

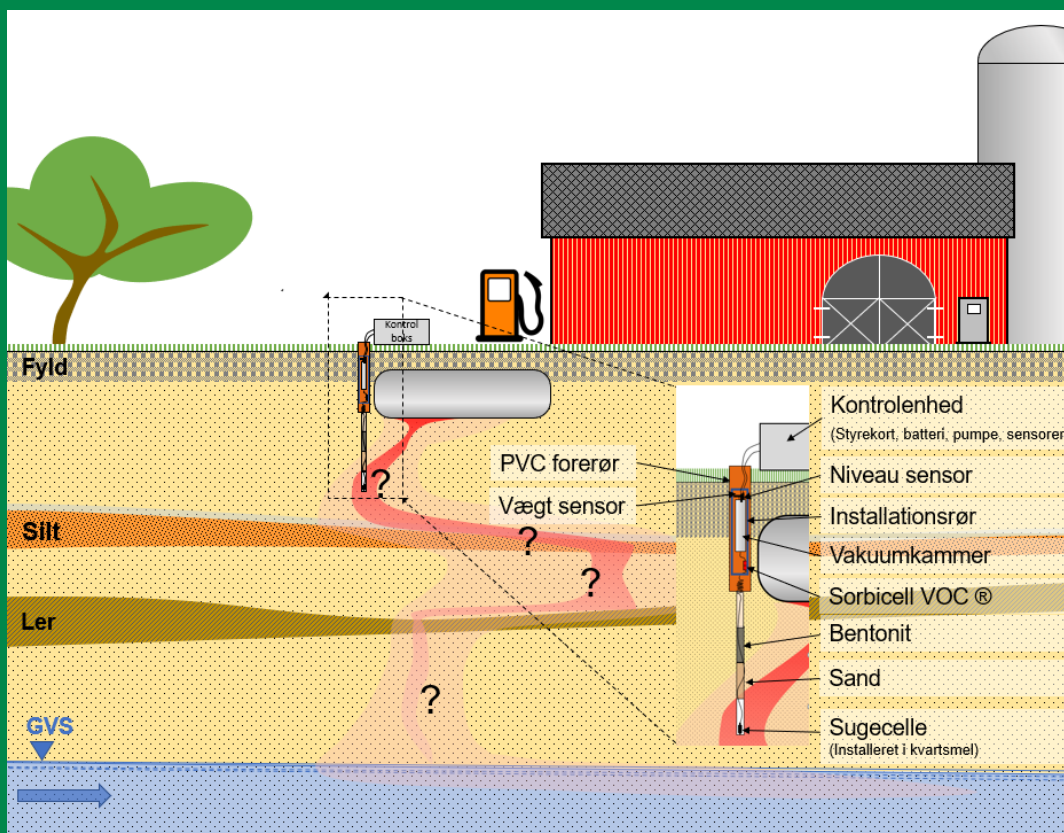


Automatiseret porevandsprøvetagning

Udvikling og felttest

Miljøprojekt nr. 2170

Maj 2021



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Poul Larsen, DMR A/S

Per Løll, DMR A/S

Andreas Houlberg Kristensen, DMR A/S

Preben Jørgensen, DMR A/S

Claus Larsen, DMR A/S

Hanne Kirk Østergaard, Region Nordjylland

ISBN: 978-87-7038-308-0

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

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

Forord	6
Sammenfatning og konklusioner	7
Summary and conclusions	9
1. Indledning	11
1.1 Baggrund	11
1.2 Status på porevandsprøvetagning af flygtige forureningskomponenter før udførelse af dette projekt	11
1.3 Problemer med porevandsprøvetagning af flygtige forureningskomponenter før udførelse af dette projekt	13
1.4 Formål	13
2. Opbygning af ny udstyrspakke	15
2.1 Udstyrspakkens delelementer	15
2.2 Styrings-/overvågningsenhed	16
2.2.1 Opbygning af styring	17
2.2.2 Opbygning af vakuumkammer	19
2.3 Styring og overvågning	19
2.3.1 Kalibrering af sensorer	20
2.3.2 Minimering af strømforbrug	23
2.3.3 Fjernovervågning og tjek af installationen ved opstart	23
2.4 Sorbiceller	24
3. Porevandsprøvetagning	25
3.1 Influenradius fra porevandsprøver	25
3.2 Forberedelse og samling af installation.	26
3.3 Installation af sugeceller	27
3.3.1 Terrænnær installation	27
3.3.2 Dyb installation	29
3.4 Sløjfning af dybe installationer	31
3.5 Valg af startvakuum	32
3.6 Forpumpning	32
4. Dokumentation af installation og prøvetagning	34
5. Erfaringer fra felttests	36
5.1 Installation af sugeceller/udstyrspakke	36
5.2 Styring og overvågning under prøvetagning	39
5.3 Prøvetagningstid	41
5.4 Prøvetagning i forskellige jordtyper	42
5.5 Porevandskoncentrationernes stedlige variation	44
5.6 Porevandskoncentrationernes variation i tid	45
5.6.1 Reproducerbarhed	46
5.6.2 Fortynding med demineraliseret vand fra installation	47

5.6.3	Variationer på influensradius over tid	48
5.7	Bestemmelse af kildestyrke(koncentration)	50
5.8	Screening ift. punktkilder	51
5.9	Opsamling på felttest	52
5.10	Fremtidige indsatsområder	53
6.	Materialeundersøgelser - slanger og sugeceller	55
6.1	Sugeceller	55
6.1.1	Fysiske egenskaber af sugeceller	55
6.1.2	Massebevarelse i sugeceller	57
6.2	Slanger til porevandsprøvetagning	60
6.3	Slanger til almindelig grundvandsprøvetagning	62
7.	Konklusion	63
7.1	Porevandsprøver - anvendelse og begrænsninger	63
7.2	Udstyrspakke til porevandsprøvetagning	64
7.3	Installation af sugeceller og prøvetagning	65
8.	Referencer	66
Bilag 1.Udstyr - datablade		67
Bilag 1.1	Tryksensor – GEMS 3500 (0-1 bar)	67
Bilag 1.2	Micro load cell (0-5 kg)	71
Bilag 1.3	Niveausensor - GEMS – ELS-900	75
Bilag 1.4	Magnetventil	76
Bilag 1.5	Vakuumpumpe – Gardner Denver 1420	87
Bilag 2.Stykliste		99
Bilag 2.1	Stykliste for kontrolboks	99
Bilag 2.2	Stykliste til vakuumkammer og installationsrør mm.	99
Bilag 3.Diagram for print		100
Bilag 4.Programmer til Arduino		101
Bilag 4.1	Arduino Pro	101
Bilag 4.2	Arduino Mega	105
Bilag 5.Slangeforsøg		108
Bilag 5.1	Indledende test af massebevarelse af TCE i slanger	114
Bilag 5.2	Indledende test af massebevarelse af PCE i slanger	115
Bilag 5.3	Massebevarelse af TVOC fra benzin	116
Bilag 5.4	Massebevarelse af benzen fra benzin	117
Bilag 5.5	Massebevarelse af BTEX'er fra benzin	118
Bilag 5.6	Massebevarelse af TVOC fra fyringsolie	119
Bilag 5.7	Massebevarelse af benzen fra fyringsolie	120
Bilag 5.8	Massebevarelse af BTEX'er fra fyringsolie	121
Bilag 5.9	Massebevarelse af TCE	122
Bilag 5.10	Massebevarelse af PCE	123
Bilag 6.Sugecelleforsøg		124
Bilag 6.1	Massebevarelse af TVOC i sugeceller	128
Bilag 6.2	Massebevarelse af benzen i sugeceller	129
Bilag 6.3	Massebevarelse af BTEX'er i sugeceller	130
Bilag 6.4	Massebevarelse af TCE i sugeceller	131
Bilag 6.5	Massebevarelse af PCE i sugeceller	132

Bilag 7.Massebevarelse i slanger til grundvandsprøvetagning	133
Bilag 7.1 Indledende screening for massebevarelse i slanger	133
Bilag 7.2 Adsorption af TCE i PE-slanger til grundvandsprøvetagning	136
Bilag 7.3 Adsorption af fyringsolie i PE-slanger til grundvandsprøvetagning	137
Bilag 8.Felttest A (fyringsolieforurening)	138
Bilag 8.1 Feltskemaer	150
Bilag 8.2 Fugacitetsberegninger i JAGG 2.1	154
Bilag 9.Felttest B (chlorerede opløsningsmidler)	162
Bilag 9.1 Feltskemaer fra porevandsprøvetagning	176
Bilag 9.2 Vertikal transport	183
Bilag 9.3 Fugacitetsberegninger i JAGG 2.1	185
Bilag 10.Felttest C (pesticider)	195
Bilag 10.1 Feltskemaer fra porevandsprøvetagning	207
Bilag 11.Felttest D (pesticider)	210
Bilag 11.1 Feltskemaer fra porevandsprøvetagning	218
Bilag 12.Jordkarakteristik og porevandsflow	219
Bilag 13.Jordkarakteristik og stabilt vakuum	221
Bilag 14.Bestemmelse af filtermodstand	223

Forord

Nærværende projekt er gennemført som et teknologiudviklingsprojekt i samarbejde imellem Region Nordjylland og Dansk Miljørådgivning A/S. Projektperioden har været 4. kvartal 2015 til 4. kvartal 2018.

Projektet er gennemført med en styregruppe bestående af:

- Hanne Kirk Østergaard, Region Nordjylland.
- Poul Larsen og Per Loll, Dansk Miljørådgivning A/S.

Projektet omfatter overordnet 3 dele:

- Udvikling af udstyrspakke.
- Udførelse af felttest.
- Test af sugeceller og af adsorption i sugeceller og slanger.

Udvikling af udstyrspakke og udførelse af felttest var en del af det oprindelige Teknologiudviklingsprojekt, mens test af adsorption i slanger og sugeceller er tilføjede delprojekter som følge af ekstrabevillinger. Ideelt havde test af adsorption været en del af det oprindelige projekt og dermed været testet inden felttestene, men der kom først fokus på de potentielle udfordringer med adsorption under felttesten.

Test af sugeceller var desuden relevant, fordi der kom nye dansk producerede sugeceller på markedet, som kunne være interessante at teste både pga. pris og fysiske egenskaber, og dels fordi det ved felttesten blev erfaret, at de hidtil anvendte sugeceller havde nogle fysiske egenskaber og en fysisk udformning, som gav udfordringer. Dertil var de hidtil anvendte sugeceller relativt dyre, og der var en del problemer med at få dem leveret pga. logistik og told.

For at øge erfaringsgrundlaget, der er fremlagt i denne rapport, er der inddraget resultater fra yderligere to testlokaliteter (udover de oprindelige, Felttest B og C), fra sideløbende projekter, hvor porevandsprøverne er udtaget på samme måde som i dette projekt; dvs. før optimering af slanger og sugeceller er foretaget. Prøverne er dermed fuldt sammenlignelige med det resterende erfaringsgrundlag. Den ene ekstra felttest (felttest A) er udført for Region Hovedstaden og den anden ekstra felttest (felttest D) er udført for Region Midtjylland.

Da det mest almindelige slangemateriale til almindelig grundvandsprøvetagning er PE, gav resultaterne for test af adsorption i slanger til porevandsprøvetagning bekymring for, at adsorptionen af organiske forureningskomponenter kan udgøre et problem ved almindelig prøvetagning af grundvand. Der blev derfor indbygget en adsorptionstest af PE-slangerne, der som standard anvendes til grundvandsprøvetagning på forureningsopgaver for regionerne. Disse resultater er ligeledes afrapporteret i nærværende projekt selvom de ikke er direkte koblet til porevandsprøvetagning.

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund og formål

I umættet zone forekommer der tre faser, hvorfra prøver kan udtages; jord, poreluft og porevand. Der findes veldokumenterede teknikker til prøvetagning af jord og poreluft, men porevandsprøvetagning har kun i begrænset omfang været anvendt i forbindelse med forureningsundersøgelser til trods for, at det netop er i porevandet, man kan måle koncentrationen af stoffer, der transporteres mod grundvandet.

På trods af lovende pilottest med udtagning af porevandsprøver for indhold af flygtige forureningskomponenter (chlorerede opløsningsmidler) /1/ er der stadig en del udfordringer forbundet med prøvetagningen. Nogle af de primære udfordringer har været, at det har været vanskeligt at vide, hvor lang tid porevandsprøvetagningen vil forløbe over og hvor ofte vakuum skal vedligeholdes, og dermed hvor mange besøg på lokaliteten der skal budgetteres med. Sammen med installationsmæssige udfordringer har det været vanskeligt at prissætte porevandsprøvetagningen, hvilket gør det vanskeligt at indarbejde i forureningsundersøgelser.

Formålet med nærværende projekt har været at udvikle og teste en automatiseret udstyrspakke, der imødekommer de største praktiske udfordringer, der er med porevandsprøvetagning. Det har desuden være hensigten at udvikle og teste en installationsmetode som, uanset dybde, ikke kræver specialiseret boreudstyr.

Udstyrspakken

Den samlede udstyrspakke består overordnet af en sugecelle, der installeres i kvartsmel i den ønskede prøvetagningsdybde. Formålet med kvartsmelet er at skabe hydraulisk kontakt til formationen omkring sugecellen. Over sugecellen er der ca. 20 cm filtersand og derover en prop af bentonit for at sikre, at der ikke trænger overfladevand ned til sugecellen. Sugecellen er forbundet med en FEP-slange, der leder porevandet op og gennem en sorbicelle, hvor forureningskomponenter opsamles og derfra ledes vandet via en silikoneslange op i vakuumkamret. Vakuumkamret er ophængt i en vægt, så styringen hele tiden kan veje, hvor meget porevand der opsamles. Der er ligeledes monteret en væskesensor i toppen af vakuumkamret, så styringen kan aktivere en ventil, der sikrer, at der ikke trænger vand op i styreboksen. Når vand opsamlet i kammeret løbende vejes under prøvetagningen, er det muligt at estimere et flow, som vakuum hele tiden automatisk justeres efter. Det er vigtigt, at der ikke prøvetages med mere end 500 ml/døgn for at undgå overload på sorbicellen.

Styringen til udstyrspakken er baseret på Arduino, som er en programmérbar elektronikplatform, der er lavet med henblik på at forsimple udvikling af elektriske måle- og styreapparater. Ud over at vedligeholde vakuum og styre flow af porevand, sender styringen ligeledes data til Google Sheets, så det er muligt at fjernovervåge prøvetagningen, så man ved hvornår der er opsamlet tilstrækkeligt porevand, og dermed hvornår prøvetagningen er tilendebragt.

I forbindelse med projektet stod det klart, at der var behov for at undersøge hvilke sugecelle- og slangematerialer, der er optimale til porevandsprøvetagning, da der ellers er risiko for massetab og i sidste ende, at porevandskoncentrationerne underestimeres. Der blev udført laboratorietest for at kortlægge massebevarelse med tre forskellige sugeceller, hvoraf to bestod af rustfri stål og en af PTFE (teflon) blandet med kvarts. Ligeledes blev det undersøgt hvad den optimale slangetype var, blandt PE (polyethylen), PTFE (teflon), FEP (Flourethylenpropylen)

og stålkapillarer. Det er konkluderet, at FEP-slange og rustfri stål sugeceller var de mest vel-egnede til prøvetagning af organiske forureningskomponenter.

Erfaringer fra felttest

Der er gennemført felttest på fire lokaliteter, og overordnet er det fundet, at udstyret fungerer efter hensigten og afhjælper de udfordringer, der var identificeret inden projektet. Porevandsprøvetagningen vurderes dermed at fungere til udtagning af porevandsprøver på lokaliteter forurenede med chlorerede opløsningsmidler, pesticider og oliekomponenter. For fyringsolie er der dog fortsat uafklarede forhold omkring adsorption i slanger og sugeceller, som bør undersøges lokalitetsspecifikt, indtil der foreligger tilstrækkeligt erfaringsgrundlag til at vurdere dette.

Det er fundet, at installationen af sugecellen er langt den vanskeligste del af porevandsprøvetagning, specielt ved dybere prøvetagning, hvor man ikke kan se direkte om sugecellen er installeret korrekt i kvartsmålet. Det anbefales derfor at kontrollere dette med et endoskop, specielt fordi de dybe installationer kan være forholdsvis omkostningstunge, og en reinstallation dermed giver en betydelig prisforøgelse. I dette projekt var det ud af 13 installationer nødvendigt at gentage installationen af én sugecelle (6,5 m u.t.), hvilket også var den dybeste.

Ved dyb installation af sugeceller (eks. i lerlag under et terrænnært grundvandsmagasin) er det fundet, at opslemmet storebæltsblanding fungerer som en effektiv afpropning, når installationen/afpropningen udføres ved en nærmere beskrevet procedure (af afsnit 5.1). Dermed reduceres risikoen for nedsivning af terrænnært grundvand.

Den automatiserede styring af vakuum under porevandsprøvetagningen blev fundet at fungerer særdeles hensigtsmæssigt, hvilket sikrer, at der ikke sker overload på sorbiceller, og der heller ikke suges med højere vakuum end nødvendigt for at trække porevand ud af formationen. Dog anbefales det fremadrettet, at der findes en mere stabil vægt, da den anvendte mister følsomheden over tid.

Den effektive prøvetagningstid (uden forpumpning) lå generelt på 5-7 døgn, dog var der to af 33 prøver, der blev udtaget over hhv. 22 og 38 døgn. De meget lange prøvetagningstider blev konstateret på lokaliteter med særdeles højt indhold af humuslignende stoffer (mørkebrune porevandsprøver), som kan have tilstoppet sugecellerne. Dette er ikke set tilsvarende på andre lokaliteter. Det blev endvidere fundet, at der skal påregnes længere prøvetagningstid i sandede aflejringer end i siltede og lerede aflejringer.

Det er fundet, at stedlig variation i porevandskoncentrationer af olie og chlorerede opløsningsmidler følger variationen i koncentrationen i jordprøver, hvilken kan være betydelig indenfor få meter. Den stedlige variation af pesticider er ligeledes fundet at kunne være betydelig indenfor få meter. Dette er primært vurderet vertikalt.

Den tidslige variation for prøver udtaget i samme punkt (reproducérbarhed) er fundet at være en faktor 1,5-13, når der forpumpes. Medianen for reproducérbarheden med forpumpning ligger på 5,1. Dette er fundet at være på niveau med reproducérbarheden for almindelige grundvandsanalyser, der er inddraget i projektet.

Det er generelt vurderet ud fra felttestene, at udstyrspakken/metoden er velfungerende til undersøgelse af kildestyrkekoncentration, specielt når der er tale om en veldefineret punktkilde. Det anbefales, at der fremadrettet udføres forsøg med henblik på at klarlægge hvor mange prøver, der skal udtages for helt af afdække en kilde tilfredsstillende.

Summary and conclusions

Background and Purpose

There are three phases in the unsaturated zone from which samples can be taken: soil, soil pore water, and soil pore gas. While there are well documented techniques for sampling soil and soil gas, pore water sampling has not been used extensively within pollution studies, even though pore water measurements allow one to track concentrations of substances transported to the groundwater.

Despite promising pilot tests involving the testing of pore water samples for volatile contaminants (chlorinated solvents), there are still several challenges associated with pore water sampling. The primary challenges include difficulty in estimating how long it will take to obtain the sample and how often the vacuum must be maintained, and thus how many site visits must be budgeted for. On top of installation, pore water sampling is also challenging to price, making it difficult to incorporate into pollution studies.

The purpose of this project was to develop and test an automated equipment package that reduces the practical challenges associated with soil pore water sampling. In addition, an installation method was developed and tested which, regardless of the installation depth, does not require specialized drilling equipment.

The Equipment

The equipment package generally contains a suction cup lysimeter that is installed in quartz flour at the desired sampling depth. The quartz flour establishes hydraulic contact to the soil matrix surrounding the suction cup lysimeter. The borehole over the suction cup lysimeter is backfilled with approximately 20 cm of sand, and the sand layer is plugged with bentonite to ensure that no surface water percolates down and into the suction cup lysimeter. The suction cup lysimeter is connected to an FEP hose which directs the pore water through a sorbic cell, where pollutants are collected. From there, the water is directed through a silicone hose into a vacuum chamber. The vacuum chamber is connected to / suspended from a load cell, allowing the control system to continuously weigh how much pore water has been collected. A liquid sensor mounted to the top of the vacuum chamber allows the control system to activate a valve, preventing water from entering the control box. Weighing the water collected during sampling makes it possible to estimate a flow rate from which the vacuum is adjusted automatically. To avoid overloading the sorbic cell, it is important that the sample flow rate does not to exceed 500 mL/day.

The control system is based on Arduino, a programmable electronics platform made to simplify the development of electrical measurement and control devices. In addition to maintaining the vacuum and controlling the flow rate of soil water collection, the control system also sends the collected data to Google Sheets, making it possible to monitor the sampling process remotely, and determine when a sufficient sample volume has been obtained and thus when sampling has been completed.

In the scope of this project, there was a clear need to investigate which suction cup lysimeter and hose materials are optimal for pore water sampling, because of the risk of mass loss and subsequently an underestimation of pore water concentrations. Laboratory tests were performed which mapped mass conservation with three different suction cup lysimeters, two of which were made of stainless steel, and one of PTFE (Teflon) mixed with quartz. The optimum hose material was also investigated from PE (polyethylene), PTFE (Teflon), FEP

(fluorethylene propylene), and steel capillaries. The FEP hose and stainless steel suction cup lysimeter were the most suitable combination for sampling organic pollutants.

Experience from Field Testing

Field tests were performed at four locations. Overall, the equipment operated as intended and surpassed the challenges identified by the project. This equipment provides an acceptable method of extracting pore water samples at sites contaminated with chlorinated solvents, pesticides, and oil components. There are, however, unresolved complications regarding fuel oil adsorption in the hose and suction cup lysimeter, which must be solved in a site-specific manner until sufficient experience is available for assessment.

Installation of the suction cup lysimeter has long been the most difficult part of soil pore water sampling, particularly in deep installations where there is no visible means to determine whether the suction cup was properly installed in the quartz flour slurry. Deep installations can be controlled with the use of an endoscope, especially since deep installations can be costly, and reinstallations result in significant costs. In this project, only the deepest of the 13 installations (6.5 m) had to be reinstalled.

For deep installations of suction cup lysimeters (i.e. in clay layers under an unconfined aquifer), a slurry of cement and bentonite (mixture of 94/6 % - BC-3) works as an effective plug when installation is carried out by the procedure described in Section 5.1. This reduces the risk of seepage contamination of the soil water sample.

Automated vacuum control during pore water sampling worked as intended, by maintaining sufficient vacuum for extracting pore water, while simultaneously preventing a higher vacuum than necessary from being applied as well as overload of the sorbic cells. For the future, the use of a more stable load cell is recommended, as the one currently used lost sensitivity over time.

The effective sampling time (without pre-pumping) generally took five to seven days, but two of the 33 samples took 22 and 38 days. The very long sampling times took place in locations with very a high humus-like content (resulting in dark brown pore water samples), which may have created some blockage in the suction cup lysimeter. This has not been previously experienced at other sites. Sandy deposits also generally require longer sampling times than silty and clay deposits.

There is correlation between the local spatial variation in pore water concentrations of oil and chlorinated solvents and the variation of concentrations in soil samples, significant to within a few meters. The local variation of pesticides is also significant to within a few meters. This has primarily been assessed in the vertical direction.

The temporal variation of samples taken at the same point (for reproducibility) was found to be a factor of 1.5-13 during pumping. The median reproducibility during pumping was a factor of 5.1, which were similar to that of the ordinary groundwater analyses performed in the project.

The field tests of the equipment indicated that this equipment package and method perform well for point source concentration studies, particularly in cases of well-defined point sources. It is recommended that further experiments be carried out to define the number of samples required to completely and satisfactorily identify a point source and locate the boundaries.

1. Indledning

1.1 Baggrund

Ved forureningsundersøgelse for organiske forureningskomponenter i jord og grundvand kan der overordnet tages prøver fra mættet og umættet zone.

I mættet zone er der to faser der kan tages prøver fra, henholdsvis jordpartikler og vand. Der findes flere forskellige metoder til prøvetagning af vand og jord i mættet zone, som udvælges afhængig af forholdene på den konkrete sag, og formålet med undersøgelserne.

I umættet zone forekommer der tre faser, hvorfra prøver kan udtages; jord, poreluft og porevand. Der findes veldokumenterede teknikker til prøvetagning af jord og poreluft, men porevandsprøvetagning har kun i begrænset omfang været anvendt i forbindelse med forureningsundersøgelser. Dette skyldes, at teknikkerne til prøvetagning af porevand endnu ikke er optimeret og dokumenteret i forhold til prøvetagning af flygtige organiske forureningskomponenter (f.eks. olie og chlorerede opløsningsmidler), selvom kombinationen med sorbiceller har flyttet mulighederne betydeligt i en positiv retning /1/. Der er dog stadig udfordringer forbundet med prøvetagningen som beskrives i afsnit 1.2.

Der ligger et stort potentiale i anvendelse af porevandsprøver ifm. forureningsundersøgelser. Ved risikovurdering ift. grundvand anvendes i dag omregninger fra jordkoncentrationer til porevandskoncentrationer eks. via fugacitetsmodulet i Miljøstyrelsens JAGG-model, mens kendskab til den faktiske koncentration i porevandet forbliver ukendt. Alt andet lige må det forventes, at JAGG-modellen regner konservativt og dermed overestimerer koncentrationen i det nedsivende vand. Det vil derfor være særdeles anvendeligt at kunne måle porevandskoncentrationen i umættet zone i stedet, så der kan anvendes mere realistiske data eks. til estimering af udvaskning til grundvandet.

Ligeledes kan udtagning af porevandsprøver være relevante i terrænnært grundvand, hvor det er vanskeligt at udtage en grundvandsprøve, eks. i siltede aflejringer hvor filtre ofte ikke yder nok til at udtage grundvandsprøver. Porevandsprøver kan endvidere være relevant på lokaliteter hvor grundvandsspejlet står dybt, så antallet af dybe borer kan reduceres.

1.2 Status på porevandsprøvetagning af flygtige forureningskomponenter før udførelse af dette projekt

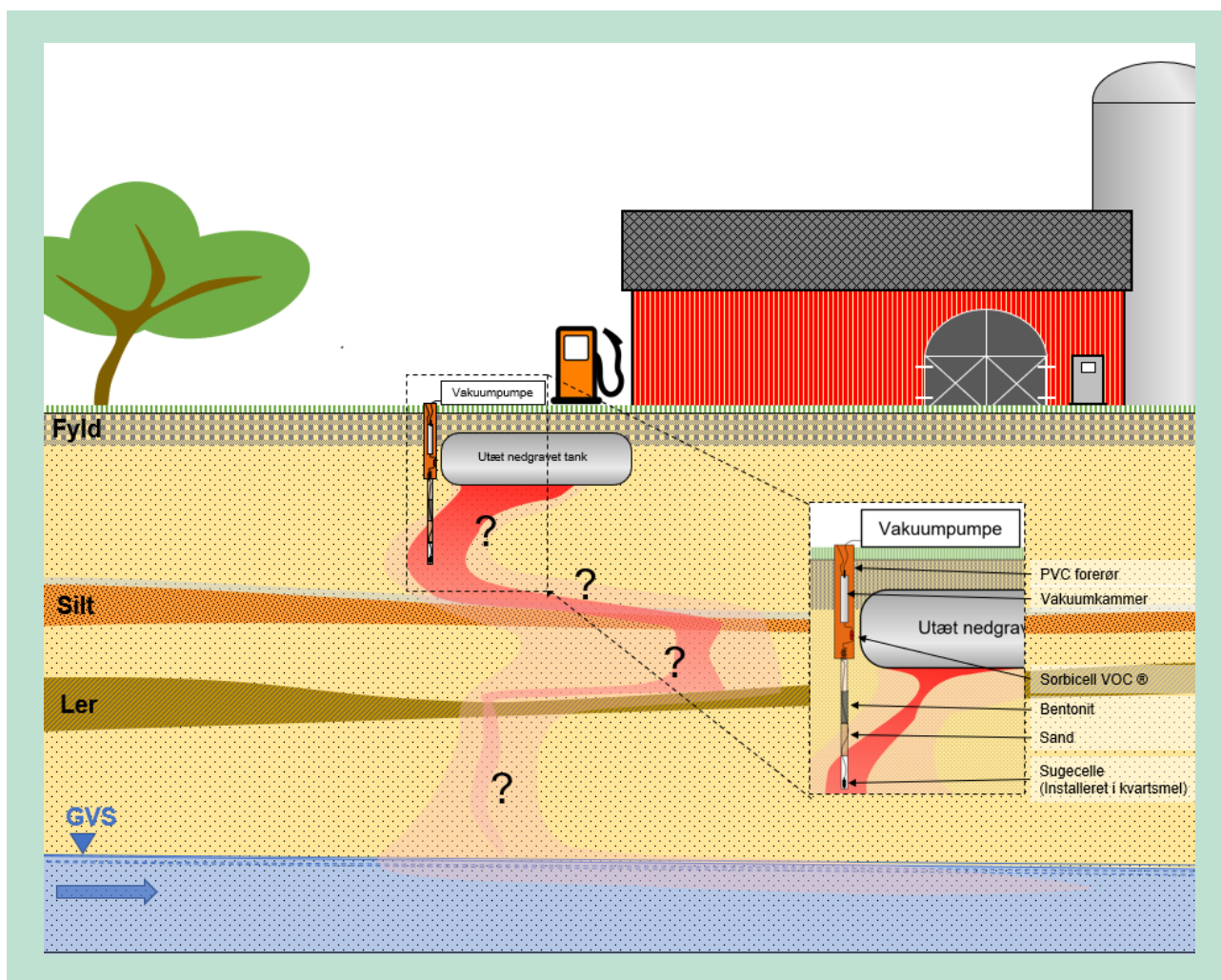
Ved gennemgang af litteraturen er det konstateret, at porevandsprøvetagning frem til i dag kun i mindre grad har været anvendt til undersøgelse af forurening med flygtige forureningskomponenter, herunder olie og chlorerede opløsningsmidler, mens der findes flere studier med fokus på eks. metaller /2/, /3/. Kombinationen af porevandsprøvetagning og sorbiceller har dog gjort det muligt også at undersøge for flygtige stoffer i porevand, idet forureningskomponenterne opsamles på sorbicellen uden risiko for stripping /1/. En skitse som illustrerer porevandsprøvetagning med opsamling på sorbiceller er vist i figur 1.1.

Porevandsprøvetagning består som det fremgår af figur 1.1 (og /1/) af:

- En sugecelle der er installeret i opslemmet (i postevand) kvartsmel for at sikre hydraulisk kontakt med den omkringliggende jord.
- En slange, der forbinder sugecellen og sorbicelle.
- En sorbicelle, til opsamling af forureningskomponenterne.
- En slange, der forbinder sorbicellen og vakuumkammer.
- Et vakuumkammer, hvor der kan etableret vakuum, og porevandet opsamles.

Hidtil har installationer af sugeceller været udført ved at bore for med en 12" hulsnekl så der kunne nedsættes et 90 mm forerør til ca. 3 meter over den ønskede placering af sugecellen. Inden i hulsneglen blev der boret videre med en 2" hul Geoprobe borestang, hvorigennem sugecellen kunne nedsænkes. Vakuumbeholderen blev påmonteret en SorbiCelle, der igen var forbundet med sugecellen i jorden. Vakuumbeholderen blev sænket ned i forerøret, og taget op når SorbiCellen skulle udskiftes eller der skulle etableres nyt vakuum. Omkring selve sugecellen blev der påfyldt ca. 200 mL kvartsmel opslemmet i ca. 500 mL postevand. Forpumpning blev i alle tre sugeceller foretaget over en periode på 26 dage ved manuelt at etablere et vakuum på 0,50-0,83 bar i vakuumbeholderen ved brug af en vakuum poreluftpumpe (Thomas, USA) eller en håndholdt peristaltisk pumpe.

Som det fremgår af figur 1.1, er sugecellen installeret i kvartsmel, for at sikre hydraulisk kontakt imellem sugecellen og umættet zone. For at sikre denne kontakt opslæmmes kvartsmålet i de-ioniseret vand, hvilket medfører, at der skal forpumpes før prøveopsamlingen igangsættes, så det sikres, at vandprøven stammer fra jorden, og ikke er fortyndet med rent installationsvand. I henhold til /1/ bør der forpumpes et volumen svarende til ca. 1,5-3 gange det vandvolumen, der blev benyttet til opslæmning af kvartsmålet.



FIGUR 1.1. Status på porevandsprøvetagning og den tilgængelige teknologi forud for nærværende projekt.

Som det fremgår af figur 1.1, er vakuumbekkeren sænket ned i den forede boring, så det sidder så tæt på sugecellen som muligt, hvilket betyder, at løftehøjden reduceres. Dermed kan mest muligt vakuum bruges til at udtrække porevand fra formationen via sugecellen.

Prøvetagningen har efter installationen været udført ved løbende at vedligeholde vakuum manuelt (ved at køre ud og etablere vakuum manuelt), både under den indledningsvise forpumpning og den efterfølgende reelle prøvetagning.

1.3 Problemer med porevandsprøvetagning af flygtige forureningskomponenter før udførelse af dette projekt

Ovenstående installations- og prøvetagningsmetode har via kombinationen af sorbiceller og porevandsprøvetagning elimineret udfordringer med stripping af flygtige forureningskomponenter. Der er dog fortsat nogle praktiske problemer med installation og drift under prøvetagning, som medfører, at porevandsprøvetagning ikke er blevet et rutinemæssigt redskab i forureningsundersøgelser.

Problemer med den tidligere Installations- og prøvetagningsmetode:

- Installationer af sugeceller dybere end ca. 3 m u.t. har primært været udført med Direct Push, hvilket betyder, at det er relativt få boreentreprenører, der kan bistå med arbejdet.
- Af figur 1.1 fremgår det, at der under sorbicellen er monteret en slange, som er krøllet sammen når vakuumkammeret er nedsænket, men strækkes ud når vakuumkammeret hæves for at udtage prøven. Dette har i nogle tilfælde ledt til udfordringer, fordi slangen filtrer sammen og dermed kan være vanskelig at trække op.
- Vakuum vedligeholdes manuelt med en vakuumpumpe, der er placeret over terræn - som oftest en manuel pumpe. Der skal dermed en person ud og vedligeholde vakuum løbende. Erfaringsmæssigt giver dette problemer, da det i praksis er vanskeligt at etablere en fuldstændig tæt opstilling, og det er vanskeligt at vide, hvornår det er tid til at tage ud og genetablere vakuum.
- Manuel vedligehold af vakuum betyder, at vakuum vil fluktuere fra så højt som muligt til niveauer svarende til atmosfærisk tryk, hvilket giver en meget varierende, og ukontrolleret, påvirkning af den umættede zone hvorfra prøvetagningen foregår. Ideelt bør porevandsprøvetagningen foregå med et nogenlunde ensartet flow og med et sug, der er så lavt som muligt, for ikke at påvirke den umættede zone mere end nødvendigt.
- Opsamling af forureningskomponenterne på sorbiceller medfører, at prøvetagningshastigheden ikke må overstige 0,5 L/døgn, idet der ellers kan forekomme gennembrud på sorbicellen.
- Det er vanskeligt at vide, hvornår porevandsprøvetagningen er færdig og prøven (sorbicellen) kan afhentes.
- Ovenstående problemer med manuel vedligehold af vakuum (i varierende omfang) og manglende viden om hvornår prøven kan udtages resulterer i, at det er vanskeligt at prissætte porevandsprøvetagning, i behovet for tilsyn kan varierer meget fra gang til gang.

I den eksisterende metodik (/1/ 2012) for porevandsprøvetagning af flygtige forureningskomponenter er der desuden ikke udført tilstrækkelige undersøgelser for at optimere valget af slanger og sugeceller. Dels kan der være billigere alternativer, end dem der er anvendt hidtil, og dels kan der forekomme adsorption af organiske forureningskomponenter i slanger og sugeceller, hvilket resulterer i, at den egentlige koncentration i porevandet underestimeres. Det bemærkes, at den mangelfulde viden om disse forhold først stod klart, da feltforsøgene i dette projekt var udført.

1.4 Formål

På baggrund af de eksisterende erfaringer med porevandsprøvetagning har formålet med dette projekt været at udvikle og teste en udstyrspakke med:

- Automatiseret vakuum- og flowstyring, så umættet zone påvirkes mindst muligt og så flowet ikke overstiger specifikationerne for sorbicellerne.
- Online overvågning af opsamlet porevandsvolumen, for at spare på omkostninger til løbende tilsyn.
- En kapacitet i vakuumkammeret som sikrer, at effektiv forpumpning kan foretages.
- Ventil sikring, som automatisk lukker mellem vakuumkammer og styreboks, når vakuumkammer er fyldt, så der ikke kommer vand i styreboksen.
- Slange, der minimerer risiko for sammenfiltring ved dybe installationer.
- Slangevalg, som minimerer risiko for adsorption.
- Sugecellevalg, som minimerer risiko for adsorption.

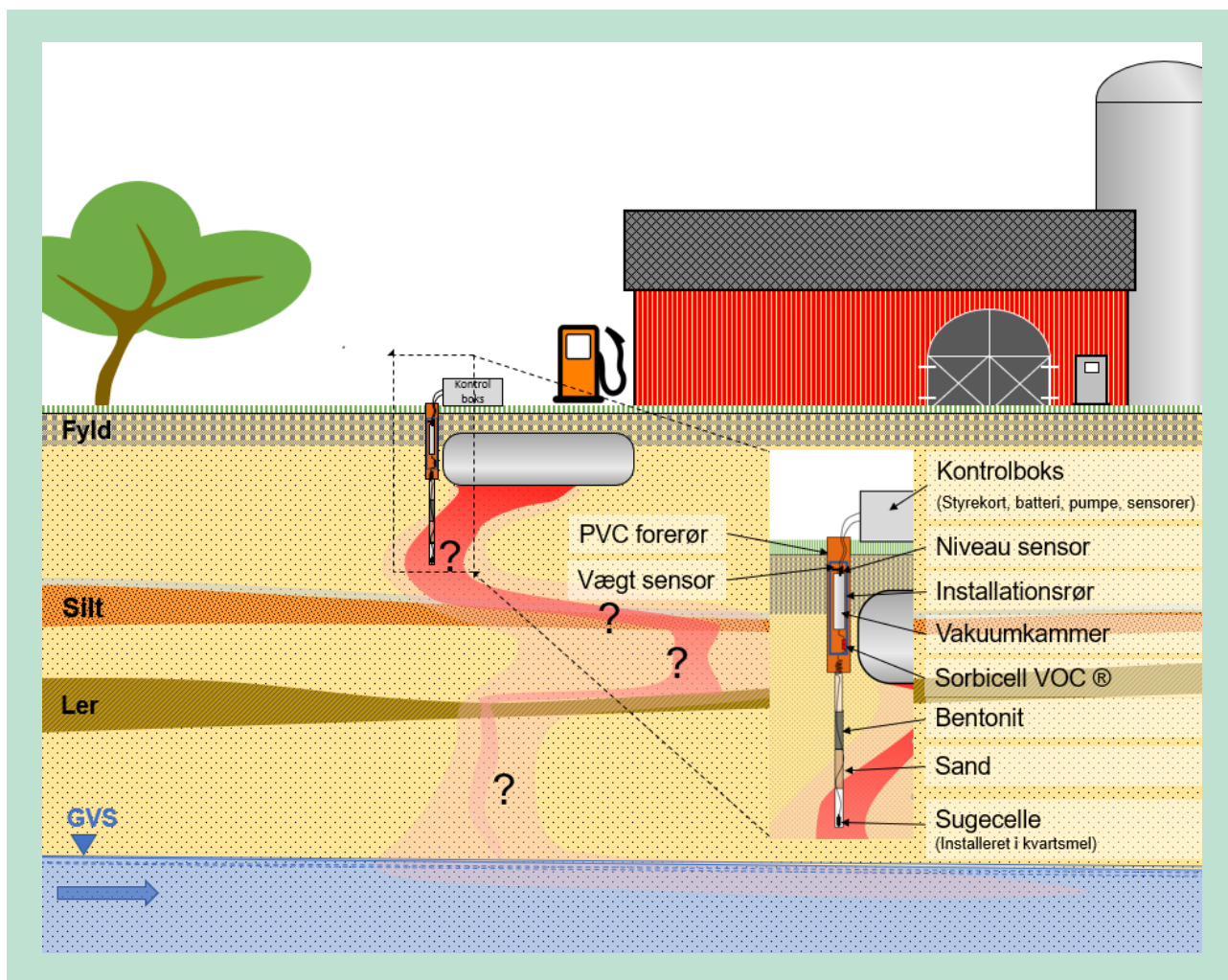
Desuden har det været formålet at:

- Udvikle/afprøve installation af sugeceller i dybder >3 m u.t. med almindelige borerigge til forede boringer.
- Sikre korrekt installation af sugeceller i dybder >3 m u.t.
- Udvikle et standardiseret feltark, som sikrer at alle relevante data indsamles, og som kan benyttes til dokumentation ved afrapportering.

2. Opbygning af ny udstyrspakke

2.1 Udstyrspakkens delelementer

Udstyrspakken tager udgangspunkt i de samme delelementer, som er vist i figur 1.1, men med forskellige ændringer og tilføjelser. En oversigt over delelementerne i den nye udstyrspakke er illustreret i figur 2.1.

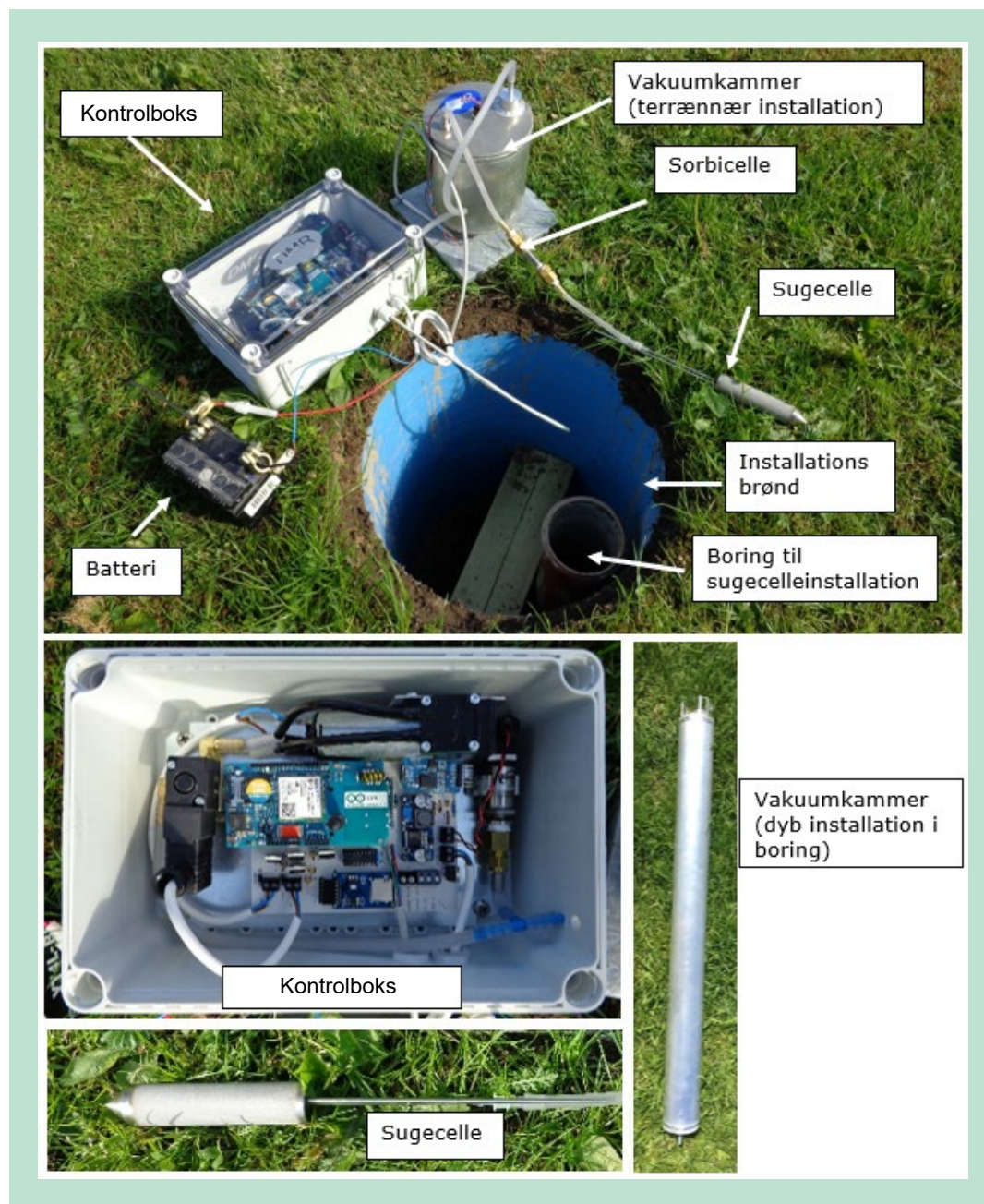


FIGUR 2.1. Elementer i den udviklede udstyrspakke med nye elementer som kontrolboks, niveau- og vægt-/flowsensor, automatisk vedligehold af vakuum og muligheder for fjernovervågning.

