret konstateret lokale fugtige "sandpletter" med diameter på 1-2 cm.

Fyldlagstykkelsen er væsentlig mindre end forventet ud fra Københavns Amt (2001) samt feltobservationerne ved etableringen af sonderne, hvor tilbagetrækning viste permeable lag indtil ca. 0,6-1,0 m u.t. Trods det mindre fyldlag blev det valgt at etablere filtrene i boringssonderne i 2-3 m's dybde. Dette blev gjort for at sikre, at der kunne etableres en afpropning til fyldlaget med beton og bentonit på minimum 1 m's tykkelse for at undgå de vandmættede sandpartier i den øverste del af morænen og for at muliggøre, at resultaterne ville være sammenlignende med resultaterne fra sonderne.

I forbindelse med borearbejdet blev der ikke konstateret vand i boringssonderne L2-B2 og L2-B3, trods en vis fugtighed i sandpartierne. Boringssonde L2-B04 var næsten halv fyldt med vand ved afslutningen af borearbejdet.

Efter etablering og tømning af boringssonderne kunne det konstateres, at boringssonderne relativt hurtige (inden for skønsomt ½-1 time) blev vandfyldte. Dette tages som et udtryk for, at de filtersatte områder er permeable.

Boringssonderne L1-B2 til L1-B4 blev således pejlet ½-1 time efter etablering og pejlingerne viste grundvand i alle boringer. Resultaterne af pejlingerne fremgår af tabel 6.13.

Der blev foretaget en kortvarig sugetest på boringssonderne d. 12. august 2004. Der kunne ikke konstateres et flow i boringssonderne, som muliggjorde udtagning af prøver.

6.7.3 Periodiske kontrol og prøvetagning fra sonder og boringssonder

Der blev gennemført i alt fem, hhv. tre periodiske kontroller af sonder og boringssonder på lokalitet L2 i perioden maj til nov. 2004.

Ved hver kontrol blev differenstrykket bestemt i alle sonder og boringssonder. Resultaterne fremgår af tabel 6.11.

Flowet i sonder og boringssonder blev kontrolleret. Resultaterne fremgår af tabel 6.9. For de sonder og boringssonder, hvor der kunne konstateres et flow, blev der udtaget poreluftsprøver på ATD-rør.

Sugekontrollerne af sonderne viste, at der alene kunne udtages prøver fra fyldsonderne L2-01 og L2-06 i alt 5 gange. Analyseresultaterne fremgår af tabel 6.12.

Der kunne ikke ved prøvetagningerne på boringssonderne konstateres et tilstrækkeligt flow til prøvetagning direkte på ATD-rør. Efterfølgende

pejlinger af boringssonderne viste, at filtret i alle boringssonderne var vandfyldte.

6.7.4 Bestemmelse af vandindhold og pejling af grundvandsstand

Der blev i alt tre gange foretaget bestemmelse af vandindhold i jordprøver udtaget 0,5 m under morænelerets overflade. Udtagningssteder for prøver til vandindhold fremgår af situationsplanen i bilag 2.12. Udtagning af prøver samt vandprøvebestemmelsen blev varetaget af Eurofins Danmark A/S. Resultaterne af vandindholdsbestemmelsen fremgår af tabel 6.13.

Da det viste sig, at en tidligere udført filtersat boring på lokalitet L2 ikke var tilgængelig, blev der d. 14. maj 2004 etableret en pejleboring på lokaliteten L2. Boringen er benævnt L2-B1. Boreprofilen for L2-B1 fremgår af bilag 2.11. Borearbejdet blev foretaget af Jord Teknik, og COWI førte tilsyn med arbejdet.

Grundvandspejlinger blev udført i boring L2-B1 samt boringssonderne L2-B2 til -B4. Resultater af pejlingerne fremgår af tabel 6.13.

6.7.5 Øvrige forsøg

Da de periodiske kontroller af sonder og boringssonder viste, at der var vandfyldte filtre i langt størstedelen af sonder og i alle boringssonderne, blev det valgt at alene at fortsætte med de supplerende forsøg på lokalitet L1.

6.8 Resultater - Lokalitet L1

6.8.1 Sugforsøg ved etablering af sonder og boringssonder

I forbindelse med sugforsøgene foretaget umiddelbart efter etablering af sonderne blev modtryk ved forskellige flow registreret. Resultaterne fremgår af nedenstående tabel 6.2. Ved sugning på sonderne sat i fyldet kunne konstateres et undertryk i sonderne L1-01 og L1-06 på 10.000 Pa efter korrektion for sugemodstanden på udstyret. Det fremgår af tabellen, at det ikke var muligt at suge poreluft ud af sonderne sat i moræneleret. Det vurderes, at det manglende flow i lersonderne skyldes vandmætning af leret. Morænelerets overflade er beliggende ca. 1,15-1,6 m u.t.

Tilsvarende blev der efter etablering af boringssonderne foretaget sugetest. Resultaterne fremgår også af tabel 6.2.

Tabel 6.2: Placering af filtre i sonder og boringssonder på lokalitet L1 samt modtryk ved sugning umiddelbart efter etablering. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsonde i forhold til atmosfæren. Resultaterne er korrigeret for modtryk i udstyret. Målingerne blev foretaget hhv. den 1. april og d. 5. august. 2004, svarende til samme dag som sonderne hhv. boringssonderne blev etableret.

Nr	Formodet geologi	Filter m u.t.	Sugeforsøg ved nedenstående flow		
			100 ml/min, 1 min	1.000 ml/min, 1 min	5.000 ml/min, 5 min
Sonder					
L1-01	Fyld, hvor nederste del er stærkt leret	1,4-1,6	Rigeligt luft -10.000 Pa	Rigeligt luft -10.000 Pa	Rigeligt luft -10.000Pa
L1-02	Moræneler, svagt stenet og formodet forvitret	2,0-2,4	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-03		2,4-2,8	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-04	Moræneler	2,8-3,2	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-05		3,2-4,0	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-06	Fyld, hvor nederste del er stærkt leret	0,95-1,15	Rigeligt luft -10.000 Pa	Rigeligt luft -10.000 Pa	Rigeligt luft -10.000 Pa
L1-07	Moræneler, svagt stenet og formodet forvitret	2,0-2,4	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-08		2,4-2,8	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-09	Moræneler	2,8-3,2	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L1-10		3,2-4,0	Vakuum	Vakuum	Vakuum
Boringssonder					
L1-B1	Sandet stenet moræneler. Indslag af slirer af sand og ler, misfarvning	1,7-2,7	Pumpeforsøg med flow op til mere end 2.500 ml/min viste svagt flow i boringssonderne og høje sugemodtryk på 700-800 mbar.		
L1-B2	Moræneler, fast, svagt stenet, grå	1,7-2,7			
L1-B3	Moræneler, fast, let sandet, lysebrun	2-3			

Det kan konstateres, at der alene ved den indledende sugetest kunne trækkes luft fra sonderne sat i fyldet.

Der er påfaldende, at modtrykket i fyldsonde L1-01 og L1-06 er uafhængig af flowet. Årsagen hertil kendes ikke.

6.8.2 Resultater af periodiske målerunder på sonder og boringssonder

Af nedenstående tabel 6.3 fremgår differenstrykmålingerne bestemt på sonderne og boringssonderne i forbindelse med de periodiske målerunder. Bemærk, at boringssonde B11, som er etableret ved et tidligere projekt, er medtaget i runde 4 og 5, idet disse vurderes som værende udbygget forsvarligt, og filtret i disse blev konstateret tilstrækkeligt tørt før 4. målerunde.

Tabel 6.3: Differenstræk målt på sonder på lokalitet L1. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsonde i forhold til atmosfæren. Alle værdier i Pa.

Lokalitet L1 nr.	Filter m u.t.	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5
		14. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	8. okt. 04	15. nov. 04
Sonde						
L1-01	1,4-1,6	2	0	-7	14	4
L1-02	2,0-2,4	-650	-1.000	-9.000	-4.100	-800
L1-03	2,4-2,8	10	-11	-20	-2.100	-400
L1-04	2,8-3,2	170	-13	360	-50	130
L1-05	3,2-4,0	*	130	-40	90	-500
L1-06	0,95-1,15	1	-120	-10	-2	^b
L1-07	2,0-2,4	180	-6.300	-30	-4.000	^b
L1-08	2,4-2,8	-1.000	-5.300	-1.000	-4.300	100
L1-09	2,8-3,2	*	*	20	-2.700	-700
L1-10	3,2-4,0	Tvivl om tæthed, hvorfor sonden udelades af målingerne				
Boringssonder		14. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	15. dec. 04	22. dec. 04
L1-B1	1,7-2,7				230 ^a	-40 ^a
L1-B2	1,7-2,7				28 ^a	-3 ^a
L1-B3	2-3				37 ^a	-13 ^a
B11	3-5				610 ^a	590 ^a

*: Ventil tilstoppet

a: Målingerne udført på boringssonderne den 8. okt. og 15. nov. blev gentaget hhv. den 15. dec. og 22. dec. 2004. Årsagen var, at prøverne, der blev udtaget fra boringssonderne ved målerunde 4 den 8. okt. blev udtaget på kulrør grundet risikoen for at få overload på ATD-analyseapparatet. Der blev ved udtagningen anvendt et flow på 1.000 ml/min. Da resultaterne af de efterfølgende pumpningsforsøg viste, at pumpeflowet har stor betydning for forureningsniveauet som måles, blev det valgt at gentage runden med ATD-rør og et flow på 100 ml/min. Da der ydermere var problemer med entreprenørarbejdet, der kun gjorde det muligt at udføre prøvetagning på halvdelen af boringssonderne i runde 5, blev det valgt at gentage såvel runde 4 som runde 5 på boringssonderne.

b: Anvendes til kontinuert logning af differenstræk

Det fremgår af tabel 6.3, at differenstrækket varierer meget over tiden i de fleste sonder. Ydermere kan det konstateres, at der er stor variation fra sonde til sonde mht. differenstrækket. Der er en tendens til, at de største differenstræk opstår i den øvre del af moræneleret (L1-02 og -03 samt L1-07 og L1-08).

Hvad angår boringssonderne fremgår det, at der er en mindre variation i differenstrækket fra sonde til sonde og fra målerunde til målerunde.

Sonderne gennemgår efter differenstræk målingerne en sugetest, for at se om der er tilstrækkeligt, luft til at udtage en prøve. Ud fra en formodning om, at morænelerets top er meget vandmættet og dermed impermeabel, kan der muligvis forekomme perioder, hvor filtret ikke eller kun i begrænset omfang kan udligne tryk med omgivelserne. De stigende differenstræk i f.eks. L1-02 kan derfor ikke udelukkes helt eller delvist at skyldes sugeforsøgene ved hver målerunde.

Der blev herefter udtaget poreluft på ATD-rør fra de sonder og boringssonder, hvorfra der kunne suges poreluft. Dette svarer til, at der er udtaget prøver i alle runder fra sonde L1-01 og L1-06, begge sat i fylden. Fra boringssonderne er der udtaget prøver i 4. og 5. runde fra L1-B1, L1-B2, L1-B3 samt B11.

Der er også foretaget måling i udeluften.

Oplysninger om flow og modtryk under udtagningen fremgår af tabel 6.4, mens analysedata fremgår af tabel 6.5.

Tabel 6.4. Målt tryk og flow under udtagning af poreluftsprøve fra sonder og boringssonder. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsonde i forhold til atmosfæren.

Lokaltet L1 Sonder	Runde 1 14. maj 04	Runde 2 28. juni 04	Runde 3 12. aug. 04	Runde 4 8. okt. 04	Runde 5 15. nov. 04
Sonde L1-01 (Fyld)					
Flow, (ml/min)	100	100	200	100	100
Modtryk, (Pa)	-3.000	-5.000	0	-5.000	-5.000
Sonde L1-06 (Fyld)					
Flow, (ml/min)	100	100	100	100	100
Modtryk, (Pa)	-4.900	-5.000	0	-5.000	-2.500
Boringssonder	14. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	15. dec. 04	22. dec. 04
Boringssonde L1-B1 (Moræneler)					
Flow, (ml/min)				100 ^a	100 ^a
Modtryk, (Pa)				-17.500 ^a	-7.500 ^a
Boringssonde L1-B2 (Moræneler)					
Flow, (ml/min)				100 ^a	100 ^a
Modtryk, (Pa)				-10.000 ^a	-8.000 ^a
Boringssonde L1-B3 (Moræneler)					
Flow, (ml/min)				100 ^a	100 ^a
Modtryk, (Pa)				-10.000 ^a	-7.500 ^a
Boringssonde B11 (Moræneler)					
Flow, (ml/min)				100 ^a	100 ^a
Modtryk, (Pa)				-14.000 ^a	-7.500 ^a

a: Målingerne udført på boringssonderne den 8. okt. og 15. nov. blev gentaget hhv. den 15. dec og 22. dec. 2004. Årsagen var, at prøverne, der blev udtaget fra boringssonderne ved målerunde 4 den 8. okt. blev udtaget på kulrør grundet risikoen for at få overload på ATD-analyseapparatet. Der blev ved udtagningen anvendt et flow på 1.000 ml/min. Da resultaterne af de efterfølgende pumpningsforsøg viste, at pumpeflowet har stor betydning for forureningsniveauet som måles, blev det valgt at gentage runden med ATD-rør og et flow på 100 ml/min. Da der ydermere var problemer med entreprenørarbejdet, der kun gjorde det muligt at udføre prøvetagning på halvdelen af boringssonderne i runde 5, blev det valgt at gentage såvel runde 4 som runde 5 på boringssonderne.

Af tabel 6.5 fremgår resultaterne af IR-målingen for CO₂ samt resultaterne af de akkrediterede kemiske analyser af poreluft og udeluft udtaget på ATD-rør.

Tabel 6.5 Resultater af periodiske målinger på boringssonder, sonder og udeluft, lokalitet L1. Alene resultaterne af sonde L1-01 og L1-06 er gengivet, idet det ikke var muligt at suge poreluft fra de øvrige sonder eller boringssonderne. Alle analyser er foretaget af Eurofins Danmark A/S.

Lokalitet L1	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5
	14. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	8. okt. 04	15. nov. 04
Sonde L1-01 (Fyld)					
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	52.000	1.900	380.000	45.000	23.000
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	210	7.500	1.500	700
CO ₂ , (vol. %)	0,5	1,7	6,2	0,7	0,8
Sonde L1-06 (Fyld)					
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>16.000.000	1.400.000	25.000.000	10.000.000	18.000.000
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	270.000	25.000	460.000	180.000	350.000
CO ₂ , (vol. %)	4	5,5	8,1	3,1	4,7
Boringssonder	14. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	15. dec. 04	22. dec. 04
Boringssonde L1-B1 (Moræner)					
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				88.000 ^a	300.000 ^a
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				51.000 ^a	110.000 ^a
CO ₂ , (vol. %)				4,0 ^a	4,0 ^a
Boringssonde L1-B2 (Moræner)					
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				2.500.000 ^a	2.900.000 ^a
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				78.000 ^a	89.000 ^a
CO ₂ , (vol. %)				4,1 ^a	3,7 ^a
Boringssonde L1-B3 (Moræner)					
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				870.000 ^a	150.000 ^a
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				1.300 ^a	41 ^a
CO ₂ , (vol. %)				1,5 ^a	2,1 ^a
Boringssonde B11 (Moræner)					
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				2.900 ^a	2.000 ^a
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				580 ^a	1.000 ^a
CO ₂ , (vol. %)				2,2 ^a	2,9 ^a
Udeluft	14. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	8. okt. 04	15. nov. 04
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,47	3,4	14	4,8	1,5
Trikllorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	<0,1	0,47	3,0	<0,1	0,26

a: Målingerne udført på boringssonderne den 8. okt. og 15. nov. blev gentaget hhv. den 15. dec og 22. dec. 2004. Årsagen var, at prøverne, der blev udtaget fra boringssonderne ved målerunde 4 den 8. okt. blev udtaget på kulrør grundet risikoen for at få overload på ATD-analyseapparatet. Der blev ved udtagningen anvendt et flow på 1.000 ml/min. Da resultaterne af de efterfølgende pumpningsforsøg viste, at pumpeflowet har stor betydning for forureningsniveauet som måles, blev det valgt at gentage runden med ATD-rør og et flow på 100 ml/min. Da der ydermere var problemer med entreprenørarbejdet, der kun gjorde det muligt at udføre prøvetagning på halvdelen af boringssonderne i runde 5, blev det valgt at gentage såvel runde 4 som runde 5 på boringssonderne.

Det fremgår af resultaterne i tabel 6.5, at trods målerunder under forholdsvis forskellige vejrforhold og anvendelse af forskellige typer af sonder, har det ikke været muligt at suge poreluft ud af sonder sat i moræner frem til og med målerunde 3. Dette er i god overensstemmelse med, at der jævnfør pejleresultaterne, som fremgår af tabel 6.6, har været forholdsvis høj grundvandstand på lokaliteten. Ved målerunderne 4 og 5 samt ved de intensiverede målinger mellem runde 4 og 5 var det muligt at suge luft fra boringssonderne L2-B1 til L2-B3 samt fra den ene af sonderne sat i leret L2-07. Dette er i god overensstemmelse med at pejlingerne, som blev udført ved målerunde 4 og 5, viser et fald i grundvandsstanden på lokaliteten.

Tidslige variationer i det enkelte målepunkt

I den enkelte sondering kan der konstateres variationer i koncentrationen af tetraklorethylen fra målerunde til målerunde svarende til op til en faktor ca. 200 og en faktor ca. 18 for hhv. sonde L1-01 og L1-06. Variationsintervallet for L1-06 dækker også resultaterne fra de intensiverede målinger, se også afsnit 6.8.6. Idet der henvises til afsnit 6.8.6, kan det konstateres, at for boringssonde L1-B2, hvor man ud over målingerne i runde 4 og 5 har

gennemført yderligere 4 målinger under de intensiverede målinger, kan der konstateres en tidlig variation på en faktor ca. 2. Lignende forhold ses i lersonde L1-07.

Der er således ved de aktuelle målinger i sonder og boringssonder konstateret en **tidlig variation på op til ca. 2 størrelsesordener i fyldet**. Korttidsvariationerne i moræneleret er ved de aktuelle målinger væsentlig mindre end i fyldet. Anvendes det forholdsvis lave antal målinger som retvisende for korttidsvariationen i moræneleret, fremgår det, at koncentrationerne varierer mellem en faktor 0,3 og en faktor ca. 6, regnet som startkoncentrationen i forhold til slutkoncentrationen.

Af tabel 6.5 fremgår det, at CO₂ niveauet i poreluften varierer med op til en faktor 12 gennem målerunderne i sonde L1-01, mens variationen i L1-06 er væsentlig mindre (en faktor ca. 2). Der er ingen umiddelbar sammenhæng mellem koncentrationsniveauerne for tetraklorethylen og CO₂.

Variationer i CO₂ koncentrationen kan skyldes flere ting. Primært vurderes indholdet af CO₂ ikke at skyldes nedbrudt forurening med chlorerede opløsningsmidler men i stedet nedbrydning af anden organisk materiale. Der er således ingen forventning om, at CO₂ koncentrationen skal følge koncentrationen af tetraklorethylen. Dog er tilstedeværelsen af CO₂ en god indikator for, at der suges poreluft.