Som det fremgår af figur 2.1, er det overordnede koncept for prøvetagningen identisk med det der er vist i figur 1.1, hvilket betyder, at der stadigvæk installeres en sugecelle i kvartsmel, med filtersand og bentonit over. Forureningskomponenterne bliver også fortsat opsamlet på sorbiceller, inden vandet ledes ind i vakuumkammeret. Den primære forskel er:

- Vakuumkammeret nu er ophængt i en vægt, som gør det muligt at følge, hvor meget vand, der bliver opsamlet over tid, hvorved der kan estimeres et flow igennem sorbicellen.
- Styreenhed, hvor det påførte vakuum løbende måles og reguleres.
- Muligt at følge prøvetagningens forløb via 3G-nettet.

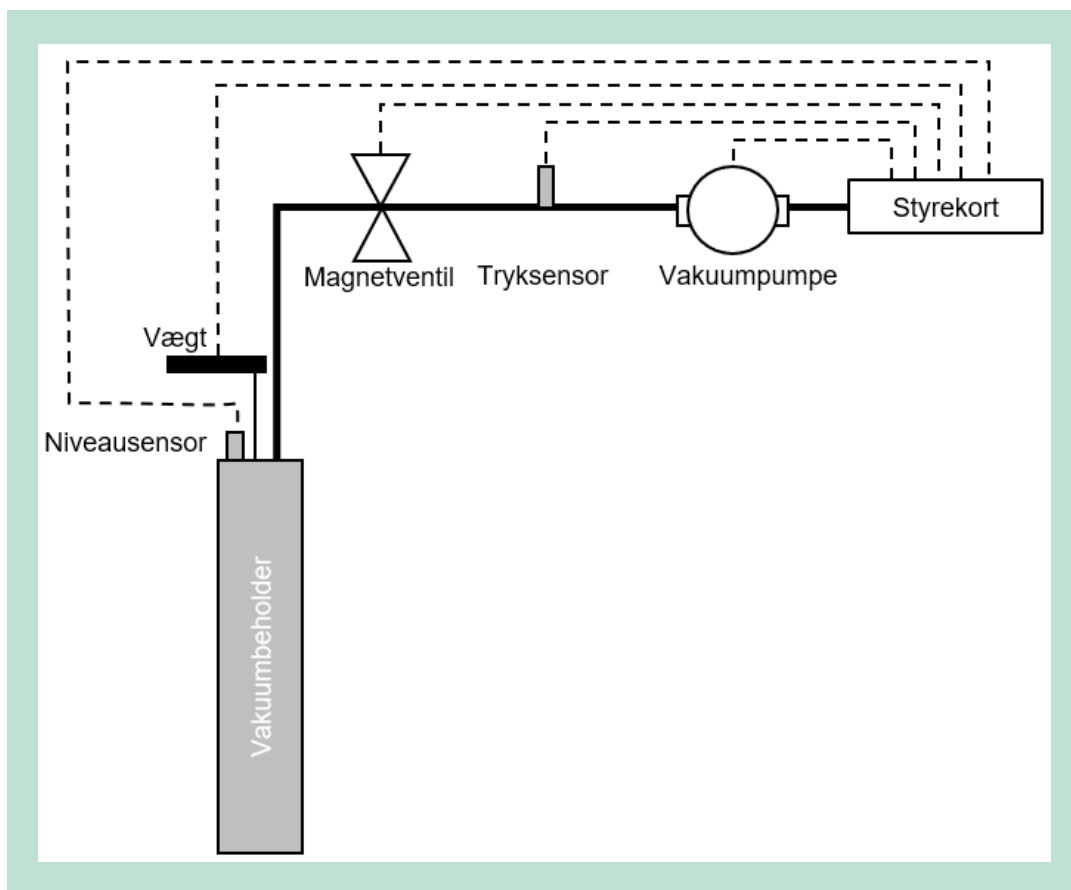
Overordnet er det med denne opstilling muligt at styre vakuum ud fra vægten af det opsamlende vand, så der ikke suges hurtigere end de 500 ml/døgn, der er angivet fra SorbiSense. Endvidere kan det sikres, at vakuum bliver så lavt som muligt, for ikke at påvirke umættet zone mere end nødvendigt. Af figur 2.2 fremgår fotos af udstyrspakken.



FIGUR 2.2. Fotos af udstyrspakken, som er vist i figur 2.1.

2.2 Styrings-/overvågningsenhed

Til styreenheden hører tre sensorer, hvoraf to er monteret direkte på vakuumkammeret. Datablade for de anvendte sensorer ses i bilag 1. Alle deloperationer styres overordnet af et Arduino Pro kort, som tænder og slukker samt henter data fra de forskellige sensorer efter behov. Hele udstyrspakken er designet til at køre på 12 V DC, dog med nedskalering af spændingen til 5 V DC til nogle komponenter. De primære elementer i styringen ses i figur 2.3.



FIGUR 2.3. Primære elementer i styringen af porevandsprøvetageren. Blandt disse sidder magnetventil, tryksensor, vakuumpumpe og styrekort i kontrolboksen mens vægt og niveausensor sidder på vakuumbeholderen.

Af figur 2.3 fremgår det, at styringen overordnet består af et styrekort, en vakuumpumpe, en tryksensor, en magnetventil, en vakuumbeholder en niveausensor og en vægt. Der er vedlagt en stykke liste for udstyrspakken i bilag 2.

Vakuumpumpen kan ifølge producenten etablere et vakuum svarende til -900 mbar og tryktransduceren (tryksensoren) har et måleområde på -1.000-0 mbar. Vakuumentilen er monteret, så den lukker af mellem vakuumkammeret og styreenheden ved terræn, når vandniveauet når niveausensoren, og beholderen er fuld. Herved sikres det, at der ikke suges vand op i kontrolboksen. Styringen opsamler løbende data fra vægten, som vejer det opsamlede porevand.

Niveausensoren er en optisk kontakt, som giver signal, når væskens niveauet berører spidsen af sensoren.

Vægten er baseret på en strain gauge med et måleområde på 0-5 kg.

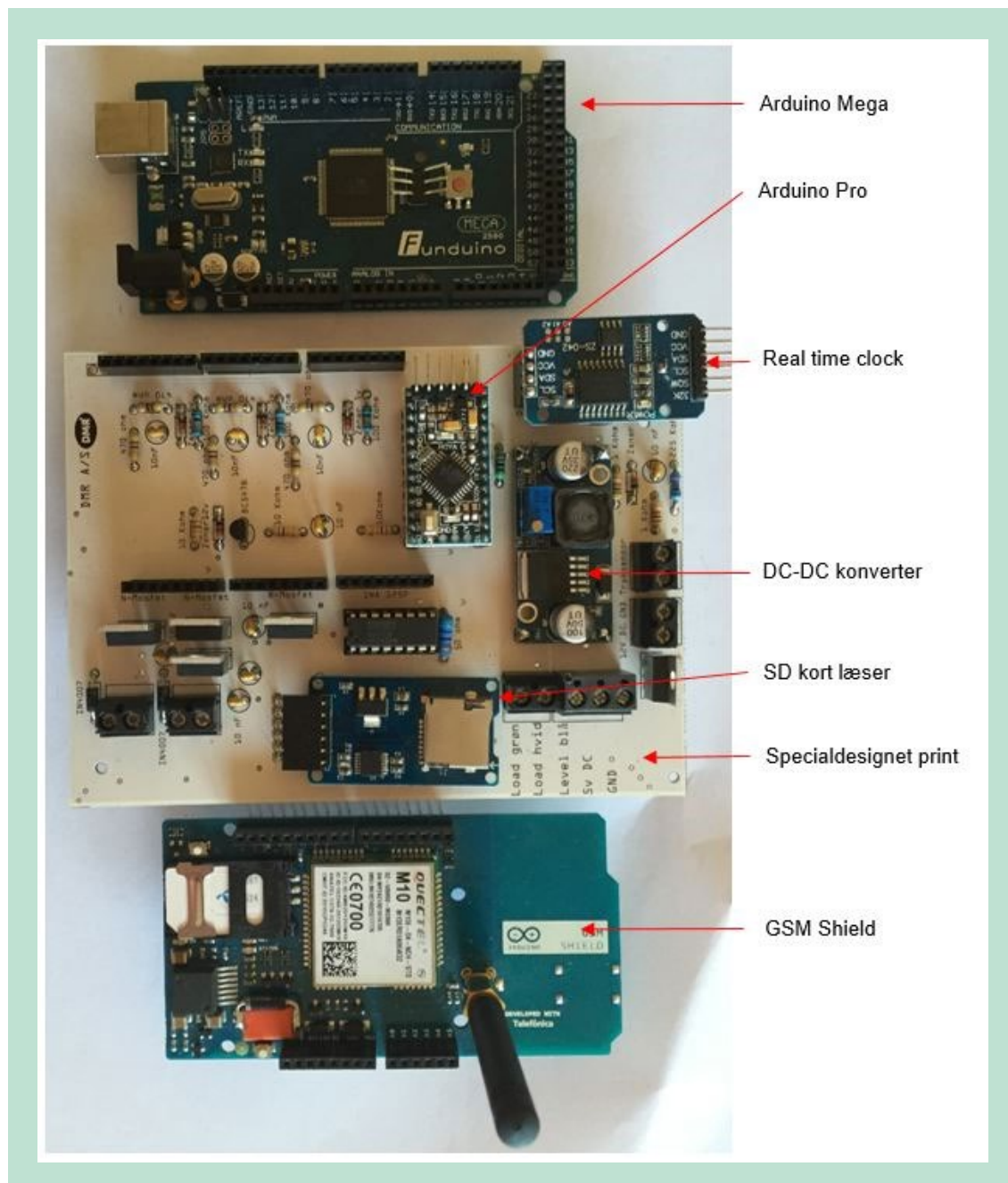
Vakuumbekammeret er specialfremstillet i aluminium, så vægten minimeres. Derved kan mest muligt af vægten måleområde anvendes til at veje opsamlet porevand. Opbygningen af styring og vakuumkammeret er uddybet i henholdsvis afsnit 2.2.1 og 2.2.2.

2.2.1 Opbygning af styring

Styringen er overordnet sammensat af syv print, hvoraf seks købes færdige, og ét er designet til formålet. Af figur 2.4 fremgår en oversigt over de syv print. Blandt de syv print er følgende seks print købt færdige og skal klikkes sammen:

- Arduino Pro.
- Arduino Mega.
- Arduino GSM shield.
- SD kort læser.
- DC-DC konverter.
- RTC Clock Module (Real Time Clock).

Det specialdesignede print anvendes til at koble ovenstående print sammen med tryk- og vægtsensor samt magnetventil og vakuumpumpe. Et diagram over det specialbyggede print er vist i bilag 3.



FIGUR 2.4. Print som indgår i styreenheden.

2.2.2 Opbygning af vakuumkammer

Der er designet to typer af vakuumkamre, ét til dybe installationer af sugeceller (typisk dybere end 3 m u.t.) og ét til terrænnære installationer af sugeceller. Grunden til at det er valgt at lave to typer er, at vakuumkamrene der anvendes til dybe installationer, er relativt lange (ca. 70 cm) og dermed vil stikke betydeligt op over terræn ved en terrænnær installation. Omvendt vil det kræve en boring med en relativ stor diameter for at vakuumkamrene, der er designet til terrænnær installation, kan anvendes til dybe installationer. De to typer vakuumkamre ses i figur 2.2.

De to vakuumkamre installeres forskelligt idet det lange kammer ophænges i vægten inde i installationsrøret (se figur 2.1), mens det korte kammer placeres ovenpå vægten ved terræn. Vakuumkammeret til terrænnære installationer er derfor fastmonteret på en fod, hvorpå vægten er monteret. Ved de terrænnære installationer står vakuumkammer og kontrolboks ved siden af hinanden lige ovenfor boringen hvori sugecellen er installeret.

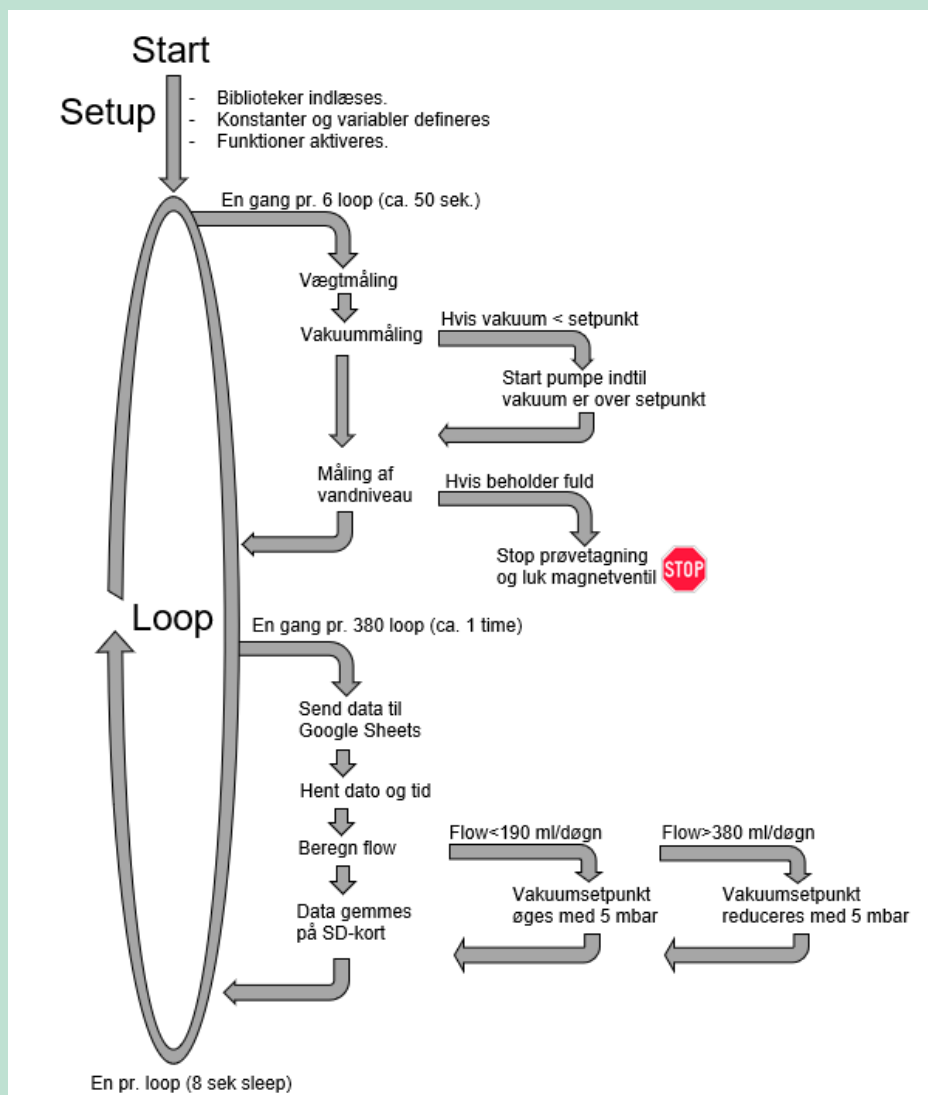
I vakuumkammeret til dybe installationer (det aflange) er der installeret et indvendigt stigrør, som går fra rørstudsens bunden af vakuumkammeret (hvor porevandet kommer ind) og til toppen af vakuumkammeret. Dette medfører, at vandet, når det løber over kanten på stigrøret, ikke kan løbe tilbage igennem sorbicellen hvis vakuum ved en systemfejl skulle falde. På det korte vakuumkammer er dette sikret ved at føre vandet ind i toppen af vakuumkammeret.

2.3 Styring og overvågning

Styringen er programmeret i Arduino IDE (version 1.6.9), som er et gratis program, der er udviklet til Arduinoplatformen. Programmet kan downloades fra www.arduino.cc.

Overordnet er styringen opdelt i to dele. Den første del styres via Arduino Pro kortet, der bruges til den basale måling på sensorer, styring af pumpe/ventil samt logning af data på SD-kort. Ca. en gang i timen aktiveres det andet program på Arduino Mega kortet via Arduino Pro kortet. Arduino Mega uploader data til Google Sheets, som kan fjernaflæses. Denne opdeling er lavet, fordi der ikke er nok hukommelse på Arduino Pro til upload af data, da det er en relativ tung proces. Desuden trækker GSM-printet relativt meget strøm, som dermed spares, ved at det kun er tændt ca. 2 min pr. time. Begge programmer uploades til de respektive kort fra Arduino softwaren via PC'ens USB port. Når de er uploadet starter programmerne automatisk når strømmen sluttet til.

En mere detaljeret gennemgang af styringen er skematiseret i figur 2.5 og en udskrift af programmerne til Arduino Pro og Arduino Mega fremgår af bilag 4.



Flowdiagram over styringen, der er programmeret i Arduino.

Som det fremgår af figur 2.5, starter styringen med en setup-menu, som efterfølges af et loop, der i princippet kan køre uendeligt. Loopet kan afbrydes 3 gange, henholdsvis: hver gang for at gå i sleepmode og spare strøm, for hver 50 sekunder (for hvert 6. loop) for at tjekke sensorer og evt. vedligeholde vakuum og/eller lukke magnetventil hvis vakuumbeholderen er fuld. Endeligt afbrydes loopet ca. en gang i timen (for hvert 380. loop) for at sende data til Google Sheets, beregne flow, evt. regulere flow via ændringer i vakuumsetpunktet og gemme data på SD-kort.

Det fremgår endvidere, at der er indsat et flowinterval på 190-380 ml/døgn, hvor flowet må variere indenfor. Intervallet er defineret ud fra at flowet skal holdes under 500 ml/døgn, som ifølge SorbiSense kan medføre overload på sorbicellerne. Dette tjekkes ca. en gang i timen, og hvis flowet ligger udenfor intervallet, op- eller nedjusteres vakuum med 5 mbar, for at styre flowet.

2.3.1 Kalibrering af sensorer

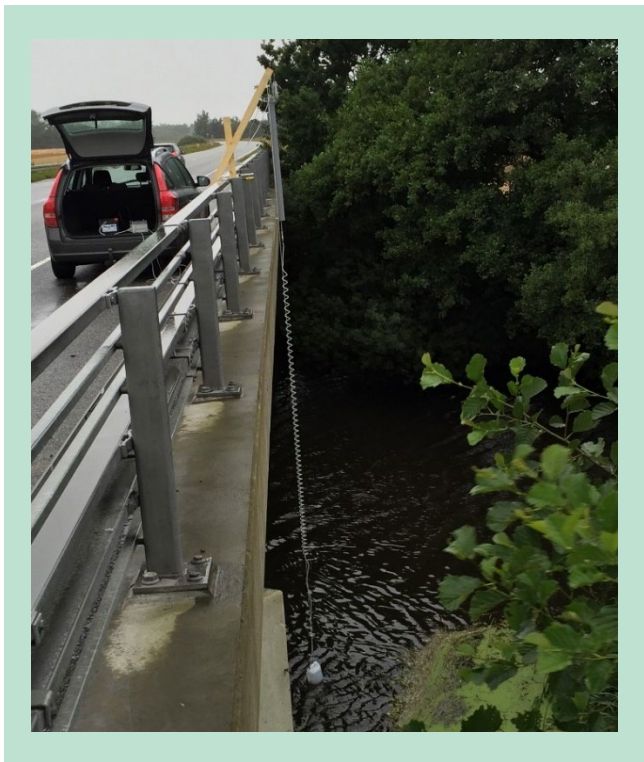
Der er tre sensorer i udstyrspakken, hhv. en niveausensor, en tryksensor og en vægtsensor. Blandt disse leverer vægtsensoren og tryksensoren et lineært analogt signal, mens niveausensoren blot leverer et binært signal - hhv. 0 eller 5 V alt efter om sensoren er tør eller våd.

Da niveausensoren kun leverer et on/off signal er der ikke lavet en kalibrering af denne. I stedet er der defineret en tærskelværdi på 2,5 V. Niveausensoren aktiverer magnetventilen hvis spændingen falder til et niveau under tærskelværdien (= er våd).

Tryksensoren leverer et lineært udgangssignal på 4-20 mA i intervallet 0-1 atm. tryk. Det bemærkes, at der er tale om en absolut trykskala, hvorved et tryk på 0 bar svarer til et vakuum på 1 atm (1013 mbar).

Da Arduino ikke kan modtage signalet i 4-20 mA skal det konverteres til spænding i intervallet 0-5 V svarende til spændet på de analoge porte på Arduino kortene. Signalet som leveres i strøm kan transformeres til spænding ved at indsætte en passende modstand. Størrelsen på modstanden bestemmes med Ohm's law (spænding = modstand x strøm). Hvis makssignalet på 20 mA skal svare til 5 V bestemmes modstanden ved at dividere spændingen med strømmen, svarende til 250 Ω . For at beskytte de analoge indgange er modstanden reduceret til 220 Ω svarende til, at det analoge signal varierer i intervallet 0,88-4,4 V. Da de analoge porte på Arduino Pro og Mega som standard modtager signalet i 10 bits opløsning bliver det analoge signal i volt automatisk transformeret til en værdi i intervallet 0-1023 (2^{10}). Dette signal skal slutteligt konverteres til det korresponderende tryk, hvilket foretages i programmerne, som er vist i bilag 4. Da trykket i intervallet 0 og 1013 mbar opdeles i 10 bit signalintervallet 180-900 (0,88-4,4 volt) bliver følsomheden ca. 1,4 mbar.

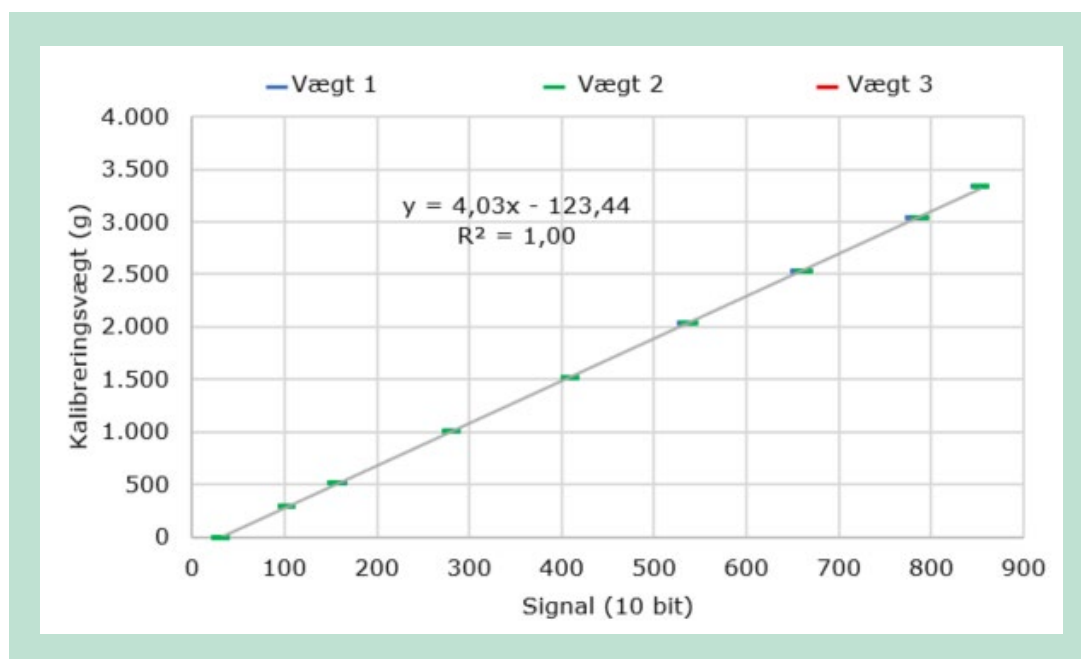
Da tryksensoren leveres kalibreret til at levere 4-20 mA i intervallet 0-1 atm. tryk er der ikke lavet en egentlig kalibrering af dette. Der er dog lavet en kvalitetstest af om et indstillet vakuum kan hæve vandsøjlen tilsvarende i et stigrør (i dette tilfælde en spiralslange). Et vakuum på 600 mbar skal således kunne hæve vandet 600 cm. Et foto fra forsøget er vist i figur 2.6. Som det fremgår af figur 2.6 blev udstyrspakken samlet, og en sugecelle blev sat i en dunk med de-mineraliseret vand som blev hængt ud over en bro. Der var ca. 6,5 m ned og vakuum blev indstillet til 600 mbar. Forsøget viste at vandet blev hævet ca. 6 m i løbet af ca. 1,5 min, hvorefter vandstanden i stigrøret blev stabiliseret. Tryksensoren og styringen af vakuumpumpen virker dermed efter hensigten.



FIGUR 2.6. Test af vakuumstyring og tryksensor med stigrør.

Vægtsensoren består af en strain gauge, som er en sensortype hvor modstanden i sensoren ændres når den belastes med vægt (via stræk eller kompression). Dette leverer en spænding i mikrovolt, som skal forstærkes til intervallet 0-5 V for at det kan opsamles med Arduino Pro. Forstærkningen foretages med en instrumentforstærker (INA 125P), og koblingen mellem Arduino Pro og vægtsensoren er vist i diagrammet i bilag 3. Signalet i volt opsamles på en af de analoge porte på Arduino Pro og omformes til et 10 bit signal. Der er lavet en kalibreringskurve mellem signalet i 10 bit og vægt ved at belaste vægtsensor med forskellige vægte. Af figur 2.7 ses kalibreringskurven for 3 vægte og tendenslinjen der går gennem kurven for midelværdien ved hver vægt.

Som det fremgår af figur 2.7 passer forholdet mellem signalet og kalibreringsvægten til en lineær model ($R^2 = 1,00$). Det er desuden fundet, at vægten efter forstærkning af signalet har en maksbelastning på ca. 3.350 g. Da vakuumkamrene har et indre volumen på ca. 2.000 ml må selve kammeret dermed maksimalt veje ca. 1300 g for at måleområdet for vægten ikke overskrides når vakuumkammeret fyldes med vand. Da vægtene endvidere er fundet at være relativt ens, er der anvendt den samme kalibreringskurve for alle vægte, hvilket forsimples forberelse og vedligehold af udstyret.



FIGUR 2.7. Kalibrering af vægtsensor.

2.3.2 Minimering af strømforbrug

Det samlede strømforbrug for udstyrspakken er minimeret med henblik på at kunne opstille udstyret i feltet over en længere periode (i størrelsesorden 2-3 måneder) drevet med et 12 V bilbatteri på ca. 50 Ah. Overordnet kan de strømforbrugende processer opdeles i forbrug af vakuumpumpe til at vedligeholde vakuum, upload af data til internettet samt et basisforbrug til løbende styring og overvågning.

Det er målt, at vakuumpumpen trækker ca. 300 mA (12 V DC), under upload af data trækkes i gennemsnit ca. 700 mA og under basisstyring trækkes ca. 10 mA. Det samlede forbrug af enheden er minimeret ved at vælge komponenter med mindst muligt strømforbrug, eks. MOS-FETS i stedet for relæer, som kontakter til magnetventil og vakuumpumpe og en switch mode DC-DC-konverter. Desuden aktiveres langt de fleste tilkoblede enheder via Arduino Pro kortets digitale porte kun når der er behov for dem. Dette betyder, at alle sensorer, SD-kort til dataopsamling, GSM-opkobling/Arduino Mega og Real Time Clock kun aktiveres og bruger strøm i kortest mulige tidsrum.

Strømforbruget er desuden minimeret ved at installere et bibliotek til minimering af strømforbruget på Arduino Pro kortet ved at kortet går i sleepmode i 8 sekunder ad gangen. Efter de 8 sekunder vækkes kortet og udfører forskellige rutiner, som vist på figur 2.5. De 8 sekunder er valgt blandt nogle definerede muligheder, som ligger i strømsparemodulet til Arduino.

Laves en middelbetragtning af strømforbruget på enheden ud fra en vurderet tid til pumpning, upload af data og sleepmode/basisforbrug kan der estimeres en middelstrømforbrug på ca. 30 mA svarende til at et 50 Ah batteri teoretisk kan strække til ca. 2,4 mdr.

2.3.3 Fjernovervågning og tjek af installationen ved opstart

Der er etableret fjernovervågning af enheden ved opkobling til internettet via GSM-kort til Arduino. I GSM-kortet indsættes et simkort med 3G abonnement, hvorved enheden ikke er afhængig af at skulle være koblet på et trådløst netværk.

Fjernovervågning køres via online-tjenesten Temboo.com, som gør det muligt at sende data for vakuum og opsamlet vandmængde til Google Sheets, så status på prøvetagningen kan føl-

ges. På temboo.com betales der for, hvor meget man bruger forskellige tjenester, og på hjemmesiden følges en manual, som i sidste ende genererer en kode, som kan uploade data til et givent Google Sheets ark automatisk. Koden er efterfølgende up-loaded til Arduino Mega kortet, der er gengivet i bilag 4.

Da det også er muligt at se sine Google Sheets ark på apps til både Android og iPhone, kan fjernovervågningen også bruges aktivt i felten til at se, om opstillingen kører som den skal ved opstart, samt til at holde øje med om det er tid til at hente en prøve.

2.4 Sorbiceller

Sorbicellerne er oprindeligt udviklet til passiv prøvetagning af eks. grundvand, i vandløb og i kloakker, men ved porevandsprøvetagning anvendes sorbicellerne til en langsom, men aktiv prøvetagning. Da opsamling af porevand fra den umættede zone kræver et vakuum, er en direkte opsamling ikke egnet ved undersøgelse af flygtige forureningskomponenter, pga. risikoen for stripping. En opsamling af vandet ville i givet fald skulle ske i vakuumkammeret. Da tiden for prøvetagningen typisk varierer mellem 10-60 døgn sikrer sorbicellerne endvidere, at prøverne konserveres indtil de sendes til analyse.

Sorbicellerne, der anvendes i dette projekt, er af typen SorbiCell® VOC, som kan bruges, når der analyseres for olieulbrinter/BTEX'er, chlorerede opløsningsmidler og en række pesticider. Det bør før opstart af et projekt altid undersøges, om der kræves en anden type sorbicelle, hvis der skal analyseres for andre forureningskomponenter.

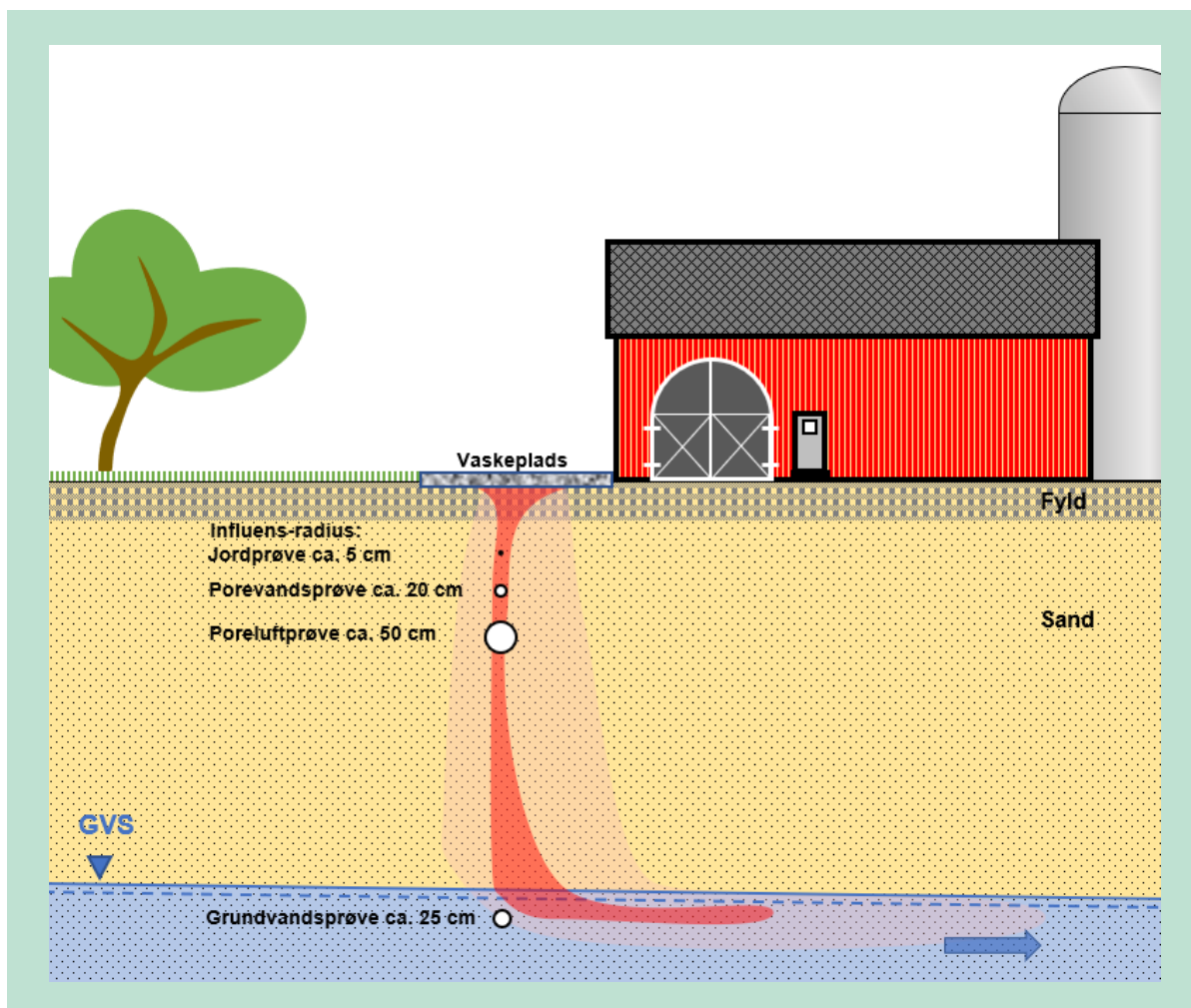
Sorbicellerne indeholder endvidere et analyselag og et kontrollag, og det er dermed muligt ved bestilling af analyse, at få en særskilt analyse af begge lag, hvis der er mistanke om, at der kan være gennembrud på sorbicellen. Dette kan eks. være, hvis prøvetagningen har kørt med et flow højere end 500 ml/døgn eller ved meget høje koncentrationer.

3. Porevandsprøvetagning

Porevandsprøvetagning omfatter overordnet flere forskellige deloperationer, såsom installation af sugeceller og samling af udstyr, forpumpning og selve prøvetagningen. Installationen af sugeceller kan være vanskeligt specielt i dybder, hvor man ikke direkte kan se, at sugecellen sidder korrekt. Desuden har tidligere installationsmetoder omfattet anvendelse af specialboreudstyr som Geoprobe, hvilket kan medvirke til at metoden bliver relativt dyr at anvende. Der er derfor i forbindelse med dette projekt udviklet en ny installationsmetode, så installation af sugeceller kan udføres med almindeligt boreudstyr, som findes ved en boreentreprenør, samt et simpelt specialfremstillet installationsrør. Dertil er det undersøgt hvordan specielt de dybe installationer kan inspiceres efter installation, så det sikres, at sugecellen sidder som det var hensigten.

3.1 Influenradius fra porevandsprøver

Porevandsprøver er primært relevante i forhold til undersøgelse af punktkilder med kendt placering, idet influensradius af en porevandsprøve er relativt begrænset. I nedenstående figur er influensradius af de mest almindelige miljøtekniske prøver sammenlignet i et profilsnit.



FIGUR 3.1. Sammenligning af influensradius for jord-, porevands-, poreluft- og grundvandsprøver.

Hvis der udtages 2 L porevand har prøven en influensradius på ca. 17-20 cm, afhængigt af om der er tale om prøvetagning i sand eller ler. Til sammenligning udgør en typisk jordprøve (ikke blandprøve) et kugleformet volumen med en radius på ca. 5 cm og en 100 L poreluftprøve omfatter i gennemsnit et kugleformet jordvolumen med en radius på ca. 0,5 m /9/. En grundvandsprøve, udtaget i en vandmættet sandjord, med en forpumpning på 30 L resulterer i en kugle med en influensradius på ca. 25 cm.

Generelt skal estimererne på influensradius, der er vist i figur 3.1 betragtes som orienterende, idet flere faktorer kan medføre, at billedet ser anderledes ud. Figur 3.1 viser dog, at porevandsprøvernes influensradius er sammenlignelig med de andre typer af miljøprøver vi anvender til afdækning af potentielle kilder.

3.2 Forberedelse og samling af installation.

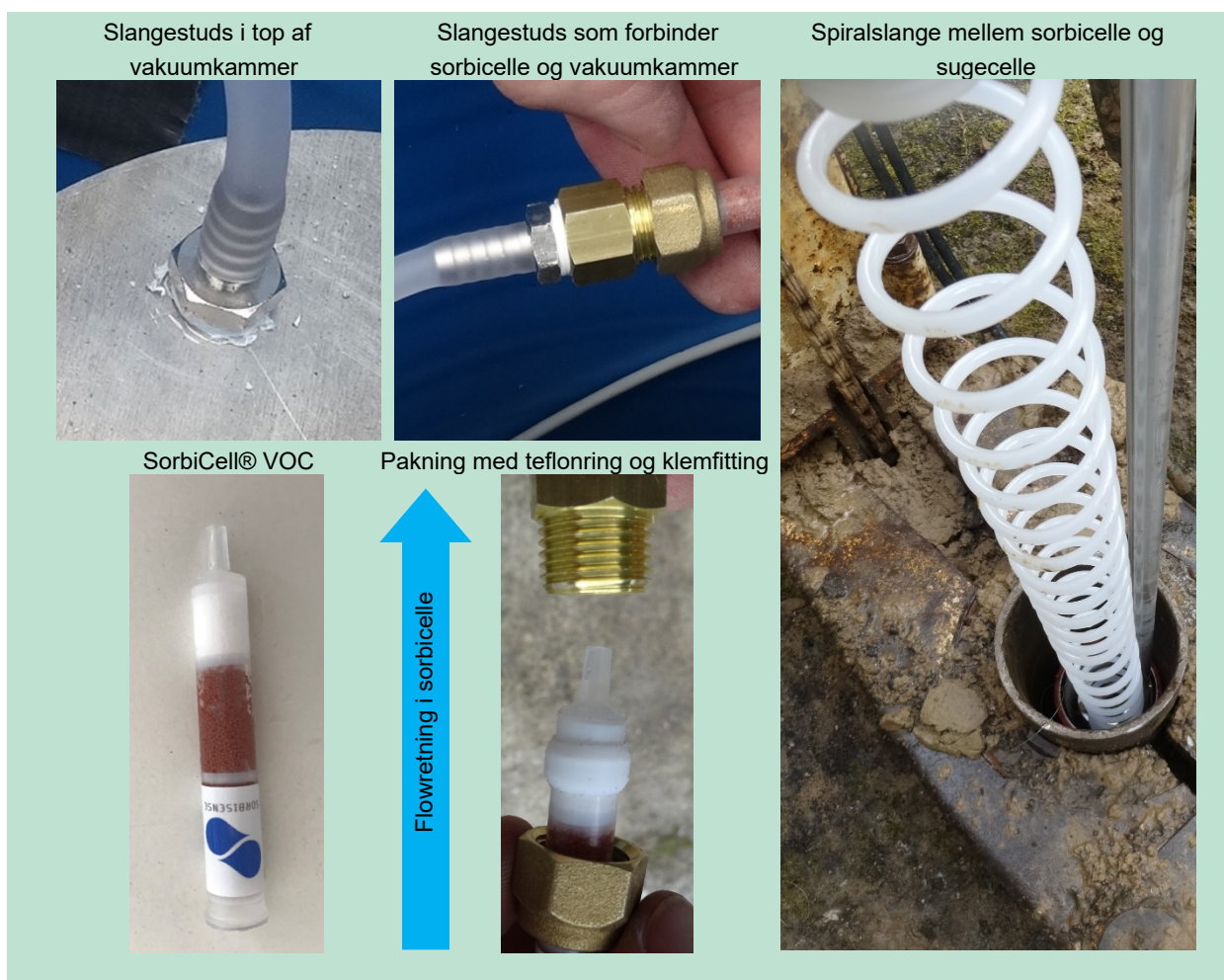
Da porevandsprøvetagningen fungerer ved at etablere et vakuum imellem en pumpe/kontrolboks, ved terræn, og en sugecelle, der er placeret 0,5-10 m u.t., via slanger, vakuumkammer og sorbicelle, er det vigtigt at der etableres tætte samlinger imellem alle komponenter.

Slangerne, der forbinder styreboksen med vakuumkammeret og vakuumkammeret med sorbicellen er en 8/6 mm PVC-slange, mens der imellem sorbicelle og sugecelle er benyttet en 4/2 mm PE-slange som er "spundet" som en spiral for at lette isætning og optagning, jf. figur 3.2.

Som det fremgår af figur 3.2, er in-line (i serie med slangen) monteringen af sorbicellen udført med standard klemfittings med en teflonring. Det fremgår endvidere, at der i udløbsenden af sorbicellerne er et hvidt område i røret som indeholder et tracersalt til bestemmelse af, hvor meget vand der er trængt igennem. Da alt porevandet opsamles i vakuumkammeret, bruges værdierne for vandmængde fra tracersaltet ikke ved porevandsprøvetagning, da en direkte opmåling af vandmængden i vakuumkammeret er mere præcis. Koblingerne imellem sorbicellen og sugecellen er ligeledes udført med klemfittings med teflonring, som klemmer om FEP-slangen.

Det bemærkes, at nogle fabrikater af sugeceller (eks. SMS) anbefaler, at sugecellen forbehandles inden installation ved at nedsænke den i nogle timer i ethanol efterfulgt af demineraliseret vand. Prenarts sugeceller kan forberedes ved nedsænkning i demineraliseret vand. Her henvises til at følge fabrikanternes anvisninger. Formålet med forbehandlingen er at sikre, at der sugecellernes porer er fyldte med vand, hvilket medvirker til en forbedret hydraulisk kontakt til jorden omkring sugecellen.

Det anbefales at samle og teste tætheden af hele enheden, inden der køres i felten.



FIGUR 3.2. Samlinger af slanger og sorbicelle ved installation.

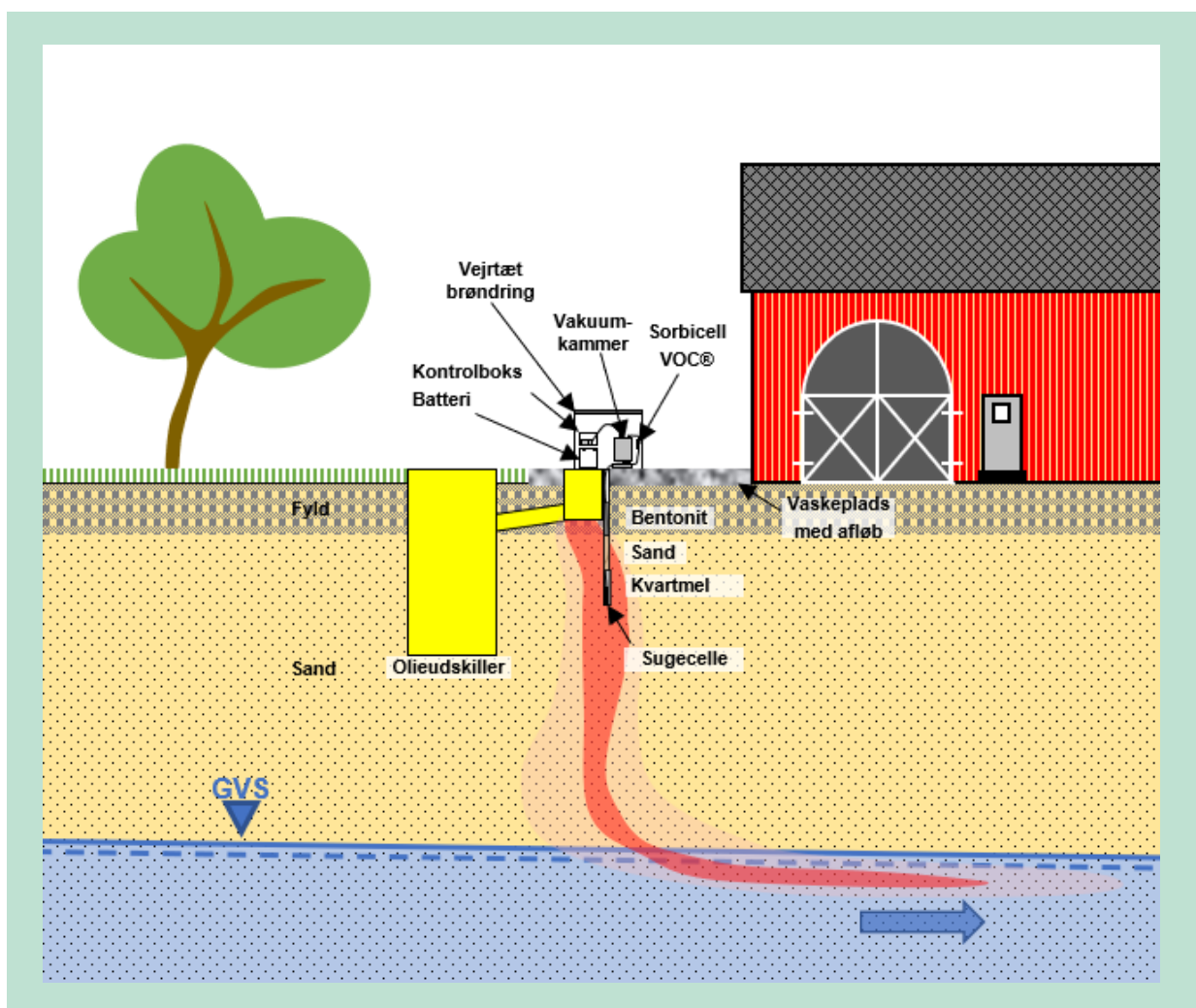
3.3 Installation af sugeceller

Overordnet opdeles installationen af sugeceller, af praktiske årsager, i terrænnære installationer (typisk indenfor normal rækkevidde af håndboregrej på ca. 3,0 m u.t.) og i dybe installationer (>ca. 3,0 m u.t.). De terrænnære installationer er billigst og hurtigst at etablere, da det ikke kræver eksterne underleverandører i form af boreentreprenører, og meget af installationen kan kontrolleres visuelt uden anvendelse af ekstraudstyr.

De beskrevne installationsprocedurer er optimeret igennem arbejdet med felttest A-D, som er beskrevet i bilag 8-11.

3.3.1 Terrænnær installation

Den terrænnære installation er visualiseret i nedenstående profilsnit.



FIGUR 3.3. Terrænnær installation af porevandsprøvetager.

Som det fremgår af figur 3.3, er vakuumkammer, sorbicelle, batteri og kontrolboks placeret i en vejrtæt brøndring, der står på terræn, så det eneste der er installeret i jorden er sugecellen. Sugecellen er installeret i kvartsmel, som er opslæmmet i demineraliseret vand i forholdet 1 del kvartsmel til 3 dele vand. Installationen er således relativt simpel, da det omfatter en håndboring til den ønskede dybde, efterfulgt af at sugecellen sænkes ned og det opslæmmede kvartsmel hældes ned omkring.

Ved de dybeste af de terrænnære installationer kan kvartsmålet med fordel hældes ned igennem et rør, så man sikrer, at det lægger sig omkring sugecellen. Det er vigtigt at sugecellen er helt dækket med kvartsmel, og så vidt muligt er centreret i hullet, da det er kvartsmålet, der sikrer, at der er hydraulisk kontakt mellem sugecellen og den umættede zone.

Efterfølgende programmeres kontrolboksen med det ønskede startvakuum og løftehøjde og batteriet monteres, hvorefter prøvetageren går i gang. Prøvetageren er programmeret til indenfor den første time at sende data til Google Sheets med 2-3 min mellemrum, så det er muligt med det samme at se, at alle systemer kører, og at vakuum er korrekt.

Af nedenstående figur ses fotos fra en terrænnær installation. Som det fremgår er korrekt installation af sugecellen i dette tilfælde sikret ved at sænke et gennemsigtigt installationsrør ned i boringen, så det står på bunden, sænke sugecellen ned i røret, og hælde kvartmel over. Efterfølgende er der brugt en vandmålebrønd til at placere kontrolboks, vakuumkammer, sor-

bicelle og batteri ved terræn, og der er muret en kant af cement omkring for at sikre mod afstrømmende overfladevand. Ved nogle installationer er målebrønden blevet nedgravet. Målebrønden har indbygget ca. 20 cm isolering i låget, hvilket gør, at en nedgravet installation vil kunne holdes frostfri ved de mest almindelige vejsituationer. Nedgravede installationer har ikke givet udfordringer med at sende data.



FIGUR 3.4. Fotos fra terrænnær installation af porevandsprøvetager.

Når sugecellen er overdækket med opslæmmet kvartsmel, er det en god ide at inspicere, hvordan sugecellen sidder. Hvis den er installeret for dybt til at gøre dette direkte visuelt, kan der anvendes et endoskop med videokamera.

3.3.2 Dyb installation

Den dybe installation er visualiseret i nedenstående figur 3.5. Denne installation indledes med at lave en foret 6" boring til ca. 1 m over den ønskede dybde for installation af sugecellen. Efterfølgende monteres boresneglen (6") med et nyt stykke 4" snegl og der bores 1 m længere ned til den ønskede installationsdybde. Grunden til at diameteren mindskes er, at der dermed ikke skal bruges så meget kvartsmel, og dermed heller ikke skal forpumpes samme mængde vand, som hvis sugecellen blev installeret direkte i en 6" boring. Det er en fordel at bibeholde 6" sneglen, mens der bores med 4" snegl, fordi det sikrer en centrering af 4" boringen. Når den nederste boring er udført, sænkes et standard Ø110 mm kloakrør ned i boringen, og den bankes det sidste stykke, så den stikker ca. 20 cm ned i 4" boringen.

Efterfølgende hældes bentonit eller storebæltsblanding ned mellem det store forerør og kloakrøret, lidt ad gangen mens det store forerør trækkes op, så der til sidst står et permanent forerør i form af kloakrøret, der har forbindelse ned til den ønskede installationsdybde. Mængden

The diagram illustrates a groundwater remediation system. On the surface, there is a tree on the left and a red building with a grey roof and a large arched window on the right. A yellow rectangular unit, labeled 'Olieudskiller' (oil separator), is connected to a 'Vaskeplads med afløb' (washing station with drain). This unit is linked to a 'Foret boring' (pre-drilled hole) in the ground. Above the hole, a 'Batteri' (battery) and a 'Kontrolboks' (control box) are shown. The hole itself contains a 'Vakuumbakke til opsamling af porevand' (vacuum chamber for collection of pore water) and a 'Sorbicell VOC®' (adsorption cell for VOCs). Below these components, the hole is filled with 'Bentonit' (bentonite) and 'Sand'. At the bottom of the hole, there is a 'Kvartmel' (quartzite) layer and a 'Sugecelle' (suction cell). The surrounding ground is labeled 'Sand' and 'Fyld' (fill). A red cone-shaped area at the bottom of the hole indicates the zone of influence or suction.

Til den efterfølgende installation af sugecelle og kvartsmel i den ønskede installationsdybde er der fremstillet et installationsrør, som ses i figur 3.6, der viser fotos fra en dyb installation. Her monteres installationsrøret med en tætsluttende flad plade i bunden. Installationsrøret kan efterfølgende monteres med aluminiumsstænger, så det kan føres til den ønskede dybde. Derved kan kvartmelet placeres i den rigtige dybde, uden at skulle hælde det fra terræn og ned gennem boringen. Når røret er sænket ned udløses pladen i bunden, og melet flyder ved optrækning af installationsrøret.

30 Miljøstyrelsen / Automatiseret porevandsprøvetagning – Udvikling og felttest

kobles til sugecellen og sænkes ned så tæt på sugecellen som muligt, og løftehøjden fra sugecellen og til indløbet til vakuumkammeret programmeres i kontrolboksen sammen med det ønskede startvakuum. Som det fremgår af figur 3.6 sidder vakuumkammeret i et beskyttelsesrør af plast. Efterfølgende kobles prøvetageren til batteriet og uploadede startværdier for vakuum og startvægt tjekkes på Google Sheets.



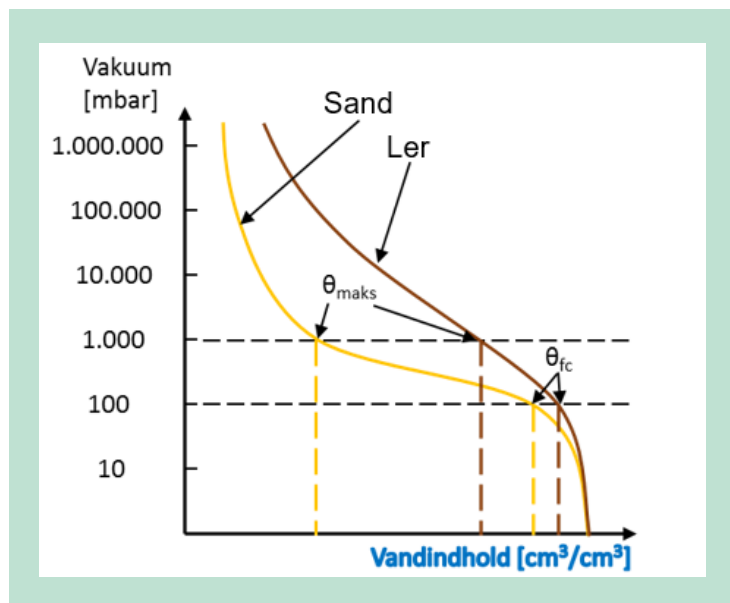
FIGUR 3.6. Fotos fra dyb installation af porevandsprøvetager.

3.4 Sløjfning af dybe installationer

Ligesom almindelige filtre til grundvandsprøvetagning, skal kloakrørene der bruges som permanente forerør sløjfes, når undersøgelserne er afsluttet. Dette forberedes ved at sikre, at der 1 m under terræn er en samling på kloakrøret, så den øverste m kan trækkes op, efter at forerøret er sløjfet efter samme principper som en almindelig filtersat boring. Sugecellen vil dermed blive efterladt, hvor den er installeret, men med bentonit i røret over, så der ikke etableres en vertikal transportvej.

3.5 Valg af startvakuum

Mekanismerne bag porevandsprøvetagning i den umættede zone kan beskrives ud fra retentionskurven som afhænger af jordtypen. Af nedenstående figur er typiske forløb af retentionskurven for hhv. en sand- og en lerjord skitseret.



FIGUR 3.7. Typiske retentionskurver for sand og ler. θ_{fc} er vandindholdet ved markkapacitet dvs. det vandindhold hvorunder dræning pga. tyngdekraft ikke længere forekommer. θ_{maks} er vandindholdet ved det maksimale vakuum, der teoretisk set kan suges med, hvis udstyret tillader, at der suges til et tryk på absolut 0 mbar, svarende til et vakuum på 1.000 mbar.

Som det fremgår af figur 3.7, ligger markkapaciteten ved ca. 100 mbar, hvilket vil sige, at man typisk skal suge med mere end 100 mbar for at trække porevand ud af jorden, med mindre forudgående nedbørshændelser har medført et højere vandindhold. 100-150 mbar er derfor et godt startvakuum. Algoritmerne der er programmeret i porevandsprøvetageren vil automatisk op- eller nedjustere vakuum, op til en maksimumsværdi, der svarer til sugecellens "bubble pressure", minus en sikkerhedsfaktor på 50 mbar. Bubble pressure er en fysisk parameter for sugecellen, der angiver ved hvilket sug, der begynder at blive suget luft ind i sugecellen.

Det bemærkes, at det maksimalt er muligt at etablere et vakuumbaseret sug på 1.000 mbar og den vandmængde, der kan trækkes ud af umættet jord er dermed $\theta_{fc}-\theta_{maks}$. Som det ses i figur 3.7, er der stor forskel på hvor meget vand, der kan trækkes ud af den umættede zone afhængig af, om der er tale om ler- eller sandjord.

3.6 Forpumpning

Da der ved installation tilsættes rent vand som kvartsmelet er opslemmet i, skal der som udgangspunkt forpumpes inden den endelige prøvetagning udføres. I henhold til /1/ bør der forpumpes 1,5 – 3 gange det tilsatte vandvolumen. Ved forpumpning kan der anvendes en "dummy" sorbicelle, for at undgå, at vakuumkanret bliver forurenset af porevandet. Da der typisk tilsættes 200-300 ml rent vand skal der forpumpes ca. 300-900 ml vand, hvilket medfører, et særskilt tilsyn for at montere den endelige sorbicelle, der skal tages prøve med.

Hvis der anvendes specialinstallationer, hvor der tilsættes en relativt begrænset vandmængde i forhold til vandprøven der skal udtages, anbefales det dog, at der udføres en vurdering i det konkrete tilfælde af, om forpumpningen er nødvendig, eller om fortyndingen er negligerbar. I

sådanne tilfælde kan det evt. vælges ikke at forpumpe, hvilket resulterer i en betydelig tidsbesparelse.

4. Dokumentation af installation og prøvetagning

Der er flere faktorer såsom horisontal/vertikal placering, afpropning, forpumpning og prøvetagningshastighed, der kan have afgørende betydning for kvaliteten af porevandsprøver og tolkningen af resultater herfra.

Korrekt vertikal/horisontal placering er afgørende for at sikre at porevandsprøverne kan bruges til at afklare hypoteser, der relaterer til den konceptuelle forståelse af forureningssituationen på den konkrete sag. Eks. kan det være vigtigt, at prøverne placeres der hvor koncentrationen i jorden formodes at være højest for at estimere en kildestyrkekoncentration, eller det kan være relevant at afgrænse transporten af forureningskomponenter vertikalt; evt. med flere prøver over tid.

Det er ligeledes vigtigt at sikre og dokumentere **afpropning over sugecellen** så porevandsprøver udtages på en måde, der sikrer, at der ikke kan trænge vand fra terræn, eller et overliggende sekundært magasin ned til sugecellen. En grundig afpropning skal sikre, at prøven udtages af nedsivende porevand fra installationsdybden.

Forpumpning skal dokumenteres fordi der tilsættes rent demineraliseret vand ved installation af sugecellen. I henhold til /1/ bør der forpumpes 1,5 – 3 gange det tilsatte vandvolumen, for at sikre, at porevandsprøven ikke er fortyndet med installationsvand.

Prøvetagningshastigheden er vigtig for at sikre, at der ikke forekommer gennembrud på sorbicellen.

Der er udarbejdet et feltskema til porevandsprøvetagning, for at sikre, at ovenstående data opsamles i forbindelse med prøvetagningen. Et eksempel på et udfyldt feltskema fremgår af nedenstående figur. Først angives, om der er tale om en terrænnær eller en dyb installation, jf. kapitel 3. Efterfølgende udfyldes skemaet med de angivne data der er forklaret på de to figurer til venstre. Ligeledes angives sorbicellenr. tilhørende hver installation, svarende til nummeret angivet på sorbicellerne fra laboratoriet. Vandmængderne, der er forpumpet og opsamlet på sorbicellen, hældes ud af vakuumkamret og afvejes/opmåles. Den opsamlede (dvs. ikke den forpumpede) mængde skal ligeledes angives ved fremsendelse af sorbicellen til laboratoriet.

Af figur 4.1 fremgår eksempler på vægten af det opsamlede vand og udviklingen i det påførte vakuum over tid. Heraf ses det, at prøverne (på ca. 1.600-1.700 ml) er opsamlet over ca. 6 døgn svarende til et gennemsnitligt opsamlingsflow på ca. 280 ml/døgn (hældningen på vægtekurverne). Det fremgår endvidere, at opsamlingshastigheden har været jævn, så der ikke er kortvarige høje(re) flow. Desuden viser graferne, at begge prøver er opsamlet med et relativt konstant vakuum på 125-150 mbar. Samlet set dokumenterer feltskemaet, at prøvetagningen er sket i henhold til anvisningerne, og at de udtagne porevandsprøver er af en kvalitet, der kan anvendes til at supplere den konceptuelle forståelse.

5. Erfaringer fra felttests

Der er udført felttest på 4 lokaliteter:

- Felttest A:** En beboelsesejendom, hvor en utæt fyringsolietank har ledt til jord- og grundvandsforurening.
- Felttest B:** Et tidligere maskinværksted, hvor håndtering af chlorerede opløsningsmidler (PCE), har ledt til forurening af jord og grundvand.
- Felttest C:** En tidligere maskinstation, hvor der er konstateret pesticidforurening ved en sivebrønd, tilkøbet en tidligere vaskeplads.
- Felttest D:** Et tidligere landbrug, forbundet med potentiel pesticidforurening.

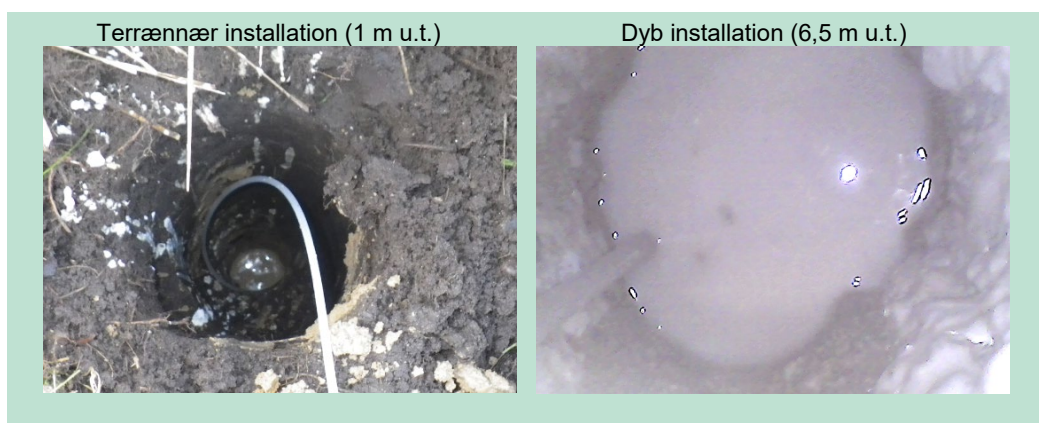
I bilag 8 – 11 er der givet en beskrivelse af resultater fra porevandsundersøgelser på de fire lokaliteter, og i nærværende kapitel trækkes generelle, metodemæssige erfaringer frem fra undersøgelse.

Samlet omfatter ovenstående fire lokaliteter installation af 13 sugeceller i forskellige dybder fra 0,5-6,5 m u.t. i muld, sand og ler. Der er desuden taget porevandsprøver til analyse for både olieulbrinter, chlorerede opløsningsmidler og pesticider. Der er således tale om et bredt repræsenteret erfaringsmateriale, som omfatter typiske sager, hvor porevandsprøvetagning kan være relevant.

5.1 Installation af sugeceller/udstyrspakke

Overordnet er det erfaringen, at en god hydraulisk kontakt mellem sugecellen og formationen er afgørende for en succesfuld porevandsprøvetagning. Den hydrauliske kontakt sikres ved at hælde kvartsmel opslæmmet i demineraliseret vand ned omkring sugecellen i jorden, så den porøse del af sugecellen er helt tildækket, og dermed i kontakt med jorden. Effekter fra fortynding af porevand med vand fra installationen er diskuteret i afsnit 5.6.2. Dette er relativt nemt når sugecellen installeres tæt ved terræn, idet man kan se direkte, hvordan sugecellen sidder. Men i dybere installationer, hvor man ikke kan se, hvordan sugecellen sidder i kvartsmålet, er det en udfordring, som i projektet ledte til geninstallation af en sugecelle 6,5 m u.t. på testlokaliteten i bilag 9 (felttest B).

Der blev efterfølgende indkøbt et endoskop på en 10 m lang ledning, som kan sænkes ned til installationen, så det visuelt kan kontrolleres om sugecellen ved dybere installationer sidder korrekt i kvartsmålet. I nedenstående figur ses et foto af en sugecelle, der er installeret ved terræn, og et foto taget med endoskopet, som viser, at en sugecelle installeret dybt er helt dækket med opslæmmet kvartsmel.



FIGUR 5.1. Fotos af installation af sugeceller.

Som det fremgår af figur 5.1, er begge sugeceller dækket af opslæmmet kvartsmel, men specielt på de dybe installationer kan det være vanskeligt at sikre en centreret installation. Dette vil være et fokuspunkt ved fremtidig optimering af installationsmetoden.

En anden udfordring ved anvendelse af kvartsmel er, at det skiller/bundfælder relativt hurtigt fra vandet, hvorefter det ikke er muligt at stikke sugecellen ned i kvartsmelet. Det er derfor med den nuværende installationsprocedure afgørende, at alt klargøres, inden kvartsmelet hældes ned i installationspunktet.

Ud af de 13 porevandsprøver, var det nødvendigt at foretage én geninstallation - ifm. felttest B (PO3; 6,5 m u.t.). De resterende installationer har fungeret fra starten. I skrivende stund, hvor der løbende er blevet optimeret på installationsmetoden, vurderes det, at installationer på op til ca. 10 meter kan udføres centreret og med ret stor sikkerhed.

På de 4 lokaliteter er der lavet forskellige former for installation/beskyttelse af styreboks, batteri m.m. ved terræn. I alle tilfælde er der benyttet en brønd, som normalt anvendes til vandmålere. Denne løsning er fundet velegnet, fordi den kan nedgraves eller stilles på terræn, og beskytter udstyret godt mod forskellige vejrtyper. Af nedenstående figur ses henholdsvis to nedgravede brønde (felttest A) og en brønd der blev installeret over terræn (felttest B).

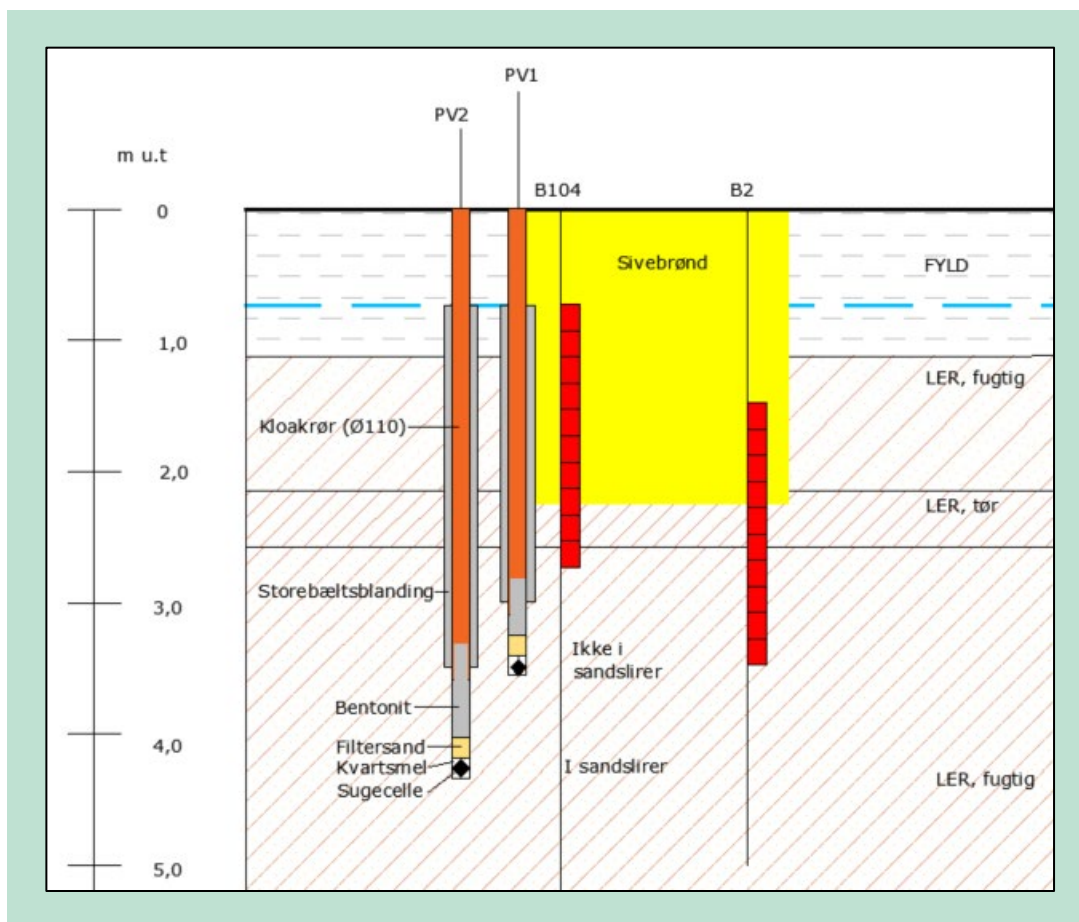


FIGUR 5.2. Nedgravede installationsbrønde (til venstre) samt brønd over terræn (til højre).

Som det fremgår af figur 5.2, er der muret en kant af cement omkring brønden, der står over terrænet, for at eliminere risikoen for, at der kunne strømme overfladevand ned i boringen. Der ikke observeret problemer med at GSM-forbindelsen kunne sende data, hverken for den nedgravede eller ovenjordiske installation, til trods for, at der i låget er indlagt ca. 15 cm isoleringsmateriale. Netop dette isoleringsmateriale er en fordel ved disse brønde om vinteren da det reducerer risikoen for at vand i vakuumkamrene fryser til is. Hvis det ønskes, findes der en låsemekanisme på markedet, som kan monteres på låget. Da brøndene er en relativt billig standardvare (650-1.000 kr.) vurderes det samlet, at det er en hensigtsmæssig løsning til beskyttelse af udstyret.

I felttest A blev der lavet forsøg med at lave to installationer/boringer til forskellig dybde i én brønd. Der blev opnået blandede erfaringer med denne mulighed, og det vurderes pt. at det pladmæssigt optimale er kun at have én installation i hver brønd. Her er dog en oplagt mulighed til fremadrettet optimering, da flere sugeceller i forskellige dybder kan være relevante ift. vurdering af f.eks. vertikal transport og nedbrydning over tid.

Prøvetagning af porevand fra afskærende lerlag, beliggende under sekundært grundvand, blev testet på lokalitet A og C. Det vurderes på baggrund af disse to sager, at det er muligt, men at det kræver megen omhyggelighed omkring afpropningen, så der ikke trænger terrænnært grundvand ned til sugecellen. Nedenstående figur er gengivet fra felttest C (bilag 10), hvor det er vist, hvordan afpropningen kan udføres.



FIGUR 5.3. Afpropning ved installation af sugecellen i ler under terrænnært grundvand.

Det er erfaret, at en effektiv afpropning kan opnås ved følgende installationsprocedure:

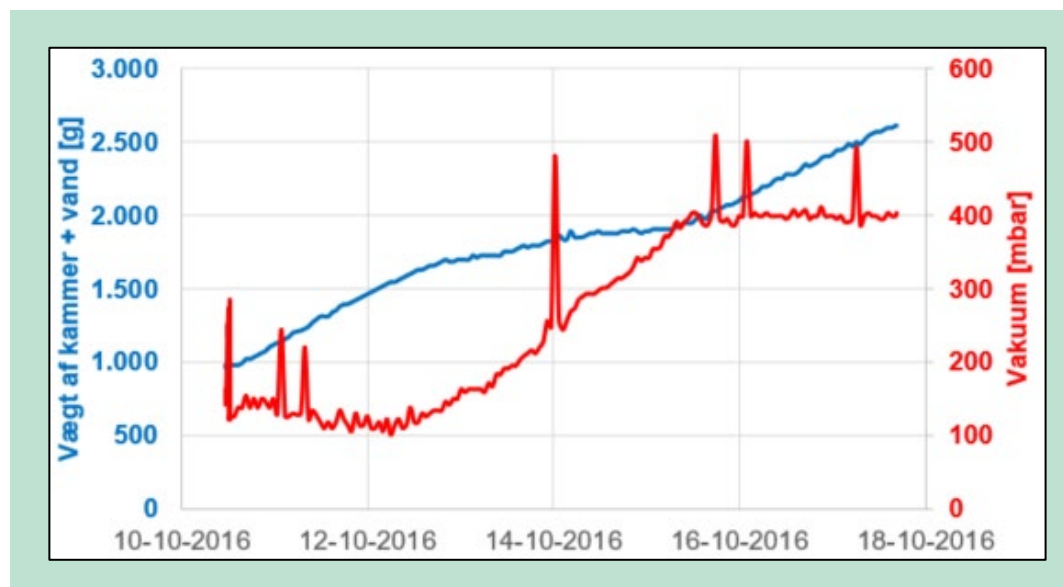
1. Der laves en foret 6" boring til ca. 1 m over dybden hvor sugecellen skal installeres.
2. I enden af 6" boret monteres et 4" bor på 1 m og der bores til den ønskede installationsdybde med 4" boret.
3. Der føres et standard Ø110 PVC-kloakrør ned i boringen, og kloakrøret presses ca. 20 cm ned i 4" boringen. Da 4" svarer til ca. 102 mm og kloakrøret har en ydre diameter på 110 mm skal der presses til, men det har den fordel, at det slutter relativt godt tæt. Der skabes et hulrum mellem det ydre forerør på 6" og det indre kloakrør, og bunden i hulrummet er relativt tæt.
4. I hulrummet hældes efterfølgende en relativt viskøs opslæmning af storebæltssanding.
5. Det ydre forerør kan efterfølgende trækkes forsigtigt op. Det kan være nødvendigt løbende under optrækning at fylde ekstra storebæltssanding i, der kan udfylde den plads der efterlades når forerøret trækkes op.
6. Der fyldes kvartsmel omkring sugecellen, og installationen tjekkes.
7. Der fyldes filtersand over kvartsmålet
8. Bentonit hældes i, så det stikker mindst 20-30 cm op i kloakrøret. Formålet med filtersandet er at minimere risikoen for at der trækker bentonit ned til sugecellen, med en mulig tilstopning af porerne til følge. Formålet med bentonitten er at udgøre en sikring mod overfladevand, der kan trænge ned gennem kloakrøret. Denne afpropning anvendes ligeledes ved terrænnære installationer for at minimere risikoen for overfladevand.

5.2 Styling og overvågning under prøvetagning

Vakuüm startes ved 100-150 mbar (se afsnit 3.5), svarende til markkapacitet, og styringen under porevandsprøvetagningen omfatter (i) at vakuum øges gradvist, hvis der ikke løber vand til

sugecellen, og (ii) at vakuum evt. nedjusteres, for at sikre, at flowet ikke er for højt ift. det maksimale flow på 500 ml/døgn. Dertil er der indlagt en sikkerhedsalgoritme, som sikrer, at prøvetagningen stoppes, når vakuumbeholderen er fuld, så der ikke trækkes vand op i vakuumpumpen/styreboksen.

Det vurderes overordnet på baggrund af de udførte felttests, at styrealgoritmen, hvor vakuum indstilles efter flowet fungerer effektivt, hvilket ses af nedenstående figur, som er et eksempel på prøvetagningen fra felttest C.



FIGUR 5.4. Udvalgte data fra prøvetagningen under felttest C (efter forpumpning).

Som det fremgår, starter prøvetagningen i dette tilfælde på ca. 120 mbar (svarende omtrent til suget ved markkapacitet, $pF2 = 100$ cm vandsøjle), og der opsamles ca. 6-700 ml over de første to døgn. Derefter begynder det at gå relativt langsomt, hvilket bevirker, at algoritmen gradvist hæver vakuum til 400 mbar, hvorefter hastigheden på opsamling af porevand igen stiger, og vakuum vedligeholdes på et stabilt niveau.

Det bemærkes, at der på kurven for vakuum forekommer nogle peaks, hvilket vurderes at skyldes kondens omkring vakuumsensoren. I fremtidige versioner af porevandsprøvetageren er vakuumsensoren sikret imod kondens både vha. en ændret fysisk placering og indbygning af en fugtfælde.

Undervejs i projektet blev det observeret, at den valgte vægtsensor (strain gauge) mistede følsomhed ved gentagen brug. Derfor blev den i projektet betragtes som en forbrugsvare, som skulle udskiftes og kalibreres for hver ny opstilling. Ved fremtidige porevandsprøvetagere er der fundet en større og bedre vægtsensor (med samme måleprincip) som kan genbruges, og som kun skal kalibreres én gang.

På baggrund af de gennemførte felttest vurderes det, at problemer med utætheder var minimale, selvom dette på forhånd var ventet at ville være blandt de største udfordringer. Det har vist sig, at den designede vakuumstyring relativt effektivt kan kompensere for mindre utætheder ved at vedligeholde vakuum, uden at skulle køre kontinuert. Det er naturligvis afgørende, at der er fokus på at minimere utætheder ved div. samlinger igennem hele systemet.

Styring af ventilen, der skulle lukke systemet ned når vakuumtanken var fuld, virkede efter hensigten, dog var der i nogle tilfælde problemer med, at de valgte stik som samlede vandstandssensoren med kontrolboksen korroderede, og sensoren derfor ikke fungerede. Fremadrettet anvendes vandtætte stik, som f.eks. anvendes til marine formål.

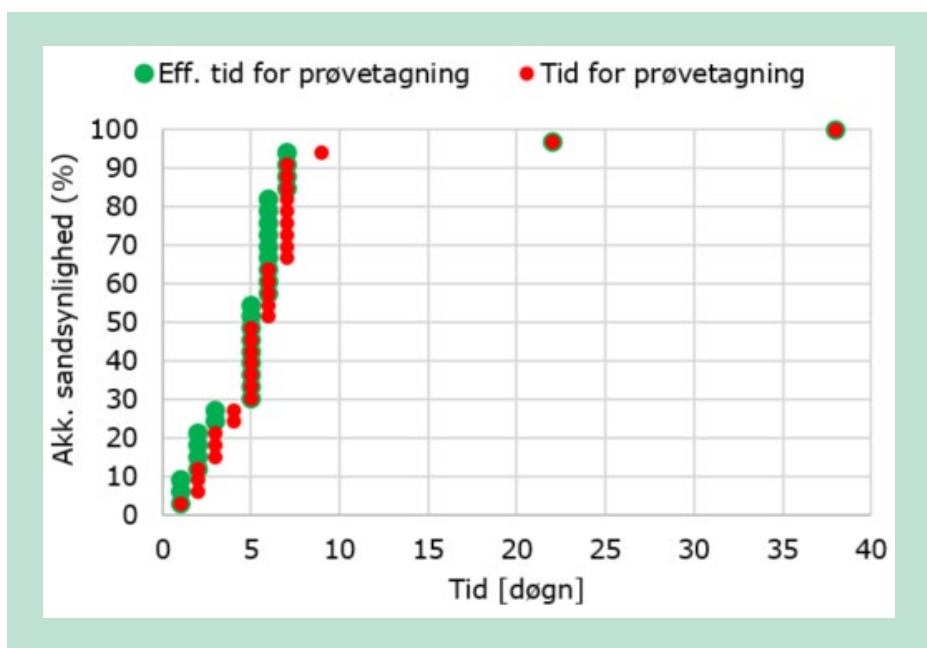
Batteridriften vurderes at fungere tilfredsstillende, idet der ikke har været behov for at skifte batterierne ifm. prøvetagningen under felttest A-D. Batterierne er dog, for en sikkerheds skyld, blevet skiftet ved hvert tilsyn, f.eks. imellem forpumpning og prøvetagning, samt imellem gentagne prøvetagninger. Den længste periode et batteri kørte var på felttest D, hvor en af prøverne blev udtaget over 38 døgn. På denne lokalitet skulle vakuum, pga. den langsomme prøvetagning, endvidere vedligeholdes på 500 mbar (maks.), hvilket sandsynligvis har resulteret i at pumpen har kørt relativt ofte, og dermed har haft et forholdsvis stort strømforbrug. Fremtidige versioner af porevandsprøvetageren programmeres med en funktion, der noterer driftstiden på pumpen, hvilket vil gøre det muligt (fra kontoret) at vurdere, om der kan være utætheder, der skal udbedres idet en højfrekvent pumpning vil indikere, at der er en utæthed.

Efter installation af sugecellerne blev startvakuum typisk indstillet til 100-150 mbar, svarende omtrentligt til jordens sugetryk ved markkapacitet. Dette vurderes fortsat at være et godt startniveau for prøvetagningen. Dels fordi flere prøver stabiliserede sig på dette niveau, og dels fordi vakuum relativt hurtigt indstiller sig på et passende niveau (typisk indenfor 1-3 døgn), hvis det var nødvendigt.

5.3 Prøvetagningstid

I hver felttest er der lavet en opgørelse af, hvor lang tid der gik med prøvetagning af de enkelte porevandsprøver (13 punkter, 33 porevandsprøver). Tiden er opgjort dels som den samlede tid fra start til slut, og dels som den effektive tid der gik med porevandsprøvetagning, efter vakuum var steget til et niveau, hvor der begyndte at komme porevand. Disse data er vist i nedenstående plot med den akkumulerede sandsynlighed for at prøven er færdig op af y-aksen og prøvetagningstiden ud af x-aksen.

Som det fremgår af figur 5.5, blev mere end 90 % af prøverne udtaget på maksimalt 7 dage, og prøvetagningstiden var maksimalt 38 døgn (PV2 i Felttest D). 50 % fraktilet ligger på 5 døgn for effektiv prøvetagningstid og 6 døgn for samlet prøvetagningstid. De to relativt lange prøvetagningstider på hhv. 22 og 38 døgn var på felttest D. Disse prøver adskilte sig fra de andre prøver ved at porevandet var relativt mørkt, hvilket sandsynligvis skyldes et højt humusindhold. Det kan ikke afvises, at dette høje indhold af humus har tilstoppet porerne i sugecellerne, og dermed resulteret i forlænget prøvetagningstid.



FIGUR 5.5. Akkumuleret fordelingsplot over hhv. samlet og effektiv prøvetagningstid for porevandsprøvetagning på felttest A-D (13 punkter, 33 prøver).

Et maksimalt tilrådeligt flow igennem sorbicellerne på 500 ml/døgn (for at beskytte sorbicellen imod gennembrud) medfører, at en effektiv prøvetagning af 2 L på kortere tid end ca. 4 døgn ikke kan anbefales. Vakuumbstyringen sikrer at dette som regel overholdes, men i felttest A gik prøvetagningen hurtigere i 8 ud af 11 prøver, og i felttest C gik den hurtigere i 1 ud af 6 prøver. I alle tilfælde skyldes den hurtigere prøvetagning, at vandindholdet i den umættede zone har været højere end markkapacitet – f.eks. ifm. nedbør, hvormed der opstår en slags hydraulisk overtryk ift. vakuumkammerets vertikale placering og vakuum-setpunkt under prøvetagningen.

De 8 prøver fra felttest A blev analyseret på trods af hurtig prøveopsamling, og risiko for gennembrud, men med en tilkøbt analyse af kontrollaget. Der blev ikke konstateret gennembrud på nogle af de 8 prøver. Det blev fravalgt at analysere en den første porevandsprøve i PV2 fra felttest C pga. for hurtig opsamling.

Som det fremgår, er det muligt at foretage et bevidst valg, om man vil forsøge at analysere prøven i både analyse- og kontrolzone, eller om man hellere vil udtage en ny porevandsprøve med et lavere startvakuum, for at opnå et lavere flow. Som det fremgår, giver de indsamlede prøvetagningsdata mulighed for at vurdere, hvornår det kan være relevant at analysere kontrollaget i sorbicellerne (mod en ekstrabetaling).

5.4 Prøvetagning i forskellige jordtyper

På forhånd var det forventet, at forskellige jordkarakteristika ville have betydning for hvor hurtigt det var muligt at udtrække porevand fra den umættede zone. Derfor blev der i alle punkter/dybder for installation af sugeceller udtaget jordprøver til analyse for:

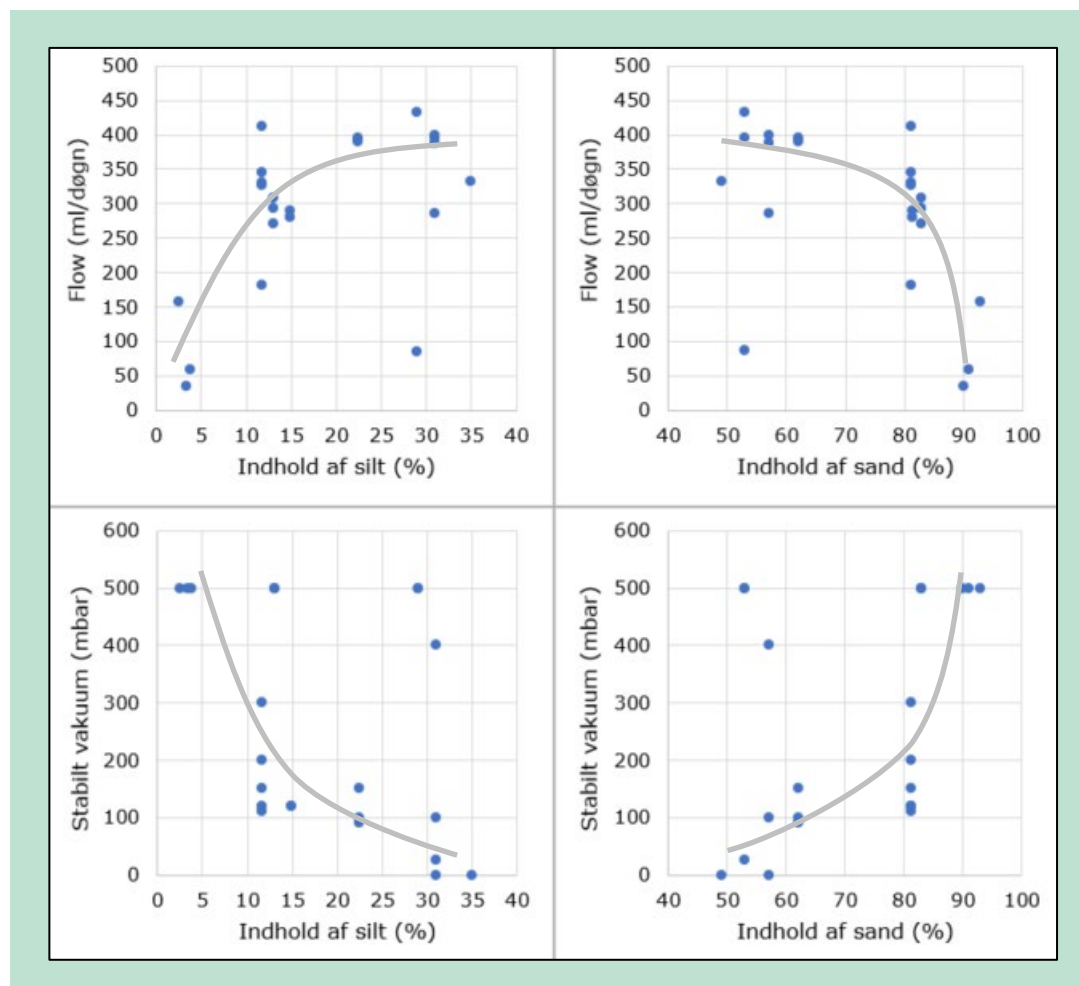
- Vandindhold.
- Organisk stof (glødetab).
- Kornstørrelsesfordeling.

Disse data er præsenteret i hvert bilag for felttestene (bilag 8-11). Baseret på kornstørrelsesfordelinger er alle jordprøver, bortset fra én, karakteriseret som morænesand med forskellige grader af muld, silt og ler. Kun én prøve (felttest 1, PV4) er karakteriseret som moræneler. Der er dermed ikke datagrundlag til en overordnet skelnen mellem, hvor hurtigt porevandsprøvetagningen foregår som funktion af jordtypen.