Også i koncentrationerne af de målte stoffer i udeluften kan der konstateres væsentlige variationer over tid. Udeluftskoncentrationen af tetraklorethylen målt som korttidsmålinger med ATD-rør varierer mellem 0,47 og 14 µg/m³, svarende til en faktor knap 30 eller mindst en størrelsesorden.

Resultater i forhold til tidligere målinger på ejendommen

Ifølge oplysninger fra Krüger (2004) er der ikke tidligere foretaget poreluftsmålinger i fyldet. Det er derfor ikke muligt at bestemme langtidsvariationen i fyldet på lokalitet L1.

Ved tidligere udførte poreluftsmålinger i moræneleret udført af Københavns Amt i okt./nov. 2003 er der konstateret koncentrationer af tetraklorethylen på 110 og 13 mg/m³ i hhv. boringssonde B10 og B11 sat i moræneler. I B15, som også er placeret i moræneler, er der konstateret 520 mg/m³. Tilsvarende er der i samme boringssonder konstateret indhold af trikllorethylen på hhv. 5,5; 13 og 27 mg/m³ (Københavns Amt 2004). (Se også bilag 2.6 for tetraklorethylen data.)

Da der i nærværende undersøgelse er konstateret et tetraklorethylen indhold i poreluften i boringssonde B11 på 0,20 og 0,29 mg/m³, kan der således fra efteråret 2003 til efteråret 2004 konstateres et fald i koncentrationen af tetraklorethylen på en faktor 65 eller knap 2 størrelsesordener. Dette indikerer, at der i moræneler forekommer tidlige variationer i poreluftskoncentrationen, som er større end en faktor 0,3-6, som er konstateret ved nærværende undersøgelser.

Arealmæssig variation

Fyldsonderne L1-01 og L1-06 er placeret ca. 14 meter fra hinanden og er begge sat i fyldlaget. Det fremgår af tabel 6.5, at forureningsniveauerne er meget forskellige. Den horisontale transport af forurening i det forholdsvis porøse fyld er således ikke større end, at der kan opstå koncentrationsforskelle

af tetraklorethylen over ca. 10-15 meter på mellem en faktor knap 70 (runde 3) og mere end en faktor knap 800 (runde 5).

Af de intensiverede målinger i afsnit 6.8.6, kan der for lersonde L1-07 og boringssonde L1-B2, som begge er sat i leret i en indbyrdes afstand på ca. 10 m, konstateres en arealmæssig variation på op til en faktor knap 300 (måling 1).

Der kan således konstateres en naturlig variation på op til **næsten 3 størrelsesordner** afhængig af de **arealmæssige forhold**.

I relation til risikovurderinger indikerer disse resultater, at placering af undersøgelsepunkter kan være afgørende for beskrivelsen af risikoen ved en given forurening.

Det kan således konstateres, at der må forventes væsentlige variationer i poreluftskoncentrationer fra sonde til sonde over tid og særligt over sted.

Data behandles i forhold til øvrige data, herunder klimatiske data, i afsnit 6.10.

6.8.3 Resultater af grundvandspejlinger og vandindhold

Af tabel 6.6. på næste side fremgår resultaterne af pejlinger af grundvandsspejlet samt bestemmelser af vandindhold i jordprøverne.

Det fremgår af tabel 6.6, at grundvandspejlet i de enkelte boringer og sonder varierer meget i måleperioden. Eksempelvis er i boring B3 fundet en forskel i grundvandsstanden på ca. 2,8 meter over 2 målerunder, der er foretaget med kun 11 dages mellemrum. Vandindholdet ses ikke at variere i samme grad. Det kan dog ikke udelukkes, at vandindholdet varierer mere andre steder på lokaliteten.

Generelt står grundvandsstanden højt i alle boringer hen over sommeren med en tendens til faldende grundvandsstand i efteråret.

Det formodes, at de pejlrede grundvandsforekomster i tabel 6.6 kun i begrænset omfang er sammenhængende, idet de ikke varierer med samme rytme. De konstaterede variationer skyldes således såvel sæsonvariationer, med det formodentlig laveste vandspejl i sensommeren/begyndelsen af efteråret som korttidsvariationer som følge af opfyldning af porerne ved et regnskyl, f.eks. 19. okt. 2004. Grundvandsstandens påvirkning af f.eks. et regnskyl forventes at være større og ske hurtigere i de terrænnære boringsfiltre, bl.a. som følge af at toppen af moræneleret er forvitret. Der sker en hurtig opfyldning af porerne, mens afdræningshastigheden kan variere bl.a. på grund af forskelligheder i permeabiliteten i de underliggende lag.

Det kan ikke udelukkes, at der i det dybereliggende filter i MIP15 er mindre variation i grundvandsstanden, som følge af at filteret sidder dybere end i de øvrige boringer/sonder.

Der henvises i øvrigt til logningen af grundvandsstanden i udvalgte boringer, se afsnit 6.10.

Tabel 6.6: Periodiske pejlinger af grundvandsspejlet samt vandindholdsbestemmelser, Lokalitet L1

Lokalitet L1	Filter interval m u.t.	Ekstra	Runde 1	Runde 2	Ekstra	Runde 3	Runde 4	Ekstra	Runde 5	Runde 4	Runde 5	
		Feb. 04	14. maj 04	25.-28. juni 04	5. aug. 04	12. aug. 04	8. okt. 04	19. okt. 04	26. okt. 04	15. dec. 04	15. nov. 04	22. dec. 04
Pejling af grundvandsspejl, m u.t.												
L1-B1	1,7-2,7	-	-	-	2,20 ^b	1,93	-	-	-	1,73 ^c	2,56	1,83 ^c
L1-B2	1,7-2,7	-	-	-	Tør ^b	Tør	Tør	-	-	1,98 ^c	2,59	1,94 ^c
L1-B3	2-3	-	-	-	Tør ^b	2,85	Tør	-	-	2,64 ^c	2,82	2,95 ^c
B3	?-3,8	-	3,15	2,61	1,45	1,81	3,72	0,94	1,44	-	1,50	-
B10	3,0-5,0	-	-	1,77	2,56	1,43	3,22	3,25	3,12	-	3,20	-
B11	3,0-5,0	-	-	-	4,45	4,37	Tør ^c	-	-	-	-	3,92 ^c
B12	3,0-5,0	-	-	-	-	-	Tør ^c	Tør	Tør	-	-	-
B13	3,0-5,0	-	-	-	-	-	4,08	-	3,87	-	3,20	-
B14	3,0-5,0	-	-	-	-	-	Tør	Tør	Tør	-	-	-
B15	3,0-5,0	-	-	-	0,55	1,80	3,18 ^c	-	-	-	-	-
B16	2,5-4,5	-	-	-	3,91	-	Tør	Tør	3,99	-	-	-
MIP15	3,0-7,0	6,10	-	-	6,42	-	6,70	6,27	6,35	-	6,17	-
MIP27	2,1-5,1	1,22	-	-	4,45	-	5,0	4,85	4,58	-	-	-
MIP29	2,2-4,2	2,60	-	-	1,80	-	4,10	1,03	2,12	-	2,95	-
MIP34	2,2-3,2	0,49	-	-	2,60	-	Tør	Tør	Tør	-	-	-
Bestemmelse af vandindhold på morænelersprøve fra håndboring												
Vandindhold %		-	17,3	-	-	14,1 ^a	-	-	-	-	14,8	-

^a: Gennemsnit af 2 prøver

^b: Pejlet ca. 1 time efter etablering

^c: Pejlet efter prøvetagning og henstand indtil ro vandstand (ca. 1-2 timer)

^d: Utilgængelig pga. entreprenørarbejde og jernplader

-: Ikke målt

?: Placering af filtertop ikke kendt

6.8.4 Resultater af forpumpningsforsøg

I figur 6.1 fremgår resultaterne af forpumpningsforsøgene i hhv. fyldsonde L1-01 og boringssonde L1-B3 samt B11.

Grafen for L1-01 viser, at koncentrationen af tetraklorethylen i fyldsonden stiger til et tilnærmelsesvis stabilt niveau ved et flow på 100 ml/min. Det stabile niveau nås efter ca. 20-25 min eller bortpumpning af poreluft svarende til ca. 2,0 liter. Med et samlet volumen af sonden og filtret - i det følgende kaldet det kunstige porevolumen - på ca. 0,5 l, svarer dette til, at der er suget et volumen på 4 gange det kunstige porevolumen.

En forøgelse af flowet til 1.000 ml/min giver ikke en mærkbar effekt på koncentrationen, selv efter pumpning i ca. 15 min. Ved forøgelse af pumpningen til 5.000 ml/min ses en markant stigning i koncentrationen fra ca. 18 mg/m³ til ca. 28 mg/m³. Stigningen formodes at skyldes, at det forøgede flow har skabt adgang til mere forurenede områder i en større afstand fra fyldsonden.

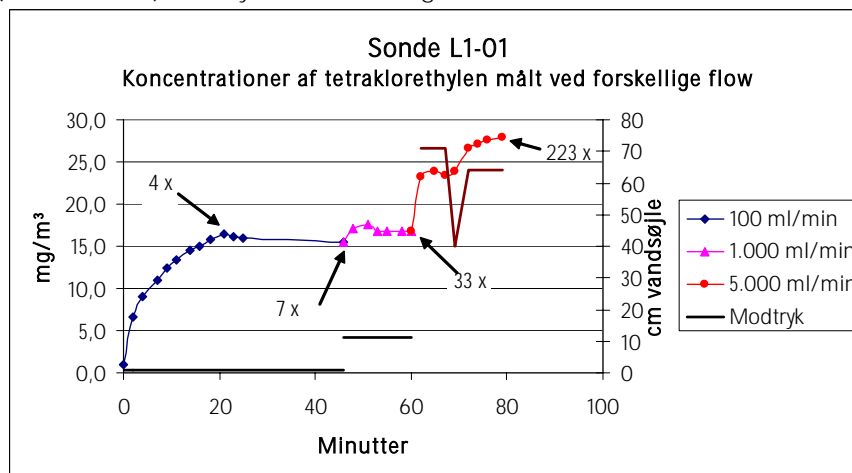
Sonde L1-01 er beliggende imellem de 2 konstaterede hot spot på ejendommen, se også bilag 2.3 og bilag 2.5. Da sonden ligger forholdsvis tæt på det nordlige hot spot, formodes det, at der trækkes forurening fra det nordlige hot spot ved længerevarende og kraftig pumpning.

Ser man på kurven for boringssonde L1-B3 sat i moræneler, kan der konstateres et andet kurveforløb end konstateret for fyldsonde L1-01.

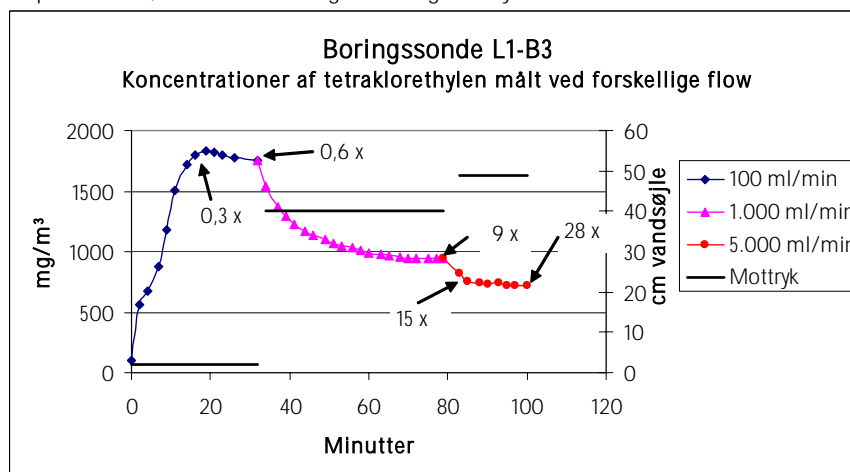
Ved 100 ml/min stiger koncentrationen op til et næsten stabilt niveau omkring 1.800 mg/m³ i løbet af ca. 20 min. Dette svarer til, at der er pumpet ca. 2 l op af boringssonden. Da sonden med et filter på ca. 1 m har et kunstigt porevolumen på ca. 5,5 l, svarer dette til, at der er suget et volumen på ca. 1/3 af det kunstige porevolumen, inden det stabile niveau nås. Da der ikke er foretaget en komplet udskiftning af luften i sonden, kan det ikke udelukkes, at niveauet ikke er retvisende for ligevægtsniveauet i formationen. Det er uvist, hvorledes kurven ville have fortsat ved det lave flow. Ved forøgelse af flowet med en faktor 10 ses koncentrationen af tetraklorethylen at falde til ca. 1.000 mg/m³, hvor det stabiliseres efter ca. 70 min. Dette svarer til, at der er suget et volumen svarende til ca. 7 gange det kunstige porevolumen. Ved yderligere forøgelse af flowet med en faktor 5 opnås kun yderligere en lille reduktion i koncentrationsniveauet. Reduktionen opnås meget hurtigt.

Målingerne i boringssonde L1-B3 indikerer, at der med øget flow trækkes mindre forurenede luft til sonden. Det kan ikke afgøres, om der er tale om atmosfærisk luft eller poreluft fra mindre forurenede områder. Da sonden med den anvendte udbygning formodes at være tæt omkring filter og blindrør og da sonden er beliggende i kanten af et hot spot (se også bilag 2.5), er det sandsynligt, at der trækkes mindre forurenede luft til sonden fra større og større afstand, jo højere flow, der anvendes.

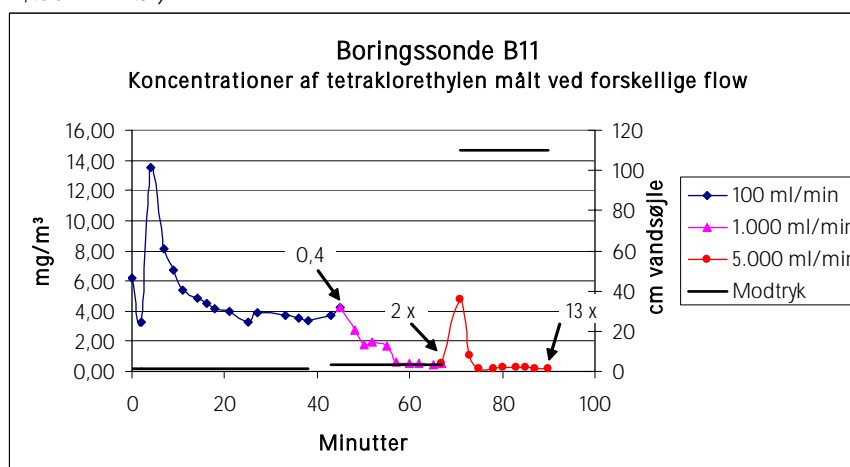
Figur 6.1: Grafisk præsentation af resultater fra forpumpningsforsøgene fra lerlokalitet L1. Øverst ses fyldsonde L1-01, i midten er vist boringssonde L1-B3 og nederst boringssonde B11, der begge er sat i moræneleret. Bemærk ændringen i flow fra 100 over 1.000 til 5.000 ml/min. Koncentrationen af tetraklorethylen er målt med MIMS. Bemærk at der er forskellige skalaer på akserne. Det angivne modtryk repræsenterer modtrykket i jordmatricen og er korrigeret for prøvetagningsrørets (kobberrørets) modtryk, se afs. 6.6.5 og 6.6.6.



0,1 x: Tømningsgrad - antal gange det kunstige porevolumen (sonde og filtermateriale) er oppumpet. Det kunstige porevolumen udgør ca. 0,5 l, svarende til filterrørets volumen korrigeret for porøsiteten, idet der ved tilbagetrækningen er fyldt sand i filterrøret.



0,1 x: Tømningsgrad - antal gange det kunstige porevolumen (sonde og filtermateriale) er oppumpet. Det kunstige porevolumen udgør ca. 5,5 l, heraf udgør filterrørets volumen ca. 20% (3 m, Ø32 mm rør).



0,1 x: Tømningsgrad - antal gange det kunstige porevolumen (sonde og filtermateriale) er oppumpet. Det kunstige porevolumen udgør ca. 11,5 l, heraf udgør filterrørets volumen ca. 85 % (5 m, Ø63 mm rør).

Ser man endelig på kurven for boringssonde B11, som er filtersat med 2 m filter i 3-5 m's dybde, kan der konstateres endnu et nyt kurveforløb. Ved det lave flow svinger koncentrationen forholdsvis ustabil de første ca. 10 min. mellem 3 og ca. 13 mg/m³. Herefter falder koncentrationen til et stabilt niveau omkring 4 mg/m³. Det stabile niveau nås efter ca. 20 minutter svarende til ca. 2 l's tømning. Med et skønnet volumen af boringssonden på ca. 11,5 l, svarer dette til, at ca. 1/6 af det kunstige porevolumen er bortpumpet. Ved forøgelse af flowet til 1.000 ml/min falder koncentrationen til under 1 mg/m³, idet det når dette forholdsvis stabile niveau efter ca. 10 minutters pumpning ved 1.000 ml/min. Dette svarer skønsmæssigt til, at der er oppumpet poreluft svarende til 2 gange det kunstige porevolumen. Øges flowet yderligere, falder koncentrationen yderligere. Filtret i boringssonde B11 er tilsyneladende beliggende i et moderat forurenede område mellem 2 mere forurenede områder, se også bilag 2.6. Øget pumpning skulle således trække mere forurenede poreluft til boringssonden, men resultaterne viser faktisk det modsatte - nemlig at der suges mindre forurenede luft til sonden. Dette skyldes enten at forureningsbilledet i poreluften ser anderledes ud end antaget ud fra bilag 2.5, eller at sonden er utæt og trækker luft fra terræn.

Forpumpningsforsøgene i L1-01, L1-B3 og B11 viser, at det anvendte pumpeflow og den anvendte pumpetid er afgørende for hvilken koncentration, der måles. Ydermere viser resultaterne, at afstanden til mere, hhv. mindre forurenede områder har stor betydning for den målte koncentration, særlig, hvis der er pumpet store volumener fra filtret.

Er der utætheder i sonderne øges påvirkningerne herfra tilsyneladende ved øget pumpning.

Specielt for lersonderne er der en tendens til, at de højeste koncentrationer konstateres ved de lave flow.

Forløbet af kurven, såfremt man alene havde anvendt det lave flow, kendes ikke. Antages det, at det første stabile niveau ved det lave flow fortsætter over længere tid, blot flowet holdes lavt, vil dette således tilsyneladende give den højeste koncentration og den koncentration, der bedst beskriver nærområdet omkring sonden.

Grundlæggende kan man sige, at flowet skal afpasses efter mulighederne for trykdigning i matrix. Pumper man med for stort flow, kan man risikere, at matrix ikke kan afgive poreluft hurtigt nok, hvorved der opstår et forhøjet undertryk. Undertrykket kan medvirke til at skabe nye transportveje, som derfor bliver medbestemmende for den målte koncentration. Benyttes i stedet lave flow, har matrix bedre tid til at tilpasse sig trykfaldet, og dermed afgive poreluften.