Der er i stedet lavet en række plots mellem det gennemsnitlige flow under porevandsprøvetagningen (opsamlet vandmængde divideret med effektiv prøvetagningstid) mod indhold af ler, silt, sand, grus, vandindhold, organisk stof og den gennemsnitlige hydrauliske ledningsevne estimeret fra HydrogeoSieveXL, som er vist i bilag 12. I bilag 13 er de samme parametre plottet mod det stabile vakuum, som porevandsprøvetageren indstiller sig ved. I analyserne er der set bort fra data fra prøvetagninger, hvor opsamlingen er sket for hurtigt til at de burde analyseres (hydraulisk overtryk), samt fra en enkelt prøvetagning (felttest D, PV2), hvor sugecellen var installeret i en sandslire, som var for tynd, til at der kunne udtages en repræsentativ jordprøve herfra.

Som det fremgår af bilag 12 og 13, er der ingen entydige sammenhænge. Det vurderes, at det højst sandsynligt skyldes, at flere parametre påvirker porevandsprøvetagningen på samme tid. Samtidig vil porevandsprøvetageren forsøge at hæve flowet ved at øge vakuum, hvilket også giver en ekstra dimension i datasættet, som vanskeliggør, at der træder entydige sammenhænge frem.

Det skal dog bemærkes, at det under porevandsprøvetagningen er vurderet subjektivt, at sandede aflejringer med lavt indhold af ler og silt var de vanskeligste medier at udtage porevandsprøver fra. Netop indholdet af silt og sand er også det eneste i bilag 12 og 13 der viser indikationer på en sammenhæng med flow og stabilt vakuum. Graferne herfor er gengivet nedenfor.

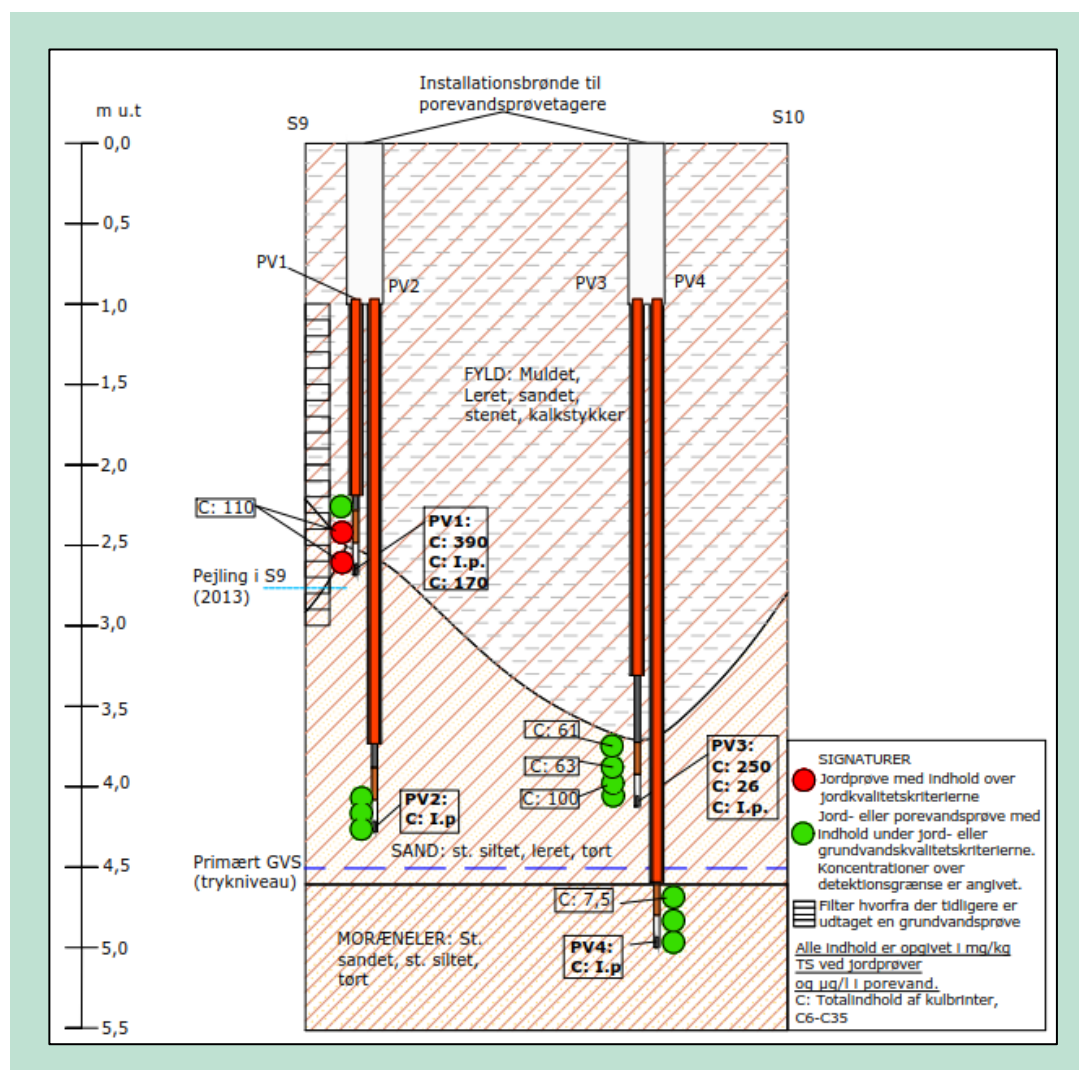


FIGUR 5.6. Sammenhæng mellem flow hhv. vakuum og indholdet af sand og silt. Indtegnede manuelt-fittede kurver for tendenser i datapunkterne.

Som det fremgår, er der tendenser til at et højere indhold af silt resulterer i et lavere nødvendigt vakuum og højere flow, mens et højere sandindhold resulterer i et højere nødvendigt vakuum og et lavere flow. Dette stemmer godt overens med at mere finkornede aflejringer indeholder mere vand, og at disse aflejringer dermed er nemmere at tage prøver fra. Fra porevandsprøvetagninger som ikke er inddraget i dette projekt, er det empiriske erfaringsgrundlag det samme, nemlig, at sandede aflejringer med lavt indhold af ler og silt kan være relativt vanskelige/langsomme at udtage porevandsprøver fra.

5.5 Porevandskoncentrationernes stedlige variation

Effekten af variationer i koncentrationer i porevandsprøver, vurderes at være relativt udtalt ved alle gennemførte felttests. Variationen i koncentration i porevandet følger overordnet de stedlige variationer i jordens indhold af forureningskomponenter. Ved felttest A var denne effekt tydeligst vertikalt, idet fyringsolien endnu ikke var trængt ned til de to dybeste porevandsprøver. Dette er visualiseret på nedenstående profilsnit.

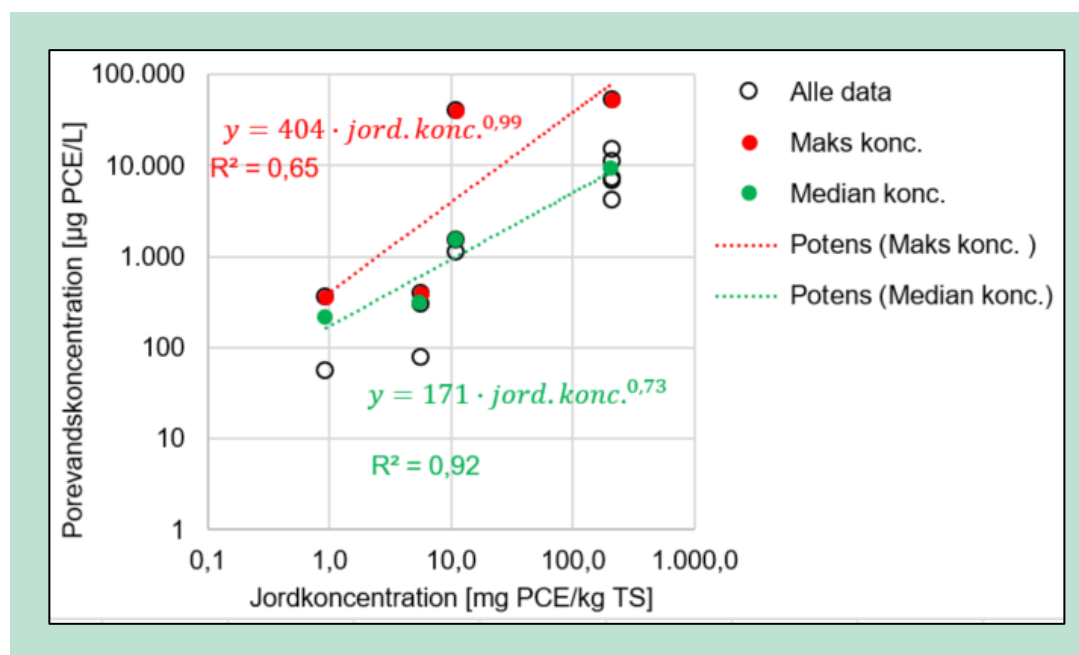


FIGUR 5.7. Vertikalt profilsnit med analyseresultater fra jord- og porevandsprøver (felttest A).

Horisontale variationer i porevandskoncentration var tydeligst ved felttest B, hvor porevandsprøvetagerne var placeret i et bredt udsnit af jordkoncentrationer. En af de vigtigste erfaringer fra denne lokalitet er, at det er afgørende med en grundig karakterisering af jordens indhold af forureningskomponenter (for forureningskomponenter, hvor jordprøver er relevante) inden placering af porevandsprøvetagerne. Dermed sikres det maksimale konceptuelle udbytte af resul-

taterne fra porevandsprøverne. Som det fremgår af figur 3.1, er der dog en større influensradius ved porevandsprøver (ca. 20 cm) end ved jordprøver (ca. 5 cm), hvorved der teoretisk vil kunne forventes en vis udjævning af lokale koncentrationsforskelle med porevandsprøver.

Samlet vurderes det, at der for forureningskomponenter, der kan måles i jorden, som fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler, kan opnås relativt meget information med få porevandsprøver, så længe de er placeret ud fra en grundig karakterisering af kildeområdet. Antallet vil bero på en konkret vurdering i hvert tilfælde. I felttest B, var det muligt med fire prøvetagningspunkter at etablere en relativt god beskrivelse af kildestyrkekoncentrationen ud fra sammenhængen mellem porevandskoncentrationer og jordkoncentrationer i de 4 punkter (PCE). Sammenhængen mellem jord- og porevandskoncentration og i de fire punkter er vist i nedenstående figur. Ved anvendelse af de præsenterede lokalitetsspecifikke sammenhænge kan den stedslige variation kortlægges ud fra variationen i jordkoncentrationer.



FIGUR 5.8: Plot af målte jord- og porevandskoncentrationer af PCE. En tendenslinje baseret på en potensfunktion er fittet til henholdsvis de maksimale koncentrationer (rød) og mediankoncentrationerne (grøn).

Det vurderes, at undersøgelse af porevandskoncentrationen ved pesticidpunktkilder er vanskeligere, netop fordi der ofte ikke foreligger en forudgående viden om fordelingen ud fra jordprøver. For pesticiderne er porevandsprøver dog stort set den eneste metode, der kan levere information om den stedlige variation i kildeområder over grundvandsspejlet. I felttest C og D er der udtaget porevandsprøver i relativt få punkter, og der findes på begge lokaliteter kildeområder for pesticider, selvom der er meget store forskelle i kildestyrken på de to lokaliteter. Dette viser, at porevandsprøverne har et potentiale til screening af pesticidpunktkilder, men der mangler forsat viden om, hvor mange prøver der skal til for at afdække en punktkilde.

5.6 Porevandskoncentrationernes variation i tid

Variationer mellem prøver udtaget over tid i samme punkt kan skyldes flere faktorer:

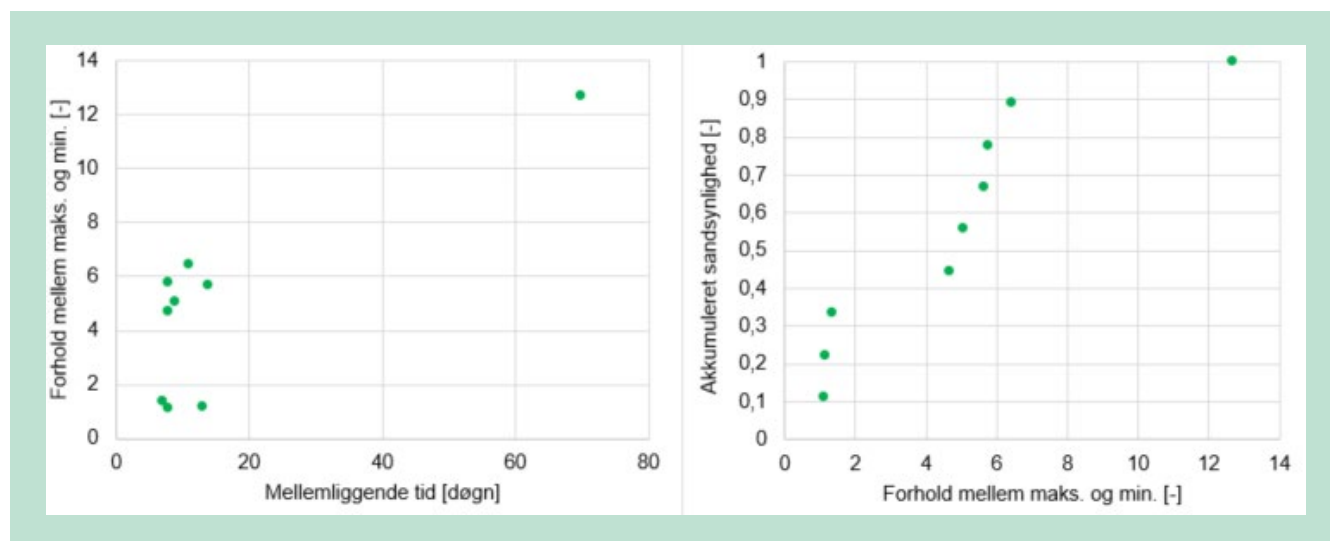
- Reproducerbarhed – generel usikkerhed på prøvetagning og analyse.
- Fortynding med demineraliseret vand fra installation.
- Variationer på influensradius over tid.

5.6.1 Reproducérbarhed

Den generelle reproducérbarhed er undersøgt i felttest A-C, idet der er udtaget porevandsprøver ad flere omgange på disse sager. På felttest C er der analyseret for flere forskellige pesticider.

Forholdet imellem de konstaterede maks. og min. indhold for alle resultater efter forpumpning (fra samme punkt) er beregnet for TVOC i felttest A, PCE i felttest B, bentazon, dichlorprop og MCPP i felttest C, og er i nedenstående figur plottet mod tiden mellem de to prøvetagninger. Der er endvidere lavet et akkumuleret sandsynlighedsplot. Overordnet er der 9 dataserier fra felttest A-C, der kan inddrages i denne analyse.

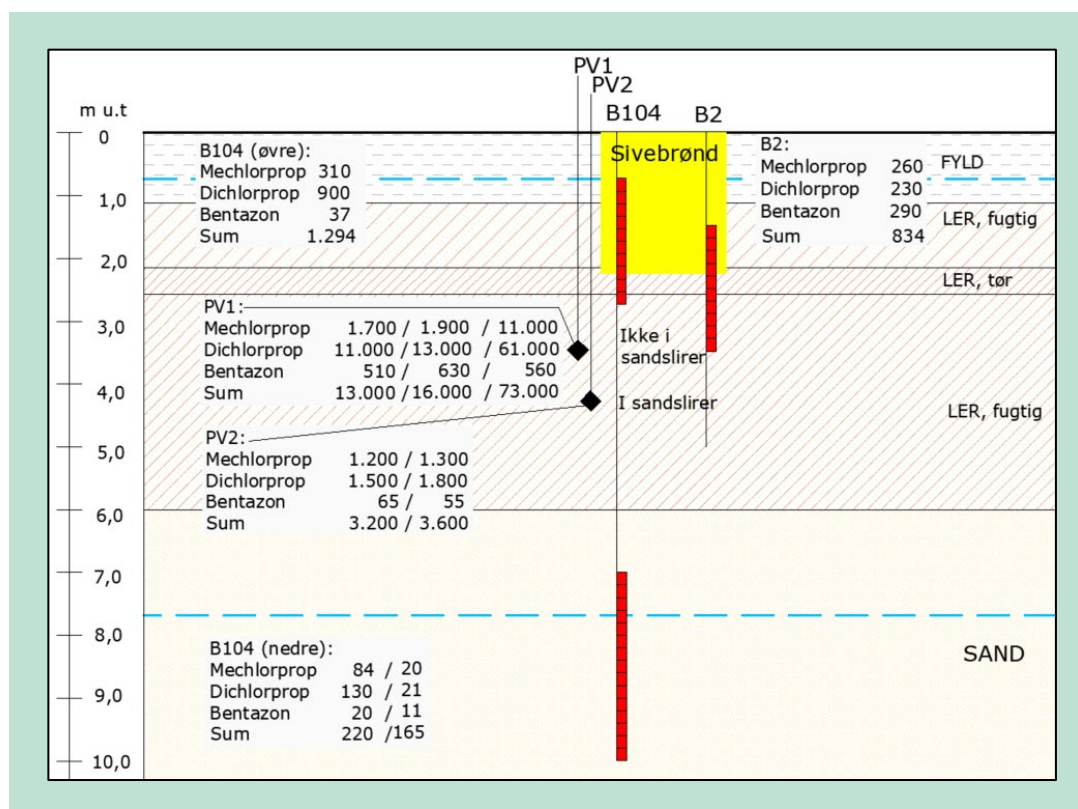
Som det fremgår af figur 5.9, ligger forholdet imellem maks. og min. koncentrationen i intervallet ca. 1,5-13. Der er ikke en entydig tendens til en øget forskel på maks. og min. desto længere tid, der er mellem målingerne. Der er således ikke noget der peger på, at der er tale om reelle tidslige variationer i den nedsivende porevandskoncentration. Medianen for forholdet imellem maks. og min. koncentrationen i hvert punkt er, som det fremgår af plottet med akkumuleret sandsynlighed 5,1.



FIGUR 5.9. Forhold imellem maks. og min. koncentrationer i felttest A-C.

I felttest C er det muligt at sammenligne reproducérbarheden af porevandsprøver med reproducérbarhed af grundvandsprøver fra den samme lokalitet, jf. figur 5.10.

Som det fremgår af figur 5.10, varierer indholdet af enkeltkomponenter i PV1, over tid, med en faktor ca. 1,1-6,5 og i PV2 med 1,1-1,2. Til sammenligning varierer indholdene af enkeltkomponenter i det nedre filter i B4 med en faktor 1,8-6,2. Sammenlignes indholdene i det terrænnære filter i B4 og B2, som begge er placeret ved sivebrønden i et terrænnært usammenhængende grundvandsmagasin, konstateres indhold der varierer med en faktor 1,2-7,8. Tidslige variationer i porevandet er dermed på niveau med tidslige variationer, der er konstateret i grundvandet.



FIGUR 5.10. Vertikal fordeling af porevandsforurening under punktkilde (sivebrønd), felttest C. Alle enheder er µg/l.

5.6.2 Fortynding med demineraliseret vand fra installation

Det primære formål med at udtage flere porevandsprøver i hvert punkt var at vurdere effekten af forpumpning i forhold til fortyndingseffekten fra tilsat demineraliseret vand under installation af sugecellen. Den gentagne prøvetagning blev udført i felttest A, B og C, hvor der er udtaget flere prøver (2-6 stk.) i hvert punkt. Prøverne blev derfor udtaget uden forpumpning, men i forlængelse af hinanden. På forhånd var det forventet, at en fortyndingseffekt fra demineraliseret vand, tilsat ved installationen, burde medføre en stigende koncentration – specielt mellem den første og anden prøveudtagning – evt. til et maksimum opnås, svarende til porevandskoncentrationen i jorden omkring sugecellen. Som det fremgår af resultaterne i bilag 8-10, blev der ikke konstateret en entydig effekt af forpumpning. Der blev således kun konstateret en entydig stigende tendens i ét punkt (felttest B, PO3). Det bemærkes, at sugecellen i netop dette punkt blev geninstalleret, så der blev brugt dobbelt så meget demineraliseret vand til installation, som normalt.

På baggrund af få erfaringer vurderes det, at forpumpning som udgangspunkt stadig bør udføres for at forhindre en eventuel fortyndingseffekt, når der anvendes demineraliseret vand ved installationen. Typisk er der anvendt ca. 250-350 ml demineraliseret vand til installationen, og hvis der udtages ca. 2 L porevand pr. prøve, svarer det til, at porevandsprøven indeholder op til ca. 18 % demineraliseret vand. Der er således fra starten tale om en relativ beskeden fortynding, som efter en forpumpning af ca. 1 L porevand bør være uden betydning. I nedenstående figur 5.11 er forholdet mellem koncentrationen i porevandet før forpumpning og efter forpumpning sammenlignet.

Som det fremgår, er koncentrationen højere i prøven udtaget efter forpumpning i 7 af 10 prøver. Det fremgår endvidere, at to af tre prøver, hvor koncentrationen før forpumpning var den højeste, var TVOC fra felttest A og PCE fra felttest B. Der foreligger ikke en entydig forklaring

på, hvorfor netop de to TVOC-koncentrationer er højest først, men det bemærkes, at der generelt var tale om relativt lave indhold af TVOC i jorden (ca. 100 mg/kg TS). Det må forventes, at usikkerheden øges desto tættere indholdene i jordprøverne, ligger på detektionsgrænsen.

For de syv prøver hvor indholdet efter forpumpning er højere, ligger forskellen mellem en faktor ca. 0,07-0,89 svarende til en procentuel koncentrationsforskel på 11-93% og med en median på ca. 19 %. Dette er bemærkelsesværdigt tæt på den beregnede fortynding på ca. 18 %, og det underbygger, at der i praksis også generelt er tale om en begrænset fortyndingseffekt.

Fremtidig udvikling af installationsmetoder vil inddrage et hensyn til at minimere brugen af kvartsmel og demineraliseret vand.

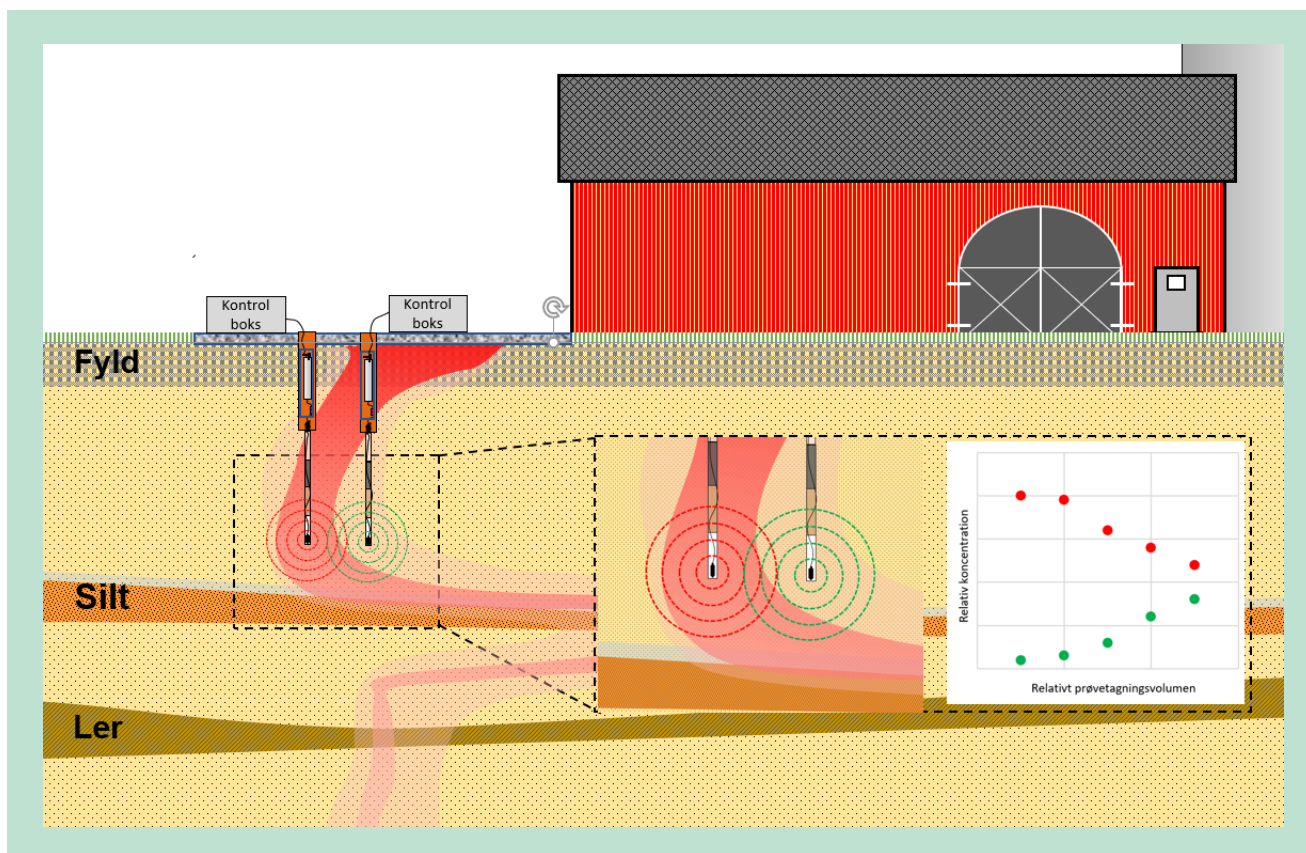


FIGUR 5.11. Forhold mellem den målte koncentration i porevandet før og efter forpumpning.

5.6.3 Variationer på influensradius over tid

Mange af de variationer i porevandskoncentrationer, der umiddelbart kunne tolkes som tidlige variationer, kan også skyldes at influensradius varierer over tid. Dette som følge af hvor stort

et volumen porevand der udtages, og som følge af variationer i nedbør, som vil påvirke indholdet af vand i umættet zone. Øget nedbør vil øge vandindholdet i umættet zone, hvorved et givent prøvetagningsvolumen repræsenterer et mindre jordvolumen. Der foreligger ikke data, der direkte kan dokumentere, hvor meget dette betyder, men konceptuelt bør det hænge sammen, som vist på nedenstående figur.



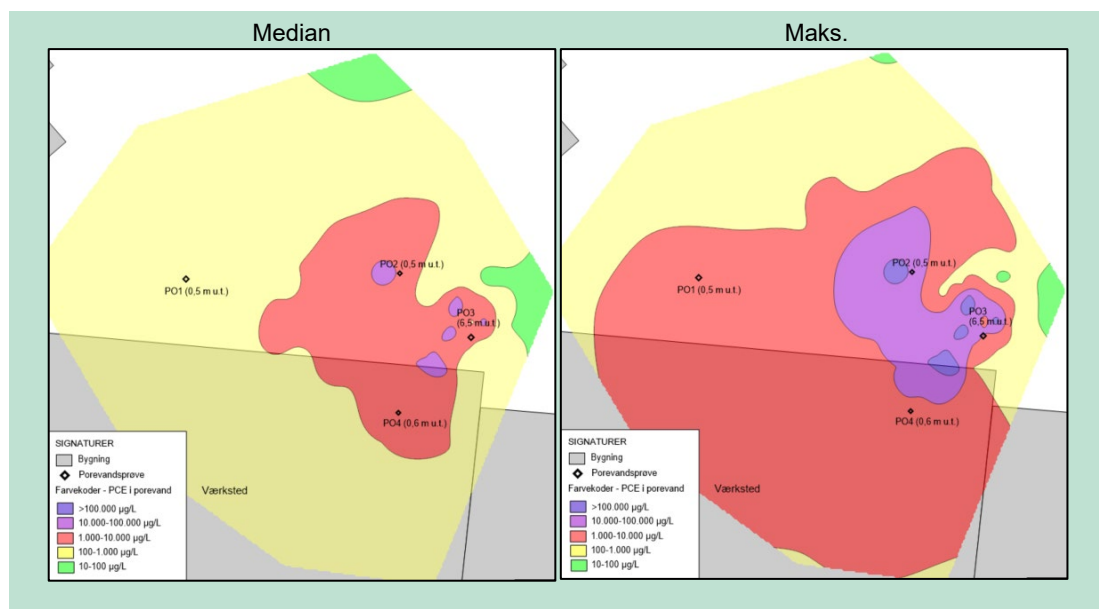
FIGUR 5.12. Konceptuel model der illustrerer koncentrationseffekter ved øget influensradius.

Som det fremgår af figur 5.12, vil en porevandsprøve der er placeret inde i en vertikal forureningsfane, på et tidspunkt begynde at suge porevand fra den del af formationen, der ligger uden for forureningen. Dette vil lede til, at koncentrationen falder "over tid". Det omvendte kan ske, hvis sugecellen er placeret uden for området med forurening, men tæt på nedsivningsområdet. I den situation kan koncentrationen stige, som følge af øget tiltrækning af porevand med relativ høj koncentration.

Ovenstående konceptuelle forståelse er sandsynligvis forklaringen på, at der eks. i PO2 i felttest B forekommer en forholdsvis høj koncentration af PCE (52.000 µg/L) ved en af prøverne, mens de resterende 5 prøver fra samme punkt ligger under 15.000 µg/L. På netop denne sag var der relativt store lokale forskelle i jordens indhold af PCE, hvilket skyldes et heterogent spredningsmønster fra overfladespild ifm. affedning af maskiner på en opsprækket betonplads. Det kunne således være forskelle i koncentrationen af PCE fra ca. 10 til 1.000 mg/kg TS indenfor en afstand på ca. 0,5 m. Dette medfører, at der kan være forskelle på hvilke koncentrationer, der er hydraulisk kontakt til ved prøvetagning af de forskellige porevandsprøver fra samme punkt. Det er dermed sandsynligt, at der ved de høje koncentrationer har været hydraulisk kontakt til porer med høje koncentrationer af PCE eller små dråber af fri fase, som er heterogent fordelt i jorden.

5.7 Bestemmelse af kildestyrke(koncentration)

Bestemmelse af kildestyrke er udført på forskellige niveauer på sagerne, der er inddraget i projektet. Den optimale (og mest krævende) forudsætter, at der ligger en grundig karakterisering af kilden med jordprøver, så porevandsprøverne kan fordeles hensigtsmæssigt i forskellige koncentrationsniveauer (felttest B). Derfra kan der beregnes en lokalitetsspecifik empirisk ligevægtsfunktion mellem jord- og porevandskoncentrationer (se figur 5.8), så der på baggrund af et konturplot over jordkoncentrationerne kan estimeres en kildestyrkekoncentration i porevandet. Fordelingen af beregnede porevandskoncentrationer i felttest B ses af nedenstående figur.



FIGUR 5.13. Horisontal fordeling af PCE i porevand estimeret henholdsvis ud fra forholdet mellem jordkoncentrationer og hhv. median og maksimale porevandskoncentrationer.

Baseret på ovenstående horisontale fordeling af PCE i porevandet, kunne der i felttest B estimeres en samlet vertikal flux, og designes en punktafgravning af hotspot, for at eliminere risikoen for en nærtliggende drikkevandsboring.

Porevandsprøverne medfører endvidere, at kildestyrkekoncentrationen kan bestemmes direkte fremfor at anvende fugacitetsberegninger i JAGG (jord til nedsivende porevand). I felttest A og B er der foretaget en sammenligning mellem beregnede porevandskoncentrationer (JAGG 2.1) og målte porevandskoncentrationer. Ved JAGG-beregningerne er der anvendt standard betingelser for indhold af organisk kulstof (f_{oc}) og jordtyper. Overordnede resultater er samlet i nedenstående tabel.

TABEL 5.1 Sammenligning af beregnede og målte porevandskoncentrationer.

PV = porevandskoncentration. TVOC = totalindhold af kulbrinter. PCE = tetrachlorethylen

	Felttest A				Felttest B			
	PV1	PV2	PV3	PV4	PO1	PO2	PO3	PO4
Forureningskomponent	TVOC	TVOC	TVOC	TVOC	PCE	PCE	PCE	PCE
Jord (mg/kg TS)	110	<32	100	<35	5,6	210	0,93	11
PV beregnet (µg/L)	980	1.400	840	1.400	7.300	206.000	1.200	14.000
PV målt (median) (µg/L)	170	<110	26	<30	300	9.100	210	1.500
PV målt (maks.) (µg/L)	390	<110	250	<30	390	52.000	360	40.000

Som det fremgår af tabel 5.1, er alle de målte porevandskoncentrationer (median) for TVOC og PCE ca. 5-47 gange lavere end de beregnede værdier. Sammenlignes de beregnede kildestyrkekoncentrationer med maksimale koncentrationer i porevandet, fremgår det, at der i 1 ud af 8 punkter er målt ca. 3 gange højere indhold, end der beregnes (PO4/PCE). De resterende maksimalt målte koncentrationer er 2,5-46 gange lavere end de beregnede. Samlet set viser resultaterne, ikke overraskende, at der er forskel på de målte og beregnede indhold af forureningskomponenter. Kun i ét tilfælde er den målte porevandskoncentration højere end den beregnede (via JAGG 2.1). Dette understreger dels, at beregnede porevandskoncentrationer i JAGG (via fugacitet) som hovedregel er konservative, og dels, at det kan betale sig at måle porevandskoncentrationen, fremfor at estimere den på baggrund af en jordkoncentration.

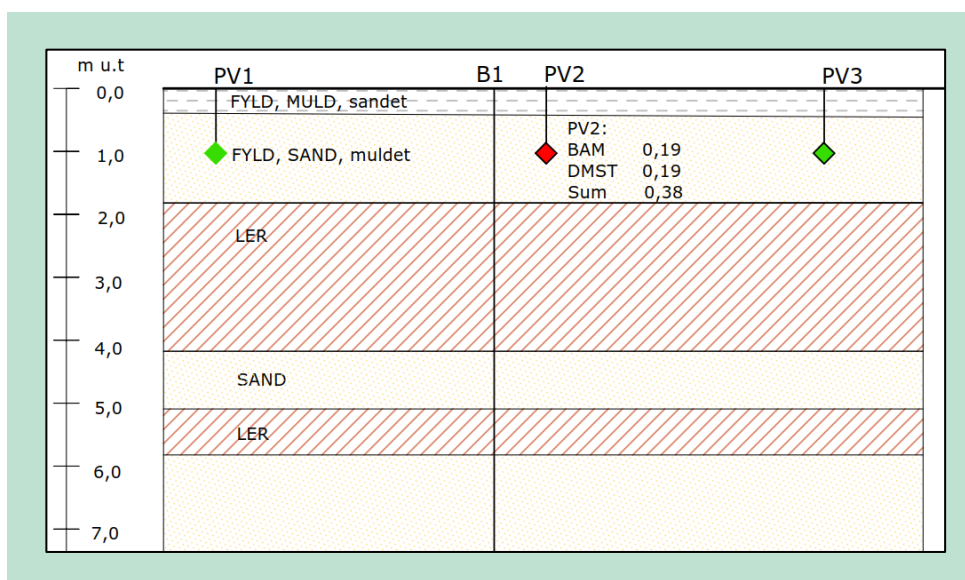
På sager med pesticidpunktkilder er analyse af porevandsprøver ofte den eneste mulighed for at måle kildestyrkekoncentrationen i umættet zone, da de fleste pesticider er relativt vandopløselige og dermed ikke er velegnede til måling i jordprøver. I felttest C er der udtaget porevandsprøver i to forskellige dybder under en kendt kilde; én til karakterisering af kildestyrkekoncentrationen og én til karakterisering af koncentrationen i det nedsivende porevand. Resultaterne er gengivet i figur 5.10, sammen med koncentrationer af relevante pesticider i grundvandsprøver fra filtersatte borer.

Som det fremgår af figuren, er der på denne lokalitet terrænnært grundvand, som består af usammenhængende lommer af vand. Forureningskilden er en sivebrønd, som har forbindelse til en tidligere vaskeplads. Der er tidligere målt indhold af pesticider (enkeltkomponenter) i det terrænnære grundvandsmagasin på 37-900 µg/L og sum af pesticider på op til ca. 1.300 µg/L (B104, 0,7-2,7 m u.t.). I porevandsprøve PV1 (3,5 m u.t.), der er placeret tættest på underkanten af sivebrønden, er der målt indhold af enkeltkomponenter på 510-61.000 µg/L og sum af pesticider på 13.000-73.000 µg/L. Traditionelt vil indholdene af pesticider i det terrænnære grundvand fra filtersatte borer blive brugt som kildestyrkekoncentration i risikovurderingen, men de konstaterede indhold i PV1 viser, at dette vil kunne medføre en betydelig underestimering af reelt forekommende kildestyrkekoncentrationer.

Det er bemærkelsesværdigt, at koncentrationen falder betydeligt fra PV1 til det nedre filter i B104, som dog underbygges af resultaterne i PV2. Her ses en reduktion på en faktor ca. 3,5 – 23 for summen af pesticider fra PV1 til PV2 (vertikal afstand ca. 1 m), og en reduktion fra PV2 til det nedre filter i B104 på 14 – 23 gange (vertikal afstand ca. 3,3 m).

5.8 Screening ift. punktkilder

Screening ift. punktkilder (svarende til en undersøgelse på V2-niveau) er primært prøvet i felttest D, hvor der var tale om en begrænset screeningsundersøgelse af potentielle kildeområder. På lokaliteten for felttest D var der udelukkende kendskab til, at der havde været drevet landbrug, men ikke hvor potentielle punktkilder som vaskeplads og opbevaring af pesticider, havde været. Der var tidligere udført en boring (B1) til 15 m u.t., uden at der blev truffet grundvand. Det blev derfor besluttet at lave en screening med tre porevandsprøver placeret i 3 tilfældige punkter på lokaliteten, for at screene for pesticider, og resultaterne er gengivet i nedenstående figur.



FIGUR 5.14. Vertikalt profilsnit med resultater fra porevandsprøver fra felttest D. Screening af landbrugsejendom med terrænnære porevandsprøver.

Som det fremgår af figur 5.14, blev der konstateret et relativt begrænset indhold af pesticider i porevandet i PV2 (1,0 m u.t.), bestående af to enkeltkomponenter (BAM og DMST) med en koncentration på 0,19 µg/L svarende til ca. 2 gange grundvandskvalitetskriteriet.

Erfaringen fra denne felttest er, at porevandsprøver kan være en mulighed på lokaliteter, hvor der er meget langt til grundvandet, og hvor filtersatte borer er omkostningstunge. Som udgangspunkt anbefales det at anvende porevandsprøver sammen med grundvandsprøver, for at opnå et mere komplet risikobillede.

Generelt vurderes det, at porevandsprøver – sammen med almindelige vandprøver fra terrænnært grundvand og dybereliggende grundvand – har potentiale ift. at undersøge/afdække potentielle punktkilder, herunder ift. direkte måling af kildestyrkekoncentrationer. Porevandsprøver kan endvidere benyttes til at afdække, om kilden er helt eller delvist udvasket, eller om der kan være en puls på vej mod det dybereliggende grundvand, som kan lede til højere koncentrationer i dette grundvandet på et senere tidspunkt.

Igangværende feltaktiviteter har fokus på det nødvendige antal screeningspunkter, samt dybdemæssig placering af sugecellerne ift. bl.a. redoxzone, med henblik på at minimere risikoen for at overse betydende punktkilder samt maksimere værdien af screeningsundersøgelsen.

5.9 Opsamling på felttest

Porevandsprøvetagning bør betragtes som et nyt redskab, der kan supplere andre metoder, i forhold til at etablere en konceptuel forståelse af grundvandsrisikoen på en given lokalitet. Porevandsprøvetagning vurderes kun sjældent at kunne stå alene, men skal ses som et metode-mæssigt supplement til prøvetagning i poreluft, jord og grundvand.

Porevandsprøver, analyseret for indhold af opløste (flygtige) forureningskomponenter, kan bidrage med tre muligheder ift. prøvetagning og opstilling/forbedring af en konceptuel forståelse af forureningsituationen på en lokalitet:

- Udtagning af vandprøver fra umættet zone, hvor traditionelle filtre ikke giver vand.
- Måling af kildestyrkekoncentrationen.
- Måling af koncentrationen i nedsivende porevand.

Med porevandsprøvetagning er det muligt at kvantificere/måle kildestyrkekoncentrationen, mens det eneste andet alternativ er at lave ligevægtsberegninger fra jord til porevand (f.eks. vha. JAGG-modellen). Specielt i felttest C, blev der med porevandsprøvetagningen etableret en ny viden om kildestyrkekoncentrationen af pesticider, som det ikke ville være muligt at opnå med andre metoder (jf. figur 5.10).

Med porevandsprøvetagning er det muligt at foretage målinger af koncentrationen af opløst forurening, der siver ned mod grundvandet. Dette giver en mulighed for at basere estimater af forureningsflux og masseflow mod grundvandet på målinger, fremfor på forholdsvist usikre/konservative modelberegninger, som er det eneste alternativ. Denne mulighed er specielt relevant på lokaliteter med en stor mægtighed af umættede jordlag over grundvandsmagasinet, og dermed en lang transporttid fra jordforureningen mod grundvandet. Dette blev tydeligt illustreret i felttest B, hvor porevandsprøverne resulterede i en realistisk og lokalitetsspecifik kildestyrkekoncentration, som kunne ligge til grund for en vertikal fluxberegning.

De primære ulemper ved metoden, i dens nuværende form, er at der er tale om en punktmåling, og at enhedsprisen for en enkelt måling er forholdsvist høj.

5.10 Fremtidige indsatsområder

De gennemførte felttests har givet et godt erfaringsgrundlag for hvordan udstyret virker, og hvor der ligger begrænsninger. Der er løbende lavet småjusteringer på anvendelse og installation/opstart af udstyret, ligesom der er opsamlet erfaringer ift. fremtidige forbedringer på udstyr og metoder.

Det mest vanskelige/kritiske ved porevandsprøvetagningen har vist sig at være installationen af sugeceller, hvor der skal være fokus på at skabe hydraulisk kontakt imellem sugecellen og de omkringliggende aflejringer. Dette kan være specielt vanskeligt i sandede aflejringer og ved dybe installationer, hvor installationen ikke umiddelbart kan vurderes visuelt. En stor fremtidig forbedring af metoden vil derfor være at optimere installationen, så den foregår mere sikkert, også ved dybe installationer.

Det vurderes, på baggrund af felttestene, at automatiseringen fungerer effektivt, og at der relativt hurtigt og sikkert indstilles et passende vakuum, der kan trække porevand ud af jorden uden at det går for stærkt, så der ikke kommer gennembrud på sorbicellen. Dette var det primære formål med automatiseringen. Det vurderes endvidere, at batteridriften fungerer godt, og at et bilbatteri (ca. 50 Ah) har tilstrækkelig kapacitet til at udtage porevandsprøverne, selv for aflejringer, der kun afgiver vandet langsomt.

Fjernovervågningen af udstyret var ligeledes en stor hjælp, dels til at se at udstyret fungerede efter hensigten, men også til at holde øje med hvornår det ønskede prøvevolumen var udtaget. Dette bevirker, at der ikke unødigt skal køres til lokaliteten for at tjekke om prøvetagningen kører, og om prøven er taget. Der blev heller ikke observeret problemer med upload af data, selv når installationsbrønden var nedgravet. Fremadrettet vil programkoden blive tilrettet, så det er muligt også at se, hvor ofte/længe pumpen kører, da det vil give en bedre forståelse for om der er utætheder på systemet. En fremtidig forbedringsmulighed er endvidere en måling/visning af batteristanden.

Indstilling af driftsparametrene, løftehøjde og startvakuum, kan med fordel ændres, så det kan fjernstyres via internetopkoblingen. Som prototypen er sat op, skal dette indstilles ved at omprogrammere selve styrekortet, hvilket ikke er praktisk i felten. Dette vil også spare tid i felten, hvis det kan gøres via smartphone og internetopkobling.

Sikkerhedsventilen og vandstandssensoren der skulle sikre, at der ikke blev trukket vand op i pumpen, fungerede ligeledes efter hensigten, men der blev observeret problemer med at

nogle stik korroderede over tid, så anordningen ikke virkede. Det anbefales derfor, at der i nye versioner laves en optimering af dette, med vandtætte stik, og bedre kabelkvalitet.

Princippet med at anvende en vægt til at afmåle det opsamlede volumen og beregne et flow fungerer effektivt, både fordi der dermed ikke skulle sættes sensorer ind i vakuumkamret eller in-line på slanger, som potentielt kunne forårsage utætheder, men også fordi det er et relativt simpelt måleprincip, hvorved færre ting kan gå galt. Der blev dog, over tid, konstateret et mindre skred på de anvendte vægte, som medførte at måleområdet blev reduceret. Dette blev løst ved anvendelse af en ny vægtsensor, med tilhørende kalibrering, til hver ny installation. Fremadrettet bør der anvendes en vejeenhed med et bredere måleområde (en større enhed). Dette kan evt. kombineres med en analog-til-digital-konverter med en større dataopløsning, så der samtidig opnås en større opløsning i vægtmålingerne.