Det kan ikke udelukkes, at det er dette fænomen, som konstateres i alle kurverne. For L1-01 trækkes pludselig ved 5.000 ml/min mere forurenede poreluft til. For boringssonde L1-B3 og B11 trækkes mindre forurenede luft til - i værste fald fra terræn.

Antages det, at de stabile niveauer opnået ved den laveste koncentration kan opretholdes indtil sonden er forpumpet, betyder dette, at det lave flow vil give den højeste koncentration og den mest repræsentative punktmåling.

Det anbefales derfor, at man ved forpumpning og prøvetagning anvender så lavt flow som teknisk og økonomisk muligt og særligt i lerformationer begrænser forpumpningen mest muligt. Et fornuftigt flow vurderes at være 100-500 ml/min, mens et fornuftigt renpumpningsvolumen vurderes at være 1,5-2 gange det kunstige porevolumen.

Det er interessant at konstatere, at målingerne i sonde L1-01 og boringssonde L1-B3 starter ved 0 mg/m^3 , mens målingerne i boringssonde B11 starter ved en koncentration svarende til den stabile koncentration. Den anvendte måleteknik sikrer, at prøvetagningsudstyret er tømt knap 2 gange inden første måling og at målingerne er udført på samme måde i alle 3 sonder/boringssonder. Der er således ikke nogen umiddelbar måleteknisk forklaring på fænomenet.

6.8.5 Resultater af udluftningsforsøg

I figur 6.2 fremgår resultaterne af udluftningsforsøgene i hhv. fyldsonde L1-01, og boringssonde L1-B3. Bemærk, at udluftningsforsøget i fyldsonde L1-01 er gennemført umiddelbart efter forpumpningsforsøgene, se også afsnit 6.8.4. Dette vurderes at være årsagen til, at den første måling ligger tæt på den stabile koncentration.

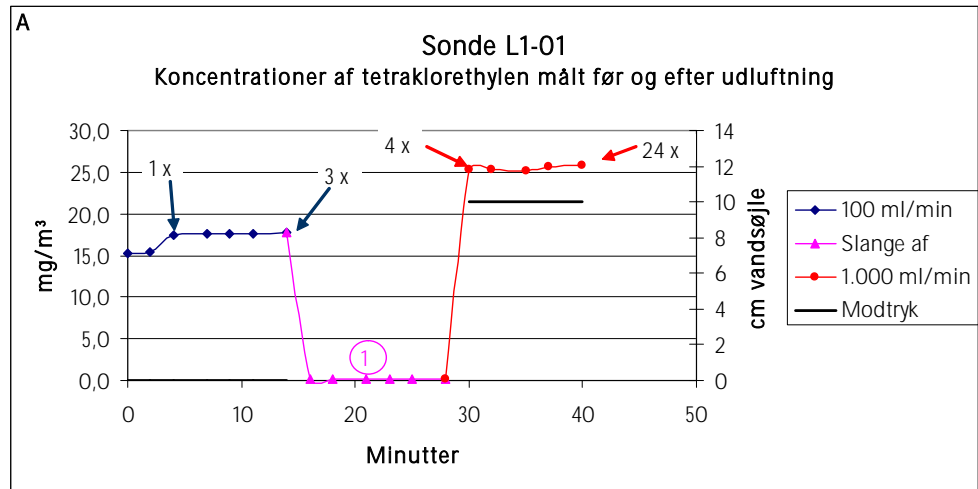
Kurverne for L1-01 og L1-B3 viser den samme tendens i koncentrationens afhængighed af flowet, som blev konstateret under forpumpningsforsøgene. Således kan det konstateres, at der ved en forøgelse af flowet i fyldsonde L1-01, som er placeret yderligt i forhold til "hot-spot", sker en stigning i koncentrationen, mens der ved den samme forøgelse af flowet i L1-B3, der er placeret midt i et "hot-spot", sker et fald i koncentrationen, ved forøgelse af flowet.

Grafen for udluftningsforsøget på L1-01 viser en stabil startkoncentration på ca. $17,5 \text{ mg/m}^3$ ved et flow på 100 ml/min. Efter udluftningen af boringssonden fortsættes målingerne ved et flow på 1.000 ml/min. Der sker herefter en hurtig stabilisering af den målte koncentration af tetraklorethylen i den oppumpede poreluft, idet en stabil koncentration er nået allerede efter 1-2 minutter dvs. efter, der er suget poreluft svarende til 2-4 gange det kunstige porevolumen.

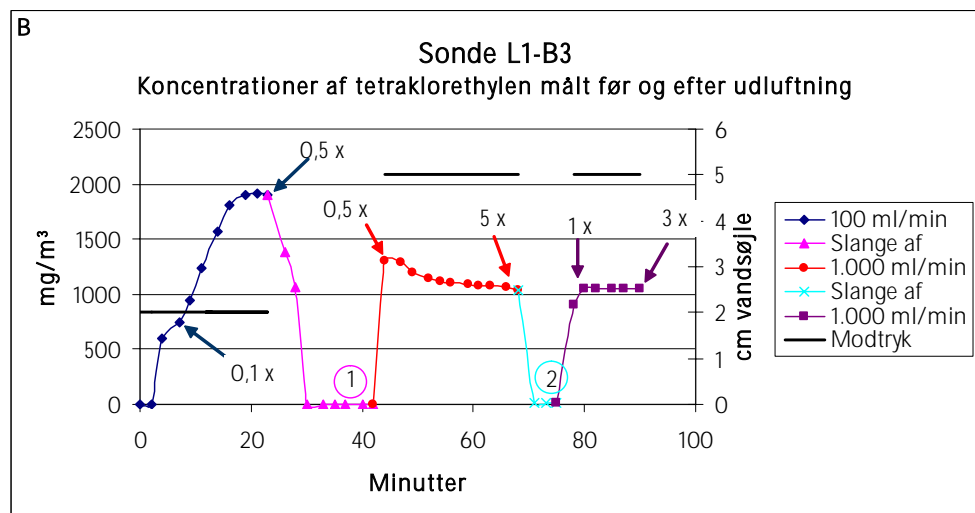
Grafen for udluftningsforsøget på boringssonde L1-B3 viser de samme tendenser som grafen for L1-01, idet den stabile koncentration i den oppumpede poreluft genfindes allerede efter få minutters pumpning efter udluftningen. Pumpningen svarer til, at der er suget en mængde poreluft svarende til maksimalt 1 gange det kunstige porevolumen. Det vurderes ud fra resultaterne, at tiden, det tager inden der har indstillet sig ligevægt efter anden åbning af sonden, er lidt længere, når undertrykket før åbningen var 250-300 mbar i forhold til 15 mbar.

Resultaterne giver anledning til at konkludere, at man ved kortvarige utætheder ved poreluftsprøvetagning kan opnås tilnærmelsesvis stationære forhold med en forpumpning på 2-3 gange det kunstige porevolumen inden gentagen prøvetagning.

Figur 6.2: Grafisk præsentation af resultater fra udluftningsforsøgene udført på lokalitet L1. I figur A) ses fyldsonde L1-01 og i figur B) vises boringssonde L1-B3, som er sat i moræneler. Bemærk den hurtige stabilisering af koncentrationen umiddelbart efter at sugningen genoptages. Koncentrationen af tetraklorethylen er målt med MIMS. Bemærk at der er forskellige skalaer på akserne i de to figurer.



1) Slangen til sonden blev revet af, mens der blev pumpet med et undertryk på ca. 15 mbar.



1) Slangen til sonden blev revet af, mens der blev pumpet med et undertryk på ca. 15 mbar.

2) Slangen til sonden blev revet af, mens der blev pumpet med et undertryk på ca. 250-300 mbar. 0,1 x: Tømningsgrad - antal gange det kunstige porevolumen er oppumpet efter hver enkelt pumpestart. Det kunstige porevolumen udgør ca. 5,5 l, heraf udgør filterrørets volumen (3 m Ø32 mm rør) ca. 20 %.

6.8.6 Resultater af intensiverede målinger

I forbindelse med de intensiverede målinger blev der udtaget ATD-rørprøver i alt 4 gange fra sonderne L1-06, L1-07 og boringssonde L1-B2. Resultaterne af de kemiske analyser fremgår af tabel 6.8 herunder, idet oplysninger om flow og modtryk under prøvetagningen fremgår af tabel 6.7.

Tabel 6.7. Målt tryk og flow under udtagning af poreluftsprøver ved de intensiverede målinger, i lokalitet L1. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsonde i forhold til atmosfæren.

Lokalitet L1	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Måling 4
Intensiverende målinger	19. okt. 04	22. okt. 04	25. okt. 04	29. okt. 04
Sonde L1-06 (Fyld)				
Flow, (ml/min)	100	100	200	100
Modtryk, (Pa)	-6.500	-10.000	-10.000	-7.500
Sonde L1-07 (Moræneler)				
Flow, (ml/min)	100	^a	100	100
Modtryk, (Pa)	-11.500	^a	-13.000	-11.000
Boringssonde L1-B2 (Moræneler)				
Flow, (ml/min)	100	100	100	100
Modtryk, (Pa)	-6.000	-10.000	-7.500	-6.000

^a: Måling ikke mulig pga. manglende luftflow i sonde

Tabel 6.8 Resultater af intensiverede målinger på boringssonder og sonder, lokalitet L1. Alle analyser er foretaget af Eurofins Danmark A/S.

Lokalitet L1	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Måling 4
Intensiverende målinger	19. okt. 04	22. okt. 04	25. okt. 04	29. okt. 04
Sonde L1-06				
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9.800.000	9.500.000	9.500.000	10.000.000
Sonde L1-07				
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16.000	^a	29.000	37.000
Boringssonde L1-B2				
Tetraklorethylen, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4.500.000	4.000.000	4.400.000	4.200.000

^a: Måling ikke mulig pga. manglende luftflow i sonde

For vurdering af tidlig og arealmæssig variationsspænd henvises til afsnit 6.8.2, hvor resultaterne er behandlet sammen med resultater fra de indledende fem målerunder.

Der ses ikke væsentlige koncentrationsændringer over tid i nogen af sonderne eller boringssonden. Data behandles i forhold til klimatiske forhold i afsnit 6.10.

6.9 Resultater - Lokalitet L2

6.9.1 Sugeforsøg ved etablering af sonder og boringssonder

Placering af filter samt modtryk ved forskellige flow ved målinger gennemført umiddelbart efter etablering af sonderne fremgår af nedenstående tabel 6.9.

Ved sugning på sonderne sat i fyldet kunne konstateres et undertryk i sonderne L2-01 og L2-06 på hhv. 30.000 og 25.000 Pa, efter korrektion af sugemodstanden fra udstyret. Det var ikke muligt at suge luft fra de øvrige sonder. Det vurderes, at det manglende flow i de øvrige sonder skyldes vandmætning af leret.

Tabel 6.9: Placering af filtre i sonderne og boringssonder på lokalitet L2 samt modtryk ved sugning umiddelbart efter etablering. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsonde i forhold til atmosfæren. Resultaterne er korrigeret for modtryk i udstyret. Målingerne blev foretaget hhv. d. 1. april og 20. juli 2004, svarende til samme dag som sonderne blev etableret.

Nr.	Formodet geologi	Filter m u.t.	Modtryk ved nedenstående flow		
			100 ml/min, 1 min	1.000 ml/min, 1 min	5.000 ml/min, 5 min
Sonder					
L2-01	Fyld, top af formodet forvitret moræner	0,6-1,2	Rigeligt luft -30.000 Pa	Rigeligt luft -30.000 Pa	Rigeligt luft -30.000 Pa
L2-02	Moræner, formodet forvitret	1,8-2,2	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-03		2,2-2,6	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-04	Moræner	2,6-3,0	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-05		Opgivet pga. hårde aflejringer			
L2-06	Fyld, top af formodet forvitret moræner	0,95-1,15	Rigeligt luft -25.000 Pa	Rigeligt luft -25.000 Pa	Rigeligt luft -25.000 Pa
L2-07	Moræner, formodet forvitret	1,8-2,2	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-08		2,2-2,6	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-09	Moræner	2,0-2,4	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-10		Opgivet pga. hårde aflejringer			
Boringssonder					
L2-B2	Moræner, siltet til stærkt sandet, gulbrun-gråbrun	2-3	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-B3	Moræner, siltet til stærkt sandet, gulbrun-gråbrun	2-3	Vakuum	Vakuum	Vakuum
L2-B4	Moræner, siltet til stærkt sandet, gulbrun-gråbrun	2-3	Vakuum	Vakuum	Vakuum

Det kan konstateres, at der alene ved den indledende sugetest kunne trækkes luft fra sonderne sat i fyldet. Det er påfaldende, at modtrykket i fyldsonde L2-01 og L2-06 er uafhængig af flowet. Årsagen hertil kendes ikke.

6.9.2 Resultater af periodiske målerunder på sonder og boringssonder

Af nedenstående tabel 6.10 fremgår differenstrymålingerne bestemt på sonderne og boringssonder i forbindelse med de periodiske målerunder på lokalitet L2.

Tabel 6.10. Differenstrymål t på sonder og boringssonder på lokalitet L2. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsonde i forhold til atmosfæren. Alle værdier i Pa

Lokalitet L2 Nr	Filter m u.t.	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5
		6. maj 04	28. juni 04	12. aug. 04	8. okt. 04	15. nov. 04
Sonde						
L2-01	0,6-1,2	0	1	30	2	-3
L2-02	1,8-2,2	-2.000	-16	-1.300	-120	-400
L2-03	2,2-2,6	-2.000	1	-1.500	-270	-3.000
L2-04	2,6-3,0	500	1	530	25	-3.400
L2-05	Måling ikke mulig, da sonde ikke er etableret pga. hårde aflejringer					
L2-06	0,95-1,15	0	1	-1	1	-2
L2-07	1,8-2,2	1.400	*	290	-3.500	-8.000
L2-08	2,2-2,6	1.600	-1	-790	-500	-300
L2-09	2,0-2,4	700	-1	-3.700	-300	-3.300
L2-10	Måling ikke mulig, da sonde ikke er etableret pga. hårde aflejringer					
Boringssonde						
L2-B2	2,0-3,0				-340	-210
L2-B3	2,0-3,0				-675	-675
L2-B4	2,0-3,0				0	0

*: Ventil ødelagt siden sidste måling.

Det fremgår af tabel 6.10, at der er stor variation i differenstrykket i de undersøgte sonder hen gennem målerunderne. Der kan ikke konstateres samme trend i de målte niveauer i sonderne og det vurderes, at det er forskellige faktorer, der er styrende for trykudligningen i sonderne.

Efterfølgende blev sonderne sugetestet. Der blev herefter udtaget poreluft på ATD-rør fra de sonder, hvorfra der kunne suges poreluft, dvs. sonde L2-01 og L2-06. Der blev forsøgt udtagning af poreluftsprøve fra boringssonderne ved direkte pumpning over ATD-rør. Der var ikke tilstrækkelig luft i nogen af boringssonderne til en prøvetagning.

Tabel 6.11. Målt tryk og flow under udtagning af poreluftsprøve fra sonde L2-01 og L2-06. Positiv værdi angiver overtryk i poreluftsprøve i forhold til atmosfæren. Alle værdier i Pa.

Lokalitet L2	Runde 1 6. maj 04	Runde 2 28. juni 04	Runde 3 12. aug. 04	Runde 4 8. okt. 04	Runde 5 15. nov. 04
Sonde L2-01					
Flow, (ml/min)	60	100	100	100	100
Modtryk, (Pa)	-780 til -980	-8.000	-4.000	-3.500	-5.000
Sonde L2-06					
Flow, (ml/min)	60	100	100	100	100
Modtryk, (Pa)	-780 til -1.000	-7.500	-4.000	-3.500	-6.000

Det fremgår, at udtagning af poreluft på ATD-rør fra fyldmaterialet kan foretages uden væsentligt modtryk, se tabel 6.11.

Modtrykkene fundet ved runde 1-5 er mindre end konstateret ved etableringen af sonderne, se tabel 6.9, svarende til en tættere formation ved etableringen end ved målerunderne. Målingerne er foretaget med forskelligt udstyr, men det forventes ikke, at dette vil kunne forklare hele forskellen. Metodebeskrivelsen for målingerne findes i bilag 4.

Af tabel 6.12 fremgår resultaterne af IR-målingen for CO₂ samt resultaterne af de akkrediterede kemiske analyser af poreluft og udeluft udtaget på ATD-rør.

Bemærk, at alene resultater fra målinger i sonderne sat i fylden er gengivet, idet det ikke var muligt at suge poreluft fra sonderne i moræneleret eller i boringssonderne.

Tabel 6.12 Resultater af periodiske målinger på boringssonder, sonder og udeluft, lokalitet L2. Alene resultaterne af sonde L2-01 og L2-06 er gengivet, idet det ikke var muligt at suge poreluft fra de øvrige sonder eller boringssonderne. Alle analyser er foretaget af Eurofins Danmark A/S.

Lokalitet L2	Runde 1 6. maj 04	Runde 2 28. juni 04	Runde 3 12. aug. 04	Runde 4 8. okt. 04	Runde 5 15. nov. 04
Sonde L2-01 (Fyld)					
Tetraklorethylen, (µg/m ³)	32	190	70	3.100	18
Trikllorethylen, (µg/m ³)	1,6	3,7	17	1.800	1,4
CO ₂ (vol. %)	5	1,3	7,6	4,7	0,8
Sonde L2-06 (Fyld)					
Tetraklorethylen, (µg/m ³)	520	3.100	960	1.300	270
Trikllorethylen, (µg/m ³)	58	410	660	620	26
CO ₂ (vol. %)	5,3	4,9	6,7	5,6	4,6
Udeluft					
Tetraklorethylen, (µg/m ³)	0,34	24	0,64	<0,1	0,63
Trikllorethylen, (µg/m ³)	<0,1	0,70	0,97	<0,1	0,19
CO ₂ (vol. %)	-	-	-	-	-

∴ Ikke målt

Det fremgår af resultaterne i tabel 6.12, at trods målerunder under forholdsvis forskellige vejrforhold og anvendelse af forskellige typer af sonder, har det tilsvarende lokalitet L1 ikke været muligt at suge poreluft ud af filtre sat i moræneler.

Tidslig variation i den enkelte sonde

I L2-01, hhv. L2-06 kan der over de 5 målerunder konstateres en korttidsvariation i koncentrationen på hhv. en faktor knap 200 og en faktor ca. 10. Den tidslige variation på lokalitet L2 er således i samme størrelsesorden som den tidslige variation på lokalitet L1.

Bemærk, at højeste og laveste værdier af de målte stoffer ses på forskellige tidspunkter i de enkelte sonder på lokalitet L1. Dette forhold gælder også, hvis sonderne for lokalitet L1 ses i forhold til sonderne på lokalitet L2. Således er det højeste indhold i L2-06 målt på et tidspunkt, hvor indholdene på lokalitet L1 generelt er de laveste.

Af tabel 6.12 fremgår det, at CO₂ niveauet i poreluften varierer med op til en faktor 9 gennem målerunderne i sonde L2-01. I sonde L2-06 er variationen under en faktor 1. Der kan ikke umiddelbart konstateres en sammenhæng mellem koncentrationerne af CO₂ og tetraklorethylen, hvilket jf. betragtninger for L1 heller ikke er forventeligt. Tilstedeværelsen af CO₂ indikerer, at der trækkes mere poreluft end f.eks. atmosfærisk luft.

Målinger i udeluften viser, at koncentrationen af tetraklorethylen varierer mellem <0,1 og 24 µg/m³. Den høje værdi er overraskende og formodes at skyldes specielle klimatiske forhold på måledagen.

Poreluftskoncentrationen i fyldet på lokalitet L2 er ikke tidligere målt akkrediteret, hvorfor et skøn over langtidsvariationen i fyldet ikke er mulig.

Arealmæssig variation

Ser man på den stedslige variation kan der konstateres en variation fra L2-01 til L2-06 i den enkelte målerunde, som varierer mellem en faktor 14 og 15, dog undtagen runde 4, hvor forskellen kun udgør en faktor ca. 0,4. Koncentrationsniveauerne følger således hinanden tæt fra målerunde til målerunde.

Til sammenligning var den arealmæssige variation på lokalitet L1 op til en faktor 800 eller knap 3 størrelsesordner. Afstanden mellem sonderne i fyldet på lokalitet L2 er lidt mindre end afstanden mellem sonderne i fyldet på lokalitet L1, mens forureningsniveauet i sonderne på lokalitet L2 er væsentligt lavere end i sonderne på lokalitet L1. Da fyldmaterialerne på de 2 lokaliteter med lidt god vilje er sammenlignelige, er det således i al væsentlighed koncentrationsniveauerne og afstand til hot spot, som adskiller lokaliteterne. Dette kunne indikere, at man tæt på forureningskilden, dvs. i hot spot området kan forvente større arealmæssige variationer i forureningsniveauerne, end man kan forvente i områder længere væk fra hot spot.

Ved tidligere vurderinger af forureningskoncentrationer i poreluften er anvendt en korrelation mellem PID-værdier og analyseresultater (København Amt 2001).

Der var således skønnet forureningsniveauer i området omkring forsøgsfeltet på 1-3.000 mg/m³. Jf. resultaterne i tabel 6.12 er niveauerne mere end en faktor 1.000 lavere. En del af forklaringen formodes at skyldes den anvendte

metodik ved udarbejdelsen af forureningsudbredelsen i bilag 2.8, men også naturlige variationer over tid.

6.9.3 Resultater af grundvandspejlinger og vandindhold

Af nedenstående tabel 6.13 fremgår resultaterne af pejlinger af grundvandsspejlet på ejendommen.

Tabel 6.13: Periodiske pejlinger af grundvandsspejlet samt vandindholdsbestemmelser, Lokalitet L2

Lokalitet L2	Runde 1 6. maj 04	Ekstra 2. juni 04	Runde 2 28. juni 04	Runde 3 12. aug. 04	Runde 4 8. okt. 04	Runde 5 15. nov. 04
Pejling af grundvandsspejl m u.t.						
L2-B1	-	1,75	0,55	1,37	1,62	1,34
L2-B2				1,75	-	-
L2-B3				1,55	1,63	1,29
L2-B4				1,47	-	-
Bestemmelse af vandindhold på morænelersprøve fra håndboring						
Vandindhold %	11,6			11,6 ^a	-	11,9

^a: Gennemsnit af 2 prøver

∴ Ikke målt

Det fremgår af tabel 6.13, at grundvandsspejlet i boring L2-B1 varierer mellem 0,55 og 1,75 m u.t., svarende til at grundvandsstanden er steget i forsommeren og faldet fra juli til oktober. Vandindholdet i de udtagne prøver er stabile i samme periode.

6.10 Vurdering af resultater fra lokalitet L1

I nærværende afsnit vurderes de opnåede resultaterne i forhold til de tilhørende meteorologiske forhold samt grundvandsforhold på ejendommene.

Resultatet af en given måling vil være et produkt af påvirkning fra mange forskellige faktorer, herunder de faktorer, som er gennemgået i kapitel 4. I de følgende afsnit er der primært foretaget en vurdering af poreluftskoncentrationen i forhold til en af de nævnte faktorer i kapitel 4 med det mål at afklare, hvorvidt den pågældende faktor har signifikant indflydelse på den målte poreluftskoncentration.

I de situationer, hvor der konstateres væsentlige afvigelser fra teorien, skal dette ses som et udtryk for, at andre faktorer end antaget ud fra teorien er betydende eller endog dominerende. Yderligere kan afvigelser fra teorien skyldes, at datamængden er for begrænset, eller at der er for stor spredning i data til at identificere en tydelig tendens.

Alle klimatiske data stammer fra DMI's vejrstation i Tune. Det antages i det følgende, at data er repræsentative for vejr situationen på lokaliteten.

6.10.1 Trykdifferensmålinger

I figur 6.3 er atmosfæretrykket sammenholdt med differenstrykket målt i den intensive periode i okt. og nov. 2004.

Ved tolkningen af differenstrykmålinger henvises til de teoretiske betragtninger i afsnit 4.2. Ved afbildning af atmosfæretrykket mod differenstrykket forventes disse være i modfase. Det ses af figur 6.3, at differenstrykket i perioder i f.eks. L1-07 er i modfase med atmosfæretrykket.

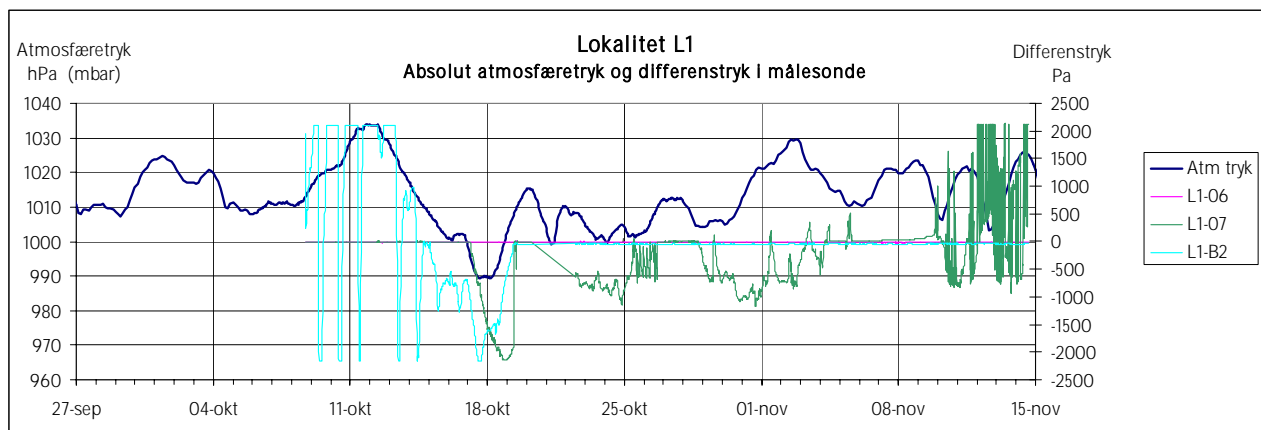
Undersøgelser beskrevet i litteraturstudiet viser, at det er trykændringer i atmosfæretrykket, som er den drivende kraft for differenstrykket og dermed poreluftstransport i den umættede zone. Derfor er differenstrykket afbildet i figur 6.4 mod trykændringen i atmosfæretrykket over 3 timer.

Det skal bemærkes, at ændringerne i det atmosfæriske tryk skal læses således, at trykændringer under nul angiver et faldende tryk, medens trykændringer over nul angiver et stigende tryk. Det, at kurven falder fra en positiv værdi mod nul, er ikke ensbetydende med at atmosfæretrykket er faldende, men at hastigheden hvormed trykket stiger er aftagende. Dette medfører, at kurven for ændringen i trykket er forskudt i forhold til kurven for det reelle tryk.

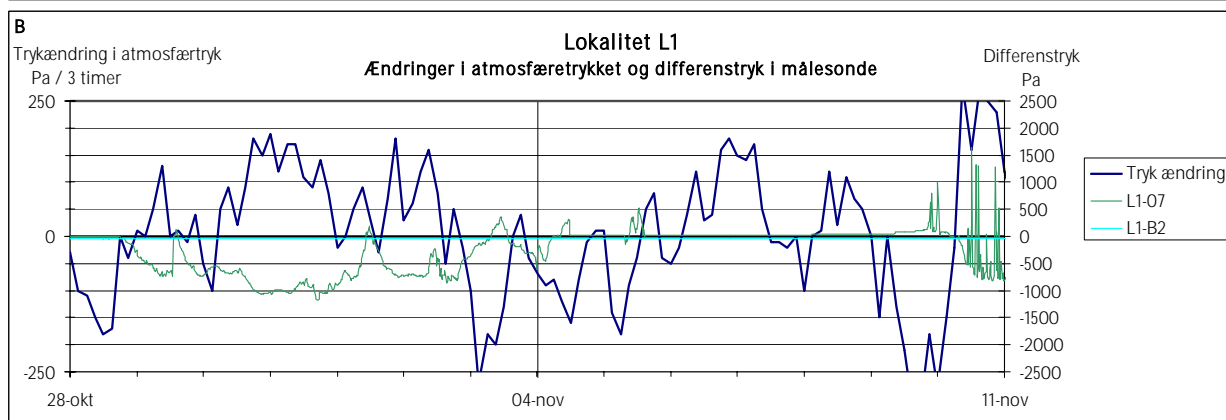
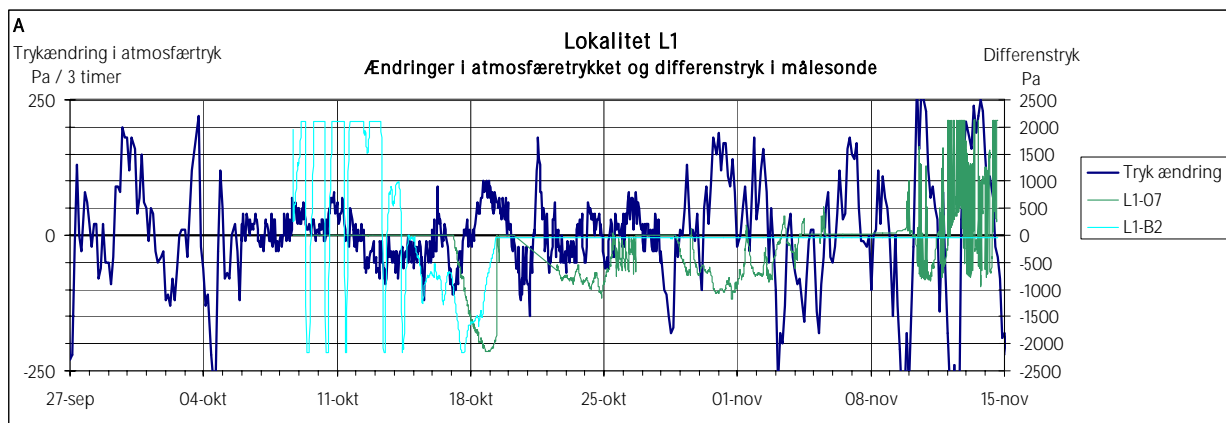
Det fremgår af figur 6.3 og 6.4, at fyldsonde L1-06 udviser meget lave differenstræk, mens differenstrækkene i lersonde L1-07 og boringssonde L1-B2 varierer meget over tiden.

Sonderne er vurderet hver for sig i det følgende, idet følgende bemærkes generelt:

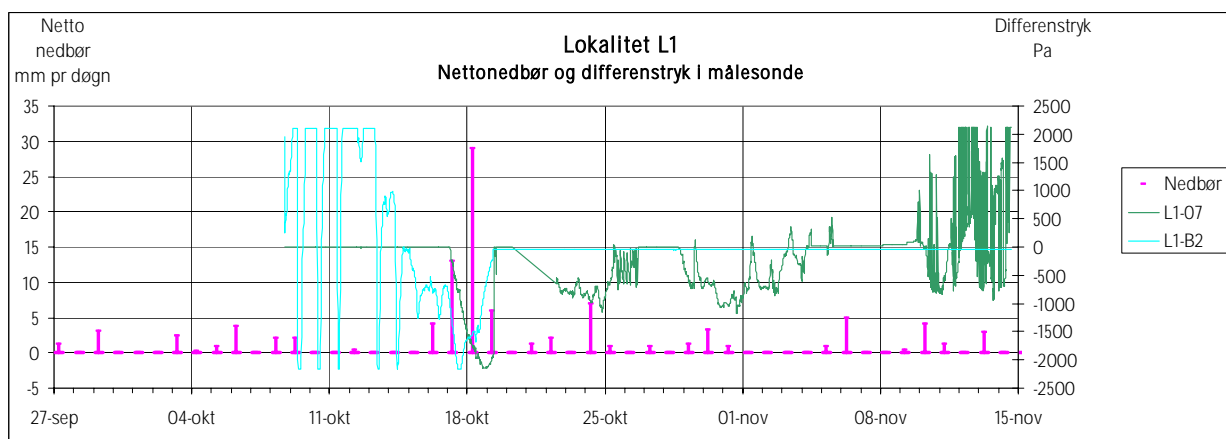
Differenstrækudviklingen i en sonde placeret i opsprækket moræneler kan få karakter af 'kaotisk', såfremt der opstår lokal vandmætning omkring sondespidsen. Trykudviklingen i sonden vil da i højere grad afhænge af lokale vandspejlsvariationer end trykændringer i atmosfæren.



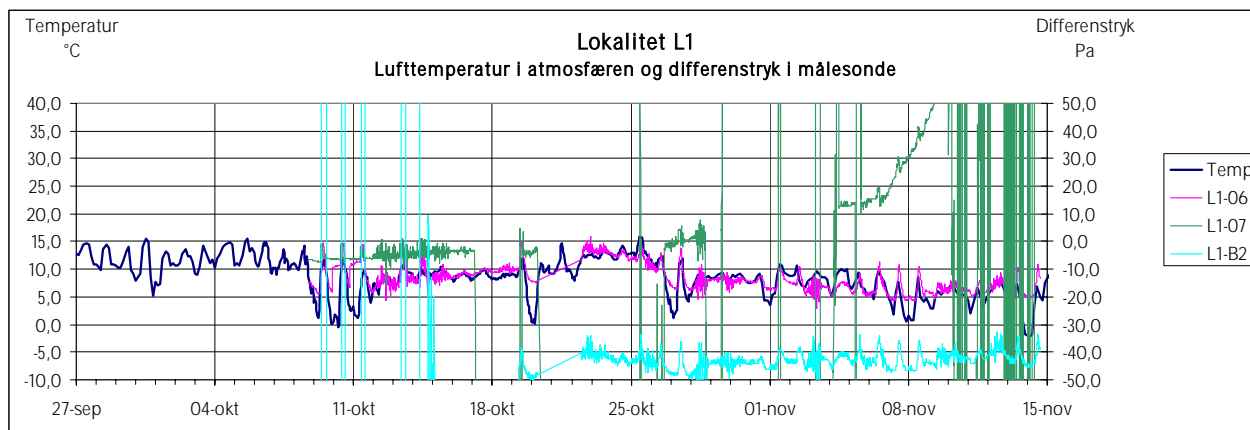
Figur 6.3: Absolut atmosfæretryk samt differenstræk målinger fra intensiverede målinger i fyldsonde L1-06, lersonde L1-07 og boringssonde L1-B2. Målingerne er fra perioden ultimo september til medio november 2004.



Figur 6.4: Trykændringer i atmosfæretryk (mbar over intervaller af 3 timer) samt differenstrykmålinger fra intensiverede målinger i L1-06, L1-07 og L1-B2. Figur A er for hele måleperioden, medens figur B kun viser perioden fra den 28. oktober til den 11. november 2004.



Figur 6.5: Nedbør samt differenstrykmålinger fra intensiverede målinger i L1-07 og L1-B2 ul timo september til medio november 2004.



Figur 6.6: Differenstrykket i målesonden afbildet mod Lufttemperaturen. For at de små forskelle i differenstrykket kan ses, vises differenstryk for ± 50 Pa

Fyldsonde L1-06

I modsætning til lersonderne ses der kun meget små udsving i trykdifferencen i fyldsonde L1-06. Dette betyder, at gaspermeabiliteten i fyldet er så god, at der er direkte forbindelse mellem fyldmassen og atmosfæren. Udsvingene i trykdifferencen i L1-06 fremgår tydeligere i figur 6.6 end i figur 6.3 og det ses, at der er konstateret et meget lille differensundertryk i poreluften i fyldet i L1-06 på mellem 0 og 20 Pa.

Ud fra teorien skulle differensundertrykket kunne forklares med en trykstigning i atmosfæretrykket, og denne tendens ses også i visse dele af måleperioden. Eksempelvis ses det, at differensundertrykket øges i den sidste uge af oktober og første uge af november, og at der i samme periode er en generel trykstigning i atmosfæretrykket. Der er tale om meget små variationer, og det kan ikke udelukkes, at andre forhold også spiller ind. Der er ikke nogen umiddelbar forklaring på afvigelser fra teorien.

Det kan yderligere konstateres, at differenstrykket varierer med små udsving over døgnet og at disse svingninger er i fase med temperaturændringerne i udeluften, se figur 6.6. Lufttemperaturen varierer i måleperioden mellem 0 og 15 °C, idet døgnvariationer er tilnærmelsesvis i samme størrelsesorden. De små døgnvariationer i differenstrykket i L1-06 skyldes næppe reelle effekter af temperaturændringer i poreluften, idet jordopvarmning almindeligvis sker meget langsomt. Det vurderes derimod som sandsynligt, at svingningerne i differenstrykket med temperaturen skyldes at udstyr – fx monitoringslangen eller den kasse hvor trykmåleren er placeret - opvarmes og afkøles af luften, med heraf følgende trykændringer.

Lersonde L1-07

Af figur 6.3 og 6.4 fremgår det, at der overordnet er en god korrelation mellem ændringerne i atmosfæretrykket og differenstrykket i L1-07.

Nærlæses graferne fremgår det, at trykdifferensmålinger i lersonde L1-07 viser et stabilt lavt undertryk på et par Pa frem til d. 18. okt., hvorefter differensundertrykket pludselig stiger til mere end 2.000 Pa i forbindelse med et lavtryk og et kraftigt regnskyl. Trykdifferensændringen d. 18.-19. okt. er modsat af, hvad der var forventeligt ud fra trykteorien, og dette giver

anledning til at vurdere, at nedbør har en væsentlig indflydelse på differenstrykket i den pågældende boring.

Af figur 6.5 kan der således konstateres en tendens til, at differensundertrykket stiger med stigende nedbør. Nedbørshændelser på nærværende lokalitet er helt overvejende forbundet med faldende atmosfæretryk. Et faldende atmosfæretryk skulle teoretisk føre til et reduceret differensundertryk, men det fremgår af målingerne at tryk-teorien ikke holder, når der er væsentligt nedbør. Med andre ord - er der væsentlig nedbør overstiger effekten af nedbørens tilsyneladende effekten af trykændringen på differenstrykket i den pågældende lersonde.

Der er således en tendens til, at differensundertrykket bliver større ved nedbør, samt at selv små nedbørsmængder almindeligvis har en effekt på differenstrykket. En lille nedbørsmængde på ca. 5 mm nettonedbør giver således anledning til et skønsmæssigt flere hundrede Pa's øget differensundertryk. Effekten af nedbøren på differenstrykket i leret ses fx ved regnhændelsen d. 18. okt. at være forskudt med ½-1 dag, se figur 6.5. Lignende effekt kan med lidt god vilje anes for de øvrige regnhændelser.