Det vurderes endvidere, at system-designet kan optimeres, frem mod et salgbart produkt, af både praktiske og æstetiske hensyn.

Det vurderes på baggrund af de gentagne prøvetagninger fra enkelte punkter, at det kan være en fordel at udtage flere prøver fra samme punkt, men i sidste ende afhænger det af formålet med den pågældende undersøgelse. Er der tale om en screening, anbefales det at udtage et relativt stort porevandsvolumen på eks. 3-4 L, med henblik på at midle over et større jordvolumen. Dermed behøver man ikke udtage mange prøver, men man får stadig et niveau for koncentrationen i det pågældende punkt. Er der tale om afgrænsning og risikovurdering af en kendt kilde, kan der evt. udtage et mindre volumen, eks. 1-2 L. Dermed er der for de fleste forureningskomponenter stadig en passende detektionsgrænse ift. grænseværdier, men prøven repræsenterer et mindre volumen og man opnår dermed en mere præcis afgrænsning og karakterisering. Dette kræver dog – alt andet lige – et større antal punkter til karakterisering af rumlige variationer.

Det anbefales endvidere, at placering af porevandsprøver, om muligt, baseres på resultater fra andre analyser af jord og grundvand. Dermed sikres det, at man får mest muligt ud af prøverne, og resultaterne repræsenterer dermed de ønskede koncentrationsniveauer.

En del af ovenstående forbedringsforslag er i skrivende stund implementeret.

6. Materialeundersøgelser - slanger og sugeceller

I forlængelse af de udførte felttest af udstyrspakken, blev projektet udvidet med to materialerelaterede undersøgelser ift. prøvetagning af flygtige forureningskomponenter (chlorerede opløsningsmidler og gasolie); hhv. undersøgelse af koncentrationsændringer (pga. adsorption/afsmithning/diffusionstab) i slanger og sugeceller.

6.1 Sugeceller

Oplysninger om hvilke sugeceller, der er velegnede til organiske forureningskomponenter, herunder oliekomponenter, chlorerede opløsningsmidler og pesticider er meget begrænsede, selvom der findes forskellige typer af sugeceller lavet af eks. PTFE (teflon), glas, keramik, nylon og rustfrit stål. Tilgængelig viden om anvendelse af de forskellige typer af sorbiceller til porevandsekstraktion er behandlet i /2, 3 og 6/. På baggrund den tilgængelige viden vurderes det umiddelbart, at sugeceller af rustfrit stål er bedst egnede til organiske forureningskomponenter. I det danske varslingsystem for udvaskning af pesticider til grundvand er der brugt PTFE sugeceller til sampling af pesticidforurenede porevand /7/. Det bemærkes, at de fleste pesticider er særdeles vandopløselige, hvilket minimerer risikoen for adsorption i PTFE sugecellerne.

Adsorptionseffekter i sugeceller lavet af teflon og rustfrit stål er endvidere undersøgt i miljøprojekt nr. 1224 fra 2008 /4/. Her blev det vurderet, at effekter fra adsorption i sugeceller af rustfrit stål var minimal, idet der ved laboratorieforsøg blev konstateret en genfindelse på 80-90 % af den reelle koncentration af TCE, benzin og phenantren. Til sammenligning var genfindelsen af TCE og benzen på teflonsugeceller 43-44 % mens phenantren ikke kunne genfindes i det ekstraherede porevand fra teflonsugeceller. Stålsugecellerne anvendt i forbindelse med /4/ var fra Soil Measurement Systems (SMS). Disse sugeceller er således anvendt i forbindelse med felttestene i kapitel 5.

Da stålsugecellerne fra SMS er relativt dyre (ca. 2.500 kr. pr. stk.), og besværlige at bestille hjem fra USA, og da der i projektperioden er kommet en billigere danskproduceret stålsugecelle på markedet til ca. 1.000 kr. pr. stk. (fra Prenart), blev der igangsat to laboratorieforsøg for at undersøge adsorption af hhv. fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler i stålsugeceller fra SMS, stålsugeceller fra Prenart og PTFE sugeceller. PTFE sugecellerne blev medtaget, da de er endnu billigere (ca. 600 kr. pr. stk.) og ligeledes kan købes i Danmark (hos Prenart).

6.1.1 Fysiske egenskaber af sugeceller

Ud over sugecellernes størrelse er følgende basale fysiske parametre vurderet:

- Porestørrelse.
- Bubbling Pressure.
- Filtermodstand.

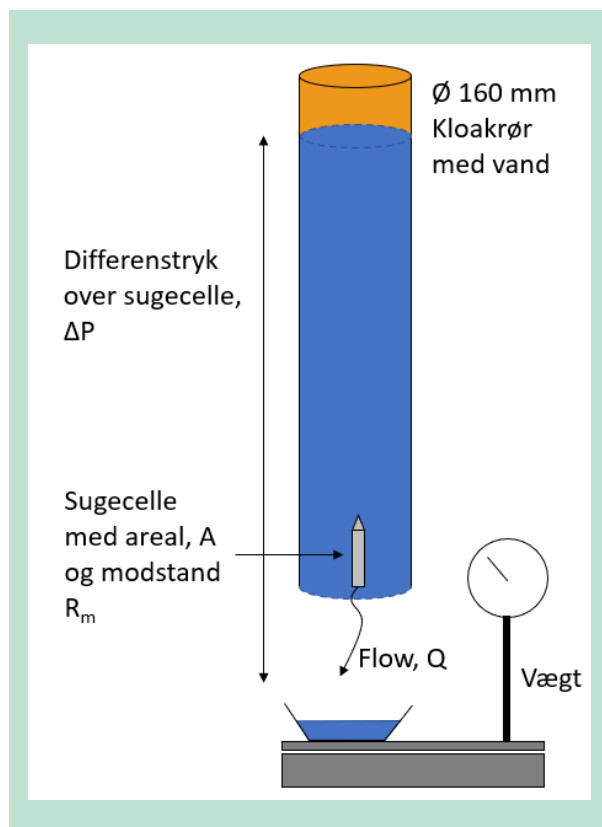
Porestørrelsen beskriver middeldiameteren af de enkelte porer i sugecellen, og er – sammen med arealet af porer – en af de primære styrende parametre for bubbling pressure, effektivitet og filtermodstand, da porediameteren er direkte relateret til det kapillære sug i porerne.

Bubbling pressure er en parameter, der beskriver det maksimale sug, der kan påføres sugecellen uden at porerne suges tørre og sugecellen mister den hydrauliske kontakt med formationen omkring sugecellen (der trækkes luft ind).

Filtermodstanden er en parameter, som definerer sugecellens modstand, og som har betydning for effektiviteten, hvormed man kan overføre vakuum fra vakuumpumpen/sugecellens indre til formationen.

I praksis er det ønskeligt med en sugecelle, som har et højt bubbling pressure og en lav filtermodstand, samtidig med at den er billig, let at få leveret, og er kemisk inert.

Filtermodstanden oplyses ikke af leverandørerne, så der blev udført en simpel test af filtermodstanden i de tre sugeceller, hhv. stål fra SMS, stål fra Prenart og PTFE (teflon) fra Prenart, for at vurdere sugecellernes modstand ved filtrering af rent vand. Opstillingen ses af nedenstående figur.



FIGUR 6.1. Måling af filtermodstand på de tre typer af sugeceller.

Ud fra forsøget kan filtermodstanden beregnes ved følgende ligning /8/:

$$R_m = \frac{\Delta P \cdot A}{\mu \cdot Q}$$

Hvor:

R_m er filtermodstanden (m^{-1}).

ΔP er differenstrykket over sugecellen (Pa).

A er sugecellens overfladeareal (m^2).

μ er vands viskositet ved 20°C (0,001002 Pa·s).

Q er flow (m^3/s).

Da det opsamlede vand er relativt begrænset i forhold til vandmængden i kloakrøret (<8 % over 1 time) kan det antages at differenstrykket er konstant over forsøget. Der blev endvidere lavet en test af, hvor hurtigt vandet løb ud af slangen, uden sugecelle monteret, som viste, at

modstanden i slangen er relativ lav i forhold til modstanden i sugecellen (<0,004 %). De beregnede filtermodstande fremgår af bilag 14, sammen med rådata fra forsøget. Filtermodstande er gengivet i nedenstående tabel sammen med sugecellernes fysiske dimensioner.

TABEL 6.1. Data for de testede sugeceller.

	SMS Stål	Prenart-stål	Prenart-PTFE (teflon)
Pris, omtrent (kr.)	2.500	1.000	600
Diameter (mm)	26	19,5	21
Længde (mm)	120	110	95
Porestørrelse (µm)	1	0,05	2
Filterareal (cm ²)	75	43	32
Bubbling pressure (mbar)	600	>1000	>600
Filtermodstand (m ⁻¹)	3,3·10 ¹¹	1,0·10 ¹²	1,4·10 ¹³

Som det fremgår af tabel 6.1, vil der generelt være den laveste filtermodstand i stålsugecellen fra SMS, mens modstanden i stålsugecellen fra Prenart er 3 gange højere og modstanden i PTFE sugecellen er ca. 42 gange højere. Dette skyldes sandsynligvis, at PTFE sugecellen på trods af en større porestørrelse, har færre porer pr. areal på stålsugecellerne.

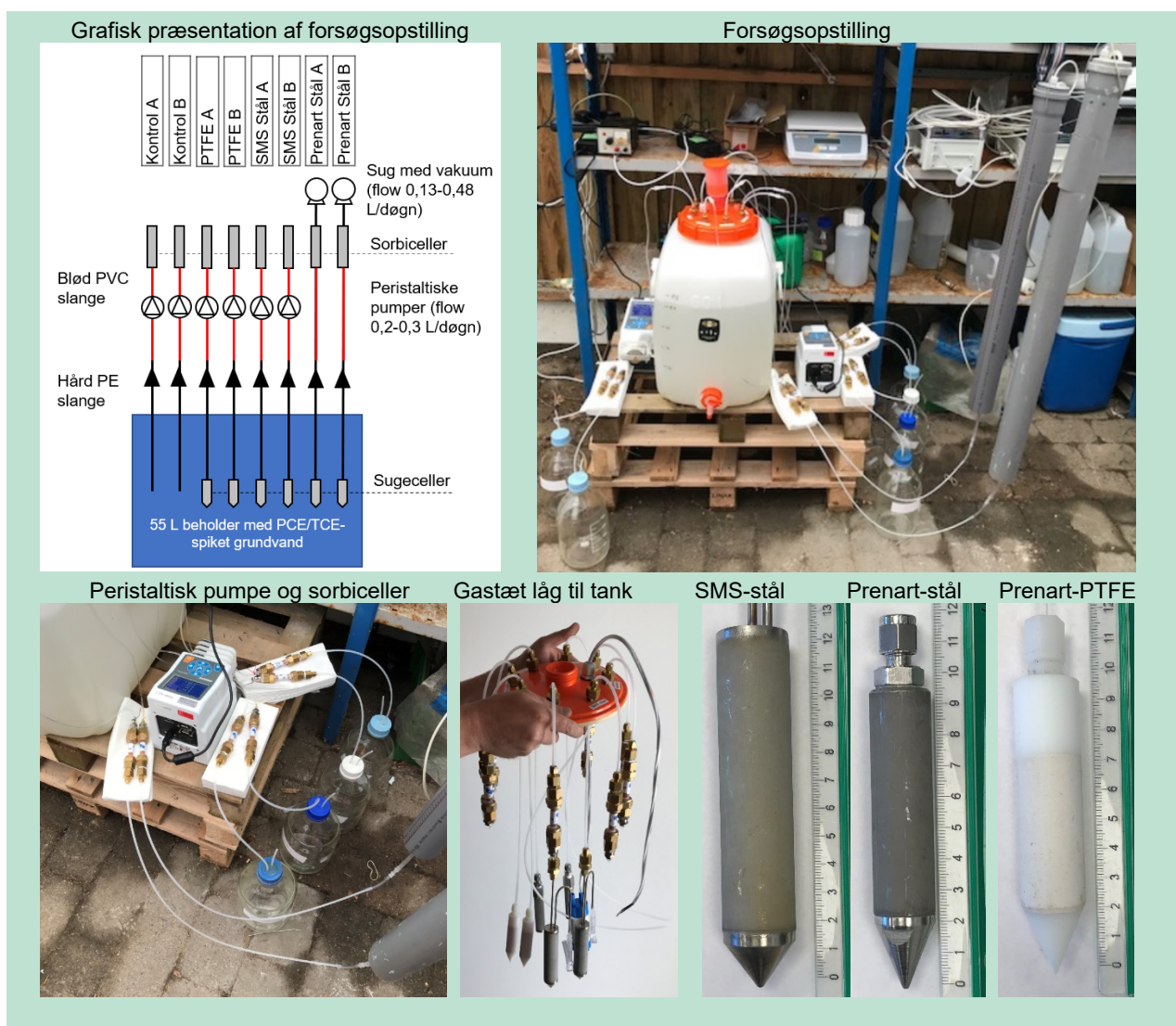
Det fremgår endvidere, at stålsugecellen fra Prenart har mindre porediameter end de to andre sugeceller, og dermed opnår et højere bubbling pressure. Dette kan være en stor fordel i lav-permeable formationer som ler, da der dermed kan suges med et højere absolut vakuum uden at bryde den hydrauliske kontakt imellem sugecellen og formationen (dvs. trække luft i stedet for porevandvand).

Sugecellerne fra SMS (stål) har endvidere en praktisk ulempe sammenlignet med PTFE- (teflon) og stålsugecellen fra Prenart, idet sugecellen fra SMS er designet med to udgange (se figur 6.2), hvor den ene skal proppes af inden forsøget. Dette har vist sig at være problematisk og øger risikoen for, at der opstår utætheder.

Baseret på de fysiske karakteristika og pris, vurderes stålsugecellen fra Prenart samlet set at være den mest favorable.

6.1.2 Massebevarelse i sugeceller

Til undersøgelse af eventuel adsorption i sugecellerne blev der udført en række batchforsøg, hvor en beholder med 55 L grundvand blev tilsat henholdsvis chlorerede opløsningsmidler og fyringsolie i to forsøgsrækker. Fotos fra forsøgene er vist i nedenstående figur, sammen med en skematisk præsentation af forsøgsopstillingen.



FIGUR 6.2. Forsøg med test af adsorption i sugeceller.

Forsøgene blev udført med duplikater på alle sugeceller og kontroller svarende i alt 8 linjer/enkeltforsøg, der løbende sugede vand fra tanken. Flowet blev kontrolleret med en peristaltisk pumpe på kontrollerne og på linjerne med SMS stålsugeceller og PTFE sugeceller. I det første forsøg (chlorerede opløsningsmidler), var det ikke muligt at få linjerne med stålsugeceller fra Prenart tilstrækkeligt tætte til at flowet kunne vedligeholdes med den peristaltiske pumpe. Disse linjer blev derfor monteret med porevandsprøvetagere, så der kunne etableres og vedligeholdes et stabilt vakuum/flow. Ved det andet forsøg (fyringsolie) blev tætningen optimeret, så alle linjer blev styret med peristaltiske pumper.

De enkelte linjer/slanger var ført ned i tanken via en specialfremstillet gastæt gennemføring i låget. Trykdulning blev sikret med en vandlås installeret i låget. Omrøring i tanken blev sikret med dykpumpe. I bunden af tanken var der installeret en hane til løbende vandprøvetagning fra tanken, så koncentrationsudviklingen i testopløsningen kunne følges via indsendelse af almindelige vandprøver til kemisk analyse.

Som det fremgår af figur 6.2, var der to forskellige slangetyper mellem sugecellen og sorbicellen, hhv. en PE-slange der leder ned i tanken til sugecellen og en blød PVC-slange til den peristaltiske pumpe. Begge slangetyper på alle linjer var ens længder (60 cm PE-slange og 60 cm PVC-slange) så eventuelle effekter fra slangerne vil være ens. Anvendelse af den bløde

PVC-slange skulle vise sig at være problematisk, hvorfor placeringen af denne er ændret i følgende forsøg (jf. afsnit 6.2).

Forsøgene kørte over ca. 7 døgn, svarende til et normalt flow på 0,1-0,3 L/døgn ved en porevandsprøvetagning, bortset fra den ene linje med Prenart-stål hvor flowet blev relativt højt, så forsøget var færdig efter ca. 4 døgn. I løbet af de 7 døgn blev vandet fra hver linje opsamlet i bluecapflasker og afvejet dagligt, og der blev udtaget vandprøver fra tanken hver dag, idet et forforsøg havde vist, at koncentrationen i tanken falder over tid i et ikke-lineært forløb. Kombinationen af daglige vandprøver fra tanken og daglig afvejning af vand, der er kørt igennem hver linje, giver mulighed for at beregne en tidsmidlet koncentration for hver linje, som burde svare til den koncentration, der måles på hver sorbicelle. Ved denne korrektion tages der højde for det ikke-lineære forløb af koncentrationen i tankens vandfase.

Af bilag 6.1-6.5 fremgår databehandling og rådata fra forsøg med henholdsvis chlorerede opløsningsmidler og fyringsolie. Sammenfatning af resultaterne er vist i nedenstående tabel. Det bemærkes, at der var en vis usikkerhed på resultaterne hvilket medfører, at der forekommer genfindelse på mere end 100 % i forhold til kontrollerne. Reelt betyder en genfindelse på mere end 100 % i dette forsøg dermed at usikkerhederne medfører, at indholdet på sugecellen overestimeres i forhold til sugecellen.

Pga. opstillingens konstruktion, med mulighed for tab via både sugeceller og slanger før måling på sorbiceller, vurderes forskelle i sugecellernes adsorptionsegenskaber udelukkende ved at sammenligne med kontrollerne, som har samme længder/typer af slanger tilknyttet.

TABEL 6.2. Genfindelse af benzen, BTEX'er, TCE og PCE på forskellige sugeceller.

Slange	Fyringsolie			Chlorerede	
	TVOC	Benzen	BTEX'er	TCE	PCE
SMS stål	?	+++	+++	+++	+++
Prenart Stål	?	++	++	+++	++
PTFE	?	+++	+++	+++	+

<25 og >175 %: Utilfredsstillende (-)
 25-50 og 150-175 %: Mindre tilfredsstillende (+)
 50-75 og 125-150 %: Tilfredsstillende (++)
 75-125 %: Meget tilfredsstillende (+++)
 ?: Kan ikke vurderes pba. forsøget

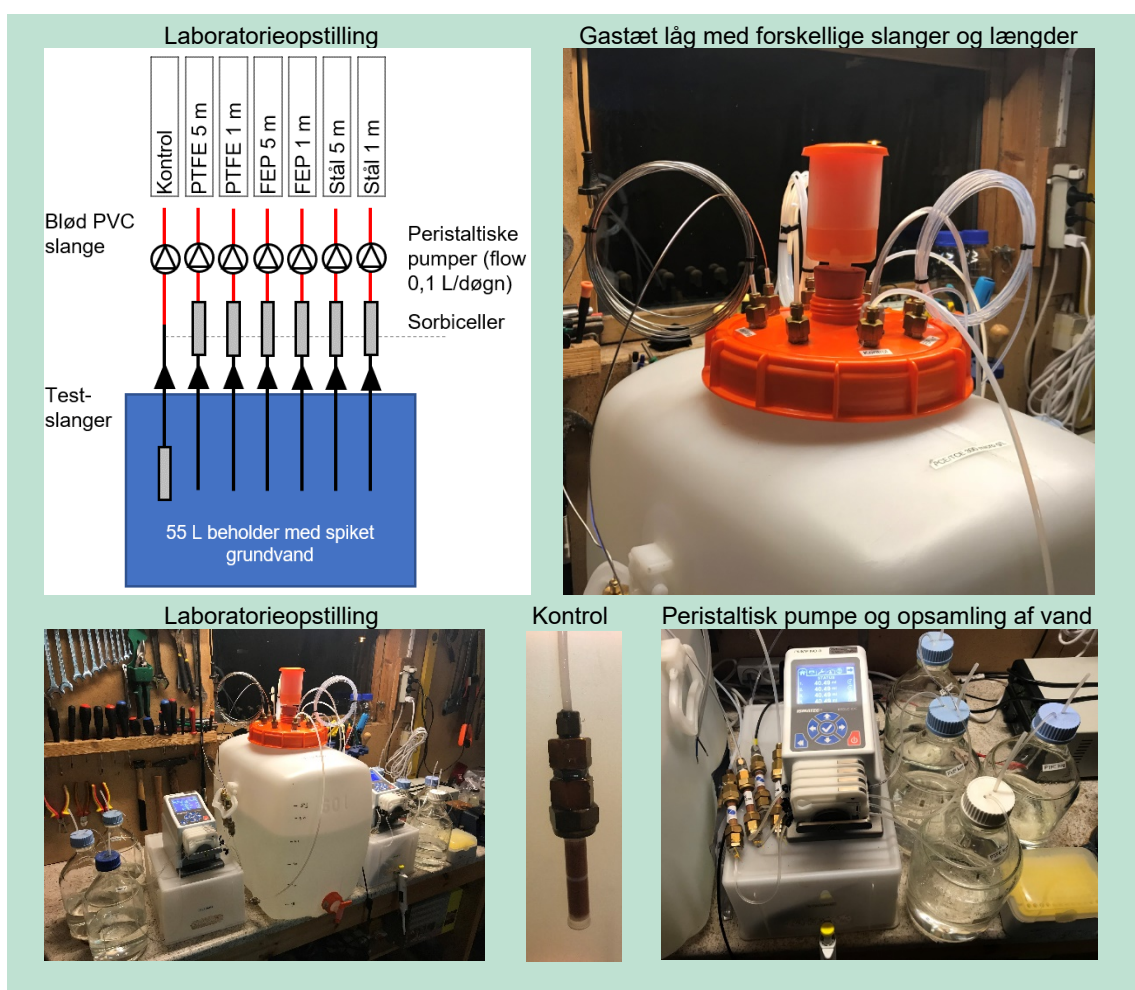
Som det fremgår af tabel 6.2, fungerer alle sugeceller overordnet tilfredsstillende eller meget tilfredsstillende til undersøgelse af benzen, BTEX'er og TCE, mens PTFE er fundet mindre egnet til PCE. Reelt er der tale om små nuanceforskelle mellem adsorptionsegenskaberne for SMS og Prenart Stål. Der er dog betydelige praktiske fordele ved Prenart stål, idet denne sugecelle kun har et sugerør, så man undgår at skulle afproppe det andet rør, der er på SMS sugecellen. Dette har erfaringsmæssigt givet problemer. Desuden kan denne sugecelle bestilles i Danmark, så man undgår lange leveringstider og told, som er fundet at være tilfældet med sugecellen fra SMS. Sugecellen fra Prenart (ca. 1.200 kr) er desuden betydelig billigere end sugecellen fra SMS (ca. 2.500 kr. afhængig af told og kurser).

Da pesticider omfatter en relativ bred stofgruppe (>1.000 enkeltkomponenter) med forskellige adsorptionsegenskaber, ligger laboratorieundersøgelser af den optimale sorbicelle til hver enkeltkomponent ud over, hvad der er muligt i nærværende projekt. Ud fra ovenstående resultater anbefales det dog at anvende stålsugeceller, der generelt har udvist de bedste egenskaber til porevandsprøvetagning af organiske forureningskomponenter.

6.2 Slangor til porevandsprøvetagning

Materialevalget for slanger til porevandsprøvetagning har kun betydning i stykket mellem sugecellen og sorbicellen (se figur 2.1), da forureningskomponenterne bliver opsamlet i sorbicellen. På denne strækning er det essentielt, at der ikke sker et tab af forureningskomponenter fra vandprøven, eller en afsmitning fra de anvendte materialer til vandprøven. Der anvendes også slange andre steder i udstyrspakken, men hvor slangen ikke kommer i kontakt med prøven; hhv. fra sorbicellen til vakuumkammeret, og fra vakuumkammeret til kontrolboksen. Begge disse længder består af en blød PVC-slange, som har vist sig at være nem at arbejde med og god til at holde tæt ved fittings.

Som det fremgår af bilag 5, er der udført test af adsorption på slanger bestående af PE, FEP, PTFE og rustfrit stålkapillarer. FEP, PTFE og rustfrit stål blev testet for adsorption af benzin, fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler (TCE og PCE), mens PE-slangen kun blev testet med adsorption af chlorerede opløsningsmidler (TCE og PCE). Alle slangetests blev udført med samme forsøgsopstilling. Fotos og en illustration af forsøgsopstillingen ses af nedenstående figur.



FIGUR 6.3. Forsøgsopstilling til test af adsorption i PTFE- og FEP-slangor samt stålkapillarer.

Som det fremgår af figur 6.3, bestod forsøgsopstillingen af en plastbeholder (55 L) indeholdende vand, som blev tilsat henholdsvis benzin, fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler.

Flowet blev kontrolleret med en peristaltisk pumpe og de enkelte linjer/slangor var ført ned i tanken via en specialfremstillet gastæt gennemføring i låget. Trykudveksling blev sikret med en vandlås installeret i låget. Omrøring i tanken blev sikret med dykpumpe. I bunden af tanken

var der installeret en hane til løbende vandprøvetagning fra tanken, så koncentrationsudviklingen i testopløsningen kunne følges via daglig indsendelse af almindelige vandprøver til kemisk analyse.

Forsøget blev kørt ved et flow på 0,1 L/døgn. Til sammenligning blev langt størstedelen af prøverne ved felttestene opsamlet over 7 døgn, svarende til ca. 0,3 L/døgn. Flowet ved slangetesten betragtes derfor som konservativt ift. at "give tid" til massetab i slangerne idet opholdstiden dermed er ca. 3 gange højere i forsøgene end ved en typisk prøvetagning. Det bemærkes endvidere, at der for hver slangetype blev testet med to slangelængder, hhv. 1 og 5 m. Bortset fra et punkt (PV3) i felttest B blev prøverne fra alle felttest maksimalt udtaget mindre end 5 m u.t., så de valgte slangelængder til testene er dermed repræsentative til brug ved forureningsundersøgelser.

I bilag 5 er der lavet en detaljeret gennemgang af analyseresultaterne fra de udførte test. Som det fremgår af bilag 5, var det vanskeligt at konkludere på forskelle i masse-genfindelse mellem slangelængder for de enkelte slanger. Der er i stedet draget konklusioner for gennemsnittet af forsøgene for de enkelte slangetyper (uanset længderne). Den detaljerede databehandling ses af bilag 5, og en opsamling ses af nedenstående tabel. Det bemærkes, at der var en vis usikkerhed på resultaterne hvilket medfører, at der forekommer genfindelse på mere end 100 % i forhold til kontrollerne. Reelt betyder en genfindelse på mere end 100 % i dette forsøg dermed at usikkerhederne medfører, at indholdet på slangerne overestimeres i forhold til sugecellen.

TABEL 6.3. Genfindelse af TVOC, benzen og BTEX'er fra test af forskellige slangetyper.

Slange	Benzin			Fyringsolie			Chlorerede	
	TVOC	Benzen	BTEX'er	TVOC	Benzen	BTEX'er	TCE	PCE
PTFE	+++	+++	+++	?	+++	+	+++	++
FEP	++	+++	++	?	+++	+	+++	+++
Stål	?	?	?	?	++	++	+++	+++

<25 og >175 %: Utilfredsstillende (-)

25-50 og 150-175 %: Mindre tilfredsstillende (+)

50-75 og 125-150 %: Tilfredsstillende (++)

75-125 %: Meget tilfredsstillende (+++)

?: Kan ikke vurderes pba. forsøget

På baggrund af resultaterne fra de gennemførte forsøg, vurderes det samlet set, at slangetyper af PTFE og FEP giver sammenlignelige resultater af acceptabel kvalitet på tværs af de undersøgte forureningstyper. Der hvor disse slangetyper har givet tvivlsomme resultater i forsøgene (fyringsolie-TVOC og BTEX), vurderes forsøgstekniske forhold at spille ind på den lave genfindelse. Dette understøttes af feltresultater fra fyringsolieforurenede lokaliteter (bl.a. felttest A, bilag 8), hvor der er konstateret porevandskoncentrationer for TVOC på 26-390 µg/L og BTEX på under detektionsgrænsen til 17 µg/L i to punkter med konstaterede kulbrinteindhold i jorden på 61 - 110 mg/kg TS (med PE-slange som var standard på daværende tidspunkt = før resultaterne i figur 5.2). Da jordkoncentrationerne var relativt lave, ville der ud fra adsorptionsforsøgene være forventet særdeles lave indhold i porevandsprøverne ssv. under detektionsgrænsen. Man da konstateres indhold på 23-390 µg/L indikerer det, at forsøgsresultaterne med adsorption af fyringsolie-TVOC og BTEX er misvisende.

Med hensyn til en række praktiske forhold er FEP at foretrække fremfor PTFE: (i) FEP er billigere, (ii) FEP er lettere at håndtere/forme til spiraler (jf. afsnit 3.2) og (iii) FEP er gennemsigtig, hvilket muliggør en visuel bekræftelse på, at der er vand i slangen; PTFE er mælkehvidt.

6.3 Slanger til almindelig grundvandsprøvetagning

Da forsøgene viste, at der kan være problemer med massetab fra PE-slanger, som også bruges til almindelig grundvandsprøvetagning, blev der udført supplerende forsøg for at undersøge, om der er risiko for adsorption af fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler ved brug af slanger, som til grundvandsprøvetagning. Af nedenstående figur ses skitse og billede af forsøgsopstillingen.



FIGUR 6.4. Forsøgsopstilling til test af massebevarelse i PE-slanger til grundvandsprøvetagning.

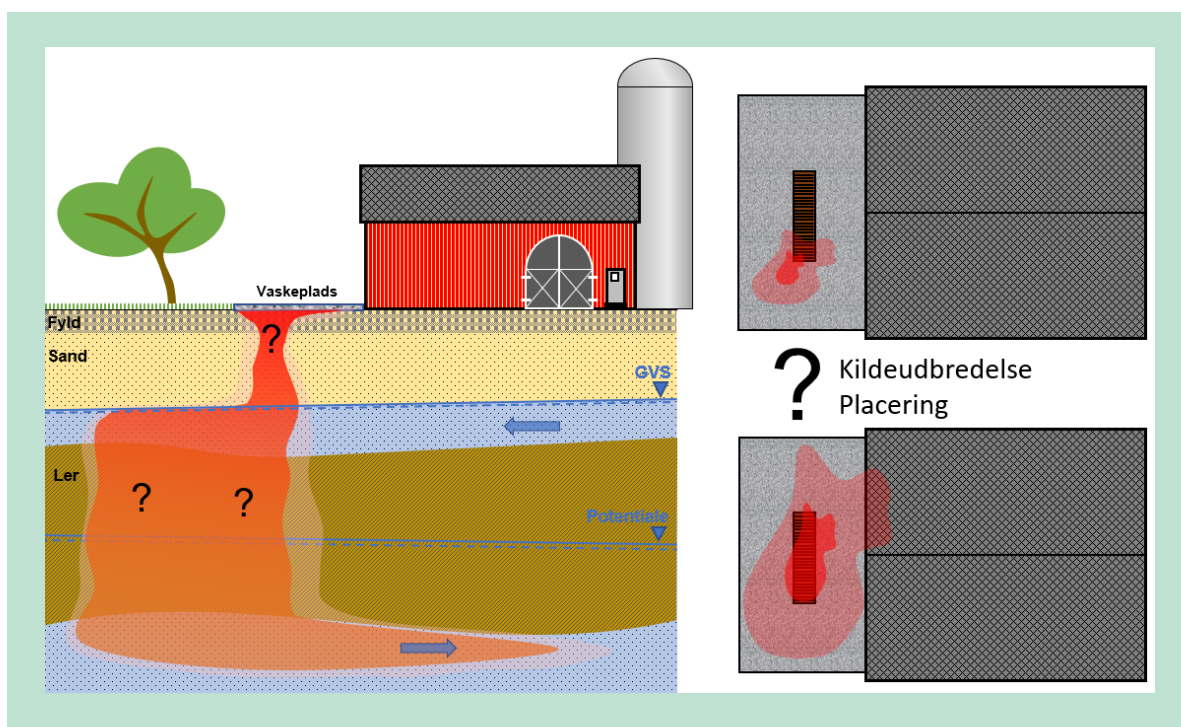
Som det fremgår af figur 6.4, blev forsøgene udført i en opstilling lignende de andre slangeforsøg, der ses i figur 6.1, men tilpasset, så opholdstid i slangerne, ligner det, der bruges til almindelig grundvandsprøvetagning. Dette blev sikret ved at neddykke engangs grundvands-pumper i tanken på hver slange og forpumpe slangerne med 10 L, inden der blev udtaget en prøve til analyse for massebevarelse.

Resultater og databehandling fremgår af bilag 7. Da genfindingen for både TVOC (fra fyringsolie), benzen, BTEX'er, TCE og PCE ligger over ca. 90 %, vurderes det ikke, at der er risiko for adsorption af fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler ved almindelig grundvandsprøvetagning med PE-slange.

7. Konklusion

7.1 Porevandsprøver - anvendelse og begrænsninger

Anvendelsen af porevandsprøver sker overordnet for at undersøge koncentrationen af forureningskomponenter (eks. oliekomponenter, chlorerede opløsningsmidler og pesticider) i det vand, der transporteres mod grundvandet via umættet zone. De konstaterede indhold kan dermed ikke holdes direkte op mod eks. et grundvandskvalitetskriterie, men det kan bruges til at forbedre den konceptuelle forståelse for massen af stoffer i umættet zone, samt transporten mod grundvandet, hvilket er meget anvendeligt i risikovurdering af grundvandsressourcen og overfor drikkevandsboringer. Dette har tidligere kun været muligt ved relativt konservative ligevægtsberegninger fra jord til porevand i eks. Miljøstyrelsens JAGG-model, og for meget vandopløselige stoffer, f.eks. mange pesticider, har dette hidtil ikke været muligt. I nedenstående figur er der visualiseret et eksempel på, hvor porevandsprøver kan udvide den konceptuelle forståelse omkring kildeplacering og -udbredelse samt vertikal transport mod grundvandet.



FIGUR 7.1. Vertikalt snit med spredning af forureningskomponenter. Spørgsmålstegn viser dele af den vertikale spredning, som porevandsprøvetagning kan afdække

Som det fremgår af figur 7.1, er porevandsprøver velegnede til undersøgelse af kildens størrelse og kildestyrkekoncentrationen i umættet zone, samt koncentrationerne i det nedsivende vand. Generelt er det erfaringen, at hvis der kun er kort afstand fra kilden til grundvandet, så vil, almindelige grundvandsboringer i de fleste tilfælde være både billigere og bedre til at afdække forureningssituationen, men hvis der er en større umættet zone, eller behov for at afdække koncentrationer i et dybereliggende lerlag, så kan porevandsprøver være relevante. Anvendelsen af redskabet er i sin begyndelse, og der forventes fremover løbende at ville blive afdækket nye anvendelsesmuligheder ift. en bedre konceptuel forståelse på forskellige sager.

Fremadrettet vurderes det endvidere, at porevandsprøver vil kunne give nye muligheder for design af afværge af meget vandopløselige stoffer såsom mange pesticider. Indtil nu har afgravning eks. været vanskeligt med disse stoffer, da det har været vanskeligt at dokumentere,

hvor meget der skulle afgraves, men porevandsprøver kan fremadrettet afprøves til at vurdere, om en kilde er afgravet.

Generelt er det konstateret, at stedlige variationer for porevandsprøver er på niveau med, hvad der kendes fra jordprøver. Det er endvidere fundet, at den tidslige reproducérbarhed i porevandskoncentrationer (ca. faktor 1,5-7) er på niveau med hvad der kan findes i almindelige grundvandsprøver (1,2-7,8).

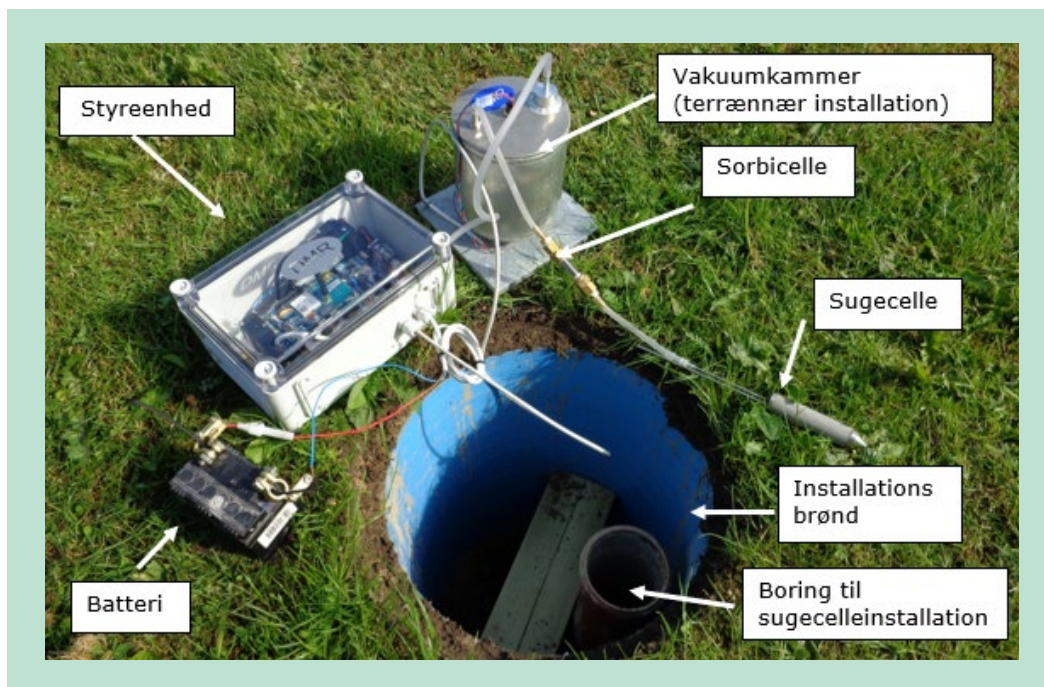
7.2 Udstyrspakke til porevandsprøvetagning

Der er udviklet en ny udstyrspakke til automatiseret porevandsprøvetagning. Udstyrspakken kan anvendes som den er (se felttest i bilag 8-11) Dog er der også identificeret dele af udstyrspakkes, som fortsat kan optimeres.

Udstyrspakken omfatter:

- Automatiseret vakuum- og flowstyring.
- Online overvågning af prøvetagning.
- Nyt vakuumkammer, som er tilstrækkelig til at sikre effektiv forpumpning af op til 2 L porevand. Det nødvendige forpumpningsvolumen er typisk 300-900 ml.
- Ventil sikring af elektrisk udstyr som sikrer, at der ikke suges porevand op i styreboksen.
- Spiralslange der minimerer risiko for sammenfiltring.
- Dokumentation for at FEP-slange generelt er det bedste valg til minimering af adsorption.
- Dokumentation for at stålsugeceller generelt er det mest hensigtsmæssige valg til undersøgelse af organiske forureningskomponenter.

Materialevalg fremgår af bilag 1-2 og en udskrift af programmet til styring af kontrolboksen ses af bilag 4. Udstyrspakken ses af nedenstående figur



FIGUR 7.2. Udstyrspakke til porevandsprøvetagning.

Erfaringerne med udstyret fra felttestene er overordnet, at udstyret fungerer efter hensigten, og imødekommer de behov, der er beskrevet i kapitel 1. Der er dog også identificeret dele som med fordel kan optimeres:

- Valg af bedre vægt der ikke mister følsomhed over tid.
- Indbygning af fugtfælde ved vakuumsensor.
- Optimering af styreprint, så der ikke anvendes mange sammenbyggede print.
- Forbedring af vakuumkammer mod at anvende glas så porevandsprøver for ikke-flygtige/vandopløselige stoffer kan opsamles direkte uden sorbiceller. Og dermed også analyseres for de samme parametre som grundvandsprøverne.
- Optimering af indretningen af styreboksen så den fylder mindre og generelt har et mere praktisk design ift. installation.
- Udbygning af fjernovervågning med eks. pumpetid.
- Optimering af metode til dybe installationer af sugeceller.
- Optimering af programmeringsmuligheder af styreboksen så det er nemmere at indstille startvakuum og løftehøjde, og så det kan fjernstyres via internetopkoblingen eller en smartphone.

7.3 Installation af sugeceller og prøvetagning

Der er udviklet en metode for terrænnær og dyb installation af sugeceller som er beskrevet detaljeret i kapitel 3. I kapitel 4 er det udviklede ark til dokumentation for porevandsprøvetagning vist. Det vurderes principielt ikke, at der med den udviklede metode er begrænsninger i hvor dybt sugecellerne kan installeres, men det vil generelt blive vanskeligere/dyrere jo dybere sugecellerne skal installeres.

Overordnet (se detaljeret beskrivelse i kapitel 3) foregår selve installationen af sugeceller ved at hælde kvartsmel ned i bunden af en boring og installere sugecellen i kvartsmelet. Formålet med kvartsmellet er at sikre, at der er hydraulisk kontakt mellem sugecellen og den umættede zone. Denne installation er fundet at være relativ simpel og sikker, så længe det foregår i dybder hvor man kan se direkte hvad man gør. Men dybere installation af sugeceller er fundet at være det sværeste ved porevandsprøvetagning, da det kan være vanskeligt at være sikker på at sugecellen sidder korrekt (helt dækket) i kvartsmellet. Det anbefales derfor at kontrollere dette ved anvendelse af et endoskop til dybere installationer.

Ved dyb installation af sugeceller (eks. i lerlag under et terrænnært grundvandsmagasin) er det fundet, at opslemmet storebæltsblanding fungerer som en effektiv afpropning, når installationen/afpropningen udføres ved en nærmere beskrevet procedure (af afsnit 5.1). Dermed reduceres risikoen for nedsivning af terrænnært grundvand.

Efter installationen anbefales det at forpumpe med 1-3 gange det volumen vand der er anvendt til installation af sugeceller, hvilket med protokollen der er anvendt i dette projekt, svarer til 300-900 ml. Forpumpningen kan udføres uden sorbiceller, som kan installeres når forpumpning er slut.

Der er ikke fundet forureningskomponenter, der ikke kan undersøges med porevandsprøver, men flygtige stoffer skal opsamles på sorbiceller for at undgå stripping, mens ikke flygtige stoffer eks. pesticider, kan opsamles direkte uden sorbiceller /14/.

Porevandsprøvetagning er ved felttestene i nærværende rapport generelt fundet at tage 5-7 døgn, og i et enkelt tilfælde op til 38 døgn. Der er desuden fundet en tendens til at porevandsprøvetagning generelt går hurtigere desto mere finkornede aflejringer der tages prøver fra.

8. Referencer

- /1/ Porevandsundersøgelse ved brug af sugeceller og SorbiCell VOC. A.H. Kristensen. OPI projekt. Region Sjælland. 2012.
- /2/ In situ soil water extraction: A review. L. Weihermüller, J. Siemens, M. Deurer, S. Knoblauch, H. Rupp, A. Göttlein og T. Pütz. Journal of Environmental Quality. 2007.
- /3/ Review of vadose zone soil solution sampling techniques. A. Fares, S.K. Deb og S. Fares. Environmental Reviews. 2009.
- /4/ Bestemmelse af forureningskoncentrationen i mobilt porevand i den umættede zone. Miljøprojekt nr. 1224. Miljøstyrelsen 2008.
- /5/ Pneumatisk frakturering til optimering af prøvetagning af forurenede porevand i moræner. A.H. Kristensen, P. Løll, C. Larsen, P. Møldrup og B.T. Vestergaard. OPI-projekt. Region Sjælland 2013.
- /6/ Prøvetagning af porevand i umættet zone – Et Litteraturstudie. Miljøprojekt nr. 540. Miljøstyrelsen 2000.
- /7/ The Danish pesticide leaching assessment programme. Site characterization and monitoring design. GEUS 2001.
- /8/ Membrane filtration device for studying compression of fouling layers in membrane bioreactors. M.K. Jørgensen, T.V. Bugge, P. Larsen, P.H. Nielsen og M.L. Christensen. PLOS ONE 2017.
- /9/ Effektive poreluftstrategier. Miljøprojekt nr. 1587. Miljøstyrelsen 2014.
- /10/ Porevandsprøvetagning fra olieforurenede moræner. Region Hovedstaden 2016.
- /11/ Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand. Miljøstyrelsen. Juni 2015.
- /12/ Vejledning i ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. G. Larsen. J. Frederiksen. A. Villumsen. J. Fredericia. P. Gravesen. N. Foged. B. Knudsen. J. Baumann. Dansk Geologisk forening. Februar 2009.
- /13/ Effectiveness of using pedo-transfer functions to quantify spatial variability of soil water retention characteristics. N. Romano og A. Santini. Journal of contaminant hydrology. 202. S. 137-157. 1997.
- /14/ Undersøgelse af pesticidpunktkilder med porevandsprøvetagning. Region Nordjylland. Februar 2019.