Det skal bemærkes, at f.eks. vandmætning omkring sondespidsen som følge af nedbør kan give anledning til 'kaotiske' differenstryk i den givne sonde: Trykudviklingen i sonden vil da i højere grad afhængig af lokale vandspejlsvariationer end trykændringer i atmosfæren. Det kan ikke udelukkes, at visse af sonderne i perioder er påvirket af en sådan vandmætning.

I perioden fra ca. 20. okt. til ca. 10. nov. 2004 fremgår det af figur 6.4, at trykdifferensen varierer mellem ca. -1.000 Pa og ca. 500 Pa, idet der er perioder, hvor trykdifferensen er tæt på 0. De kraftige udsving i differenstrykket, som ses i perioden ca. 20. okt. til 10. nov., er i modfase med atmosfæretrykket., hvilket er i overensstemmelse med trykteorien. Selvom der jf. figur 6.5 i denne periode er mindre nedbørshændelser, ses disse ikke at medføre en effekt på differenstrykket, der overstiger effekten af trykændringen i atmosfæretrykket.

Ud fra de kraftige udsving i differenstrykket, der ses i figur 6.4 mellem den 25. okt. og den 2. nov. 2004 skønnes følgende: En trykstigning i atmosfæretrykket giver anledning til et stigende differensundertryk i lersonde L1-07 svarende til op til en størrelsesorden større end trykændringen i atmosfæren. Dette skøn skal tages med stort forbehold, idet andre forhold - f.eks. geologien og nedbøren - også har indflydelse på differenstrykket.

Af figur 6.6 fremgår det, at differenstryk i L1-07 i perioder på op til flere dage ligger mellem -10 og +10 Pa, svarende til et meget lille differensunder- eller overtryk. Der er ikke grund til at tro, at trykdifferensmålingerne i L1-07 i disse perioder er behæftet med målefejl. Der vurderes derfor, at perioderne med stabile differenstryk omkring 0 Pa helt eller delvist skyldes en generel forbedret gaspermeabilitet, f.eks. som følge af afdræning af grundvand i området med heraf følgende øget gaspermeabilitet, øget porøsitet som følge af, at jorden er blevet skyllet ren ved kraftig nedbør eller at der på anden måde er dannet kanaler, der har forbindelse med atmosfæren.

Vurderes differenstryk målingerne i forhold til ændringerne i atmosfæretrykket i de første dage af november, se figur 6.4b, ses det, at ændringen i

differenstrykket påbegyndes op til ½ døgn efter trykændringen i atmosfæren har indtruffet. Der er således en forsinkelse på trykforplantningen på op til ½ døgn i lersonde L1-07. Dette er samstemmende med den skønnede forsinkelse af nedbørseffekten på differenstrykket og samstemmende med teoretiske betragtninger vedr. responstiden, se også afsnit 4.2.3.

Der ses væsentlige ændringer i differenstrykket i perioden efter ca. 10. nov. Selvom der er store udsving, kan det af figur 6.4 konstateres, at der er god overensstemmelse mellem ændringerne i differenstrykket og trykændringen i atmosfæretrykket. Årsagen til de store variationer kendes ikke, men kunne skyldes midlertidige vandmætninger omkring sondespidsen.

Sonde L1-07 udviser en svag afhængighed af lufttemperaturen, se også figur 6.6. Der henvises til diskussionen af temperatureffekten for sonde L1-06.

Boringssonde L1-B2

Differenstrykmålingerne i lersonde L1-B2 udviser et overraskende forløb.

I perioden frem til ca. 20. okt. konstateres der store variationer i differenstrykket i boringssonden, se figur 6.3. Over få timer kan differenstrykket tilsyneladende ændre sig fra et differensundertryk på mere end 2.500 Pa til et differensovertryk på mere end 2.000 Pa. I grove træk følger trykdifferensen det atmosfæriske tryk i fase, hvilket er overraskende, da dette ikke passer med de teoretiske overvejelser beskrevet ovenfor. Der er ikke nogen umiddelbar forklaring på dette fænomen. Det kan ikke udelukkes, at der er fejl i målingerne, selvom intet fra opsætning, tilsyn med eller nedtagning af udstyr indikerer fejl. Ej heller kan det udelukkes, at trykforholdene er påvirkede af midlertidig vandmætning omkring sondespidsen.

Efter d. 20. okt. falder differenstrykket ind på et forholdsvis stabilt leje på ca. -40 Pa, svarende til et differensundertryk i poreluften. Det ses kun små variationer på op til ca. 5-10 Pa over perioden fra 20. okt. til 15. nov., se figur 6.6.

Mulige forklaringer på dette stabile forløb kan bl.a. være følgende:

Forløbet frem til ca. 20. okt. repræsenterer en periode, hvor der var dårlig udveksling mellem atmosfære og poreluft, dvs. lav gaspermeabilitet. Efter 20. okt. udveksles trykændringer bedre mellem poreluft og atmosfæren. Denne forbedrede udveksling kan f.eks. skyldes, at der er sket en generel afdræning af grundvand i området med heraf følgende øget gaspermeabilitet, eller at der som følge af f.eks. et kraftigt regnskyld er skabt flere eller større kanaler med kontakt til atmosfæren.

Det kan ikke udelukkes, at der er sket fejl på udstyret, selvom hyppige kontroller ikke har indikeret fejl.

6.10.2 Koncentration og atmosfæretryk

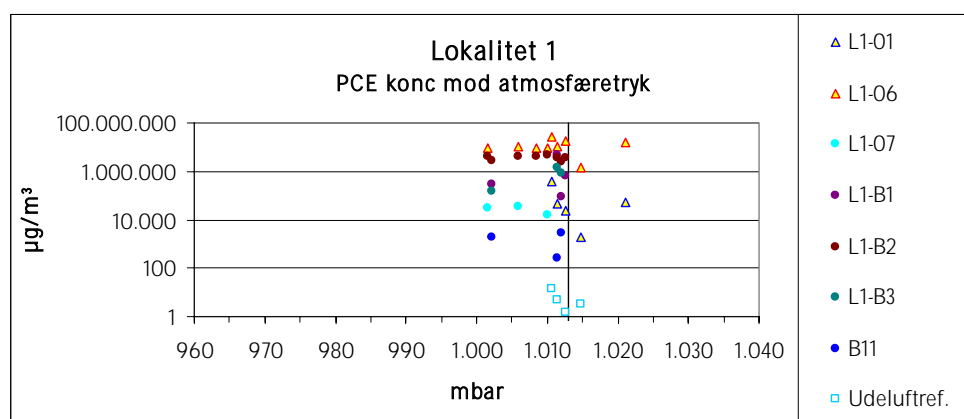
I figur L1-A til L1-F i bilag 2.9 er koncentrationsmålingerne for tetraklorethylen - angivet som størrelsesordener - for de enkelte målerunder sammenstillet med trykændringerne i atmosfæretrykket. Der er alene vist resultaterne af tetraklorethylen, idet resultaterne for triklorethylen følger disse.

Det kan konstateres, at de højeste koncentrationer af tetraklorethylen er målt i runde 3 d. 12. august 2004, og at fluktuationer i alle målte sonder og for begge målte stoffer følger hinanden pænt.

I det følgende behandles disse koncentrationsmålinger samlet, for at se om der er tendenser i svingningerne i koncentrationerne. I de fleste forureningssituationer er det gennemsnitværdien, som er interessant. En sådan "normalsituation" er karakteriseret ved temperaturer, atmosfæretryk og nedbør, som svarer til de gennemsnitlige forhold for lokaliteten. For Danmark er de gennemsnitlige forhold et atmosfæretryk på 1013 mbar, en årlig gennemsnitstemperatur på ca. 5-7°C og en nettonedbør på ca. 300-400 mm pr. år eller i gennemsnit ca. 1 mm pr. dag. En tilnærmelsesvis normalsituation ses i runde 4, d. 8. okt. 2004 (bilag 2.9 figur L1-D). Målingerne er udført på et tidspunkt, hvor der var meget få trykændringer i atmosfæretrykket, og trykket generelt lå på ca. 1013 mbar, svarende til normaltryk. Temperaturen var omkring 10°C og nedbør ca. 2 mm. Resultaterne opnået ved nærværende forsøg repræsenterer således såvel en normalsituation som situationer, som afviger fra normalsituationer.

En sammenligning af koncentrationer i de enkelte runder i forhold til "normalmålingerne" i runde 4 viser, at variationsspændet inden for den enkelte sonde er ca. ± 1 størrelsesorden i forhold til normalmålingen, og det kan udledes, at ændringerne i en vis grad følger "trykteorien", se afsnit 4.2.2.

Det er således klart, at atmosfæretryk har en vis betydning for den målte koncentration. I figur 6.7 er koncentrationsmålingerne derfor afbildet mod det absolutte atmosfæretryk. Det fremgår af figuren, at koncentrationer ved barometrisk tryk lavere end 1013 mbar ikke udviser den store variation, mens koncentrationer målt ved højere tryk end normaltryk udviser større variation. Det kan yderligere konstateres en svag tendens til, at koncentrationsniveauet er lavere jo højere atmosfæretryk. Bemærk, at der er tale om en logaritmisk skala. Det bemærkes, at der alene er set på denne ene faktor i vurderingen og at vurderingen ikke udelukker effekter fra andre faktorer.



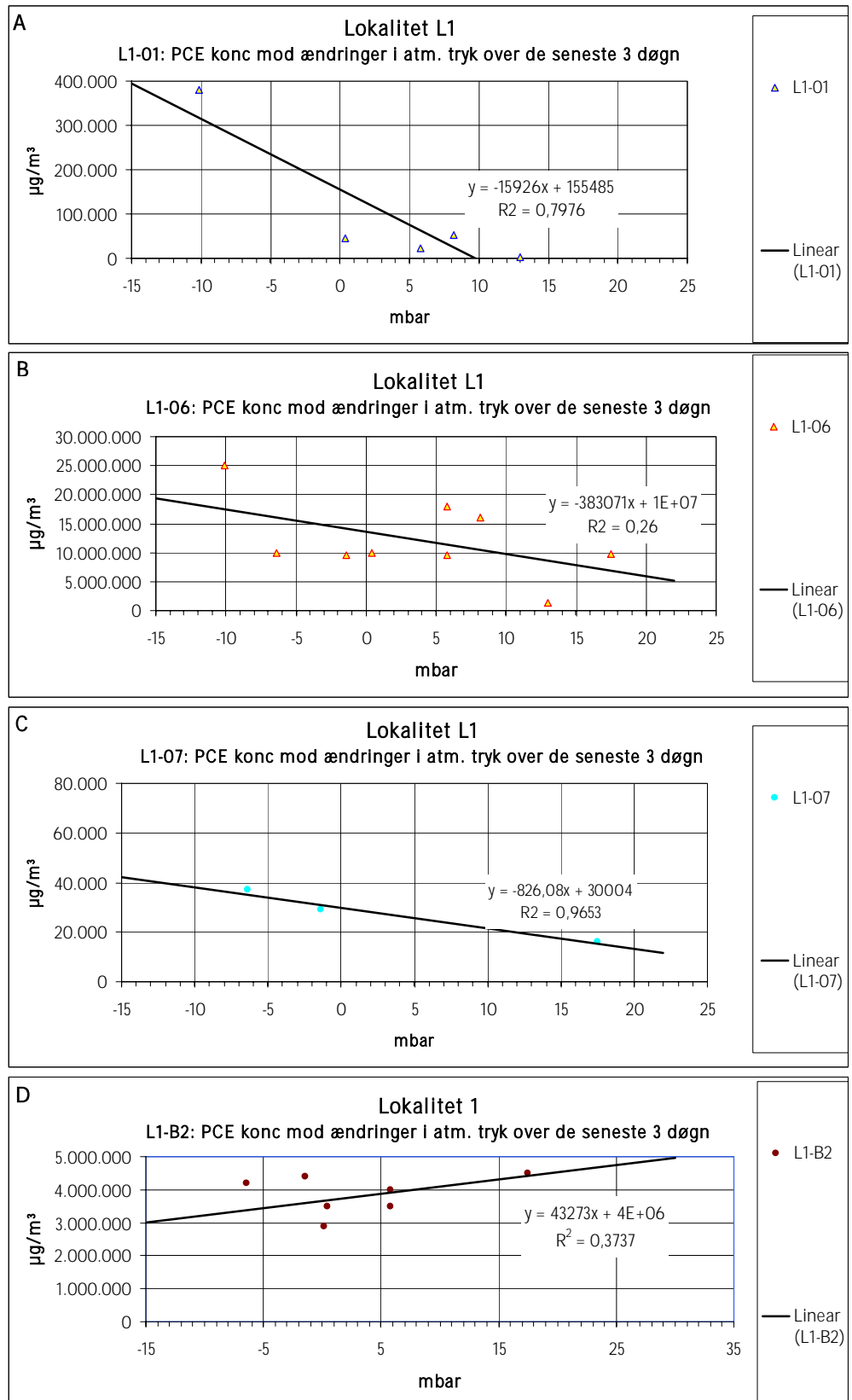
Figur 6.7: Koncentration af tetraklorethylen på lokalitet L1 i forhold til det absolutte atmosfæretryk. Den lodrette linie angiver normalt lufttryk (1013 mbar).

Jævnfør de teoretiske betragtninger vedr. responstid for lerlokaliteter med ca. 4 m ler til grundvandsspejlet, se afsnit 4.2.3, vil det være relevant at betragte koncentrationsændringerne i forhold til trykændringerne over 2-3 døgn. Afbildes således koncentrationen mod ændringer i atmosfæretrykket over 3

døgn, kan der spores en klarere tendens for målingerne ved trykstigninger, se figur 6.8.

Det fremgår af figurene for L1-01, L1-06 og L1-07, at koncentrationen falder med trykstigning i atmosfæretrykket, dvs. koncentrationsændringerne følger trykteorien, såfremt man ser summen af trykændringer over 3 døgn. Af figurene fremgår tydeligt de variationsspænd, som er omtalt i afsnit 6.8.2.

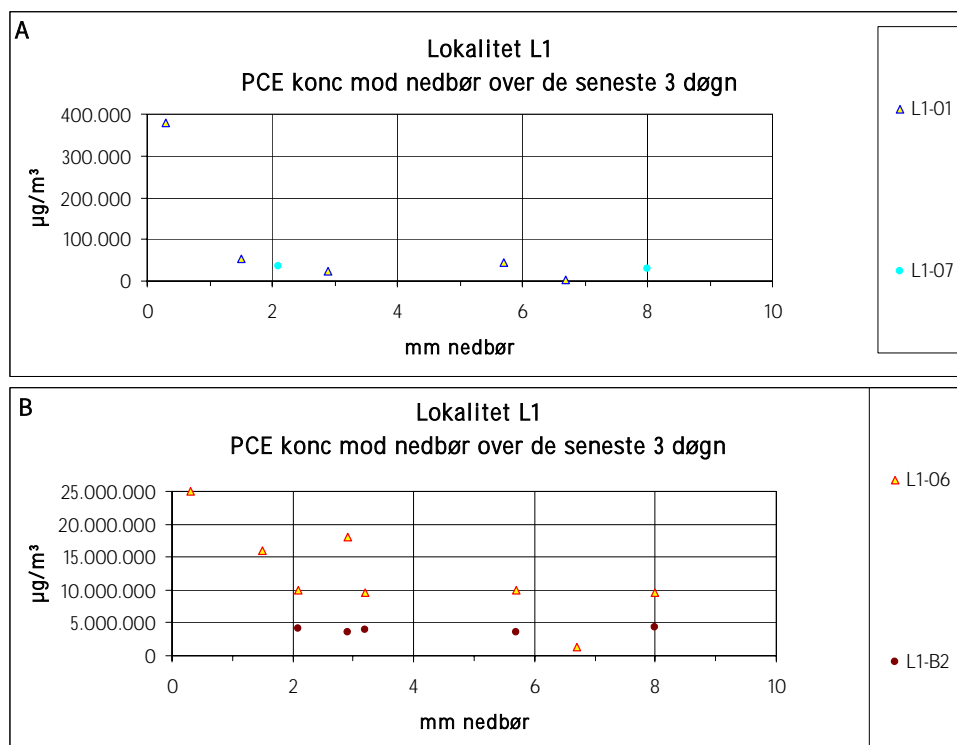
Kurven for L1-01 indikerer, at hvis atmosfæretrykket reduceres over 3 døgn med 10 mbar, så øges koncentrationen med en faktor ca. 2 i forhold til normalniveauet, mens en tilsvarende trykstigning vil reducere koncentrationen til få % af normalniveauet. For L1-06, L1-07 ses de tilsvarende effekter at ligge inden for en faktor 0,5-2. L1-B2 viser ikke den samme tendens årsagen hertil er ukendt.



Figur 6.8: Koncentrationsmålinger på Lokaltet L1 i forhold til trykændringer over 3 døgn i A: fyltdsonde L1-01, B: fyltdsonde L1-06, C: lersonde L1-07 og D: lersonde L1-B2.

6.10.3 Koncentration og nedbørshændelser

I figur 6.9 er koncentrationsniveauerne afbildet mod nedbør over de seneste 3 døgn.



Figur 6.9: Koncentrationsniveauerne i forhold til nedbørsmængde over de seneste 3 døgn.

I figur A er afbildet fyldsonde L1-01 og lersonde L1-07 og i figur B er afbildet fyldsonde L1-06 og lersonde L1-B2

Det fremgår af kurverne for L1-01, L1-B2 og L1-07, at koncentrationsniveauerne ikke påvirkes entydigt af nedbørsmængden, når denne vurderes som eneste betydende faktor. Dog er der en tendens til, at poreluftkoncentrationerne i fyldet varierer mere med nedbøren end poreluftkoncentrationerne i moræneleret. Jf. figur 4.8 er dette samstemmende med de teoretiske betragtninger.

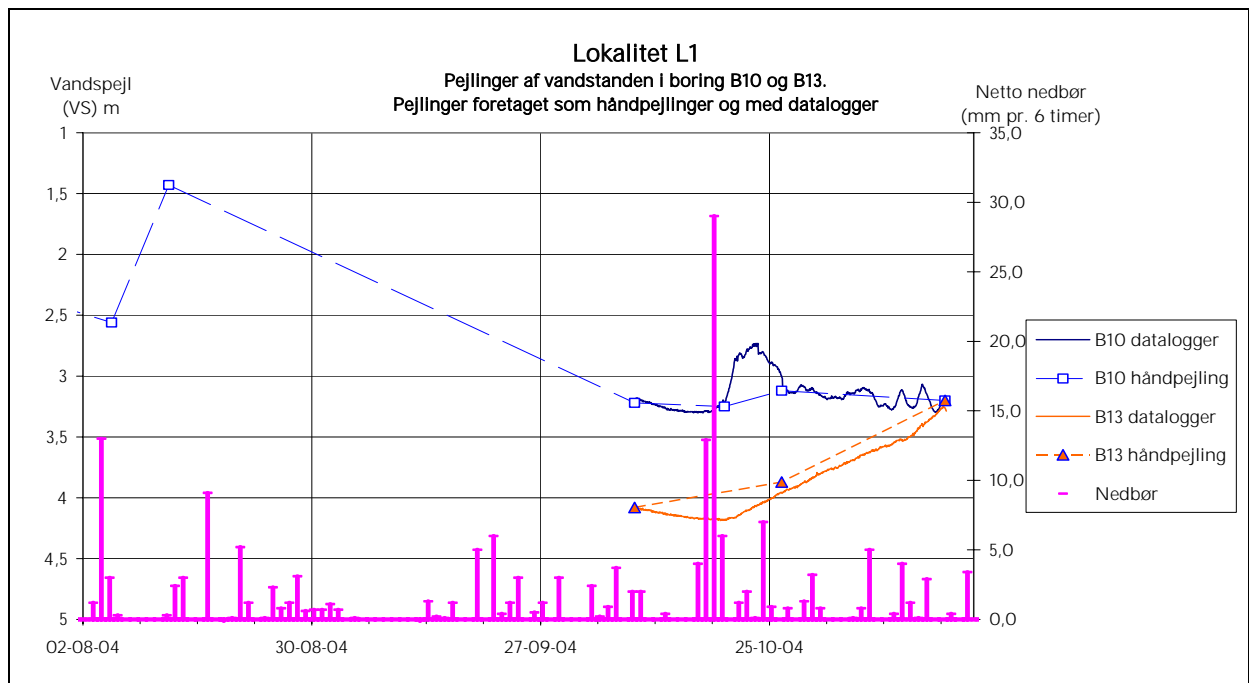
Hvad angår L1-06 fremgår det, at koncentrationen målt i fyldsonden udviser en tendens til, at der ved stigende nedbør opnås lavere koncentrationer. Da nedbør på nærværende lokalitet er ledsaget af et atmosfærisk trykfald fremgår det af kurven for L1-06, at effekten af nedbør overstiger effekten af et trykfald. Der ses således samme tendens som for differensterkningen.

6.10.4 Koncentration og grundvandsstand

I figur 6.10 er nedbøren sammenstillet med logninger af grundvandsstanden i boring B10 og B13. For perioden fra d. 8. okt. til 15. nov. 2004 fremgår det, at der er god overensstemmelse mellem håndpejlingerne og de foretagne logninger. Det fremgår yderligere, at der i magasinet i boring B10 ca. 3-5 m u.t. sker en grundvandsstigning få dage efter en kraftig nedbørshændelse, men at denne stigning næsten forsvinder igen efter få dage, svarende til at magasinet afdræner til andre magasiner. I boring B13, som er filtersat fra 3-5 m u.t., sker grundvandsstigningen langsomt og stort set over hele perioden.

Sammenlignes disse data med de øvrige pejlinger på ejendommen (tabel 6.6), fremgår det, at der er tale om mange sekundære magasiner, som afdræner til hinanden og således ikke reagerer ens på en regnhændelse.

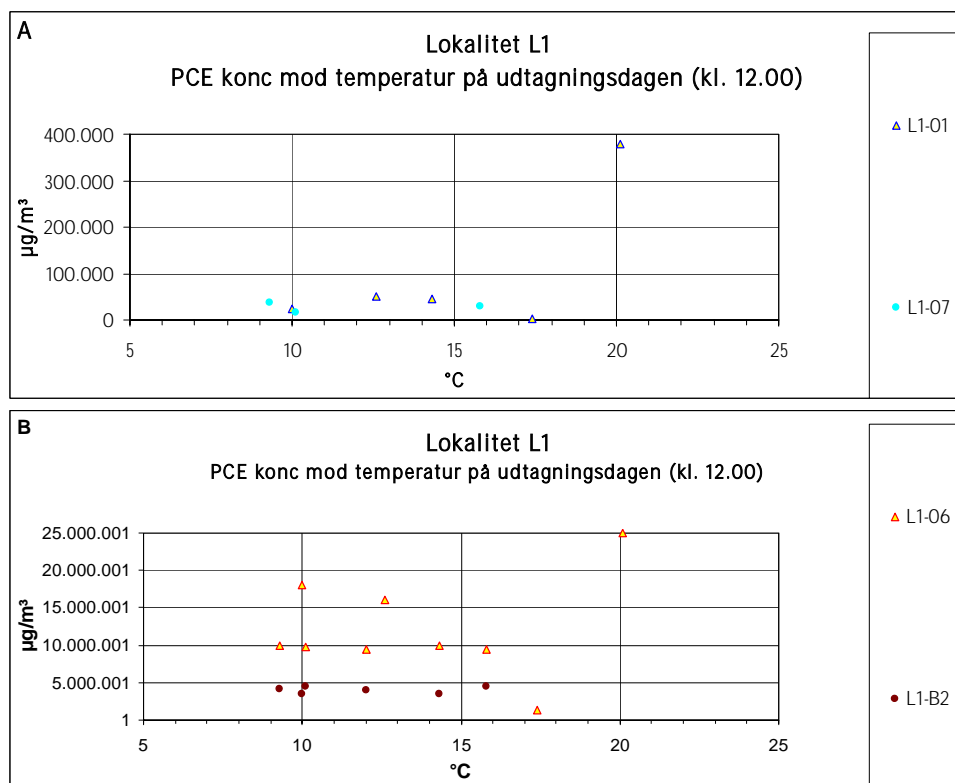
Jf. resultaterne i tabel 6.8 kan det konstateres, at koncentrationerne i sonderne L1-06, L1-07 og L1-B2 ikke varierer væsentligt med grundvandsspejlets variation (maksimalt en faktor 2,3 for sonde L1-07). For L1-06 og L1-07's vedkommende skyldes dette formodentligt, at der ikke kan konstateres en generel grundvandsændring i boring B10, som er den af de pejlende borer, som ligger nærmest sonderne. For L1-B2 vurderes det, at boringssonden ikke påvirkes af eventuelle grundvandsstigninger i boring B13, idet afstanden mellem boringssonden og boringen er for stor (ca. 10-12 m). Idet der er mange lokale grundvandsspejl, der ikke er sammenhængende, på lokalitet L1 vurderes det ikke, at de teoretiske betragtninger jf. afsnit 4.2.4 vil have stor anvendelse på lokaliteten. En undtagelse herfor er situationen, hvor der er tale om et større magasin i umiddelbar nærhed af poreluftssonden.



Figur 6.10: Nedbør samt grundvandstand i borerne B10 og B13. Logning i forbindelse med de intensiverede målinger.

6.10.5 Koncentration og lufttemperatur

Af figur 6.11 fremgår det, at koncentrationen ikke udviser en entydig afhængighed af temperaturen på måledagen. Dette udelukker dog ikke, at temperaturen i andre sammenhænge har en vis betydning.



Figur 6.11: Koncentrationer som funktion af temperaturen i fyld og lersonder. I figur A er afbildet fyldsonde L1-01 og lersonde L1-07 og i figur B afbildes fyldsonde L1-06 og lersonde L1-B2

6.11 Vurdering af resultater fra lokalitet L2

Som for lokalitet L1 gennemføres der i det følgende en vurdering af en eventuel sammenhæng mellem udvalgte meteorologiske og hydrogeologiske faktorer og variationer i poreluftskoncentrationen. De indledende bemærkninger mht. vurderingsmetodens begrænsninger, som blev nævnt for lokalitet L1, gælder også for lokalitet L2. Der henvises derfor til teksten i afsnit 6.10.

Meteorologiske data er hentet fra DMI's station i Tune, dog stammer nedbørsdata fra DMI's vejstation i Glostrup. Det antages, at data er repræsentative for lokalitet L2. Tilsvarende lokalitet L1 er der for lokalitet L2 udarbejdet grafer, der viser de meteorologiske forhold omkring måletidspunktet. Disse findes i bilag 2.15 og er benævnt figur L2-A til L2-E.

På lokalitet L2 konstateres de højeste koncentrationer af tetraklorethylen og trikllorethylen i sonde L2-01 i runde 4, d. 8. okt. 2004. For sonde L2-06 konstateres den højeste koncentration af tetraklorethylen i runde 2, d. 28. juni 2004 mens den højeste koncentration af trikllorethylen i samme sonde findes i runde 3. En mulig forklaring herpå kan være, at der på lokalitet L2 til dels er tale om 2 adskilte forureninger med hhv. trikllorethylen og tetraklorethylen,

mens der på lokalitet L1 primært er tale om en blandingsforurening. For L2 er det sandsynligt, at afstanden fra de enkelte forureningskilder til sonderne således medfører koncentrationsmæssige forskydninger. Det er bemærkelsesværdigt, at de højeste koncentrationer i poreluften i fylden på lokalitet L2 ikke konstateres på samme tidspunkt som på lokalitet L1, se afsnit 6.10.2.

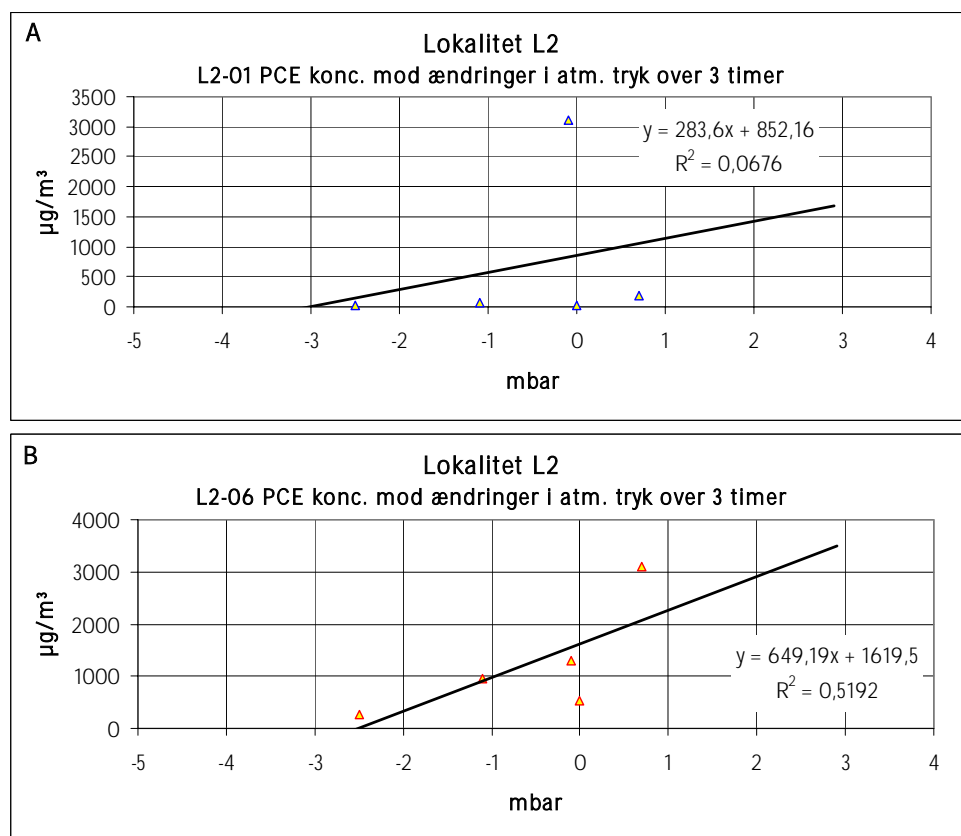
6.11.1 Trykdifferens

Som det fremgår af trykdifferensmålingerne i tabel 6.10 er der ikke nogen entydig tendens for resultaterne hen over målerunderne. Faktisk må det konstateres, at nogle af sonderne er i modfase, således at én sonde udvikler differensundertryk, mens andre udvikler differensovertryk. Der er ikke nogen entydig forklaring herpå ud over, at differenstrøkkudviklingen i en sonde placeret i opsprækket moræneler kan få karakter af 'kaotisk', såfremt der opstår lokal vandmætning omkring sondespidsen. Trykkudviklingen i sonden vil da i højere grad være afhængig af lokale vandspejlsvariationer end trykændringer i atmosfæren.

En sammenligning af koncentrationer i fyldet og differenstryk i lerlaget umiddelbart under fyldet viser heller ikke nogle entydige tendenser.

6.11.2 Koncentration og atmosfæretryk

Tilsvarende lokalitet L1, se afsnit 6.10.2, er der ved målinger på lokalitet 2 i runde 4, d. 8. okt. 2004 konstateret meteorologiske forhold, som ligner normalforhold, se figur L2-D i bilag 2.15. Dette begrundes i, at der er meget stabile trykforhold omkring normaltrykket på 1.013 mbar.



Figur 6.12: Koncentrationer i fyldsonder på lokalitet L2 i forhold til trykændringer i atmosfæren over 3 timer i A: fyldsonde L2-01, B: fyldsonde L2-06.

Jf. de teoretiske betragtninger vedr. responstid kan lokalitet L2 sammenlignes med det nævnte eksempel i afsnit 4.2.3: Der er skønmæssigt ca. 1 m fyld underlejet af 1-2 m umættet ler. Da der er tale om målinger i fyldet, er det ud fra responstidslige betragtninger mest relevant at vurdere koncentrationer ud fra ændringer i atmosfæretryk inden for timerne op til målingen. Dette er gjort i figur 6.12 A og B for fyldsonderne L2-01 og L2-06.

Det fremgår af figurene, at der særlig for L2-06 er en tendens til, at koncentrationen stiger ved trykstigninger. Dette er i modstrid med trykteorien.

Det skal bemærkes, at hvis koncentrationerne fra L2 afbildes mod fx trykændringer over et døgn eller over 3 døgn, så bliver sammenhængen dårligere end angivet i figur 6.12.

Dette indikerer, at poreluftskoncentrationerne i højere grad afhænger af andre faktorer end af atmosfæretrykket alene. En del af forklaringen herpå kunne være, at nedbør og ændringer i grundvandsniveauet har større betydning end ændringer i atmosfæretrykket, fx som følge af at den umættede zone er forholdsvis lille. Denne mulighed behandles i det følgende afsnit.

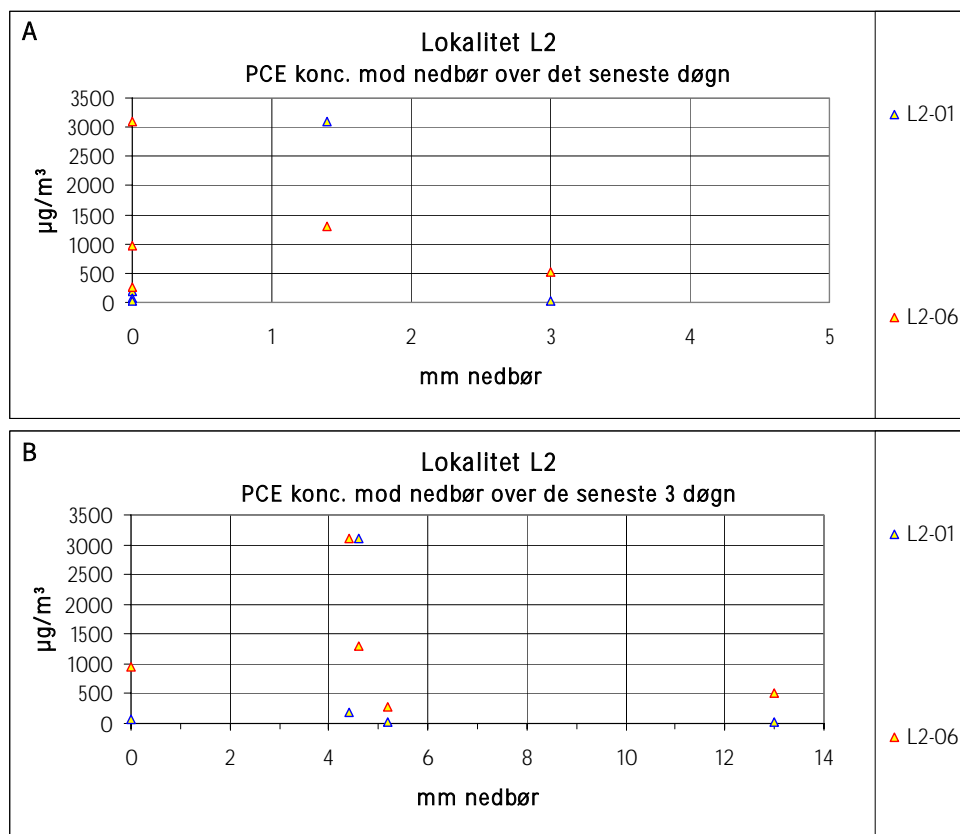
6.11.3 Koncentration, nedbør og grundvandsstand

Ser man på nedbørsdata for måleperioderne, kan det konstateres, at der var en regnhændelse umiddelbart før målerunde 2, se figur L2-B i bilag 2.15. Denne nedbør giver dog ikke anledning til et tydeligt fald i koncentrationen, tværtimod konstateres den højeste koncentration af tetraklorethylen i sonde L2-06, se tabel 6.12. I dagene op til målingen er det absolutte atmosfæretryk forholdsvis stabilt omkring 1015 mbar, hvorfor koncentrationsstigningen ikke kan skyldes et trykfald.

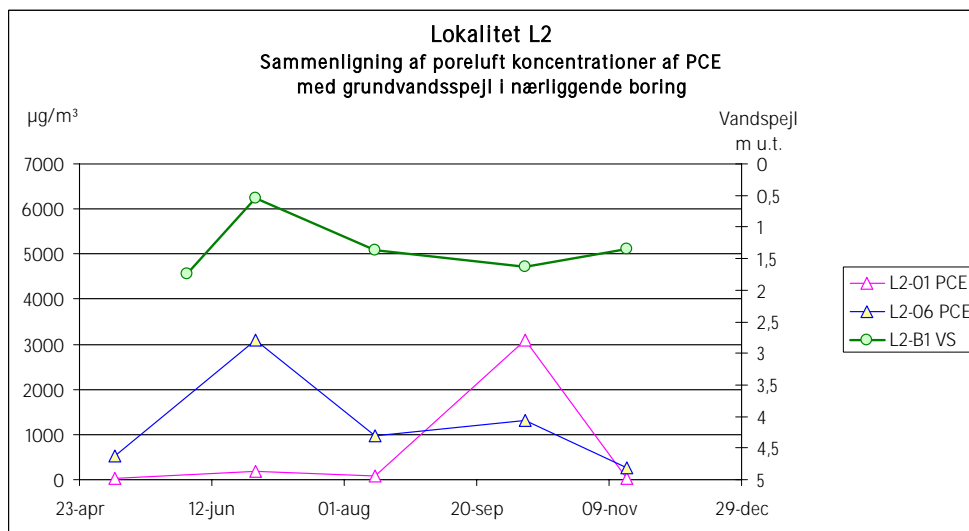
I figur 6.13 og 6.14 er optegnet de målte koncentrationer i fyldsonderne sammen med henholdsvis nedbørsmængden og grundvandsniveauet. Nedbørshændelser bør jf. teorien i afsnit 4.2.4 medføre et fald i koncentrationen i poreluften. Af figur 6.13 A og B kan en sådan tendens svagt anes.