Bilag 1. Udstyr - datablade

Bilag 1.1 Tryksensor – GEMS 3500 (0-1 bar)



3500 Series

Compact Low Pressure OEM Pressure Transmitters

- ▶ 5 to 600 psi pressure ranges (0.35 to 40 bar)
- ▶ Choice of outputs, electrical connections and pressure ports
- ▶ Operating temperature up to 257°F (125°C)

For OEMs that need consistent high levels of performance, reliability and stability the 3500 Series units offer a small package size with all stainless steel wetted parts at an unbeatable price performance ratio. A wide choice of electrical outputs as well as both electrical and pressure connections means the unit is suitable for most applications without modification. The compact construction of the 3500 Series makes it ideal for installation where space is at a premium.

Specifications

Input	
Pressure Range	5-600 psi (0.35-40 bar)
Proof Pressure	2x
Burst Pressure	3X
Performance	
Long Term Drift	<0.2% FS/YR
Accuracy	0.25% FS
Thermal Error, Max.	±1% / 176°F (80°C)
Compensated Temperatures	-4°F to +212°F (-20°C to +100°C)
Operating Temperatures	-40°F to +257°F (-40°C to +125°C)
Zero Tolerance, Max.	±0.5% of span
Span Tolerance, Max.	±0.5% of span
Fatigue Life	Designed for more than 100 M cycles
Mechanical Configuration	
Pressure Port	See under "How to Order," last page
Wetted Parts	316L Stainless Steel
Electrical Connection	See under "How to Order," last page
Enclosure	IP67
Vibration	BSEN 60068-2-6 (FC) BSEN 60068-2-64 (FH)
Shock	BSEN 60068-2-27 (Ea)
Approvals	CE, RoHS
Weight	1.23 to 1.9 ounces (35-53 grams). Configuration dependant

Individual Specifications

Voltage	
Output	0V min. to 10V max. See under "How to Order," last page
Supply Voltage (Vs)	2 Volts above full scale to 30 Vdc (24 Vdc, max. above 230°F (110°C) applications)
Source and Sinks	8 mA
Current	
Output	4-20 mA
Supply Voltage (Vs)	10-30 Vdc (24 Vdc, max. above 230°F (110°C) applications)
Maximum Load Resistance	(Supply Voltage -10) x 50ohms
Ratiometric	
Output	0.5 to 4.5V
Supply Voltage (Vs)	5 Vdc ±10%



EMC Specifications

Emissions Tests: EN61326-1:2006 and EN61326-2-3:2006

EN55011:2009 + A1 Radiated Emissions

Immunity Tests: EN61326-1:2006 and EN61326-2-3:2006

EN61000-4-2:2009 Electrostatic Discharge

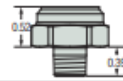
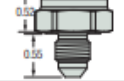
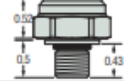
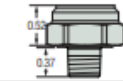
EN61000-4-3:2006 + A2 Radiated Immunity

EN61000-4-4:2012 Fast Burst Transients

EN61000-4-6:2009 Conducted RF Immunity

Pressure Ports

SAE

	1/8"-27 NPT	1/4"-18 NPT	7/16"-20 UNF with 37° Flare	7/16"-20 UNF	1/8"-27 NPTF
Dimensions in Inches					
Fitting Code	08	02	04	1J	4D
Torque	2-3 TFFT*	2-3 TFFT*	15-16 NM	18-20 NM	2-3 TFFT*

BSP & Metric

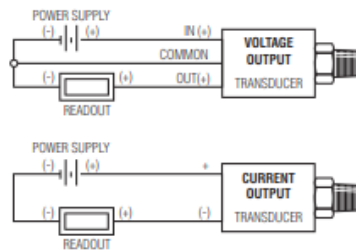
	G1/8" External	G1/4"-19 External w/O-Ring	G1/4"-19 A Integral Face Seal	M12 x 1.5 w/O-Ring
Dimensions in MM				
Fitting Code	0S	01	05	0L
Torque	22-25 NM	30-35 NM	30-35 NM	28-30 NM

* NPT Threads 2-3 turns from finger tight. Wrench tighten 2-3 turns.

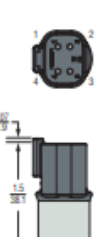
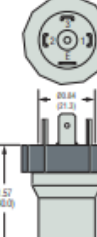
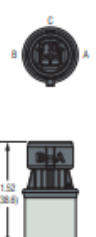
General Notes:

1. The diameter of all cans is 19 mm (0.748")
2. Hex is 22 mm (0.886") Across Flats (AF) for deep socket mounting

Wiring Diagram



Electrical Connector

DIN 9.4 mm				M12 x 1P		Deutsch DT04-4P		DIN 43650A		Packard MetriPack			
													
Code B		Code K		Code E		Code 8		Code G		Code 9			
Pin #	Voltage Mode	Current Mode	Voltage Mode	Current Mode	Voltage Mode	Current Mode	Voltage Mode	Current Mode	Voltage Mode	Current Mode	Pin ID	Voltage Mode	Note
1	V _{out} (pressure)	No Connect	V _{supply}	Supply	V _{supply}	Supply	Ground	Return	V _{supply}	Supply	C	V _{out} (pressure)	MetriPack connectors may be used with 0.5-4.5V Ratiometric and 4-20 mA only.
2	V _{supply}	Supply	Ground	Return	V _{out} (pressure)	No Connect	V _{supply}	Supply	Ground	Return	A	Ground	
3	No Connect	No Connect	V _{out}	No Connect	Ground	Return	No Connect	No Connect	V _{out}	No Connect	B	V _{supply}	
4	Ground	Return	No Connect	No Connect	No Connect	No Connect	V _{out} (pressure)	No Connect	No Connect	No Connect	—	—	

Mating Connectors

Part Number	Description	For Use on Elect. Code #
557230	MINI DIN Connector, Strain Relief (with drive screw & gasket)	B and K
557254	Large DIN 43650A	G
557703-01M0	M12 Cord Set - 1 Meter (Red 1, Green 2, Blue 3, Yellow 4)	E
557703-03M0	M12 Cord Set - 3 Meters (Red 1, Green 2, Blue 3, Yellow 4)	E
557703-04M0	M12 Cord Set - 4 Meters (Red 1, Green 2, Blue 3, Yellow 4)	E
557703-05M0	M12 Cord Set - 5 Meters (Red 1, Green 2, Blue 3, Yellow 4)	E
224153	Recommended Mating Parts (Deutsch p/n: Housing Plug DT064S-P012; Wedge W4S-P012; Sockets 4X 0462-201-1631)	8
224153	Deutsch Cord Set 3' Long (18 AWG PVC Cable - Black 1, Red 2, Green 3, White 4)	8
224153	Recommended Mating Parts (Delphi Packard MetriPack p/n: Body 12065286; Seal 12052893. Consult Delphi for Contacts)	9
218760	Packard Mate Kit	9
223974	Packard Cord Set 3' Long (24 AWG PVC Cable - White 1, Black 2, Red 3)	9
223975	Packard Cord Set 6' Long (24 AWG PVC Cable - White 1, Black 2, Red 3)	9
227967	Packard Cord Set 14.75' Long (22 AWG PVC Cable - White 1, Black 2, Red 3)	9
220492	Packard Mate - 12" Flying Leads - 3 Conductor PVC 18 AWG	9
222976	Packard Mate - 18" Flying Leads - 3 Conductor PVC 18 AWG	9
220797	Packard Mate - 24" Flying Leads - 3 Conductor PVC 18 AWG	9

How to Order

Use the **bold** characters from the chart below to construct a product code

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Notes:

- Compound only.
- Compound versions extend the pressure range on the low end to -15 PSIG or -1 barG respectively. Compound versions measure Gauge pressure only.
- Compatible with mA (Code B) or RatioMetric (Code T) Output Only.

Datasheet

3133 - Micro Load Cell (0-5kg) - CZL635



Contents

- 1 What do you have to know?
- 1 How does it work - For curious people
- 1 Installation
- 2 Calibration
- 2 Product Specifications
- 3 Glossary

What do you have to know?

A load cell is a force sensing module - a carefully designed metal structure, with small elements called strain gauges mounted in precise locations on the structure. Load cells are designed to measure a specific force, and ignore other forces being applied. The electrical signal output by the load cell is very small and requires specialized amplification. Fortunately, **the 1046 PhidgetBridge will perform all the amplification and measurement of the electrical output.**

Load cells are designed to measure force in one direction. They will often measure force in other directions, but the sensor sensitivity will be different, since parts of the load cell operating under compression are now in tension, and vice versa.

How does it work - For curious people

Strain-gauge load cells convert the load acting on them into electrical signals. The measuring is done with very small resistor patterns called strain gauges - effectively small, flexible circuit boards. The gauges are bonded onto a beam or structural member that deforms when weight is applied, in turn deforming the strain-gauge. As the strain gauge is deformed, it's electrical resistance changes in proportion to the load.

The changes to the circuit caused by force is much smaller than the changes caused by variation in temperature. Higher quality load cells cancel out the effects of temperature using two techniques. By matching the expansion rate of the strain gauge to the expansion rate of the metal it's mounted on, undue strain on the gauges can be avoided as the load cell warms up and cools down. The most important method of temperature compensation involves using multiple strain gauges, which all respond to the change in temperature with the same change in resistance. Some load cell designs use gauges which are never subjected to any force, but only serve to counterbalance the temperature effects on the gauges that measuring force. Most designs use 4 strain gauges, some in compression, some under tension, which maximizes the sensitivity of the load cell, and automatically cancels the effect of temperature.

Installation

This Single Point Load Cell is used in small jewelry scales and kitchen scales. It's mounted by bolting down the end of the load cell where the wires are attached, and applying force on the other end **in the direction of the arrow**. Where the force is applied is not critical, as this load cell measures a shearing effect on the beam, not the bending of the beam. If you mount a small platform on the load cell, as would be done in a small scale, this load cell provides accurate readings regardless of the position of the load on the platform.



Calibration

A simple formula is usually used to convert the measured mV/V output from the load cell to the measured force:

$$\text{Measured Force} = A * \text{Measured mV/V} + B (\text{offset})$$

It's important to decide what unit your measured force is - grams, kilograms, pounds, etc.

This load cell has a rated output of $1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$ which corresponds to the sensor's capacity of 5kg.

To find A we use

$$\text{Capacity} = A * \text{Rated Output}$$

$$A = \text{Capacity} / \text{Rated Output}$$

$$A = 5 / 1.0$$

$$A = 5$$

Since the Offset is quite variable between individual load cells, it's necessary to calculate the offset for each sensor. Measure the output of the load cell with no force on it and note the mV/V output measured by the PhidgetBridge.

$$\text{Offset} = 0 - 5 * \text{Measured Output}$$

Product Specifications

Mechanical

Housing Material	Aluminum Alloy
Load Cell Type	Strain Gauge
Capacity	5kg
Dimensions	55.25x12.7x12.7mm
Mounting Holes	M5 (Screw Size)
Cable Length	550mm
Cable Size	30 AWG (0.2mm)
Cable - no. of leads	4

Electrical

Precision	0.05%
Rated Output	$1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$
Non-Linearity	0.05% FS
Hysteresis	0.05% FS
Non-Repeatability	0.05% FS
Creep (per 30 minutes)	0.1% FS
Temperature Effect on Zero (per 10°C)	0.05% FS
Temperature Effect on Span (per 10°C)	0.05% FS
Zero Balance	$\pm 1.5\% \text{ FS}$
Input Impedance	$1130 \pm 10 \text{ Ohm}$
Output Impedance	$1000 \pm 10 \text{ Ohm}$
Insulation Resistance (Under 50VDC)	$\geq 5000 \text{ MOhm}$
Excitation Voltage	5 VDC
Compensated Temperature Range	-10 to $\sim +40^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	-20 to $\sim +55^\circ\text{C}$
Safe Overload	120% Capacity
Ultimate Overload	150% Capacity

Glossary

Capacity

The maximum load the load cell is designed to measure within its specifications.

Creep

The change in sensor output occurring over 30 minutes, while under load at or near capacity and with all environmental conditions and other variables remaining constant.

FULL SCALE or FS

Used to qualify error - FULL SCALE is the change in output when the sensor is fully loaded. If a particular error (for example, Non-Linearity) is expressed as 0.1% F.S., and the output is 1.0mV/V, the maximum non-linearity that will be seen over the operating range of the sensor will be 0.001 mV/V. An important distinction is that this error doesn't have to only occur at the maximum load. If you are operating the sensor at a maximum of 10% of capacity, for this example, the non-linearity would still be 0.001mV/V, or 1% of the operating range that you are actually using.

Hysteresis

If a force equal to 50% of capacity is applied to a load cell which has been at no load, a given output will be measured. The same load cell is at full capacity, and some of the force is removed, resulting in the load cell operating at 50% capacity. The difference in output between the two test scenarios is called hysteresis.

Excitation Voltage

Specifies the voltage that can be applied to the power/ground terminals on the load cell. In practice, if you are using the load cell with the PhidgetBridge, you don't have to worry about this spec.

Input Impedance

Determines the power that will be consumed by the load cell. The lower this number is, the more current will be required, and the more heating will occur when the load cell is powered. In very noisy environments, a lower input impedance will reduce the effect of Electromagnetic interference on long wires between the load cell and PhidgetBridge.

Insulation Resistance

The electrical resistance measured between the metal structure of the load cell, and the wiring. The practical result of this is the metal structure of the load cells should not be energized with a voltage, particularly higher voltages, as it can arc into the PhidgetBridge. Commonly the load cell and the metal framework it is part of will be grounded to earth or to your system ground.

Maximum Overload

The maximum load which can be applied without producing a structural failure.

Non-Linearity

Ideally, the output of the sensor will be perfectly linear, and a simple 2-point calibration will exactly describe the behaviour of the sensor at other loads. In practice, the sensor is not perfect, and Non-linearity describes the maximum deviation from the linear curve. Theoretically, if a more complex calibration is used, some of the non-linearity can be calibrated out, but this will require a very high accuracy calibration with multiple points.

Non-Repeatability

The maximum difference the sensor will report when exactly the same weight is applied, at the same temperature, over multiple test runs.

Operating Temperature

The extremes of ambient temperature within which the load cell will operate without permanent adverse change to any of its performance characteristics.

Output Impedance

Roughly corresponds to the input impedance. If the Output Impedance is very high, measuring the bridge will distort the results. The PhidgetBridge carefully buffers the signals coming from the load cell, so in practice this is not a concern.

Rated Output

Is the difference in the output of the sensor between when it is fully loaded to its rated capacity, and when it's unloaded. Effectively, it's how sensitive the sensor is, and corresponds to the gain calculated when calibrating the sensor. More expensive sensors have an exact rated output based on an individual calibration done at the factory.

Safe Overload

The maximum axial load which can be applied without producing a permanent shift in performance characteristics beyond those specified.

Compensated Temperature

The range of temperature over which the load cell is compensated to maintain output and zero balance within specified limits.

Temperature Effect on Span

Span is also called rated output. This value is the change in output due to a change in ambient temperature. It is measured over 10 degree C temperature interval.

Temperature Effect on Zero

The change in zero balance due to a change in ambient temperature. This value is measured over 10 degree C temperature interval.

Zero Balance

Zero Balance defines the maximum difference between the +/- output wires when no load is applied. Realistically, each sensor will be individually calibrated, at least for the output when no load is applied. Zero Balance is more of a concern if the load cell is being interfaced to an amplification circuit - the PhidgetBridge can easily handle enormous differences between +/- . If the difference is very large, the PhidgetBridge will not be able to use the higher Gain settings.

Bilag 1.3 Niveausensor - GEMS – ELS-900



LEVEL SWITCHES – SINGLE POINT

ELS-900—Our Smallest Optic Yet. Handles Temperatures to 257°F!

The smallest electro optic sensor in our arsenal, the ELS-900 also carries the highest temperature capability of any of our optic sensors. Its Polyethersulfone housing extends this sensor's compatibility and is very affordable in high volumes. Excellent for industrial OEMs preferring optics with high temperature and small space requirements.

Typical Applications

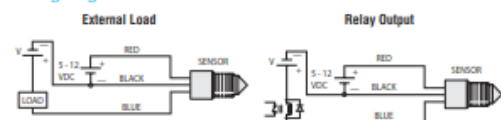
- Coolant reservoir monitoring and warning
- Medical diagnostic, sterilizer, washers and dialysis equipment
- Low lubricant warning on machine tools, generator sets, on- or off-highway vehicles
- Low level warning in hydraulic reservoirs
- Plastic over flow bottles, plastic radiators

Specifications

Materials	
Housing	Polyethersulfone
O-Ring	Viton® (1/2" SAE #5 and M12x1-8)
Operating Pressure	0 to 250 PSI (17 bar), Maximum
Operating Temperature*	-40°F to +257°F (-40°C to +125°C)
Current Consumption	4 mA for 5 Vdc (No Load) 10 mA for 12 Vdc (No Load)
Output	May Sink 40 mA max., up to 30 VDC
Repeatability	±1 mm
EMI	CE approved per EN 61000
Shock Tested	Per MIL-Std-202 Method 204
Vibration Tested	Per MIL-Std-202 Method 213B

* These switches are not for use in freezing liquids

Wiring Diagrams



How To Order

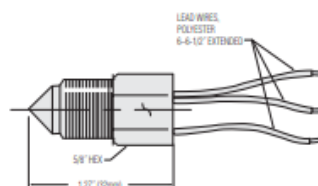
Specify Part Number based on Input and Output Condition required.

Input Power	Condition	1/4" NPT	1/2"-20 SAE #5	M12x1-8
5 V	Wet	207200	208993	208997
	Dry	207300	208994	208998
12 V	Wet	205200	208991	208995
	Dry	205300	208992	208996

✈ - Stock Items.



Dimensions



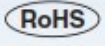
Extended Power and Switching Capabilities of 12 VDC Models with Gems.

Converts TTL output signal to 5 Amp relay output. Available as open circuit board or mounted in a NEMA 4X enclosure (pictured). See Page A-35.



3 Port Solenoid Valve Direct Operated Poppet Type

New 



Power consumption

4 W
Standard type
(Existing product: 4.8 W)

1.8 W
Energy-saving type
(Existing product: 2 W)

Vacuum applications

-101.2
kPa

A single valve with various valve functions
(Universal porting type)

N.C. valve	N.O. valve
Divider valve	Selector valve etc.

Low concentration ozone resistant
Rubber seal material: HNBR for main valve

Mounting dimensions are **interchangeable** with existing product



Body ported type



Manifold type



Series VT307

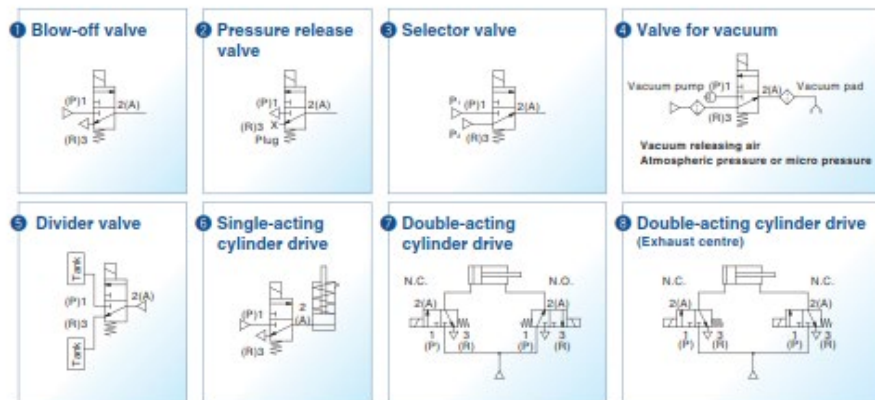


CAT.EUS11-107A-UK

■ A variety of valve options



■ Application examples



3 Port Solenoid Valve, Universal Porting Type Variations

Poppet type	Direct operated poppet type			Pilot poppet type
Series	 New VT307	 VT317	 VT325	 VP300/500/700
Cv (P→A)	0.19	0.62	1.4	0.8 to 3.6

3 Port Solenoid Valve Direct Operated Poppet Type

Series VT307

Rubber Seal

RoHS

How to Order

V T 307 - 5 D 1 - 01 - F - Q

Body type

T	Body ported
O	For manifold

Note 1) Thread type is not applicable for manifold type.

Note 2) Bracket is not available for manifold type.

Valve option

—	Standard type
E	Continuous duty type
V	Energy-saving type
V	Vacuum specification type
W	Energy-saving type, Vacuum specification type

Note 1) Valve options Y (Energy-saving type) and W (Energy-saving/vacuum specification type) are only applicable to the DC voltages.

Note 2) Combination of valve options V (Vacuum specification type) and W (Energy-saving/vacuum specification type) with K (High-pressure type) are not available.

Pressure specifications

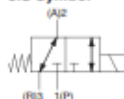
—	Standard type (0.7 MPa)
K	High-pressure type (1 MPa)

Note) Combination of valve options V (Vacuum specification type) and W (Energy-saving/vacuum specification type) with K (High-pressure type) are not available.

Rated voltage

1	100 VAC, 50/60 Hz
2	200 VAC, 50/60 Hz
3	110 VAC, 50/60 Hz
4	220 VAC, 50/60 Hz
5	24 VDC
6	12 VDC
7	240 VAC, 50/60 Hz
8	48 VAC, 50/60 Hz
B	24 VAC, 50/60 Hz
V	6VDC
W	32 VDC
Y	48 VDC
P	100 VDC

JIS Symbol



Manifold

Model	Applicable manifold type	Accessories
VO307□-Q	Common or individual exhaust	Function plate (DXT152-14-1A) (Note) Mounting screw (NKT013-3)

Note) It is not applicable to the continuous duty type. Refer to the accessories on page 5.

Option

Description	Part no.
Bracket	DXT152-25-1A (With screw)

Bracket

—	None
F	With bracket

Note) Bracket is not available for manifold type.

Thread type

—	Rc
F	G
N	NPT
T	NPTF

Note) Thread type is not applicable for manifold type.

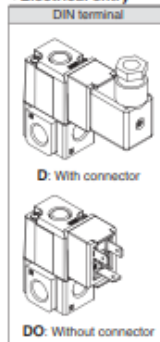
Port size

—	Without port (For manifold)
01	1/8 (6A)
02	1/4 (8A)

Light/Surge voltage suppressor

—	None
Z	With light/surge voltage suppressor

Electrical entry



SMC

Series VT307

⚠ Caution

Make sure that dust and/or other foreign materials do not enter the valve from the unused port (e.g. exhaust port).

Standard Specifications

Type of actuation	Direct operated type 2 position single solenoid	
Fluid	Air	
Operating pressure range	0 to 1 MPa (High-pressure type), 0 to 0.7 MPa (Standard type)	
Ambient and fluid temperature	-10 to 50°C (No freezing)	
Response time	20 ms or less (at 0.5 MPa)	
Max. operating frequency	10 Hz	
Lubrication	Not required (Use turbine oil Class 1 ISO VG32, if lubricated.)	
Manual override	Non-locking push type	
Mounting orientation	Unrestricted	
Impact/Vibration resistance	150/50 m/s ²	
Enclosure	Dustproof	
Electrical entry	DIN terminal	
Coil rated voltage [V]	AC (50/60 Hz)	24, 48, 100, 110, 200, 220, 240
	DC	6, 12, 24, 32, 48, 100
Allowable voltage fluctuation	-15 to +10% of rated voltage	
Apparent power	AC	Inrush: 12.7 VA (50 Hz), 10.7 VA (60 Hz) Holding: 7.6 VA (50 Hz), 5.4 VA (60 Hz)
Power consumption	DC	Without indicator light: 4 W, With indicator light: 4.2 W
Light/Surge voltage suppressor	AC	Varistor, LED
	DC	Diode, LED

Note 1) Based on dynamic performance test, JIS B 8374-1981. (Coil temperature: 20°C, at rated voltage, without surge voltage suppressor)

Note 2) Impact resistance: No malfunction occurred when it is tested with a drop tester in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature in both energized and de-energized states every once for each condition. (Values at the initial period)

Vibration resistance: No malfunction occurred in a one-sweep test between 45 and 1000 Hz. Test was performed at both energized and de-energized states in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature. (Values at the initial period)

Note 3) At rated voltage

Note 4) The value is different for continuous duty type (VT307E), and energy-saving type (VT307Y/W). Refer to "Valve Options" shown below.

Flow-rate Characteristics

Valve model	Port size	Flow-rate characteristics											
		1 → 2 (P → A)			2 → 3 (A → R)			3 → 2 (R → A)			2 → 1 (A → P)		
		C _d (l/min)	b	Cv	C _d (l/min)	b	Cv	C _d (l/min)	b	Cv	C _d (l/min)	b	Cv
VT307	1/8	0.71	0.35	0.18	187	0.68	0.27	0.17	170	0.65	0.36	0.17	172
VT307V (Vacuum spec. type)													
VT307E (Continuous duty type)													
VT307Y (Energy-saving type)													
VT307W (Energy-saving, Vacuum spec. type)	1/4	0.41	0.26	0.10	102	0.44	0.35	0.11	116	0.48	0.27	0.12	120
VT307V (Vacuum spec. type)													
VT307E (Continuous duty type)													
VT307Y (Energy-saving type)													
VT307W (Energy-saving, Vacuum spec. type)	1/4	0.71	0.31	0.19	182	0.71	0.25	0.17	175	0.68	0.33	0.17	176
VT307V (Vacuum spec. type)													
VT307E (Continuous duty type)													
VT307Y (Energy-saving type)													
VT307W (Energy-saving, Vacuum spec. type)	1/4	0.49	0.20	0.12	117	0.44	0.34	0.11	115	0.48	0.17	0.12	113
VT307V (Vacuum spec. type)													
VT307E (Continuous duty type)													
VT307Y (Energy-saving type)													

Note 1) Values for a single valve unit. It is not applicable to the manifold. Refer to the manifold specifications on page 5.

Note 2) These valves have been calculated according to ISO6358 and indicate the flow rate under standard conditions with an inlet pressure of 0.6 MPa (relative pressure) and a pressure drop of 0.1 MPa.

Valve Options

Continuous duty type: VT307E

Exclusive use of VT307E is recommended for continuous duty with long time loading.

⚠ Caution

- This model is for continuous duty, not for high cycle rates. But even in low cycle rates, if energizing the valve more than once a day, please consult with SMC.
- Energizing solenoid should be done at least once in 30 days.

Specifications different from standard are as follows.

Apparent power	Inrush 7.9 VA (50 Hz), 6.2 VA (60 Hz)
AC	Holding 5.8 VA (50 Hz), 3.5 VA (60 Hz)
Power consumption	DC 1.8 W, With indicator light: 2 W
Response time	30 ms or less (at 0.5 MPa)

Note) Refer to Note 1) of the standard specifications.

Energy-saving type: VT307Y (VT307W)

If low power consumption is required for electronic control, "VT307Y(W)" (1.8 W) is recommended.

Specifications different from standard are as follows.

Power consumption	DC 1.8 W, With indicator light: 2 W
Response time	25 ms or less (at 0.5 MPa)

Note) Refer to Note 1) of the standard specifications.

Vacuum spec. type: VT307V (VT307W)

This vacuum model has less air leakage than the standard model under low pressure. It is recommended for vacuum application.

⚠ Caution

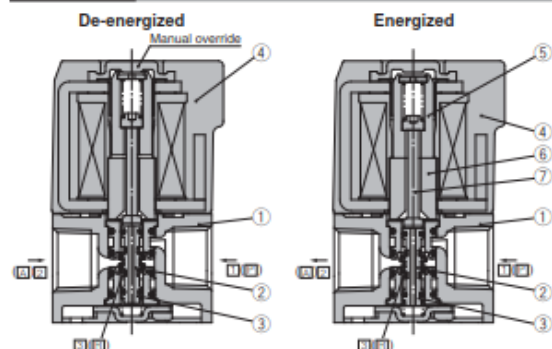
Since this valve has slight air leakage, it can not be used for vacuum holding (including positive pressure holding) in the pressure container.

Specifications different from standard are as follows.

Operating pressure range	-101.2 kPa to 0.1 MPa
--------------------------	-----------------------

3 Port Solenoid Valve Direct Operated Poppet Type *Series VT307*

Construction



Operation principle

<De-energized>

Poppet valve (2) is pushed upward by the return spring (3), port (1) is closed. Then, port (1) and port (2) are connected.

Air flow direction:

Port (1) → Block, Port (2) → (1)

<Energized>

When energizing the molded coil (4), the armature (5) is magnetically attracted to the core (6), and through the push rod (7), it pushes down the poppet valve (2) and port (1) is closed. Then, port (1) and port (2) are connected. At this time, there will be gaps between the armature (5) and the core (6), but the armature (5) will be magnetically firmly attracted to the core (6).

Air flow direction:

Port (1) → Port (2), Port (2) → Block

Component Parts

No.	Description	Material	Note
1	Body	Aluminum die-casted	Colour: White
2	Poppet valve	Aluminum, HNBR	
3	Return spring	Stainless steel	
4	Molded coil	Resin	

How to Use DIN Terminal

1. Disassembly

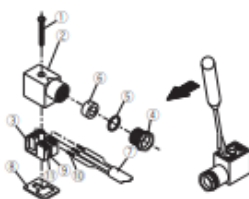
- After loosening the screw (1), then if the housing (2) is pulled in the direction of the screw (1), the connector will be removed from the body of equipment (solenoid, etc.).
- Pull the screw (1) out of the housing (2).
- On the bottom part of the terminal block (3), there's a cut-off part (5). If a small flat head screwdriver is inserted between the opening in the bottom, terminal block (3) will be removed from the housing (2).
- Remove the cable gland (4), plain washer (5) and rubber seal (6).

2. Wiring

- Pass the cable (7) through the cable gland (4), plain washer (5) and rubber seal (6) in this order, and then insert them into the housing (2).
 - Loosen the screw (1) attached to the terminal block (3). Then, pass the lead wire (7) through the terminal block (3) and tighten the screw (1) again.
- Note 1) Tighten within the tightening torque of 0.5 N·m ±15%.
- Note 2) Cable (7) outside diameter: ø6 to ø8 mm
- Note 3) Crimped terminal like round-shape or Y-shape cannot be used.

3. Assembly

- Pass the cable (7) through the cable gland (4), plain washer (5) and rubber seal (6) in this order and connect to the terminal block (3). Then, mount the terminal block (3) on the housing (2). (Push it down until you hear the click sound.)
 - Put the rubber seal (6) and plain washer (5) in this order into the cable entry of the housing (2), and then tighten the cable gland (4) securely.
 - Insert the gasket (4) between the bottom part of terminal block (3) and the plug attached to the equipment. Then, screw in (1) from the top of the housing (2) to tighten it.
- Note 1) Tighten within the tightening torque of 0.5 N·m ±20%.
- Note 2) Connector orientation can be changed 180° depending on how the housing (2) and the terminal block (3) are assembled.



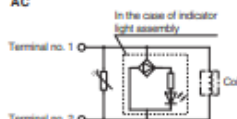
Connector for DIN Terminal

Description	Part no.
DIN connector	GM209NJ-B17

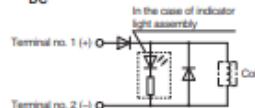
Caution

Light/Surge Voltage Suppressor

AC



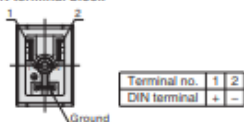
DC



Electrical Connection

DIN terminal is connected inside as in the figure below. Connect to the corresponding power supply.

DIN terminal block



Applicable cable O.D.
ø6 to ø8

Lead Wire Colour

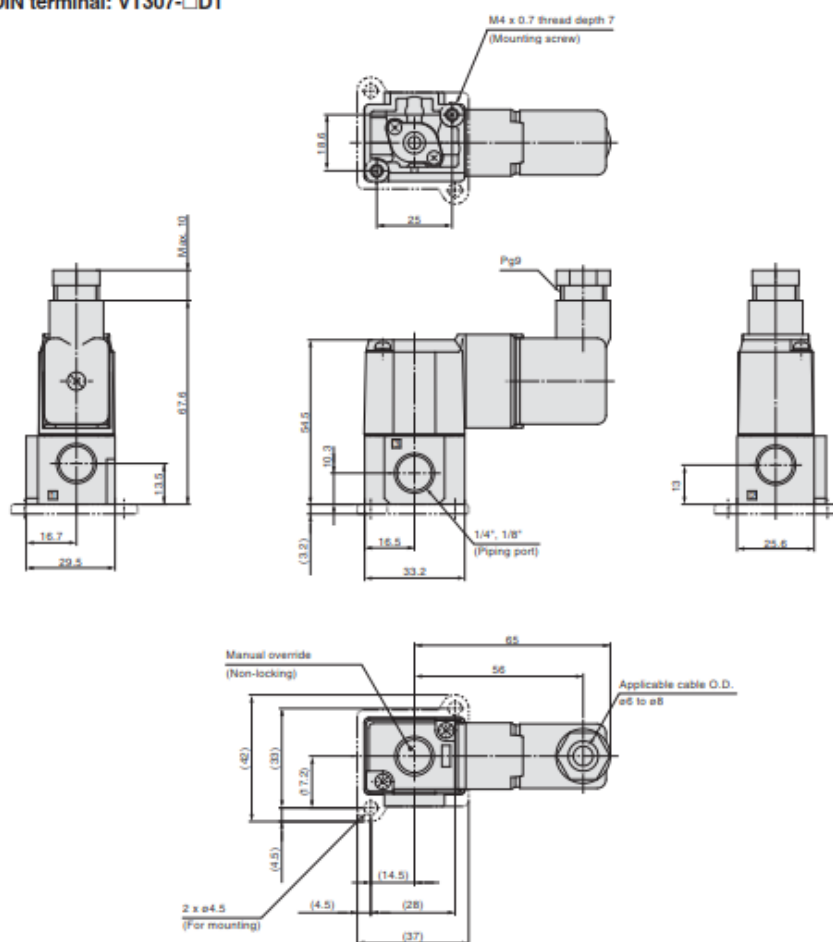
Voltage	Colour
100 VAC	Blue
200 VAC	Red
DC	Red (+), Black (-)
Others	Grey



Series VT307

Dimensions

DIN terminal: VT307-□D1



Series VT307 Manifold Specifications

VT307 manifold is available both as a common exhaust and individual exhaust model.

Manifold valve can be easily converted from N.C. (Normally Closed) to N.O. (Normally Open) merely by turning over the function plate.

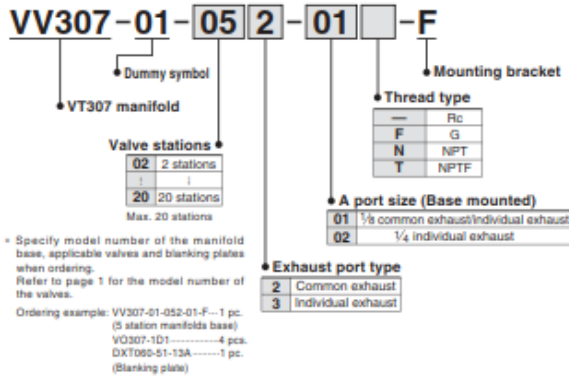


Common exhaust
VV307-01-052-□-F



Individual exhaust
VV307-01-053-□-F

How to Order Manifold Base



Manifold Specifications

Manifold type		B mount		
Max. number of stations		20 stations (Note)		
Applicable solenoid valve		VO307□-□□□□-Q		
Exhaust port		Port location (Direction)/Port size		
Symbol	Type	P	A	R
2	Common	Base (Side) 1/8	Base (Side) 1/8	Base (Side) 1/8
3	Individual	Base (Side) 1/4	Base (Side) 1/8, 1/4	Base (Top) 1/8

Note) For 6 stations or more, supply air both sides of P port. The common exhaust type should exhaust from both of the R port.

Option

Description	Part no.
Blanking plate (With gasket, screw) ^{Note}	DXT050-51-13 ¹

Accessories for Applicable Solenoid Valve

Description	Part no.	Qty.
Function plate (With gasket) ^{Note}	DXT152-14-1 ¹	1 pc.
Mounting screws	NXT013-3	2 pcs.

Note) DXT050-51-13B, DXT152-14-1B are for the continuous duty type.

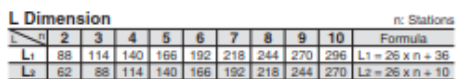
Flow-rate Characteristics

Valve model	Flow-rate characteristics											
	1 → 2 (P → A)			2 → 3 (A → R)			3 → 2 (R → A)			2 → 1 (A → P)		
	C [dm ³ /s·bar]	b	Cv	C [dm ³ /s·bar]	b	Cv	C [dm ³ /s·bar]	b	Cv	C [dm ³ /s·bar]	b	Cv
VO307	0.34	0.28	0.085	0.089	0.22	0.082	0.36	0.28	0.091	0.34	0.18	0.083
VO307V (Vacuum spec. type)												
VO307E (Continuous duty type)												
VO307Y (Energy-saving type)	0.30	0.18	0.070	0.070	0.15	0.072	0.32	0.20	0.075	0.30	0.15	0.069
VO307W (Energy-saving, Vacuum spec. type)												

Note) These valves have been calculated according to ISO6358 and indicate the flow rate under standard conditions with an inlet pressure of 0.6 MPa (relative pressure) and a pressure drop of 0.1 MPa.



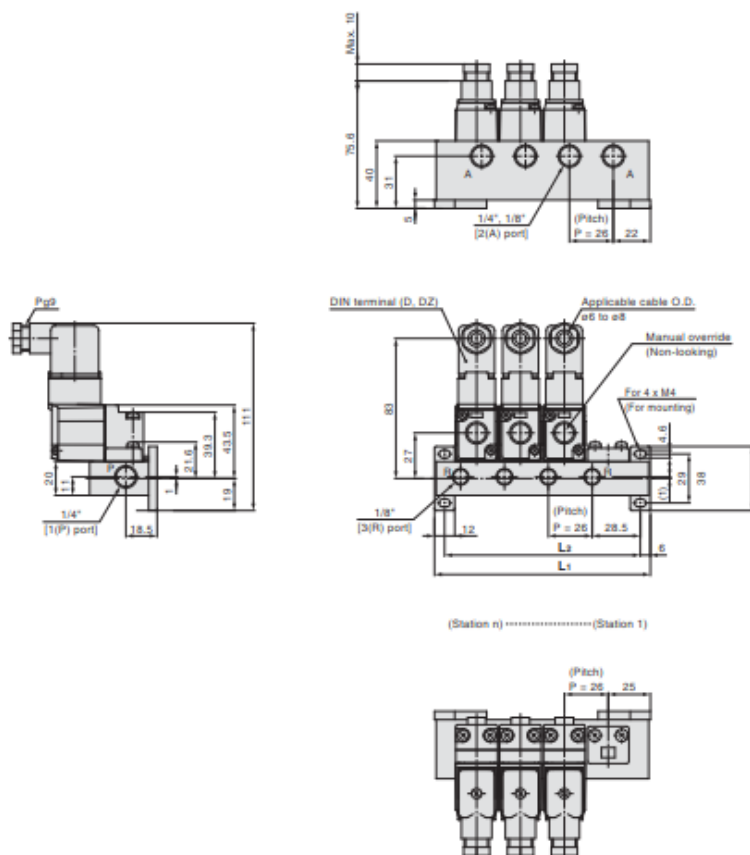
VV307-01-□2-01-F



3 Port Solenoid Valve Direct Operated Poppet Type *Series VT307*

Dimensions: Individual Exhaust

VV307-01-□3-□-F



L Dimension										n: Stations
L	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Formula
L1	76	102	128	154	180	206	232	258	284	$L1 = 26 \times n + 24$
L2	64	90	116	142	168	194	220	246	272	$L2 = 26 \times n + 12$





Series VT307

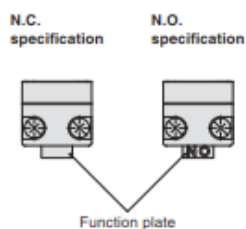
Specific Product Precautions

Be sure to read before handling. Refer to back cover for Safety Instructions and "Handling Precautions for SMC Products" (M-E03-3) for 3/4/5 Port Solenoid Valve Precautions.

Mounting

⚠ Warning

When mounting a valve on the manifold base, N.C. and N.O. can be reversed by the function plate orientation. Also, since the cylinder operates in reverse, confirm if the function plate is correctly mounted or not.



⚠ Caution

1. Each valve is fixed to the manifold base with two M4 mounting screws. Tighten the screws firmly when re-mounting.
 2. For mounting, tighten M4 or equivalent screws evenly into the mounting holes of the manifold base.
- Tightening torque of the mounting screw (M4): 1.4 N·m

Changing from N.C. to N.O.

⚠ Caution

This product is delivered as N.C. valve.
If N.O. valve is required, remove mounting screws of the required valve and turn over the function plate. (Make sure that there are gaskets on both sides of the plate.) Then, tighten the mounting screws to fix the valve to the manifold base.



Figure: For N.C.

Specifications	Function plate
N.C.	No mark
N.O.	NO

Piping

⚠ Caution

1. For the common exhaust type, pressurisation or evacuation of the 3(R) port can cause a malfunction.

Safety Instructions

These safety instructions are intended to prevent hazardous situations and/or equipment damage. These instructions indicate the level of potential hazard with the labels of "Caution," "Warning" or "Danger." They are all important notes for safety and must be followed in addition to International Standards (ISO/IEC)*1), and other safety regulations.

-  **Caution:** Caution indicates a hazard with a low level of risk which, if not avoided, could result in minor or moderate injury.
-  **Warning:** Warning indicates a hazard with a medium level of risk which, if not avoided, could result in death or serious injury.
-  **Danger:** Danger indicates a hazard with a high level of risk which, if not avoided, will result in death or serious injury.

- *1) ISO 4414: Pneumatic fluid power – General rules relating to systems.
ISO 4413: Hydraulic fluid power – General rules relating to systems.
IEC 60204-1: Safety of machinery – Electrical equipment of machines.
(Part 1: General requirements)
ISO 10218-1: Manipulating industrial robots – Safety.
etc.

Warning

- The compatibility of the product is the responsibility of the person who designs the equipment or decides its specifications.**
Since the product specified here is used under various operating conditions, its compatibility with specific equipment must be decided by the person who designs the equipment or decides its specifications based on necessary analysis and test results. The expected performance and safety assurance of the equipment will be the responsibility of the person who has determined its compatibility with the product. This person should also continuously review all specifications of the product referring to its latest catalogue information, with a view to giving due consideration to any possibility of equipment failure when configuring the equipment.
- Only personnel with appropriate training should operate machinery and equipment.**
The product specified here may become unsafe if handled incorrectly. The assembly, operation and maintenance of machines or equipment including our products must be performed by an operator who is appropriately trained and experienced.
- Do not service or attempt to remove product and machinery/equipment until safety is confirmed.**
 - The inspection and maintenance of machinery/equipment should only be performed after measures to prevent falling or runaway of the driven objects have been confirmed.
 - When the product is to be removed, confirm that the safety measures as mentioned above are implemented and the power from any appropriate source is cut, and read and understand the specific product precautions of all relevant products carefully.
 - Before machinery/equipment is restarted, take measures to prevent unexpected operation and malfunction.
- Contact SMC beforehand and take special consideration of safety measures if the product is to be used in any of the following conditions.**
 - Conditions and environments outside of the given specifications, or use outdoors or in a place exposed to direct sunlight.
 - Installation on equipment in conjunction with atomic energy, railways, air navigation, space, shipping, vehicles, military, medical treatment, combustion and recreation, or equipment in contact with food and beverages, emergency stop circuits, clutch and brake circuits in press applications, safety equipment or other applications unsuitable for the standard specifications described in the product catalogue.
 - An application which could have negative effects on people, property, or animals requiring special safety analysis.
 - Use in an interlock circuit, which requires the provision of double interlock for possible failure by using a mechanical protective function, and periodical checks to confirm proper operation.