Teoretisk skulle en stigning i grundvandstanden medføre en koncentrationsstigning i poreluften. I figur 6.14 kan der anes en tendens til, at L2-06 stiger hhv. falder, når grundvandsspejlet stiger hhv. falder, illustreret ved pejledata fra boring L2-B1. Dette er helt i overensstemmelse med teorien. Der ses ikke en tilsvarende tendens for L2-01. Det vurderes, at effekter som følge af ændringer i grundvandsspejlet kan forklare en del af koncentrationssvingningerne i L2-06, skønmæssigt en faktor 2-3 for den pågældende sonde. Det vurderes ikke, at vandspejlet på lokalitet L2 er præget af mange ikke-sammenhængende vandspejl, men dette kan dog ikke udelukkes at være en del af forklaringen på de forskellige effekter i sonderne.

Samlet vurderes det dog ikke, at nedbør eller grundvandsændringer fuldstændigt kan forklare kurveforløbene i figur 6.14. Der er således ingen umiddelbar forklaring herpå.



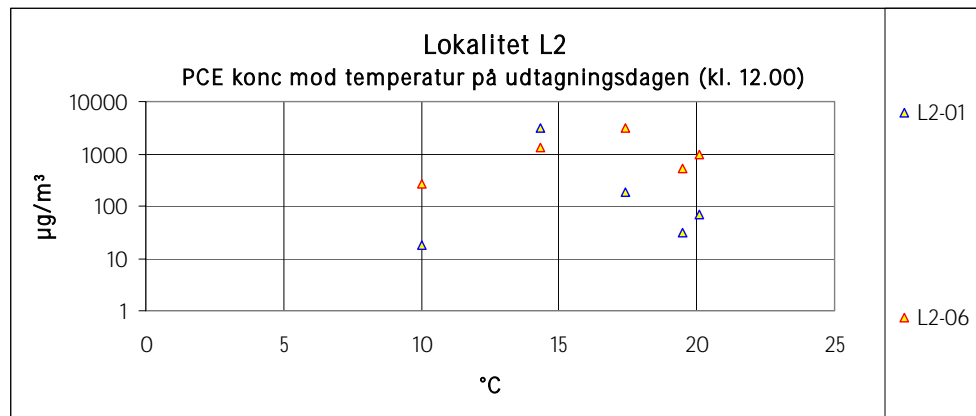
Figur 6.13: Koncentrationen af tetraklorethylen i fyl dsonde L2-01 og L2-06 som funktion af nedbørsmængden hhv. A: inden for det seneste døgn og B: inden for de seneste 3 døgn.



Figur 6.14: Poreluftskoncentrationen i fyl dsonderne L2-01 og L2-06 i forhold til grundvandsspejlet i nærliggende boring L2-B1.

6.11.4 Koncentration og lufttemperatur

I nedenstående figur 6.15 er den målte koncentration i fyl dsonderne på lokalitet L2 afbildet mod lufttemperaturen. Det fremgår af figuren, at der ikke en entydig sammenhæng mellem lufttemperaturen og den målte koncentration.



Figur 6.15: Den målte koncentrations afhængighed af lufttemperaturen.

6.12 Opsummering i lokaliteter

Ud fra resultaterne fra lokaliteterne vurderes det, at følgende **tendenser** kan identificeres:

- Der er konstateret korttidsvariationer i poreluftkoncentrationer i fylde på op til 2 størrelsesordener på de undersøgte lokaliteter. I moræneleret på lokalitet L1 er der konstateret korttidsvariationer på op til en faktor 6.
- Medtages tidligere måledata kan der for lokalitet L1 konstateres en langtidsvariation i poreluftkoncentrationerne i moræneleret på en faktor ca. 65.
- Der er konstateret arealmæssige variationer på op til 3 størrelsesordener i de målte koncentrationer på de 2 undersøgte lokaliteter. Der er en tendens til, at den arealmæssige variation er størst tæt ved hot spot området.
- Erfaringer fra andre undersøgelser viser, at den arealmæssige variation ofte er helt op til 6 størrelsesordener (fra koncentrationer under dektektionsgrænsen til koncentrationer i mio. µg/m³ i hot spot). En arealmæssig dækkende undersøgelse er derfor afgørende for en god risikovurdering.
- Ved prøvetagning af poreluft bør der anvendes så lavt et flow som muligt, helst 100-500 ml/min. Særligt i lerformationer bør forpumpningen reduceres mest muligt, f.eks. til 110-200 % af det kunstige volumen af sonden.
- Udluftningsforsøgene giver anledning til at vurdere, at man ved kortvarige utætheder (få minutter) ved poreluftprøvetagning kan opnå reetablering af stabile forhold i formationen med en forpumpning på 2-3 gange voluminet inden gentagen prøvetagning.
- Vurdering af betydningen af faktorer som trykændringer i atmosfæren, nedbør, temperatur og grundvandsstand hver for sig viser, at særligt trykændringer i atmosfæren påvirker den målte koncentration i poreluften på lokalitet L1. Trykændringer i atmosfæretrykket kan dog

ikke forklare hele den konstaterede variation, hvorfor andre faktorer også forventes at have indflydelse.

- På lokalitet L2 er koncentrationssvingningerne tilsyneladende også påvirkelige af andre forhold end trykændringer. Der er tilsyneladende en vis afhængighed af grundvandsstanden og nedbør.
- For lokalitet L1 kan det konstateres, at trykændringer i atmosfæretrykket ca. 3 døgn forud for målingerne tydeligt påvirker den målte koncentration:
 - Et trykfald giver almindeligvis anledning til en relativ koncentrationssstigning, i nærværende undersøgelse op til 1 til 2 størrelsesordener
 - En trykstigning giver almindeligvis anledning til et relativt koncentrationsfald, i nærværende undersøgelse op til 1 til 2 størrelsesordener.
- Vurdering af nedbøren i forhold til den målte koncentration viser, at nedbør har stor indflydelse på den målte koncentration. Nedbør medfører almindeligvis et fald i koncentration som følge af udvaskning. Særligt kan effekten af kraftig nedbør overskygge den samtidige effekt af trykfald i atmosfæren.
- For lokalitet L2 kan det konstateres, at det særligt er trykændringer i atmosfæretrykket ca. 1 døgn forud for målingerne, som påvirker den målte koncentration.
- Også grundvandsspejlet placering har betydning. Stiger grundvandsspejlet, presses mere forurenede luft op i formationen og koncentrationen i et givent punkt stiger. For lokalitet L1 har grundvandsstanden tilsyneladende mindre betydning end for lokalitet L2. Grundvandsspejlets placering kan muligvis forklare en koncentrationsvariation med en faktor 2-3 i fyldsonde L2-06.
- For begge lerlokaliteter viser differenstrymålingerne, at differenstrømmen i perioder udvikler sig i henhold til trykteorien, mens det i andre perioder udvikler sig 'kaotisk'. Det vurderes, at differenstrømsudviklingen i en sonde placeret i opsprækket moræneler kan få karakter af 'kaotisk', såfremt der opstår lokal vandmætning omkring sondespidsen. Trykudviklingen i sonden vil da i højere grad være afhængig af lokale vandspejlsvariationer end trykændringer i atmosfæren.
- For lokalitet L1 er der i perioder en tydelig sammenhæng mellem nedbør og differensundertryk. Nedbør giver umiddelbart et øget differensundertryk.
- Temperatursvingninger mellem +25 og -5 °C ser ikke ud til at have den store effekt på svingninger i koncentrationen på lokalitet L1.
- Koncentrationsniveauet i såvel ler- som fyldsonderne indstiller sig forholdsvis hurtigst (få timer/døgn) efter ændringer, også som følge af kortvarige trykændringer.

7 Diskussion og anbefalinger

I det følgende diskuteres resultaterne fra de 3 lokaliteter samlet, idet der afslutningsvis gives anbefalinger mht. fremtidige arbejder inden for området.

7.1 Prøvetagning

7.1.1 Metoder til udtagning af poreluft

Valg af sonder

I undersøgelserne er der anvendt i alt 3 forskellige typer af poreluftssonder i terræn:

- Jernsonder på lerlokaliteter: Nedrammede 32 mm jernrør, der i den ønskede dybde trækkes tilbage, hvorefter hulrummet efterfyldes med filtersand
- Boringssonder på lerlokaliteter: Henholdsvis, 32 mm filterrør eller 65 mm filterrør indbygget i en boring med filtersand med betonprop og bentonit afpropning mod terræn
- Alu-rør på sandlokalitet: Nedrammede 12 mm perforerede alu-rør.

På sandlokaliteten har de ovenfor nævnte alu-rør været anvendt som sonder gennem gulv.

Undersøgelserne viser, at etablering af alle de anvendte sondetyper har været forholdsvis let. Alle sondetyperne har kunnet modstå de fysiske og meteorologiske påvirkninger, som de lange måleperioder har medført.

Ser man på sondernes anvendelighed til udtagning af poreluft vurderes følgende:

- Alu-rør og jernsonder er særligt anvendelige i fyld samt i formationer, hvor der er en væsentlig gaspermeabilitet.
- Alu-rør kan almindeligvis anvendes til ca. 2-2½ m u.t., mens jernsonderne almindeligvis kan anvendes til ca. 4-5 m u.t.
- Er der tale om kortere sonder, er alu-rør lettere at anvende, idet der ikke skal tilbagefyldes med sand.
- Boringssonder er særligt velegnede til formationer, hvor der forventes en lav gaspermeabilitet. Boringssondernes forholdsvis større kunstige porevolumen (sondevolumen og etableret filtervolumen) betyder, at der er større sandsynlighed for at komme i kontakt med permeable dele af formationen.

En anden fordel ved boringssonder er, at man får oplysninger om de geologiske lag under etableringen. Ved meget lavpermeable lag vil forureningen i formationen diffundere ind til det kunstige porevolumen i boringssonden. Da porevoluminet i boringssonderne er forholdsvis stort, kan der ved prøvetagning uden væsentlig

forpumpning fås en indikation af forureningen - også selvom der reelt ikke er strømning af poreluft til sonden.

7.1.1.1 Forpumpning og pumpeflow

Lerlokalteter

Pumpeforsøg på lerlokaltet L1 viser, at pumpeflowets størrelse er afgørende for den målte koncentration. Ydermere viser målingerne, at den oppumpede luftmængde i forbindelse med ren- og forpumpning har stor betydning for den målte koncentration.

Dette betyder, at man skal gøre sig klart, om man ønsker en punktprøve, der repræsenterer poreluften lige omkring sonden, eller om man ønsker en volumenprøve, der repræsenterer et større område omkring sondespidsen. Ønskes en punktprøve, skal der anvendes et minimum af ren- og forpumpning. Et fornuftigt flow vurderes at være 0,1-0,5 l/min, mens et fornuftigt renpumpningsvolumen vurderes at være 1½-2 gange det kunstige porevolumen, dog forudsat, at modtrykket ikke bliver for stort (bør ikke være over 300 mbar).

Ønskes en volumenprøve kan ren- og forpumpningen principielt øges. Dog skal man sikre sig, at der ikke opstår lækage til terræn.

For renpumpning, forpumpning og prøvetagning indikerer resultaterne, at der skal anvendes så lavt et flow som det teknisk og tidsmæssig økonomisk er muligt.

Sandlokaliteter

Forpumpningsforsøgene af poreluft under gulv og i udendørs poreluftsonder viste, at prøvetagning på sandlokaliteten var meget robuste over for forskellige pumpeflow. Ved høje pumpeflow (10 l/min) ses dog et koncentrationsfald. Ved prøvetagning på en sandlokalitet anbefales et flow på 0,1-1 l/min og et maksimalt modtryk i sonden på 150 mbar. Et fornuftigt renpumpningsvolumen vurderes at være 5-10 gange det etablerede porevolumen i formationen og i spyd og slanger frem til prøvetagningsstedet.

7.1.1.2 Enkelbestemmelser eller gentagelser?

Det har været praksis alene at foretage enkeltbestemmelser af poreluftforureninger. Specielt på lerlokalteter ses der store korttidsvariationer i de målte koncentrationer. Disse variationer kan ikke entydigt bestemmes ud fra kendskab til de stedlige forhold, samt meteorologiske og hydrogeologiske forhold. Samlet betyder dette, at det ikke er muligt at afgøre, om den målte værdi er under, på niveau med eller over en gennemsnitværdi.

Dette taler for, at man især på lerlokalteterne foretager flere målerunder eller foretager målinger, der repræsenterer længere sammenhængende perioder. Langtidsvariationer kan formentlig i et vist omfang vurderes ud fra kendskab til vandspejlsvariationer i sekundære magasiner og det aktuelle vandspejl i det øvre grundvand.

På sandlokaliteter kan det bedre forsvares at udføre enkeltmålinger, idet variationerne typisk er mindre end på lerlokalteter. Langtidsvariationer kan formentlig i et vist omfang vurderes ud fra kendskab til vandspejlsvariationer i sekundære magasiner og det aktuelle vandspejl i det øverste sekundære magasin. Dette vil dog afhænge af de konkrete forhold på en lokalitet,

herunder forureningsfordeling i mættet/umættet zone. Resultaterne på sandlokaliteten viser således, at der kan være meget store variationer over tiden. Fra 1996 til 2004 er der således fundet 2 størrelsesordener i koncentrationsforskelle i både pore- og indeluft, sandsynligvis pga. varierende grundvandspotentiale, hvor lav vandstand medfører øget afdampning.

7.1.1.3 Genanvendelse og reetablering af sonder

Ved genanvendelse af sonder efter henstand vil en øget renpumpning være anbefalelsesværdig. Renpumpningen skal afpasses efter geologien og gaspermeabiliteten i jorden, idet det skal sikres, at der ikke sker uønsket lækage til andre områder i formationen eller til terræn. For lerlokaliteter vurderes en renpumpning på 1½ - 2 gange det kunstige volumen og et flow på 0,1-0,5 l/min at være fornuftige valg under forudsætning af, at modtrykket ikke bliver højere end ca. 300 mbar.

For sandlokaliteter vurderes et fornuftigt valg tilsvarende at være 5-10 gange det kunstige volumen, et flow på 0,1 - 1 l/min og et maksimalt modtryk i sonden på 150 mbar (se også Fyns Amt, 2005a).

I tilfælde af at sondehullet kan udgøre en spredningsvej for forurening, skal sondehuller afproppes med bentonit efter optagning af sonder.

7.1.1.4 Manual for prøvetagning i poreluft

Fyns Amt (2005a) har udarbejdet en manual for prøvetagning af poreluft. Der henvises hertil.

7.1.2 Betydningen af utætheder ved prøvetagning

Lerlokaliteter

MIMS-målinger på lerlokalitet L1 viser, at koncentrationsniveauet i formationen når op på udgangskoncentrationen igen efter oppumpning af få liter poreluft, efter at sonden har været åben i 15 min. Dette gælder både ved større eller mindre undertryk i formationen forud for utætheden. Det er uvist, om et tilsvarende forhold gør sig gældende for andre geologiske formationer.

Ud fra disse resultater vurderes det, at der kan kompenseres for kortvarige utætheder (få minutter) ved forpumpning svarende til 1½-2 gange porevoluminet.

Sandlokalitet

Der er ikke udført udluftningsforsøg på sandlokaliteten, men det vurderes ikke, at kortvarigt åbne sonder vil være en væsentlig fejlkilde. Forpumpning med få porevolumener (5-10 gange) vurderes at eliminere væsentlige fejl.

7.1.3 Metoder til prøvetagning i indeklime

I nærværende undersøgelse er der foretaget indeklime målinger på sandlokaliteten som kontinuerte målinger med MIMS, korttidsmålinger med kulrør og langtidsmålinger med ATD-rør.

Sammenligning af resultaterne viser, at alle 3 undersøgelsesmetoder er anvendelige til at beskrive indeklimekoncentrationen af PCE. Valget af metode bør derfor afpasses efter formålet med målingen, herunder hvorledes prøven skal anvendes i relation til det videre arbejde.

Er der tale om indikationsmålinger f.eks. i forbindelse med optimering af en undersøgelsesplan, kan man med fordel anvende korttidsmålinger f.eks. med MIMS, felt-GC eller kulrør.

For klorerede opløsningsmidler er det den gennemsnitlige påvirkning over længere tid, der afgør, om der er en eksponeringsrisiko for mennesker eller miljø. Skal data anvendes til en risikovurdering i relation til mennesker eller miljø, bør man anvende langtidsmålinger over f.eks. 14 dage. Da koncentrationsniveauerne selv over 14 dages perioder kan variere en del (op til 1 størrelsesorden jf. Miljøstyrelsen (2003)), bør man gentage målingerne.

Yderligere bør man i forbindelse med indeklimamålinger sikre sig, at der ikke er andre interne eller eksterne kilder til forurening, herunder sinkbidrag eller bidrag fra rensed tekstil (se Miljøstyrelsen, 2002 og Miljøstyrelsen, 2001B). Desuden bør man i forbindelse med målinger foretage registrering af brugen af lokalerne, herunder afklare om brugerne anvender lokalerne som normalt samt i hvilket omfang, der foretages udluftning såvel aktivt som passivt. Samtidig måling af luftskiftet i lokalet anbefales fremover. Dette er i dag en kommerciel metode og kan udføres for et beløb på få tusinde kroner. Måling af luftskiftet vil give en viden om prøvetagningsforholdene har været inden for "normalområdet". Desuden kan forureningsdata omregnes til et "normalt" luftskifte.

Endelig bør man indhente meteorologiske data for måleperioden og ugen før målingerne gennemføres. Dette bør gøres for at afklare, om der har været tale om ekstreme vejr situationer med f.eks. kraftig vind, væsentlige trykændringer eller væsentlige temperaturændringer, som retfærdiggør, at målingerne bør gentages. Selvom man ikke på nuværende tidspunkt entydigt kan anvende disse data til at afklare, om resultaterne repræsenterer en værdi under, på niveau med eller over en gennemsnitsværdi, kan oplysninger lette en evt. senere revurdering af resultaterne.

7.1.4 Metoder til vandbestemmelse i umættet zone

I nærværende projekt er der til bestemmelse af vandindholdet i den umættede zone anvendt 2 forskellige metoder: TDR-målinger og vandindholdsanalyse bestemt ved tørring og vejning. På sandlokaliteten er begge metoder anvendt, mens der alene er anvendt vandindholdsanalyse på lerlokaliteterne.

For sandlokaliteten viser TDR-målingerne generelt en god beskrivelse af udviklingen i vandindholdet i den umættede zone. Det vurderes, at TDR - målingerne generelt overestimerer vandindholdet, men relativt vurderes målingerne at være repræsentative.

Resultaterne af TDR-målingerne og vandindholdsanalyserne indikerer således, at begge metoder er velegnede til at påvise ændringer i vandindholdet i den umættede zone på sandlokaliteter.

For lerlokaliteternes vedkommende kan man ikke se forskel i vandindholdet gennem målerunderne trods det, at prøverne er udtaget på forskellige tidspunkter og i forbindelse med forskellige nedbørshændelser. Dette kan i princippet skyldes flere ting:

- At vandindholdet ikke varierer over tiden i toppen af moræneleret trods kraftig regn, og at det målte således afspejler virkeligheden.

- At vandindholdet i toppen af moræneleret i det pågældende område ikke blev påvirket i tilstrækkelig grad af regninfiltration til, at variationer kunne måles. Ikke desto mindre kan der være vandindholdsændringer andre steder i toppen af moræneleret eller vandindholdet kan være højere på andre årstider.

Da bestemmelse af vandindhold analytisk er en anerkendt metode, vurderes det dog, at uanset hvilken af ovennævnte årsager, der måtte være dominerende, er metoden anvendelig, også på lerlokaliteter.

TDR-målinger er generelt dyrere end vandindholdsanalyser og anbefales i sager, hvor der skal udføres gentagne målinger for at vurdere udviklingen i vandindholdet. Ulempen ved traditionelle målinger af vandindholdet med tørring af jordprøven er, at det er vanskeligt at lave reproducerbare prøver, idet der skal laves nye borer, hver gang der skal udtages prøve. Selv mindre inhomogeniteter i jorden vil overskygge naturlige variationer i vandindholdet over tiden.

Vandindholdsanalyser kan normalt leveres fra dag til dag, men ønskes hurtigere bestemmelser af vandindholdet, kan TDR-målinger med fordel anvendes.

7.2 Variationsspænd

7.2.1 Variationsspænd i poreluft i terræn

Arealmæssig variation på ler- og sandlokaliteter

Arealmæssige variationer i koncentrationer af PCE i poreluften på op til 6 størrelsesordner er velkendt på både ler- og sandlokaliteter. På lerlokaliteter ses variationerne dog typisk over kortere afstande end på sandlokaliteter.

Tidslig variation

De tidslige variationer i poreluftkoncentrationerne er meget forskellige afhængigt af om det er en sand- eller lerlokalitet, der undersøges.

Sandlokalitet

På sandlokaliteten ses der forholdsvis små tidslige variationer i poreluftkoncentrationen i det samme målepunkt. Ved de udførte målinger i forbindelse med poreluftprojektet er der typisk konstateret en faktor 1-2 mellem den højeste og den lavest målte værdi. Medtages resultater fra 1996-2002 ses dog variationer op til 2 størrelsesordener (faktor 100). Ud fra forsøgsresultaterne og litteraturstudiet vurderes det, at korttidsvariationer (over måneder) er op til ca. én størrelsesorden, mens langtidsvariationerne (fra år til år) kan være flere størrelsesordener, skønmæssigt almindeligvis 1-2 størrelsesordener.

Lerlokaliteter

Ud fra erfaringer fra tidligere udførte forureningsundersøgelser var det forventet, at der ville kunne ses store tidslige variationer i poreluftkoncentrationerne på lerlokaliteterne. De udførte målinger bekræfter, at der er væsentlig større tidslige variationer på lerlokaliteterne end på sandlokaliteten. I hovedparten af målepunkterne i nærværende undersøgelse er forskellen på den højest målte koncentration og den lavest målte koncentration på 1 til 2 størrelsesordner. I et enkelt målepunkt er der dog

konstateret en forskel på 3 størrelsesordner. Ud fra de tidligere udførte undersøgelser på lokaliteterne kan det ikke afvises, at der vil kunne forekomme større tidslige variationer i poreluftskoncentrationen. Ud fra litteraturstudiet vurderes det, at realistiske variationer vil være på mellem 3 og 4 størrelsesordner.

Ud fra de foreliggende data og de teoretiske betragtninger formodes det, at de højeste poreluftkoncentrationer på lerlokaliteter forekommer i sensommeren/det tidlige efterår. Dette begrundes i, at denne periode almindeligvis er karakteriseret af

- lavt grundvandsspejl med heraf følgende større kildeafdampning
- lavt vandindhold i den umættede zone pga. ringe nedbør igennem sommeren, hvilket øger den vertikale gaspermeabilitet
- begyndende mætning af toplaget pga. efterårsregn, hvilket mindsker udvekslingen med atmosfæren

Bemærk, at lignende forhold kan forekomme på andre tidspunkter af året.

7.2.2 Variationsspænd i poreluft under gulv

Sandlokalitet

Poreluftmålinger under gulv viser lille tidslig variation både over kort tid og gennem året. Korttidsvariationerne ligger typisk inden for 5-10 % af middelværdien. Variationerne i de enkelte målerunder varierer op til en faktor 2. Tidligere målinger i perioden 1996 - 2002 på Fredericiagade viser dog variationer på op til 2 størrelsesordener.

Lerlokaliteter

Tidslige variationer i poreluftkoncentrationen under gulv er ikke undersøgt i nærværende undersøgelser. Ud fra erfaringer fra andre sager skønnes det, at de tidslige variationer kan være op til 3-4 størrelsesordner afhængig af bl.a. bygningskonstruktionen og grundvandsspejlets og forureningens beliggenhed, samt i tilfælde af mange utætheder i gulvet også udluftningsforhold i bygninger.

Erfaringerne fra andre sager viser videre, at de arealmæssige variationer i poreluftskoncentrationen under gulv kan være op til 4-6 størrelsesordener - bl.a. afhængig af gulvkonstruktionen og tilstedeværelsen af et kapillarbrydende lag, se også omtalen i kapitel 4.

7.2.3 Variationsspænd i luft i indeklima

Sandlokalitet

På sandlokaliteten ses variationsspænd i indeluften på op til en faktor 20. Tidligere målinger i perioden 1996-2002 viser variationsspænd på op til en faktor 100.

Lerlokaliteter

Variationsspændet i koncentrationen i indeklimaet er ikke undersøgt i nærværende projekt. Ud fra erfaringer fra andre sager vurderes det som sandsynligt, at variationsspændet er tilsvarende sandlokaliteter, dvs. op til 2-3 størrelsesordener.

7.2.4 Anvendelse af radonmålinger som indikator for indtrængning

Det er vanskeligt at se nogen sammenhæng mellem radon og PCE i poreluftmålingerne. Det skyldes, at måleusikkerheden på radon typisk er større end de naturlige variationer i PCE indholdet på lokaliteten.

I indeluften ses der nogen sammenhæng mellem de kontinuerte målinger af radon og PCE, men også her er usikkerheden på radonmålingerne typisk større end de naturlige variationer.

Radonmålingerne giver en rimelig beskrivelse af dæmpningsfaktoren for koncentrationer under/over gulv for PCE. Radon kan derfor godt anvendes til vurdering af fortynding, luftskifte og dokumentation af dæmpningsfaktor over betondække.

7.3 Årsager til variationsspænd

7.3.1 Meteorologiske og hydrogeologiske processer

Behandlingen af resultater fra såvel sand- som lerlokaliteterne i kapitel 5 og 6 viser, at de teoretiske betragtninger vedr. trykændringer, responstid, revneforekomster, nedbørshændelser og ændringer i grundvandsstanden kan forklare en del af de konstaterede variationer i poreluftkoncentrationen.

Der er således en overvejende tendens til, at trykfald fører til øget koncentration i poreluften, mens trykstigninger mindsker koncentrationen. Denne tendens gælder dog kun under forudsætning af ringe nedbør, idet væsentlig nedbør ser ud til at overskygge effekten af trykændringer. Trods et normalt forekommende trykfald i forbindelse med regnhændelser er det på lerlokalitet L1 observeret, at væsentlig nedbør kan medføre et fald i poreluftkoncentrationen.

Undersøgelserne viser, at man ved tolkning af den målte koncentration som en tommefingerregel bør medtage effekter af trykændringer i en periode forud for målingen. Periodens længde afhænger af geologien og grundvandspejlets placering, og undersøgelserne viser, at responstiden for trykudbredelsen i den umættede zone er en god rettesnor for periodens længde.

Ser man på korttidsvariationer i poreluftkoncentrationen er der for lerlokaliteter en svag tendens til, at stigninger i grundvandsstanden medfører stigning i poreluftkoncentrationen, mens fald i grundvandsstanden medfører fald i poreluftkoncentrationen.

Blotlægning af en smearzone kan føre til stigende poreluftkoncentration på længere sigt såvel på ler- som sandlokaliteter.

Temperaturen i udeluften har tilsyneladende ingen væsentlig betydning for koncentrationen i poreluften for de undersøgte lokaliteter.

Undersøgelserne viser dog tydeligt, at de teoretiske betragtninger ikke kan forklare alle variationer i koncentrationerne. Der er således fortsat en række uafdækkede sammenhænge, som påvirker koncentrationsniveauet.

7.4 Anbefalinger for videre arbejde

Resultaterne af nærværende undersøgelser, herunder litteraturstudiet, viser, at der er store tidlige variationer i koncentrationen i poreluften.

Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at forklare alle de konstaterede variationer, og det må således konstateres, at de eksisterende teoretiske værktøjer ikke er tilstrækkelige.

Særligt kan det konstateres, at der er store variationer i poreluftskoncentrationen på lerlokaliteter, som ikke umiddelbart kan forklares, men også tolkning af data fra sandlokaliteten er forbundet med usikkerhed.

For eksempelvis chlorerede opløsningsmidler i de almindeligt forekomne koncentrationer er det den gennemsnitlige påvirkning, der afgør eksponeringsrisikoen for mennesker og miljø. På nuværende tidspunkt er der ikke mulighed for at afgøre, hvorvidt et givent resultat repræsenterer en værdi på niveau med, over eller under normalværdien. Dette betyder, at alle beslutninger, som foretages på baggrund af disse data, vil være forbundet med en vis usikkerhed. Usikkerheden vil formodentlig være størst for lerlokaliteter og mindre for sandlokaliteter, begrundet i et forholdsvis lavere naturligt variationsspænd for sandlokaliteter.

Konsekvensen af dette er, at der formodentlig foretages fejlvurderinger i relation til f.eks. kortlægning efter jordforureningsloven, afværge og/eller monitorering.

På nuværende tidspunkt ved vi ikke, hvor ofte eller i hvilket omfang vi tager fejl, f.eks. undlader at kortlægge eller afværge en forurening, som i realiteten udgør en risiko for mennesker eller miljø.

Det er ud fra et teknisk synspunkt klart, at den nuværende praksis for gennemførelse af poreluftsundersøgelser og -vurderinger er for usikker og trænger til en generel forbedring såvel i form af opbygning af vidensniveauet som udvikling af nye metoder for prøvetagning og tolkning.

En generel forbedring af fagområdet omfatter i realiteten 2 områder:

- Forbedring af vidensniveau
- Udvikling af nye metoder

Realiteterne er formodentlig, at der aldrig vil kunne fremskaffes tilstrækkelig viden til at kunne forudsige/forklare en poreluftskoncentration fuldstændigt. Det er nødvendigt af hensyn til udvikling af nye metoder, herunder nye risikovurderingsmetoder, at forståelsen af de forskellige faktorer og processers samspil øges væsentligt. Det er således afgørende, at der arbejdes på begge spor samtidig.

Forslag til indsatsen inden for de 2 områder fremgår af nedenstående.

7.4.1 Forbedring af vidensniveauet

Kontakt til forskningsinstitutioner

Der er ikke publiceret meget om emnet, men der foregår formodentlig en del forskning, der ikke publiceres. Indsamlingen af viden bør derfor ikke alene

foretages gennem databaser, men også ved direkte kontakt til relevante forskningsinstitutioner, med henblik på at indsamle viden om poreluftsresultater under varierende geologi, meteorologiske forhold og bygningsmæssige forhold.

Dansk database

Udover indsamling af forskningsbaseret viden forslås det, at der indsamles så mange data som muligt fra rådgivere om store dataserier af poreluftsmålinger under givne forhold. Data behandles samlet i en database med henblik på at finde ligheder og tendenser.

Yderligere forsøg på ler- og sandlokaliteter

Poreluftprojektet har bidraget til en bedre forståelse af hvilke faktorer, der har indvirkning på koncentrationerne i poreluften. Som det fremgår af resultaterne, er der dog mange uafklarede forhold. Der bør derfor gennemføres yderligere forsøg på sandlokaliteter og lerlokaliteter både med og uden bygninger/ledningsgrave. Herunder bør der foretages en karakterisering af bygningers og ledningsgraves influenszone.

Nærværende undersøgelse har vist en tendens til, at langtidsvariationerne er større end korttidsvariationerne. Det er derfor vigtigt at forsøgene tilrettelægges således, at både korttidsvariationer og langtidsvariationer kortlægges. Dette kan fx gøres ved at en kortere måleperiode på f.eks. 2-3 uger gentages med års mellemrum. I de 2 til 3 uger udtages poreluftprøver med passende frekvens til at variationer over kortere tid kan registreres. Kontinuerlige prøvetagninger bør undgås, idet pumpeforsøgene i nærværende undersøgelse har vist, at den målte koncentration ændres som følge af at der pumpes kontinuerligt.

Teorien i Fyns Amt (2005b) viser, at poreluftsondens placering i forhold til grundvandsspejlet er altafgørende i forhold til, hvor store variationer der måles. I forbindelse med forsøgene skal betydningen af poreluftssondens placering verificeres.

Datagrundlaget kan anvendes til at få større forståelse for de arealmæssige og tidslige variationer, og data kan udgøre grundlaget for et modelarbejde.

Modelopbygning, tegneserie og scoresystem

Ud fra de fremskaffede data kan udvikles en matematisk model til beskrivelse af særligt de tidslige variationer. Om muligt inddrages bygninger og ledningsgrave i modellen. Der gennemføres en række modelkørsler med henblik på at bestemme variationsspænd for forskellige processer og faktorer, alene og sammen.

For Fyns Amt har COWI udarbejdet en "tegnserie", der beskriver luftstrømme og effekter på koncentrationer i den umættede zone omkring en bygning under forskellige meteorologiske forhold (Fyns Amt 2005b). Denne tegneserie videreudvikles og kan danne grundlag for et scoresystem.

Scoresystemet kan anvendes til at skønne, hvorvidt en prøve ligger under, på eller over normalniveauet og skal baseres på erfaringer fra modelkørsler. Scoresystemet kan således tage hensyn til, hvor godt et datagrundlag, der foreligger ved målingen, og kan om muligt give et skøn over, hvor sikker målingen er.

Andre kemikalier

Nærværende undersøgelser er kun gennemført i relation til forureninger med tetraklorethylen og til dels triklorethylen. Ofte omfatter poreluftsforureninger også andre chlorerede opløsningsmidler samt kulbrinter og vandblandbare stoffer. Disse stoffer opfører sig anderledes i miljøet end tetra- og triklorethylen. Der er således behov for, at undersøgelserne og tolkningsværktøjerne også inddrager de nævnte forbindelser.

7.4.2 Udvikling af nye metoder

Udstyr

Det vurderes, at behovet for sondetyper til poreluftmålinger pt. er dækket. Behovet for nyudvikling af udstyr går således mere i retning af nye prøvetagningsmetoder.

Da det f.eks. for chlorerede opløsningsmidler er langtidseksponering, der sundhedsmæssigt er i fokus, er der behov for udvikling af en metode til langstidsprøvetagning i poreluft.

Alternativt risikovurderingsværktøj

Tidslige variationer på formodentlig op til 3-4 størrelsesordener for lerlokaliteter gør risikovurderinger som de udføres pt. meget usikre.

En løsning herpå kan være anvendelse af sikkerhedsfaktorer ved risikovurderinger. Indledende vurderinger foretaget af COWI for Fyns amt viser, at der er en tendens til, at tidslige og arealmæssige variationer i poreluftsconcentrationer er logaritmisk normalfordelte. Der er således mulighed for at udvikle et risikovurderingsværktøj, som baserer sig på statistiske principper og sikkerhedsfaktorer. Tilsvarende værktøjer kendes bl.a. fra arbejdsmiljøundersøgelser, hvor værktøjerne har været anvendt med succes i flere år. COWI har for Fyns Amt udarbejdet et oplæg til hvordan et risikovurderingsværktøj kan udarbejdes (Fyns Amt 2005c).

Man kan forestille sig, at vurderingsværktøjet udvikles på en sådan måde, at vidensniveauet for måleresultaterne anvendes til at fastsætte en sikkerhedsfaktor: Er der eksempelvis mange gode data, kan der fastsættes en lavere sikkerhedsfaktor, end hvis der er et spinkelt datagrundlag. Princippet for sikkerhedsfaktorerne kan f.eks. fastsættes ved hjælp af scoresystemet og erfaringerne fra modelarbejdet.

Forud for fastsættelse af principper for vurderingsværktøjet anbefales det, at man søger at afklare, hvor ofte der bliver foretaget fejlagtige risikovurderinger i forbindelse med kortlægninger efter jordforureningsloven. Det skal tillige afklares hvilke grader af fejl, som myndigheder, hhv. grundejere og brugere kan acceptere ud fra bl.a. sundhedsmæssige, tekniske og økonomiske betragtninger.

COWI har for Fyns Amt givet forslag til den konceptuelle opbygning af et sådant vurderingsværktøj.

8 Referencer

AUC (2005). Udkast til rapport for specialeprojekt " Transport af PCE fra kilde til indeklime - systemforståelse og statistisk analyse. AUC, august 2005.

AVJ (2004). Transport af gasformig forurening i umættet zone og i bygninger. Litteraturstudie. Teknik og administration, nr. 7 2004.

COWI og Eurofins Danmark A/S (2003a): Undersøgellesprogram fra COWI og Eurofins Danmark A/S. Dateret 30. marts. 2003

COWI (2003b): Revideret oplæg til undersøgellesprogram for lerlokaliteter. Dateret 7. okt. 2003

Fyns Amt (2003): Udbudsbrev, dateret 10. marts. 2003.

Fyns Amt (2005a): Prøvetagning af poreluft,. dateret 21. marts. 2005

Fyns Amt (2005b): Porelufttransport - Teoretiske betragtninger, rev. 1. Fyns Amt, feb. 2005.

Fyns Amt (2005c): Vurderingsværktøj og undersøgellesstrategi, rev 4. Fyns Amt feb. 2005.

Kampsax (2000-2001): Erfaringer fra målinger af tetraklorethylenkoncentrationer i 20 renserier og ovenliggende lejligheder med ATD-rør over 14 dage. Ikke rapporterede data. Kontaktperson Dorte Glensvig, COWI A/S.

Krüger (2004): Telefoniske kontakter til Maiken Faurbye. Krüger medio 2004.

Københavns Amt (2001): Omfattende undersøgelser Fabriksparken 26, Albertslund. Rapport fra Hedeselskabet dec. 2001.

Københavns Amt (2003): MW Gjøesvej, Reerslev - Supplerende undersøgelse af sand- og kalkmagasin. Krüger rapport dec. 2003.

Københavns Amt (2004): MW Gjøesvej, Reerslev - Supplerende undersøgelse af lerformation. Rapport fra Krüger jan. 2004.

Miljøstyrelsen (2001a): Metoder til risikovurdering af gasproducerende lossepladser. Miljøprojekt nr. 648, 2001 udarbejdet under Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening.

Miljøstyrelsen (2001b): Dokumentation af interne og eksterne kilder til tetrakloethylen i boliger. Miljøprojekt 651, 2001.

Miljøstyrelsen (2002): Dokumentation af sinkeffekter for tetraklorethylen.
Miljøprojekt 673, 2002.

Miljøstyrelsen (2003): Feltafprøvning af sporgasmetode til brug for måling af transport af forureninger mellem renserier og tilstødende lejligheder.
Miljøprojekt 816/2003.

Niras A/S (2002): Oplæg til undersøgelsesprogram. Dateret 13. dec. 2002.

Risø (1997): Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationer i danske enfamilieshuse. Claus E. Andersen m.fl.
Forskningscenter Risøe, april 1997. Rapport nr. Risøe-R-979(DA).