Caution

- The product is provided for use in manufacturing industries.**
The product herein described is basically provided for peaceful use in manufacturing industries.
If considering using the product in other industries, consult SMC beforehand and exchange specifications or a contract if necessary.
If anything is unclear, contact your nearest sales branch.

Limited warranty and Disclaimer/ Compliance Requirements

The product used is subject to the following "Limited warranty and Disclaimer" and "Compliance Requirements".
Read and accept them before using the product.

Limited warranty and Disclaimer

- The warranty period of the product is 1 year in service or 1.5 years after the product is delivered, whichever is first.*2)
Also, the product may have specified durability, running distance or replacement parts. Please consult your nearest sales branch.
- For any failure or damage reported within the warranty period which is clearly our responsibility, a replacement product or necessary parts will be provided.
This limited warranty applies only to our product independently, and not to any other damage incurred due to the failure of the product.
- Prior to using SMC products, please read and understand the warranty terms and disclaimers noted in the specified catalogue for the particular products.
*2) Vacuum pads are excluded from this 1 year warranty.
A vacuum pad is a consumable part, so it is warranted for a year after it is delivered.
Also, even within the warranty period, the wear of a product due to the use of the vacuum pad or failure due to the deterioration of rubber material are not covered by the limited warranty.

Compliance Requirements

- The use of SMC products with production equipment for the manufacture of weapons of mass destruction (WMD) or any other weapon is strictly prohibited.
- The exports of SMC products or technology from one country to another are governed by the relevant security laws and regulations of the countries involved in the transaction. Prior to the shipment of a SMC product to another country, assure that all local rules governing that export are known and followed.

 **Safety Instructions** Be sure to read "Handling Precautions for SMC Products" (M-E03-3) before using.

SMC Corporation (Europe)

Austria	☎ +43 (0)262622800	www.smc.at	office@smc.at	Lithuania	☎ +370 5 2308118	www.smc.lt	info@smc.lt
Belgium	☎ +32 (0)33551464	www.smcneumatics.be	info@smcneumatics.be	Netherlands	☎ +31 (0)205318888	www.smcneumatics.nl	info@smcneumatics.nl
Bulgaria	☎ +359 (0)2807670	www.smc.bg	office@smc.bg	Norway	☎ +47 67129020	www.smc-norge.no	post@smc-norge.no
Croatia	☎ +385 (0)1707288	www.smc.hr	office@smc.hr	Poland	☎ +48 (0)222119616	www.smc.pl	office@smc.pl
Czech Republic	☎ +420 541424811	www.smc.cz	office@smc.cz	Portugal	☎ +351 226166570	www.smc.pt	post@smc.pt
Denmark	☎ +45 70252900	www.smc.dk	smc@smc.dk	Romania	☎ +40 213205111	www.smcromania.ro	smcromania@smcromania.ro
Estonia	☎ +372 6510370	www.smcneumatics.ee	smc@smcneumatics.ee	Russia	☎ +7 8127185445	www.smc-pneumatik.ru	info@smc-pneumatik.ru
Finland	☎ +358 207513513	www.smc.fi	smc@smc.fi	Slovakia	☎ +421 (0)41321212	www.smc.sk	office@smc.sk
France	☎ +33 (0)14761000	www.smc-france.fr	promotion@smc-france.fr	Slovenia	☎ +386 (0)73885412	www.smc.si	office@smc.si
Germany	☎ +49 (0)61034020	www.smc.de	info@smc.de	Spain	☎ +34 902184100	www.smc.es	post@smc.es
Greece	☎ +30 210 2177265	www.smc-hellas.gr	sales@smc-hellas.gr	Sweden	☎ +46 (0)86031200	www.smc.se	post@smc.se
Hungary	☎ +36 23511390	www.smc.hu	office@smc.hu	Switzerland	☎ +41 (0)523963131	www.smc.ch	info@smc.ch
Ireland	☎ +353 (0)14039000	www.smcneumatics.ie	sales@smcneumatics.ie	Turkey	☎ +90 212 489 0 440	www.smcneumatik.com.tr	info@smcneumatik.com.tr
Italy	☎ +39 0292711	www.smcitalia.it	mailbox@smcitalia.it	UK	☎ +44 (0)845 121 5122	www.smcneumatics.co.uk	sales@smcneumatics.co.uk
Latvia	☎ +371 67817700	www.smc.lv	info@smc.lv				

SMC CORPORATION Akihabara UDX 15F, 4-14-1, Sotokanda, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0021, JAPAN Phone: 03-5207-8249 FAX: 03-5298-5362
1st printing: RQ printing: RQ 00 Printed in Spain Specifications are subject to change without prior notice and any obligation on the part of the manufacturer.

1420 Series



FEATURES

- > Oil-less
- > Low power consumption
- > Low sound level
- > Low vibration
- > Long lifetime
- > Compact design
- > Lightweight

TYPICAL APPLICATIONS

- > Medical devices
- > Analysis
- > Battery operated systems

BASE MODEL

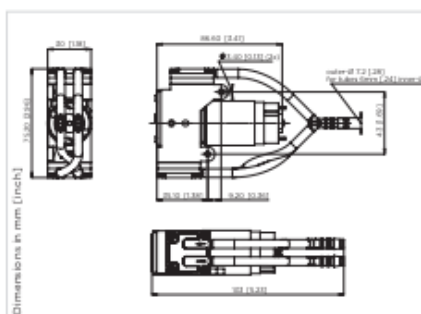
1420 LC
1420 DC
1420 BLDC



Diaphragm

Diaphragm Pump **1420VP LC, 1420VR LC**

Flow	5.2 l/min
Final Vacuum	90 %



PNEUMATIC DATA

Description		1420VP/2.2/E/LC	1420VR/2.2/E/LC
Part number	12 V 24 V	14200001 14200002	14200160 14200161
Max. flow		8.2 l/min	4.2 l/min
Max. intermittent vacuum		78 %	90 %
Max. continuous vacuum		78 %	90 %
Max. restart vacuum		78 %	90 %

ELECTRICAL DATA

Motor type	DC brush ¹⁾	DC brush ²⁾
Nominal speed	3400 rpm	3400 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC	12/24 V DC
Max. power consumption	8.5 W	8.8 W
Motor insulation class	F	F
Protection class	IP00	IP00

GENERAL DATA

Ambient temperature	5 to 50 °C	5 to 50 °C
Media temperature	5 to 50 °C	5 to 50 °C
Weight	220 g	220 g
Configuration	Parallel	Series

WETTED PARTS

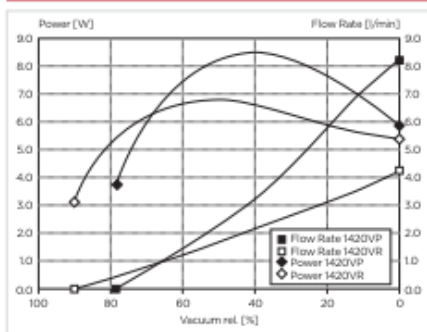
Pump head	PAA	PAA	PPS
Diaphragm	EPDM	EPDM	
Valves	EPDM	EPDM	
Tubing	PUR	PUR	
Y-Connector	POM	POM	

OPTIONS

pp-2

T) radio interference suppression according to EN 55011-B (12 V only)

FLOW CURVES



1420... Stock programme

Model key:



Diaphragm Pump 1420DP LC

Flow	8.2 l/min
Final Pressure	1.0 bar



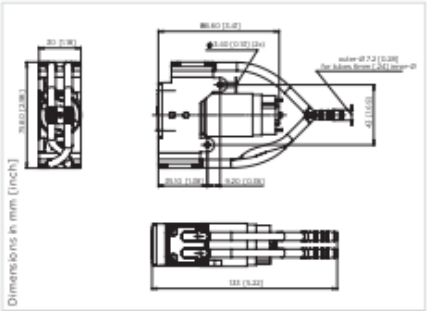
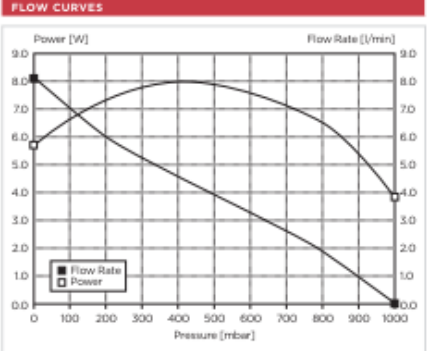
PNEUMATIC DATA	
Description	1420DP/2.2/E/LC
Part number	142000003 142000004
Max. flow	8.2 l/min
Max. intermittent pressure	1.0 bar
Max. continuous pressure	1.0 bar
Max. restart pressure	1.0 bar

ELECTRICAL DATA	
Motor type	DC brush ¹⁾
Nominal speed	3400 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Max. power consumption	7.9 W
Motor insulation class	F
Protection class	IPO0

GENERAL DATA	
Ambient temperature	5 to 50 °C
Media temperature	5 to 50 °C
Weight	220 g
Configuration	Parallel

WETTED PARTS		OPTIONS
Pump head	PAA	PPS
Diaphragm	EPDM	
Valves	EPDM	
Tubing	PUR	
Y-Connector	PDM	

1) radio interference suppression according to EN 55011-B (12 V only)



1420... Stock programme

Model key:

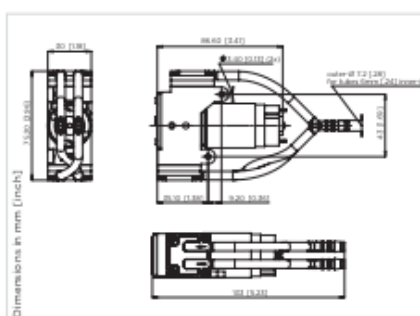
P=Parallel
R=Series
Eccentric
Motor type

1420 DP / 2.2 / E / LC

Type Pressure Diaphragm, Valves

Diaphragm Pump 1420VDP LC

Flow	6.3 l/min
Final Pressure	1.9 bar
Final Vacuum	73 %



PNEUMATIC DATA

Description		1420VDVP/15/E/LC
Part number	12 V	14200200
	24 V	14200201
Max. flow		6.3 l/min
Max. intermittent pressure		1.9 bar
Max. continuous pressure		0.7 bar
Max. restart pressure		1.9 bar
Max. intermittent vacuum		73%
Max. continuous vacuum		73%
Max. restart vacuum		73%

ELECTRICAL DATA

Motor type	DC brush ¹⁾
Nominal speed	3400 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Max. power consumption	8.3 W
Motor insulation class	F
Protection class	IP00

GENERAL DATA

Ambient temperature	5 to 50 °C
Media temperature	5 to 50 °C
Weight	220 g
Configuration	Parallel

T) radio interference suppression according to EN 55011-B (12 V only)

WETTED PARTS

Pump head	PAA
Diaphragm	EPDM
Valves	EPDM
Tubing	PUR
Y-Connector	POM

OPTIONS

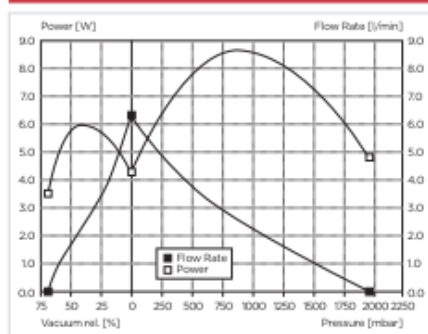
pos

1420... Stock programme

Model key:

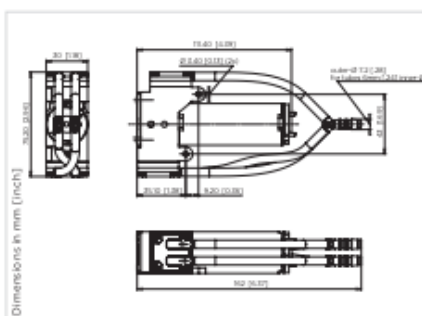


FLOW CURVES



Diaphragm Pump 1420VP DC, 1420VR DC

Flow	7.8 l/min
Final Vacuum	90 %



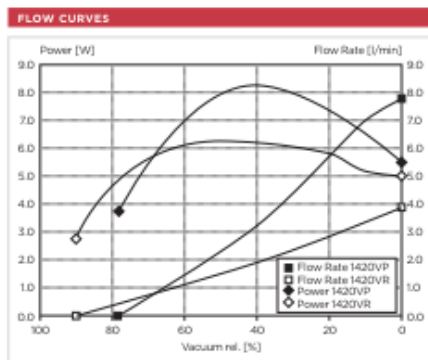
PNEUMATIC DATA			
Description		1420VP/2.2/E/DC	1420VR/2.2/E/DC
Part number	12 V	14200052	14200162
	24 V	14200053	14200163
Max. flow		7.8 l/min	4.0 l/min
Max. intermittent vacuum		78 %	90%
Max. continuous vacuum		78 %	90%
Max. restart vacuum		78 %	90%

ELECTRICAL DATA		
Motor type	DC brush ¹⁾	DC brush ¹⁾
Nominal speed	3200 rpm	3200 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC	12/24 V DC
Max. power consumption	8.1 W	6.3 W
Motor insulation class	E	E
Protection class	IP00	IP00

GENERAL DATA		
Ambient temperature	5 to 50 °C	5 to 50 °C
Media temperature	5 to 50 °C	5 to 50 °C
Weight	310 g	310 g
Configuration	Parallel	Series

WETTED PARTS			OPTIONS
Pump head	PAA	PAA	PPS
Diaphragm	EPDM	EPDM	
Valves	EPDM	EPDM	
Tubing	PUR	PUR	
Y-Connector	PDM	PDM	

1) radio interference suppression according to EN 55011-B



1420... Stock programme

Model key:

P=Parallel
R=Series

1420 VP / 2.2 / E / DC

Type Vacuum Diaphragm, Valves Motor type

Diaphragm Pump 1420DP DC

Flow	7.8 l/min
Final Pressure	1.0 bar



PNEUMATIC DATA	
Description	1420DP/2.2/E/DC
Part number	14200050 14200051
Max. flow	7.8 l/min
Max. intermittent pressure	1.0 bar
Max. continuous pressure	1.0 bar
Max. restart pressure	1.0 bar

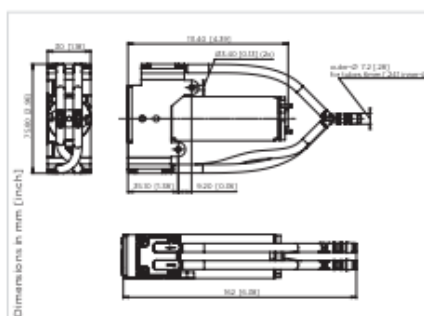
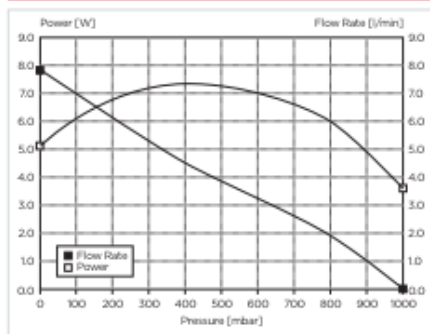
ELECTRICAL DATA	
Motor type	DC brush ¹⁾
Nominal speed	3200 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Max. power consumption	7.4 W
Motor insulation class	E
Protection class	IP00

GENERAL DATA	
Ambient temperature	5 to 50 °C
Media temperature	5 to 50 °C
Weight	310 g
Configuration	Parallel

WETTED PARTS		OPTIONS
Pump head	PAA	PPS
Diaphragm	EPDM	
Valves	EPDM	
Tubing	PUR	
Y-Connector	POM	

1) radio interference suppression according to EN 55011-B

FLOW CURVES



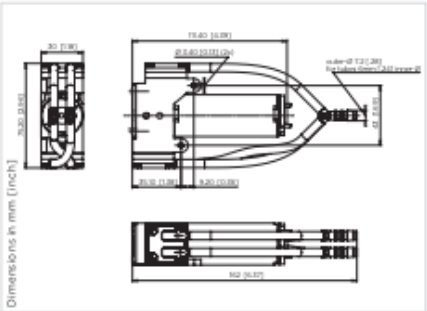
1420... Stock programme

Model key:



Diaphragm Pump 1420VDP DC

Flow	6.0 l/min
Final Pressure	1.9 bar
Final Vacuum	75 %



PNEUMATIC DATA

Description	1420VDP/1.5/E/DC
Part number	12 V 14200202
	24 V 14200203
Max. flow	6.0 l/min
Max. intermittent pressure	1.9 bar
Max. continuous pressure	0.7 bar
Max. restart pressure	1.9 bar
Max. intermittent vacuum	75%
Max. continuous vacuum	75%
Max. restart vacuum	75%

ELECTRICAL DATA

Motor type	DC brush ¹⁾
Nominal speed	3200 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Max. power consumption	7.9 W
Motor insulation class	E
Protection class	IPO0

GENERAL DATA

Ambient temperature	5 to 50 °C
Media temperature	5 to 50 °C
Weight	310 g
Configuration	Parallel

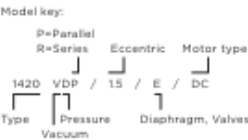
1) radio interference suppression according to EN 55011-B

WETTED PARTS

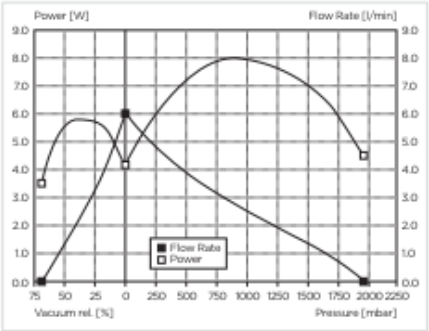
Pump head	PAA
Diaphragm	EPDM
Valves	EPDM
Tubing	PUR
Y-Connector	POM

OPTIONS

PPS



FLOW CURVES



Diaphragm Pump 1420VP BLDC

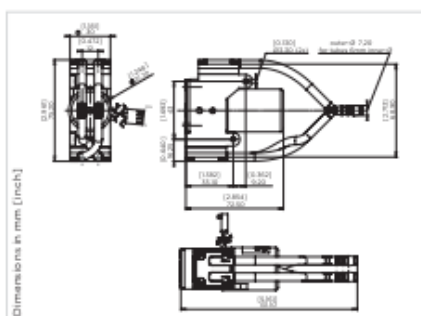
Flow	11 l/min
Final Vacuum	78 %



PNEUMATIC DATA	
Description	1420VP/2.2/E/BLDC
Part number	14200500
	24 V 14200501
Max. flow	11 l/min
Max. intermittent vacuum	78 %
Max. continuous vacuum	78 %
Max. restart vacuum	78 %

ELECTRICAL DATA	
Motor type	Brushless DC
Nominal speed	0 to 4600 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Drive electronics	integrated with reverse supply voltage protection
Max. power consumption	10.5 W
Motor insulation class	B
Protection class	IP20
Connector	Housing: Molex KK 22-01-3047
	Terminal: Molex KK 08-50-0031

GENERAL DATA	
Ambient temperature	15 to 40 °C
Media temperature	15 to 40 °C
Weight	190 g
Configuration	parallel



WETTED PARTS	
Pump head	PAA
Diaphragm	EPDM
Valves	EPDM
Tubing	PUR
Y-Connector	POM

OPTIONS	
	PPS

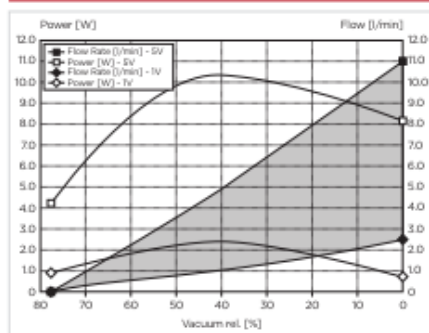
WIRING DIAGRAM			
Pin 1	V Supply	Red	12 V DC (max. voltage range: 10.18 V DC)
Pin 2	Ground	Black	24 V DC (max. voltage range: 10.28 V DC)
Pin 3	Speed Control	White	Ground for Vsupply (PIN 1) and Speed Control (PIN 3)
Pin 4	Tacho out	Green	analog: 0.5 V DC (max. 28V) PWM: 6.20kHz - 14.96% Speed voltage input threshold: 0.2 V 18 pulses per revolution Pulse time „LOW“: 155 µs Output level „LOW“: 0 / max. 0.5 V Output level „HIGH“: min. 4 V / max. 5 V

Optional: Adapter for 2-wire duty incl. potentiometer for speed adjustment

Model key:



FLOW CURVES



Diaphragm Pump 1420DP BLDC

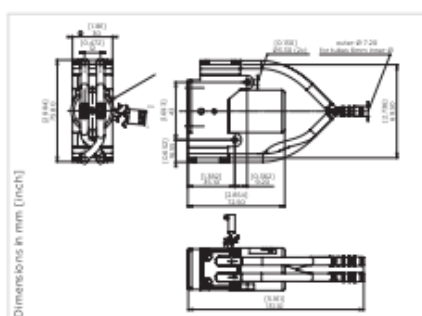
Flow	11 l/min
Final Pressure	1.0 bar



PNEUMATIC DATA		
Description	1420DP/2.2/E/BLDC	
Part number	12 V	14200502
	24 V	14200503
Max. flow	11 l/min	
Max. intermittent pressure	1.0 bar	
Max. continuous pressure	1.0 bar	
Max. restart pressure	1.0 bar	

ELECTRICAL DATA	
Motor type	Brushless DC
Nominal speed	0 to 4600 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Drive electronics	integrated with reverse supply voltage protection
Max. power consumption	10.5 W
Motor insulation class	B
Protection class	IP20
Connector	Housing: Molex KK 22-01-3047
Terminal:	Molex KK 08-50-0031

GENERAL DATA	
Ambient temperature	15 to 40 °C
Media temperature	15 to 40 °C
Weight	190 g
Configuration	parallel



WETTED PARTS		OPTIONS
Pump head	PAA	PPS
Diaphragm	EPDM	
Valves	EPDM	
Tubing	PUR	
Y-Connector	POM	

WIRING DIAGRAM			
Pin1	V Supply	Red	24 V DC (max. voltage range: 10.8V V DC)
Pin 2	Ground	Black	(max. voltage range: 10.28V V DC)
Pin 3	Speed Control	White	Ground for Wuppy (PIN 1) and Speed Control (PIN 3); analog: 0.5 V DC (max. 28V)
			PWM: 6.20kHz, 14.36%
Pin4	Tacho out	Green	Speed voltage input: Freshhold 0.2 V
			18 pulses per revolution
			Pulse time "LOW": 195 μ s
			Output level "LOW": 0 V max. 0.5 V
			Output level "HIGH": 0.7V max. 5 V

Optional: Adapter for 2-wire duty
incl. potentiometer for
speed adjustment

Model key:

P=Parallel
R=Series

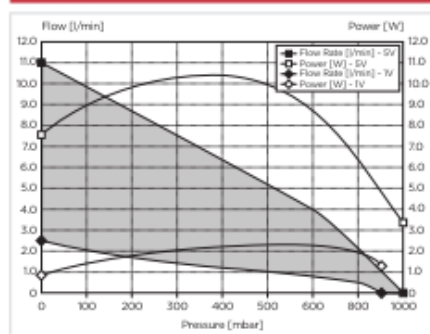
Eccentric

Motor type

1420 DP / 2.2 / E / BLDC

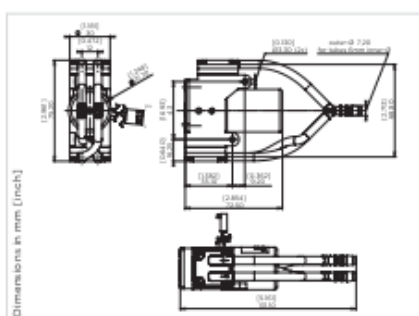
Type Vacuum Diaphragm, Valves

FLOW CURVES



Diaphragm Pump 1420VDP BLDC

Flow	8.2 l/min
Final Pressure	1.9 bar
Final Vacuum	73 %



PNEUMATIC DATA		
Description	1420VDP/1.5/E/BLDC	
Part number	12 V	14200504
	24 V	14200505
Max. flow	8.2 l/min	
Max. intermittent pressure	1.9 bar	
Max. continuous pressure	0.7 bar	
Max. intermittent vacuum	1.9 bar	
Max. intermittent vacuum	73 %	
Max. continuous vacuum	73 %	
Max. restart vacuum	73 %	

ELECTRICAL DATA	
Motor type	Brushless DC
Nominal speed	0 to 4600 rpm
Nominal voltage	12/24 V DC
Drive electronics	integrated with reverse supply voltage protection
Max. power consumption	11 W
Motor insulation class	B
Protection class	IP20
Connector	Housing: Molex KK 22-01-3047
	Terminal: Molex KK 08-50-0031

GENERAL DATA	
Ambient temperature	15 to 40 °C
Media temperature	15 to 40 °C
Weight	190 g
Configuration	parallel

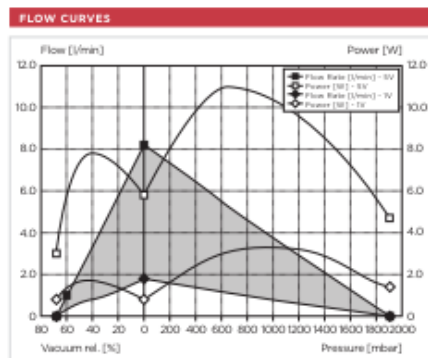
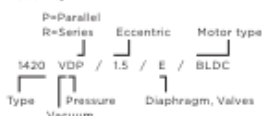
WETTED PARTS	
Pump head	PAA
Diaphragm	EPDM
Valves	EPDM
Tubing	PUR
Y-Connector	POM

OPTIONS	
	PPS

WIRING DIAGRAM			
Pin 1 V Supply	Red	12 V DC	(max. voltage range: 10.18 V DC)
Pin 2 Ground	Black	24 V DC	(max. voltage range: 10.28 V DC)
Pin 3 Speed Control	White	analog: 0.5 V DC (max. 28V)	
Pin 4 Tacho out	Green	PWM: 6.20 kHz - 14.98%	
		Speed voltage input threshold: 0.2 V	
		18 pulses per revolution	
		Pulse time „LOW“: 195 µs	
		Output level „LOW“: 0 / max. 0.5 V	
		Output level „HIGH“: min. 4 V / max. 5 V	

Optional: Adapter for 2-wire duty incl. potentiometer for speed adjustment

Model key:



10

Diaphragm Pump 1420HP BLDC

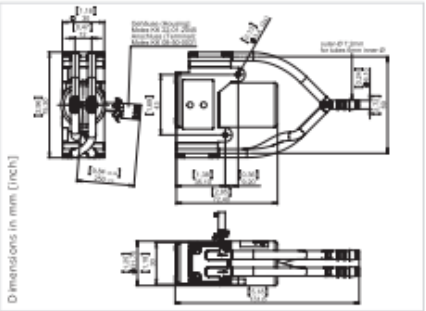
Flow	10.4 l/min
Final pressure	2.7 bar



PNEUMATIC DATA		
Description		1420HP/2.2/TF/BLDC
Part number	12 V	1420I005
	24 V	1420I006
Max. flow		10.4 l/min
Max. intermittent pressure		2.7 bar
Max. continuous pressure		0.5 bar @ 21°C (room temperature)
Max. restart pressure		0.5 bar @ 21°C (room temperature)

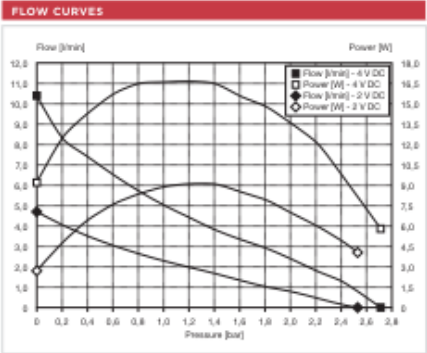
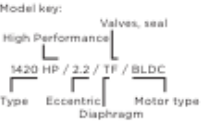
ELECTRICAL DATA		
Motor type		Brushless DC
Nominal speed		0 - 4600 rpm
Nominal voltage		12 / 24 V DC
Drive electronics		integrated with reverse supply voltage protection
Max. power consumption		16.6 W
Motor insulation class		B
Protection class		IP20
Connector	Housing:	Molex KK 22-01-3047
	Terminal:	Molex KK 08-50-0031

GENERAL DATA		
Ambient temperature		15 to 40 °C
Media temperature		15 to 40 °C
Weight		205 g
Configuration		Parallel



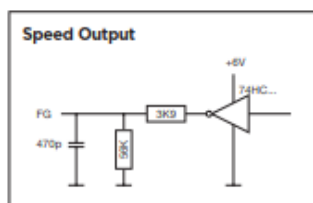
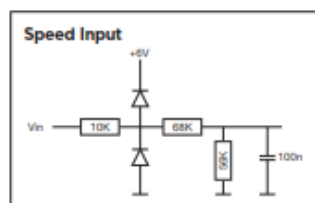
WETTED PARTS		
Pump head		PPS
Diaphragm		ThomaLast
Valves		FKM
Tubing		PUR
Y-Connector		PDM

WIRING DIAGRAM			
Pin 1	V Supply	Red	12 V DC (max. voltage range: 10.18 V DC) 24 V DC (max. voltage range: 10.28 V DC)
Pin 2	Ground	Black	Ground for V Supply (Pin 1) and Speed control (Pin 3)
Pin 3	Speed Control	White	analog: 0.5 V DC Pulse: 6.20 kHz - 14.90% Speed voltage input threshold: 0.2 V
Pin 4	Tacho out	Green	16 pulses per revolution Pulse time "LOW": 16 µs Output level "LOW": 0 / max. 0.5 V Output level "HIGH": min. 4 V / max. 5 V

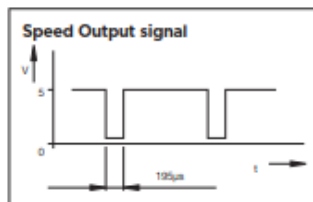


Wiring diagram (Brushless DC motor)

	Function	Colour	Control
Pin 1	V Supply	Red	12 V DC (max. voltage range: 10..18 V DC) 24 V DC (max. voltage range: 10..28 V DC)
Pin 2	Ground	Black	Ground for Vsupply (PIN 1) and Speed Control (PIN 3)
Pin 3	Speed Control	White	analog: 0..5 V DC (max. 28V) PWM: 6..20kHz - 14..96% Speed voltage input threshold: 0.2 V
Pin 4	Tacho out	Green	18 pulses per revolution Pulse time „LOW“: 195 μ s Output level „LOW“: 0 / max. 0.5 V Output level „HIGH“: min. 4 V / max. 5 V



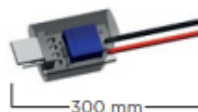
Optional: Adapter for 2-wire duty incl. potentiometer for speed adjustment



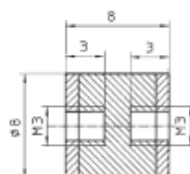
Options / Accessories

P/N 29011932 **Adapter for BLDC motor**
4-2 wire w/ manual speed control
12 V DC "red"

P/N 29011933 **Adapter for BLDC motor**
4-2 wire w/ manual speed control
24 V DC "black"



P/N 91420505 **Rubber feet assy.**
(2 pcs. incl. screws and washers)



Bilag 2. Styklister

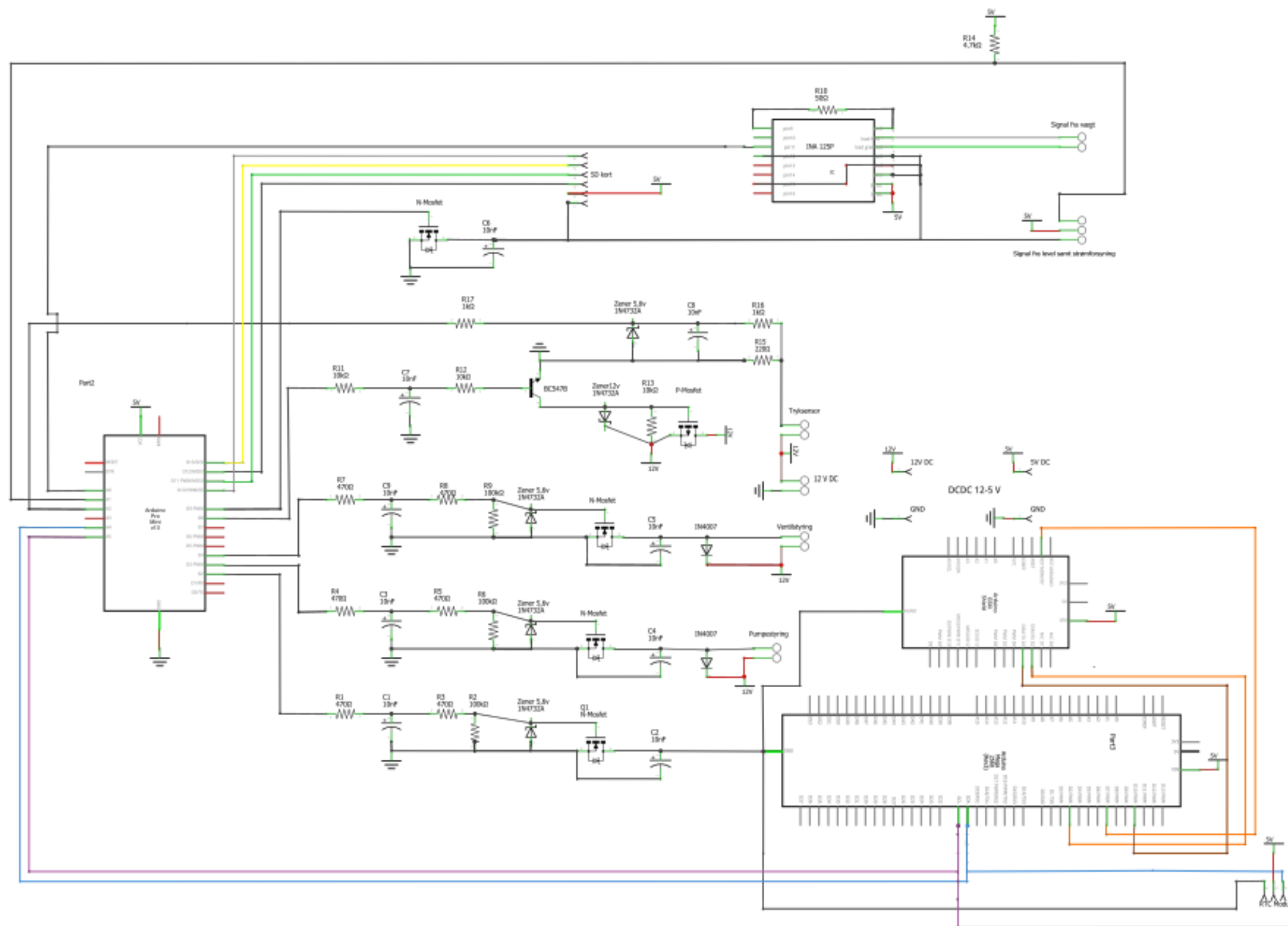
Bilag 2.1 Styklister for kontrolboks

Komponent	Vare nr.	Forhandler	Antal
MOSFET, P-kanal	5410806	RS Components AS	1
MOSFET, N-kanal	5411219	RS Components AS	4
1N4007-E3	9175386	RS Components AS	2
BC547B Bipolær transistor NPN	7619828	RS Components AS	1
Kulfilmodstand 10 K ohm	7077745	RS Components AS	3
Kulfilmodstand, 1 k ohm	7077666	RS Components AS	2
Metalfilmodstand 100 Kohm	125-1168	RS Components AS	3
5,6 V Zenerdiode	5443604	RS Components AS	4
12 V Zenerdiode	5444477	RS Components AS	1
Metalfilmodstand 220 ohm	148348	RS Components AS	1
Instrumentationsforstærker INA125P	6605232	RS Components AS	1
Printterminal 3way	4948912	RS Components AS	1
Printterminal 2way	494-8906	RS Components AS	3
Metalfilmodstand 50 ohm	8505566	RS Components AS	1
Metalfilmodstand 4,7 k ohm	148553	RS Components AS	1
Kulfilmodstand 470 ohm	131211	RS Components AS	6
GSM shield 2	8659013	RS Components AS	1
Antenne, Arduino stub GSM SMA	7617349	RS Components AS	1
IP67 Kabinet m. klart låg	251277	RS Components AS	1
Monteringsplade	188-2522	RS Components AS	1
Pressure transmitter 1 bar absolut 4-20 mA	896-8462	RS Components AS	1
Keramisk kondensator 10 nF	7368827	RS Components AS	9
5way Plug Circ Conn Panel Mt S.S #13 Hun	6909256	RS Components AS	1
Vakuumpumpe 12V 1420 vakuum ca. 0,9 bar	1420052	Gardner Denver	1
Funduino Mega 2560	256335	DX.com	1
SPI Micro SD / TF Card adapter	316412	DX.com	1
Arduino pro microcontroller	178183	DX.com	1
Genuine Kingston Micro SD / TF memory card 8 GB	137774	DX.com	1
LM2596S justerbar strømforsyning	255394	DX.com	1
Stik DIN U/lys	33DIN43650B	KJV	1
VENTIL MAGNET-3/2 12DC 1/8 SMC	33VT307V-6DO1-01	KJV	1
Stackbar pinheader (8 pin) 2 stk.	H38347	Elexta	3
16 ben IC-Sokkel 300 MILL	H20877	Elexta	1
Skruterminal - 2 pol	H16535	Elexta	5
RTC Clock Module DS3231	AT24C32	Arduinotech	1
Print specialfremstillet			

Bilag 2.2 Styklister til vakuumkammer og installationsrør mm.

Komponent	Vare nr.	Forhandler	Antal
ELS-900 LEVEL SEN 5V WET	6162996	RS Components AS	1
Vinkel slangenippel Ø6-1/8 udf. BDPT Messing	MGF-E34-0	B2B-shop.dk	2
Micro load cell (0-5 kg)	3133	Robotshop.com	1
5 way Skt Circ Conn -Screw Locking SS#13 - HAN	6909174	RS Components AS	1
4 mm teflon ring	E107604	Roykon	2
10 mm teflon ring	E107610	Roykon	2
Ø4mmX1/4" BSPP	E10500414	Roykon	1
Ø12mmX1/4" BSPP	E105001214	Roykon	2
Brystnippel 1/4"	E1552-2	Roykon	2
Målerbrønd ulefos med isoleret låg og beslag (400X1200)	3468568	Sanistaal	1
Vakuumboks 2 L i aluminium - specialfremstillet			

Bilag 3. Diagram for print



Bilag 4. Programmer til Arduino

Bilag 4.1 Arduino Pro

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <LowPower.h>
#include <Sodaq_DS3231.h>

const int chipSelect = 10;
int table[] = {0, 0};
int pressurePin = A2;
int loadPin = A0;
int levelPin = A1;
const int højde = 320;
kant af stigrøret
int vakuum = 450;
cellen
int maxw = 550;
int thresholdpressure = 1013 - højde - vakuum;

const int thresholdlevel = 500;
int poffset = 184;
//int loadoffset = 0;
int a;
int b;
int t;

long s;
int pressureValue;
int loadValue;
int levelValue;
long flow;
const int flowmax = 16;
const int flowmin = 8;
long loada = 0;
long loadb = 0;
long loadc = 0;
long loadd = 0;
uint32_t tida = 0;
uint32_t tidb = 0;
uint32_t tidc = 0;
uint32_t tidd = 0;
long dl = 0;
long dt = 0;

void setup()
{
    //til SD-kort
    //til dataoverførsel til MEGA
    //analog pin til tryksensor
    //analog pin til vægt
    //analog pin til levelswitch
    //løftehøjden i cm fra sugecellen og til over-

    //startvakuum som der suges med ved suge-

    //Maxvakuum
    //niveau for hvornår vakuumpumpen skal
    starte
    //niveau for at magnetventilen skal aktiveres.

    //tæller til det store loop
    //tæller til GSM loop
    //tæller til at sikre at der samples oftere i star-
    ten

    //flow igennem sorbicellen
    //(400 ml/døgn/(60*60))=16 ml/time
    //(300 ml/døgn/(60*60)) =8 ml/time

    //Initialisering
}
```

```

pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(3, OUTPUT);
pinMode(4, OUTPUT);
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(8, OUTPUT);
digitalWrite(2, LOW);
digitalWrite(3, LOW);
digitalWrite(4, LOW);
digitalWrite(9, LOW);
digitalWrite(8, LOW);
a = 7;
b = 390;
t = 0;
s = 0;
int pressureValue = 0;
int loadValue = 0;
int levelValue = 0;

Wire.begin(2);
delay(1000);
Wire.onRequest(requestEvent);
Serial.begin(9600);
digitalWrite(8, HIGH);
delay(400);
pressureValue = analogRead(pressurePin);
pressureValue = (pressureValue - poffset) * 1.375312;
Serial.println(pressureValue);

while (pressureValue > thresholdpressure)
{
    digitalWrite(3, HIGH);
    delay(300);
    pressureValue = (analogRead(pressurePin) - poffset) * 1.375312;
    Serial.println(pressureValue);
}
digitalWrite(3, LOW);
digitalWrite(8, LOW);
}
uint32_t old_ts;
void loop()
{
    Serial.println("2");
    if (a > 6) {
        Serial.println("3");
        digitalWrite(9, HIGH);
        digitalWrite(8, HIGH);
        delay(500);
        loadValue = 0;
        for (int i = 1; i <= 10; i++) {
            loadValue = loadValue + analogRead(loadPin);
            delay(2);
        }
        loadValue = (loadValue / 10) * 4, 29;
        pressureValue = analogRead(pressurePin);
    }
}

```

//til aktivering af MEGA/GSM-kort
//til aktivering af pumpe
//til aktivering af ventil
//til aktivering af sensorer/SD-kort
//til aktivering af tryksensor
//til aktivering af MEGA/GSM-kort
//til aktivering af pumpe
//til aktivering af ventil
//til aktivering af sensorer/SD-kort
//til aktivering af tryksensor

//START LOOP

//til aktivering af sensorer og SDKort
//til aktivering af tryksensor

```

pressureValue = (pressureValue - poffset) * 1.375312;
levelValue = analogRead(levelPin);
int g = 0;
while ((pressureValue > thresholdpressure) && (g < 200))
{
    digitalWrite(3, HIGH);
    delay(300);
    pressureValue = (analogRead(pressurePin) - poffset) * 1.375312;
    //Serial.println("test");
    g = g + 1;
}
digitalWrite(3, LOW);
delay(500);
digitalWrite(8, LOW);
while (levelValue < thresholdlevel) {
    digitalWrite(4, HIGH);
    levelValue = analogRead(levelPin);
    delay(20000);
}
digitalWrite(4, LOW);
// Serial.print("tryk "+pressureValue);
// Serial.print("vagt"+loadValue);
// Serial.println("niveau"+levelValue);

//dataopsamling på Google Sheets og SD-kort

if (b > 380 || (t > 20 && t < 30)) {
    Serial.println("start mega");
    digitalWrite(2, HIGH);
    delay(90000);
    Serial.println("slut 90 sek");
    String timestamp;
    Serial.println("trin 1");
    rtc.begin();
    Serial.println("trin 2");
    delay(2000);
    Serial.println("trin 3");
    DateTime now = rtc.now(); //get the current date-time
    Serial.println("trin 4");
    uint32_t ts = now.getEpoch();
    if (old_ts == 0 || old_ts != ts) {
        old_ts = ts;
        Serial.print(now.year(), DEC);
        timestamp = String(now.year(), DEC) + "/" + String(now.month(), DEC) + "/" + String(now.date(),
DEC) + " " + String(now.hour(), DEC) + ":" + String(now.minute(), DEC) + ":" + String(now.second(),
DEC);
        Serial.println(timestamp);
    }
    //finde flow og regulere vakuum
    if (s > 380) {
        if (s < 1140) {
            tidb = now.getEpoch();
            loadb = loadValue;
            dl = loadb - loada;
            dt = tidb - tida;
            tida = tidb;

```

```

        loada = loadb;
    }
    if (s > 1140) {
        tidd = now.getEpoch();
        loadd = loadValue;
        dl = loadd - loada;
        dt = tidd - tida;
        tida = tidd;
        loada = loadb;
        tidb = tidc;
        loadb = loadc;
        tidc = tidd;
        loadc = loadd;
    }
    flow = (dl * 3600) / dt; //ml/time
    if (flow < flowmin && vakuum < maxw) {
        vakuum = vakuum + 5;
        thresholdpressure = 1013 - hojde - vakuum;
    }
    if (flow > flowmax) {
        vakuum = vakuum - 5;
        thresholdpressure = 1013 - hojde - vakuum;
    }
}
digitalWrite(2, LOW);
Serial.println(3);
//dataopsamling på SD kort
String dataString = "";
dataString = timestamp + "," + String(1013 - pressureValue - hojde) + "," + String(loadValue) + "," +
String(levelValue) + "," + String(vakuum) + "," + String(flow) + "," + String(s) + "," + String(loadd) + "," +
String(loada) + "," + String(tidd) + "," + String(tida) + "," + String(dl) + "," + String(dt);
pinMode(10, OUTPUT);
SD.begin(chipSelect);
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
// if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
}
b = 0;
if (s < 300) {
    t = 0;
}

}
digitalWrite(9, LOW);
a = 0;
}
a = a + 1;
b = b + 1;
t = t + 1;
s = s + 1;
delay(1000);

```

```

    LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
} //slut på det store loop
void requestEvent()
{
    table[0] = map(loadValue, 0, 3515, 0, 255);
    table[1] = map((1013 - pressureValue - højde), 0, 1040, 0, 255);
    uint8_t Buffer[2];
    Buffer[0] = table[0];
    Buffer[1] = table[1];
    Wire.write(Buffer, 2);
}

```

Bilag 4.2 Arduino Mega

```

#include "Tem.h"
#include <GSM.h>
#include <Temboo.h>
GSMClient client;
GPRS gprs;
GSM gsm;
#include <Wire.h>
int e = 0;
byte table[]={0,0};
char p;
byte c;
String myTimestamp;
void setup() // Initialisering
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(13, OUTPUT);
    Serial.println("test");
    Wire.begin();

    boolean notConnected = true;
    while (notConnected)
    {
        if (gsm.begin("") == GSM_READY) {
            Serial.println("test1");
            delay(3000);
            if (gprs.attachGPRS(GPRS_APN, GPRS_LOGIN, GPRS_PASSWORD) == GPRS_READY) {
                notConnected = false;
                Serial.println("connected");
                delay(1000);
            }
        }
        delay(1500);
    }
}

void loop() // Start stort loop
{
    if (e == 0) {
        Wire.requestFrom(2, 2);
        int i = 0;
    }
}

```

```

for(int i=0;i<2;i++)
{
int c = Wire.read();
table[i]=c;
}
String load = String(map(table[0], 0, 255, 0, 3515));
String tryk = String(map((table[1]), 0, 255, 0, 1040));
TembooChoreo GetDataChoreo(client);
GetDataChoreo.begin();
GetDataChoreo.setAccountName(TEMBOO_ACCOUNT);
GetDataChoreo.setAppKeyName(TEMBOO_APP_KEY_NAME);
GetDataChoreo.setAppKey(TEMBOO_APP_KEY);
String AddHoursValue = "2";
GetDataChoreo.addInput("AddHours", AddHoursValue);
GetDataChoreo.setChoreo("/Library/Utilities/Dates/GetData");
unsigned int returnCode = GetDataChoreo.run();
if (returnCode == 0) {
int m=0;
while (GetDataChoreo.available() && m<2) {
String name = GetDataChoreo.readStringUntil('\x1F');
name.trim();
String data = GetDataChoreo.readStringUntil('\x1E');
data.trim();
if (name == "FormattedDate") {
myTimestamp = data;
}
m++;
}
}
Serial.println("1");
GetDataChoreo.close();

Serial.println("2");
TembooChoreo AppendRowChoreo(client);
AppendRowChoreo.begin();
AppendRowChoreo.setAccountName(TEMBOO_ACCOUNT);
AppendRowChoreo.setAppKeyName(TEMBOO_APP_KEY_NAME);
AppendRowChoreo.setAppKey(TEMBOO_APP_KEY);
AppendRowChoreo.setProfile("nitrospira");
String ClientSecretValue = "rCMPUCoJzglxeR4NeRJTWShx";
AppendRowChoreo.addInput("ClientSecret", ClientSecretValue);
String RefreshTokenValue = "1/mqUuz-cm6dBZiNa5VcKPYpAW-
11HgCdIMbiSQ7dxQ1gMEudVrk5jSpoR30zcRFq6";
AppendRowChoreo.addInput("RefreshToken", RefreshTokenValue);
String RowDataValue = myTimestamp+", "+load+", "+tryk;
delay(2000);
AppendRowChoreo.addInput("RowData", RowDataValue);
String SpreadsheetTitleValue = "Sampler1";
AppendRowChoreo.addInput("SpreadsheetTitle", SpreadsheetTitleValue);
String ClientIDValue = "295300931640-3cir4tsdkkps3l22uksblm22t6af4o2v.apps.googleusercontent.com";
AppendRowChoreo.addInput("ClientID", ClientIDValue);
AppendRowChoreo.setChoreo("/Library/Google/Spreadsheets/AppendRow");
AppendRowChoreo.run();

```



```
Serial.println(RowDataValue);  
AppendRowChoreo.close();  
e++;  
}  
}
```

Bilag 5. Slangeforsøg

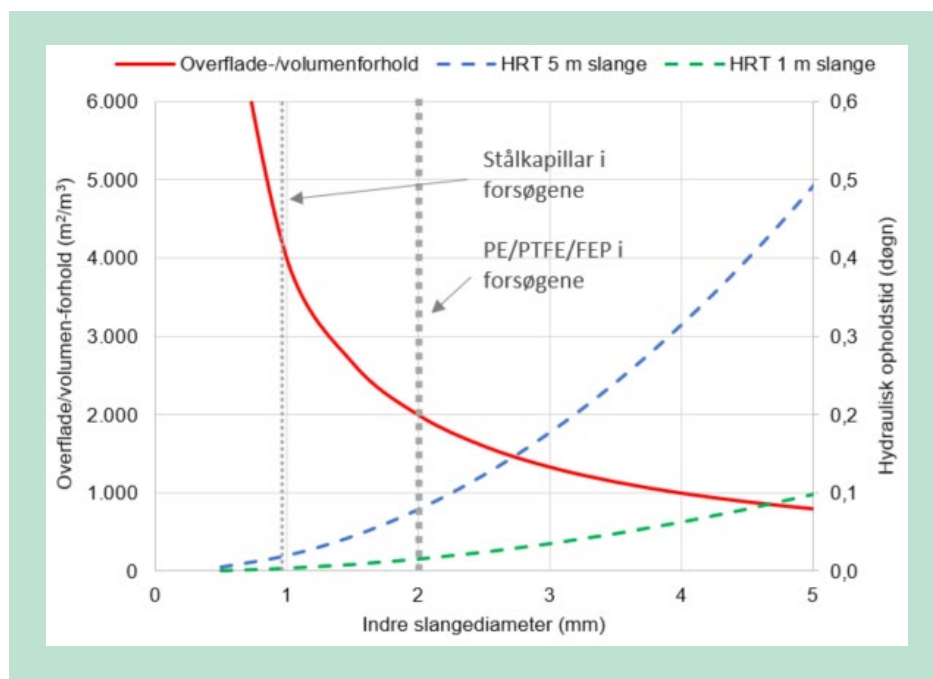
Der er udført 4 forsøg til undersøgelse af massebevarelse i slanger til porevandsprøvetagning:

1. Indledende screening af slanger brugt til feltforsøg og til sugecelleforsøgene.
2. Massebevarelse af benzin i PTFE- og FEP-slanger samt stålkapillarer.
3. Massebevarelse af fyringsolie i PTFE- og FEP-slanger samt stålkapillarer.
4. Massebevarelse af TCE og PCE i PTFE- og FEP-slanger samt stålkapillarer.

Det første forsøg blev udført i forbindelse med test af massebevarelse af sugeceller, da resultaterne fra sugecelle-undersøgelsen indikerede, at det var massetab i slangerne.

Da det første forsøg viste, at der var massetab i PE-slanger, og minimalt massetab i PTFE, blev forsøg 2-4 igangsat, for at undersøge hvilke slanger der, fremadrettet, ville være optimale til porevandsprøvetagning for flygtige organiske forureningskomponenter.

Udover de fysisk/kemiske parametre for forureningskomponenter og slanger vurderes det, at henholdsvis vandets opholdstid i slangen og overflade/volumen-forholdet kan have betydning for massebevarelsen. Opholdstiden da den bestemmer kontakttiden mellem slange og væske og overflade/volumen-forholdet da et højere forhold resulterer i større risiko for at forureningsmolekyler kommer i berøring med slangevæggen og dermed kan adsorbere og/eller diffundere igennem slangematerialet. Den relative betydning af de to parametre er ikke kendt og vil formentlig afhænge af både forureningskomponenternes fysisk/kemiske egenskaber og af slangematerialet. Der er lavet en beregning af hvordan den hydrauliske opholdstid og overflade/volumen-forholdet ændrer sig som funktion af slangediameter ved to forskellige slangelængder. Resultatet fremgår af figur 5.1.



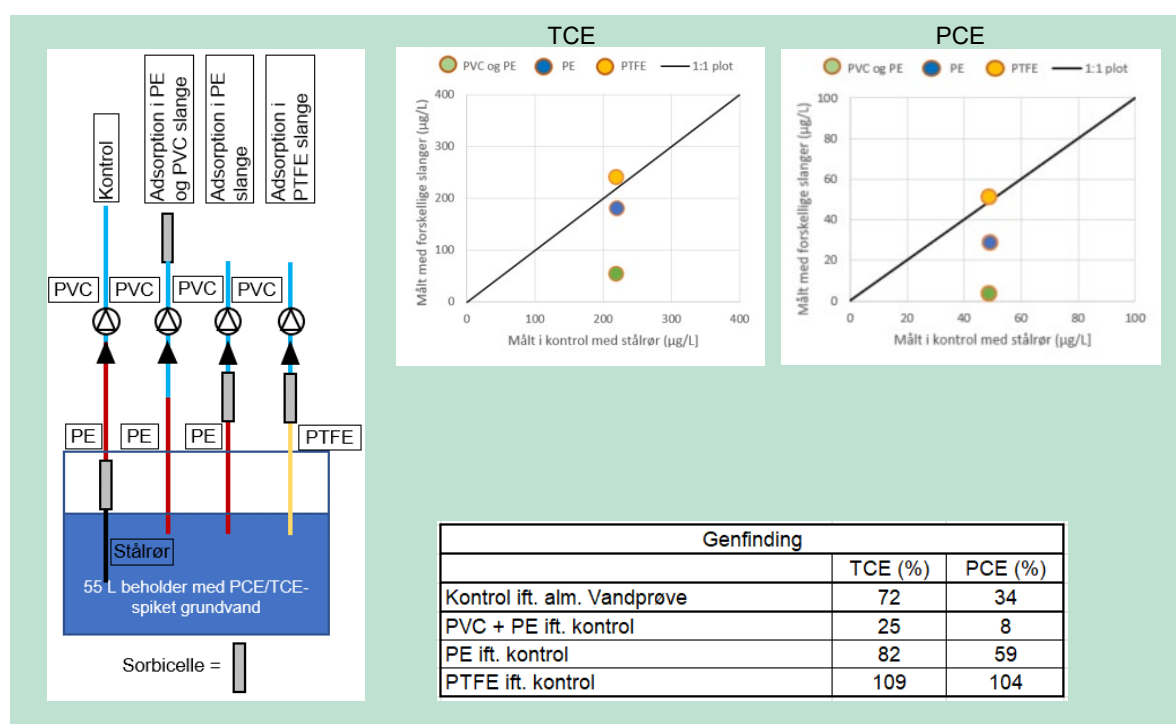
FIGUR 5.1. Sammenhæng mellem indre slangediameter, overflade/volumen-forhold og hydraulisk opholdstid (HRT). Beregningerne er udført med et flow på 0,2 L/døgn, svarende til et realistisk flow under feltforhold.

Som det fremgår af figur 5.1, giver en lille slangediameter et højt overflade/volumen-forhold, men en kortere hydraulisk opholdstid. Det ses, at overflade/volumen-forholdet stiger drastisk ved slangediameter mindre end ca. 1,5 mm og samlet forventes det, at den optimale massebevarelse opnås ved en diameter i størrelsen 1,5 - 4 mm.

Samtlige tests for massebevarelse i slanger er udført efter samme principper og med samme slangelængde (60 cm), for at sikre sammenlignelighed. Testene er udført med en kendt opløsning af benzin, fyringsolie eller chlorerede opløsningsmidler i en lukket plasticbeholder. Vandet nedstrøms slangerne er ført igennem en sorbicelle for at kvantificere om der tabes forureningskomponenter. Et konstant flow i slangerne sikres ved brug af peristaltiske pumper, der "arbejder" på et stykke af blød PVE-slange. Da prøverne opsamles over ca. en uge, svarende til en realistisk periode for opsamling af en porevandsprøve, er der dagligt udtaget vandprøver fra tanken til almindelig analyse, for at estimere en tidsmidlet koncentration af opløsningen i tanken, der er lukket, men ikke decideret gastæt.

Indledende screening for massebevarelse i slanger

Af nedenstående figur er der vist en grafisk præsentation af forsøgsopstillingen sammen med resultater for genfindning i forhold til en kontrol med et stålrør på indløbssiden af sorbicellen. Databehandlingen fremgår af bilag 5.1 og 5.2.



FIGUR 5.2. Sammenligning af koncentrationer mellem linjer med forskellig slange og kontrollen med stålrør på indløbssiden.

Af genfindingstabellen i figur 5.2 ses det, at kontrollen med et stålrør på indløbssiden opnår en genfinding af den tidsmidlede TCE- og PCE-koncentration på hhv. 72 og 34 %, hvilket indikerer, at der forekommer et massetab i stålrøret på opstrømssiden af sorbicellen, eller forskel imellem analyseresultaterne for alm. vandprøver og sorbiceller. Stålrøret var ca. 40 cm langt og havde en indre diameter på 4 mm, svarende til en opholdstid (og dermed kontakttid) på ca. 36 min. I tabellen i figur 5.2 er der endvidere gengivet genfindingsgrader af de andre slanger sammenlignet med kontrollen.

PTFE-slangerne viste en genfinding på 104-109 %, hvorfor disse vurderes at være en god kandidat til porevandsprøvetagning fremadrettet og yderligere tests. Det bemærkes at PTFE er lettere at arbejde med i feltapplikationer end stål.

Som det fremgår af figur 5.2, resulterer kombinationen af PVC- og PE-slange i en genfinding TCE og PCE på hhv. 25 og 8 % i forhold til kontrollen med stålrør hvilket viser, at denne slangekombination resulterer i et betydeligt massetab. Genfindingen med PE-slange alene på hhv. 82 og 59 % for TCE og PCE viser endvidere, at den bløde PVC-slange, som blev brugt til de peristaltiske pumper, resulterede i det største massetab, men også at PE-slangernes massetab kan være betydende (genfinding af TCE og PCE på 80-60 % ved en slangelængde på 60 cm).

For samtlige linjer ses en større genfinding for TCE end for PCE. Dette vurderes at skyldes at TCE er både mere vandopløseligt, mindre adsorptionsvilligt (har lavere K_{ow}) og har en lavere fasefordelingskoefficient imellem vand og luft (K_H) end PCE, hvorfor massetab til både adsorption og diffusion igennem slangevæggen kan forventes at være mindre for TCE end PCE.

Massebevarelse i PTFE- og FEP-slanger samt stålkapillarer

Med henblik på at finde identificere en slangetype, der minimerer massetab imellem sugecelle og sorbicelle i feltanvendelser, er markedet screenet, og der er fundet tre muligheder, som er testet yderligere:

- PTFE (Polytetrafluoroethylen, teflon). ID 2 mm.
- FEP (Fluorinated ethylen propylen). ID 2 mm.
- Stålkapillar. ID 1 mm.

De tre materialer er testet i to længder, hhv. 1 og 5 m, og med et flow på ca. 0,1 L/døgn. Den hydrauliske opholdstid i PTFE- og FEP-slangerne er dermed 45 min ved 1 m og 225 min ved 5 m slange. Til sammenligning er opholdstiden i stålkapillaren 11 min ved 1 m og 55 min ved 5 m. Det bemærkes, at flowet er reduceret til ca. det halve, for at minimere risiko for gennembrud på sorbicellerne. Der er dog i alle forsøg lavet analyser for gennembrud, uden fund af gennembrud.

Testen af slangerne er udført i tre delforsøg med hhv. benzin, fyringsolie og chlorerede opløsningsmidler (TCE og PCE) på samme type af opstilling som den indledende test, jf. figur 5.2, dog med den forskel at kontrollen (sorbicelle) er nedsænket helt i tanken uden stålrør foran, for at få den bedste sammenligning imellem kontrol og almindelige vandprøver fra tanken. En grafisk præsentation af testen ses i figur 5.3, sammen med fotos fra forsøgene.

Der er kørt tre delforsøg, henholdsvis med benzin, chlorerede opløsningsmidler og fyringsolie. Rådata og databehandling fra de tre forsøg fremgår af bilag 5.3-5.10.

Af bilag 5.3-5.10 ses en relativ stor forskel på koncentrationer i kontrollerne målt med sorbiceller og koncentrationer estimeret som tidsmidlede koncentrationer via prøver fra tanken. En sammenfatning af de observerede genfindelser af tidsmidlede koncentrationer via målinger med sorbiceller på kontrollerne ses af nedenstående tabel.

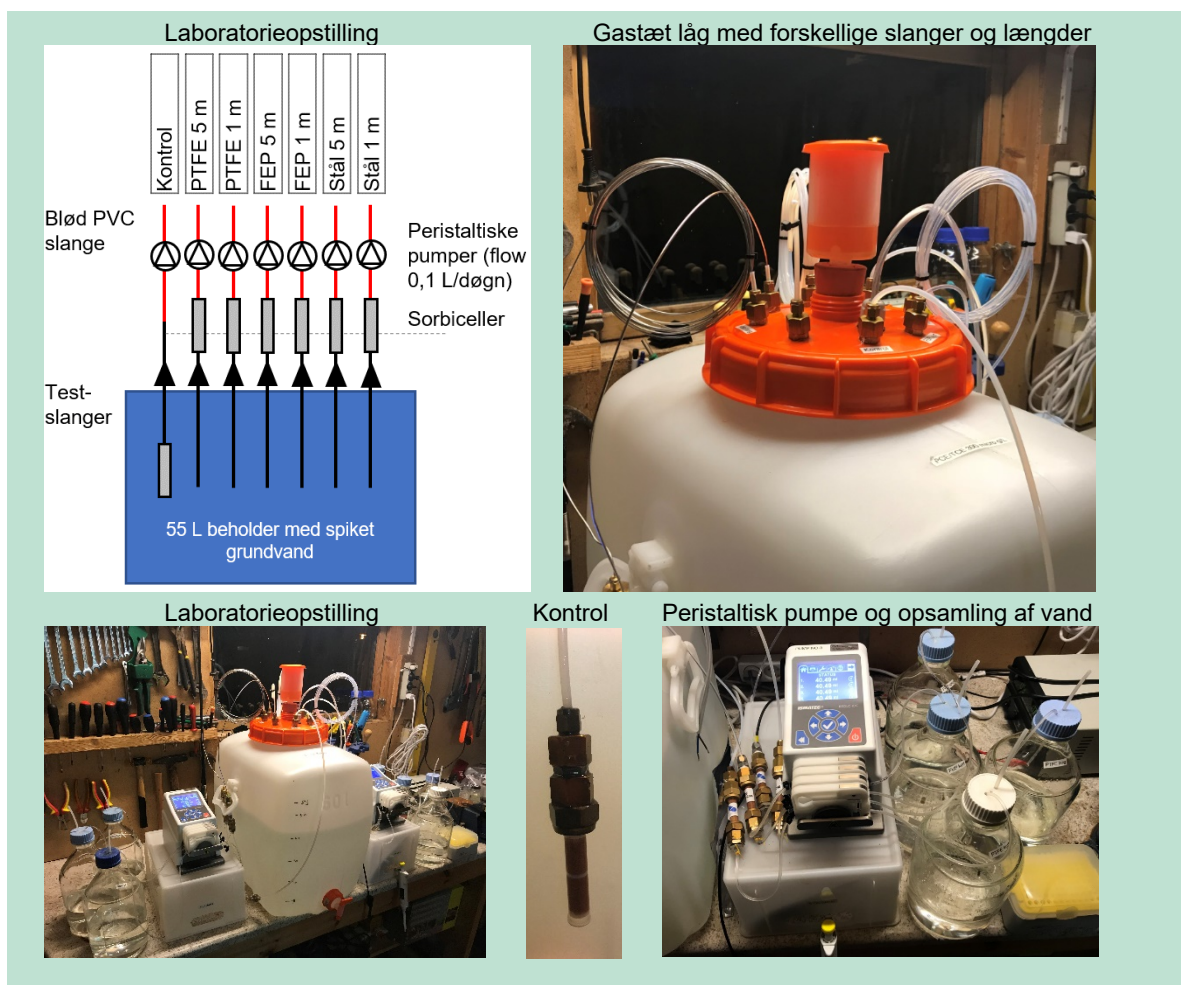
TABEL 5.1. Genfindelse i kontroller (med sorbiceller) i % af tidsmidlede koncentrationer fra almindelige vandprøver.

	TVOC (%)	Benzen (%)	Σ BTEX (%)	TCE (%)	PCE (%)
Benzin	27	45	39	-	-
Fyringsolie	65	41	92	-	-
Chl. opløsningsmidler	-	-	-	96	92

Da sorbicellerne på kontrollerne var nedsænkede uden montering af rør eller slanger foran indikerer ovenstående, at der forekommer en relativ stor systematisk på TVOC, benzen og BTEX-koncentrationer bestemt med sorbiceller og koncentrationer bestemt med almindelige vandprøver. Dette underbygges af, at der både på resultater fra sorbiceller og resultater fra almindelige vandprøver forekommer relativt gode gentagelser, hvilket f.eks. ses af resultaterne i bilag 6.1-6.5. Det bemærkes endvidere, at der er relativt god overensstemmelse på resultaterne (mellem koncentrationer bestemt med sorbiceller og koncentrationer bestemt med almindelige vandprøver) på resultater for TCE og PCE. Eurofins er forelagt re-

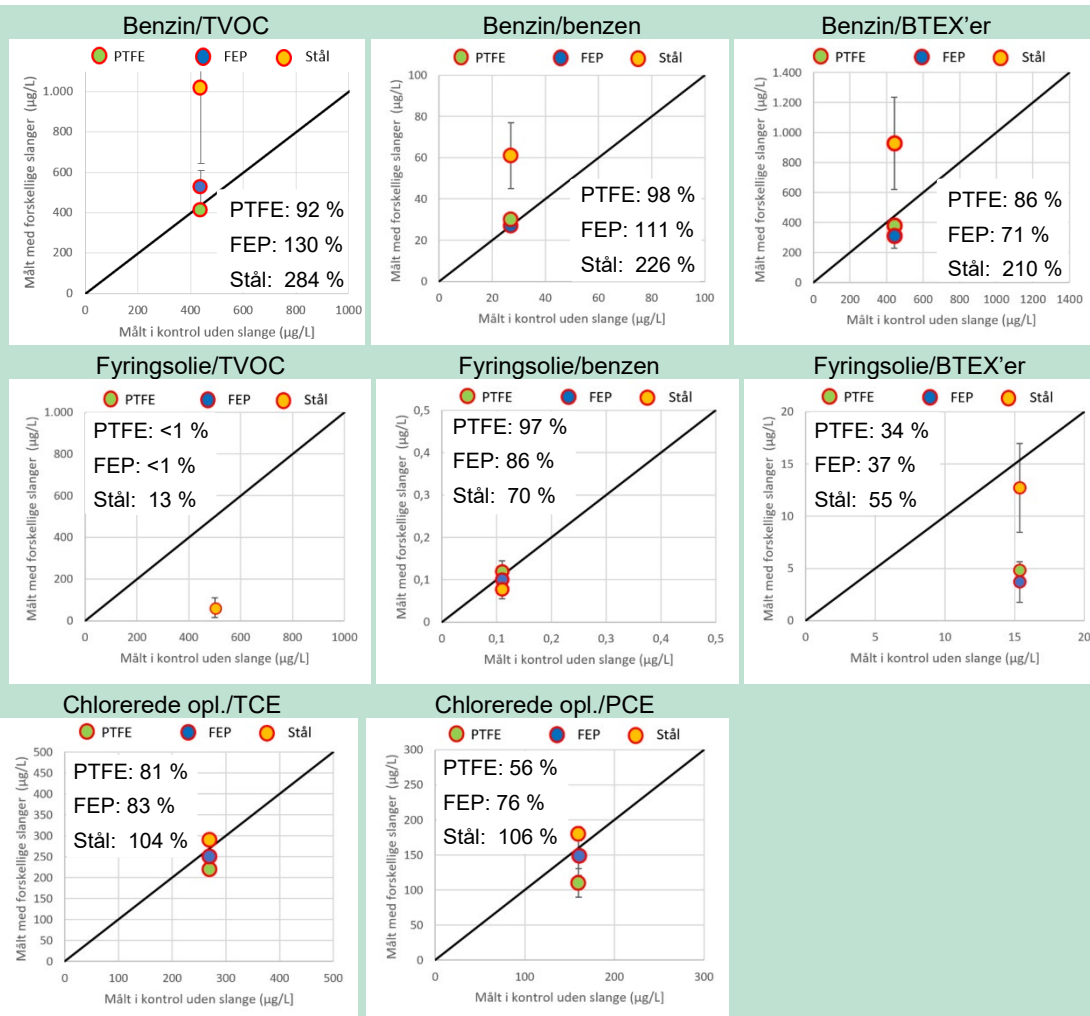
sultaterne og det er undersøgt om der kunne foreligge fejl i laboratoriet, som kan forklare den viste forskel. Dette var ikke tilfældet. Eurofins har endvidere fremsendt resultater fra en testcase (olieforurening), hvor de også har valideret analyser fra sorbiceller mod almindelige vandprøver, og der er generelt konstateret en god overensstemmelse mellem indhold af TVOC målt med sorbiceller og almindelige vandprøver og en relativ standardafvigelse fra en 1:1 linje på 42 %. Der er dermed ikke fundet en forklaring på den observerede forskel mellem kontroller målt med sorbiceller og kontroller målt med tidsmidlede almindelige vandprøver. Det vurderes, at den fremlagte dokumentation fra Eurofins viser, at der generelt kan forventes god overensstemmelse mellem sorbiceller og almindelige vandprøver.

Massebevarelsen i slangerne kan stadig undersøges med de udførte forsøg ved at sammenligne resultaterne fra sorbicellerne, uden at sammenligne med de tidsmidlede koncentrationer (og derved holde en eventuel analysebias udenfor sammenligningen af slangetyperne). Dette er bl.a. muligt fordi de peristaltiske pumper har sikret et relativt ensartet flow på alle linjer, hvorved løbende fald i tankens koncentration af benzin, fyringsolie eller TCE og PCE har påvirket linjerne næsten ens.



FIGUR 5.3. Forsøgsopstilling til test af massebevarelse i PTFE- og FEP-slanger samt stålkapillarer.

Det er indledningsvist vurderet, at forskellene på resultater med 1 m slange og 5 m slange, uanset slangetype, er relativt ens, eller uden en systematisk forskel, hvilket kan ses i bilag 5.3-5.10. En systematisk forskel vil i denne sammenhæng (forventet) kunne ses som øget massetab ved længere slange. Det er derfor valgt at eliminere denne dimension i resultaterne og i stedet tage et gennemsnit af prøverne fra 1 og 5 m for hhv. PTFE- og FEP-slanger samt stålkapillarer. Der er i figur 5.4 vist 1:1 plot for de gennemsnitlige resultater fra hver slangetype, sammenholdt med kontrollen.



Slange	Benzin			Fyringsolie			Chlorerede	
	TVOC	Benzen	BTEX'er	TVOC	Benzen	BTEX'er	TCE	PCE
PTFE	+++	+++	+++	?	+++	+	+++	++
FEP	++	+++	++	?	+++	+	+++	+++
Stål	?	?	?	?	++	++	+++	+++

<25 og >175 %: Utilfredsstillende (-)
 25-50 og 150-175 %: Mindre tilfredsstillende (+)
 50-75 og 125-150 %: Tilfredsstillende (++)
 75-125 %: Meget tilfredsstillende (+++)
 ?: Kan ikke vurderes pba. forsøget

FIGUR 5.4. Test af massebevarelse i slanger og opsamlingstabel med vurderinger/tolkninger.

På baggrund af resultaterne fra de gennemførte forsøg, vurderes det samlet set, at slangetyper af PTFE og FEP giver sammenlignelige resultater af acceptabel kvalitet på tværs af de undersøgte forureningstyper. Der hvor disse slangetyper har givet tvivlsomme resultater i forsøgene (fyringsolie-TVOC og BTEX), vurderes forsøgstekniske forhold at spille ind på den lave genfindelse, hvilket understøttes af feltresultater fra fyringsolieforurenede lokaliteter (bl.a. felttest A, bilag 8), hvor der er konstateret porevandskoncentrationer for TVOC på 26-390 µg/L og BTEX på under detektionsgrænsen til 17 µg/L i to punkter med konstaterede kulbrinteindhold i jorden på 61 - 110 mg/kg TS (med PE-slange som var standard på daværende tidspunkt = før resultaterne i figur 5.2).

Med hensyn til en række praktiske forhold er FEP at foretrække fremfor PTFE: (i) FEP er billigere, (ii) FEP er lettere at håndtere/forme til spiraler (jf. afsnit 3.2) og (iii) FEP er gennemsigtigt, hvilket muliggør en visuel bekræftelse på at der er vand i slangen; PTFE er mælkevidt.

Resultaterne fra benzinforsøget indikerer, at der kan være tale om en afsmitning af oliekomponenter/BTEX fra stålkapillaren, hvorfor forhandleren er kontaktet med henblik på at få be- eller afkræftet risikoen for at der kan være sporindhold af kulbrinter i kapillaren. Forhandleren har afkræftet dette.

Bilag 5.1 Indledende test af massebevarelse af TCE i slanger

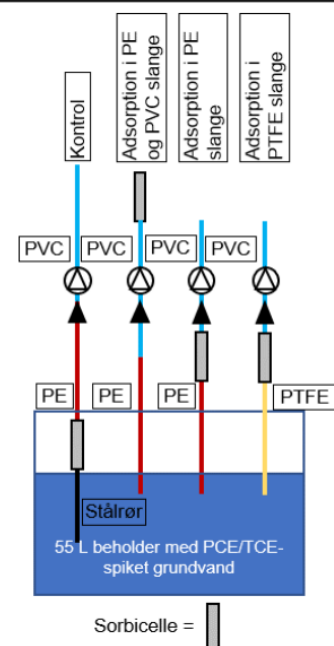
Forsøg med forskellige slanger - TCE

Formål:

Undersøge adsorption i slanger - test 1

Bemærkninger:

Det undersøges hvor meget adsorption der har været på hhv. PE og PVC slange og PTFE testes som et alternativ til PE

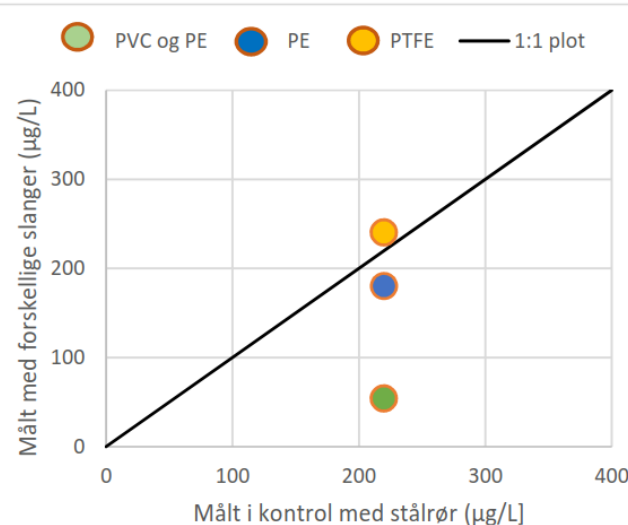
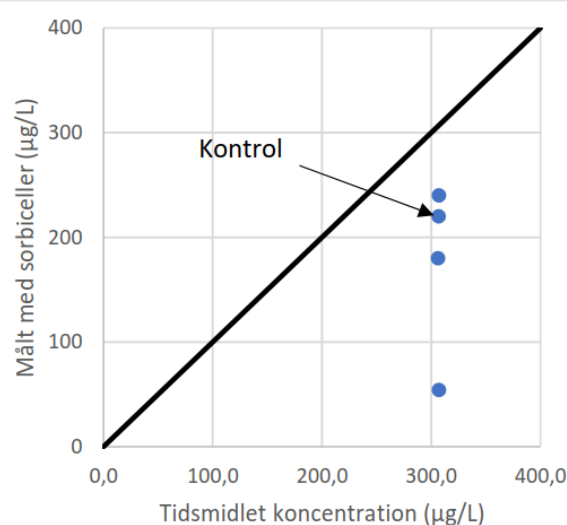
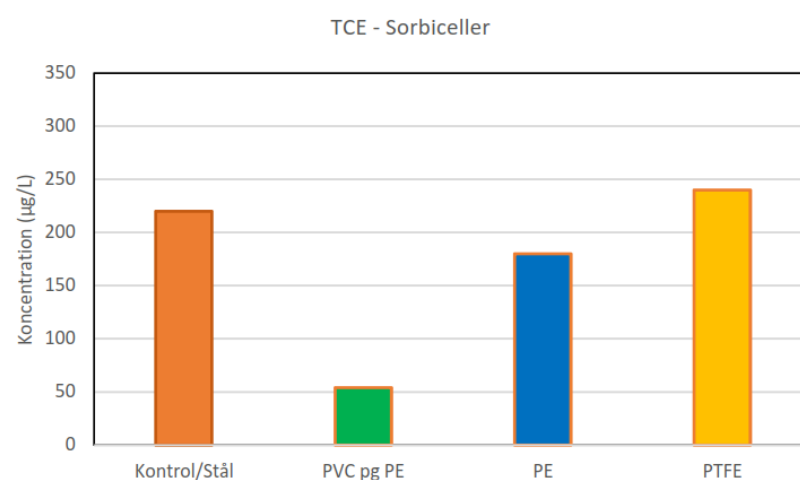
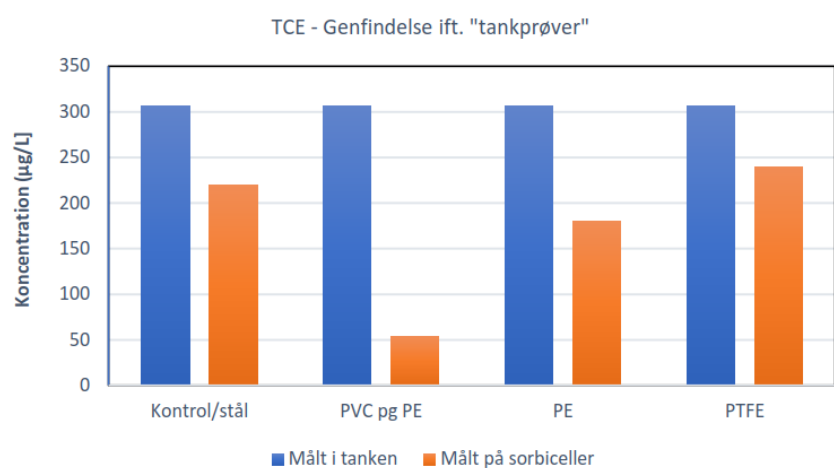


	Rådata
--	--------

Tid	TCE	Kontrol/Stål	PVC pg PE	PE	PTFE				
	µg/L	Kg (flaske + vand)							
12-08-17 10:00	440	0,97	0,98	0,98	0,98				
13-08-17 08:00	370	1,26	1,28	1,28	1,27				
14-08-17 08:15	340	1,57	1,58	1,60	1,58				
15-08-17 13:20	280	1,92	1,95	1,99	1,94				
16-08-17 11:45	250	2,21	2,23	2,29	2,22				
17-08-17 13:00	260	2,46	2,48	2,55	2,48				
18-08-17 13:00	230	2,78	2,81	2,90	2,79				

	Behandlede data
--	-----------------

Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol/stål	PVC pg PE	PE	PTFE				
	117	122	122	117				
	110	107	114	110				
	109	115	121	112				
	77	74	80	74				
	64	64	66	66				
	78	81	86	76				
Tidsmidlet stofmængde (µg)	555	562	588	556				
Opsamlet vand (L)	1,81	1,83	1,92	1,81				
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	307	307	306	307				
Målt koncentration (µg/L)	220	54	180	240				
Genfindelsesgrad af tidsmidlet (%)	72	18	59	78				
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	25	82	109				



Bilag 5.2 Indledende test af massebevarelse af PCE i slanger

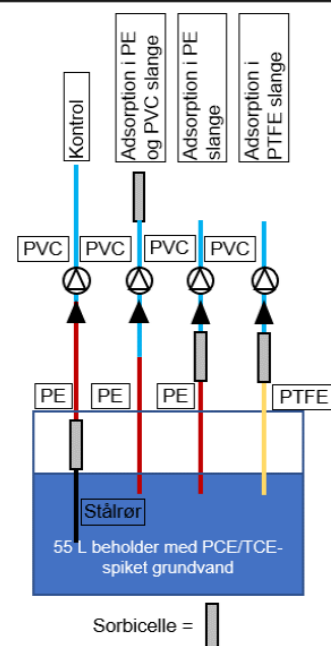
Forsøg med forskellige slanger - PCE

Formål:

Undersøge adsorption i slanger - test 1

Bemærkninger:

Det undersøges hvor meget adsorption der har været på hhv. PE og PVC slange og PTFE testes som et alternativ til PE

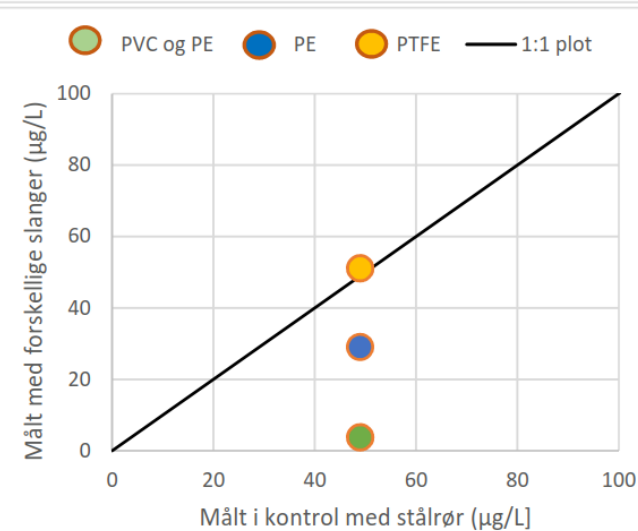
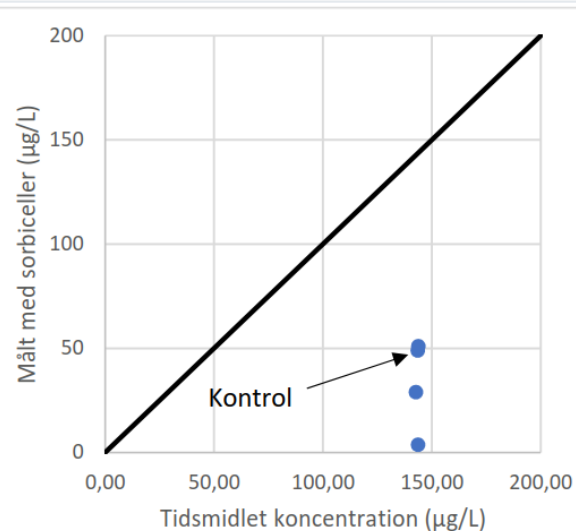
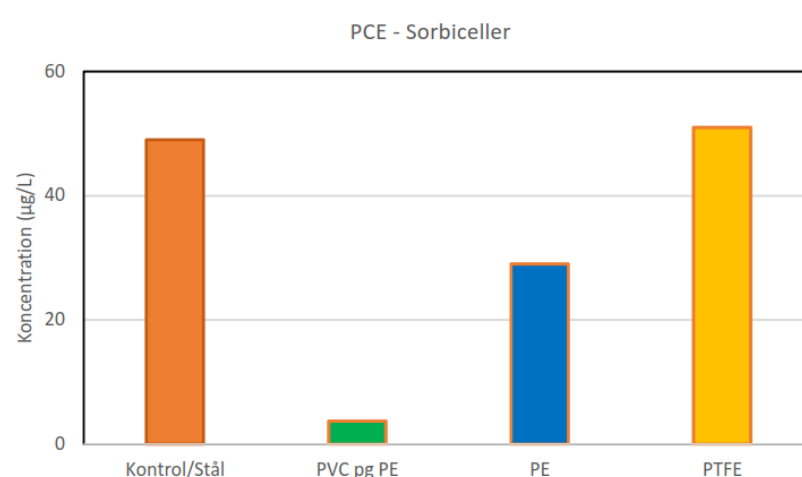
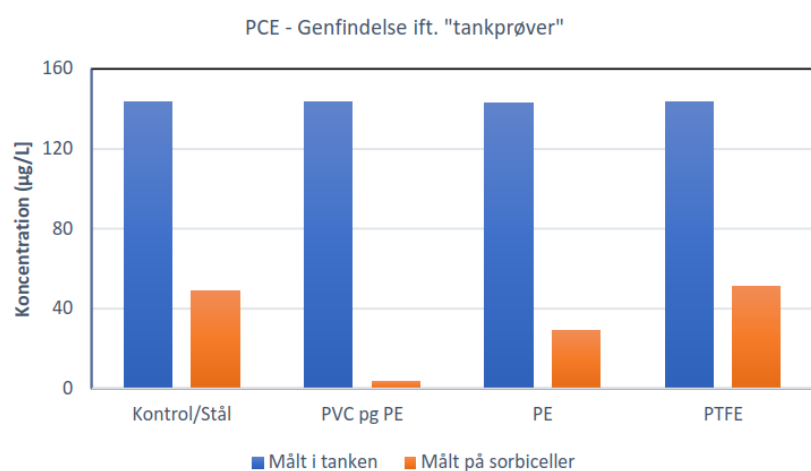


Rådata

Tid	PCE	Kontrol/Stål	PVC pg PE	PE	PTFE				
	µg/L	kg (flaske + vand)							
12-08-17 10:00	320	0,97	0,98	0,98	0,98				
13-08-17 08:00	200	1,26	1,28	1,28	1,27				
14-08-17 08:15	150	1,57	1,58	1,60	1,58				
15-08-17 13:20	110	1,92	1,95	1,99	1,94				
16-08-17 11:45	110	2,21	2,23	2,29	2,22				
17-08-17 13:00	94	2,46	2,48	2,55	2,48				
18-08-17 13:00	77	2,78	2,81	2,90	2,79				

Behandlede data

Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol/Stål	PVC pg PE	PE	PTFE				
	75	78	78	75				
	54	53	56	54				
	46	48	51	47				
	32	31	33	31				
	26	26	27	27				
	27	28	30	27				
Tidsmidlet stofmængde (µg)	260	263	274	260				
Opsamlet vand (L)	1,81	1,83	1,92	1,81				
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	144	144	143	144				
Målt koncentration (µg/L)	49	4	29	51				
Genfindelsesgrad af tidsmidlet (%)	34	3	20	35				
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	8	59	104				



Bilag 5.3 Massebevarelse af TVOC fra benzin

Forsøg med slanger - Benzin - TVOC

Formål:

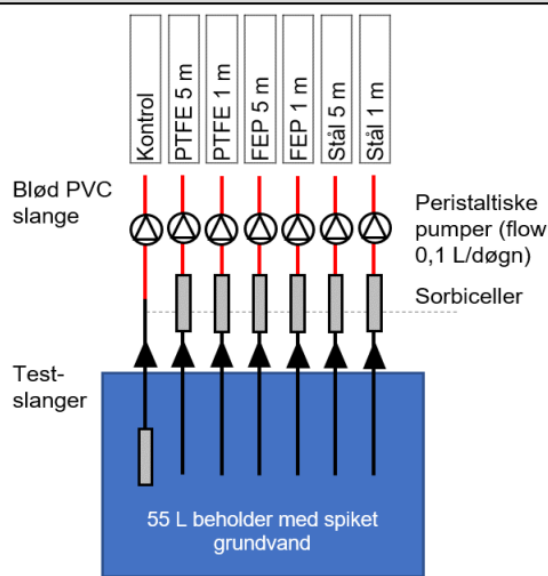
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

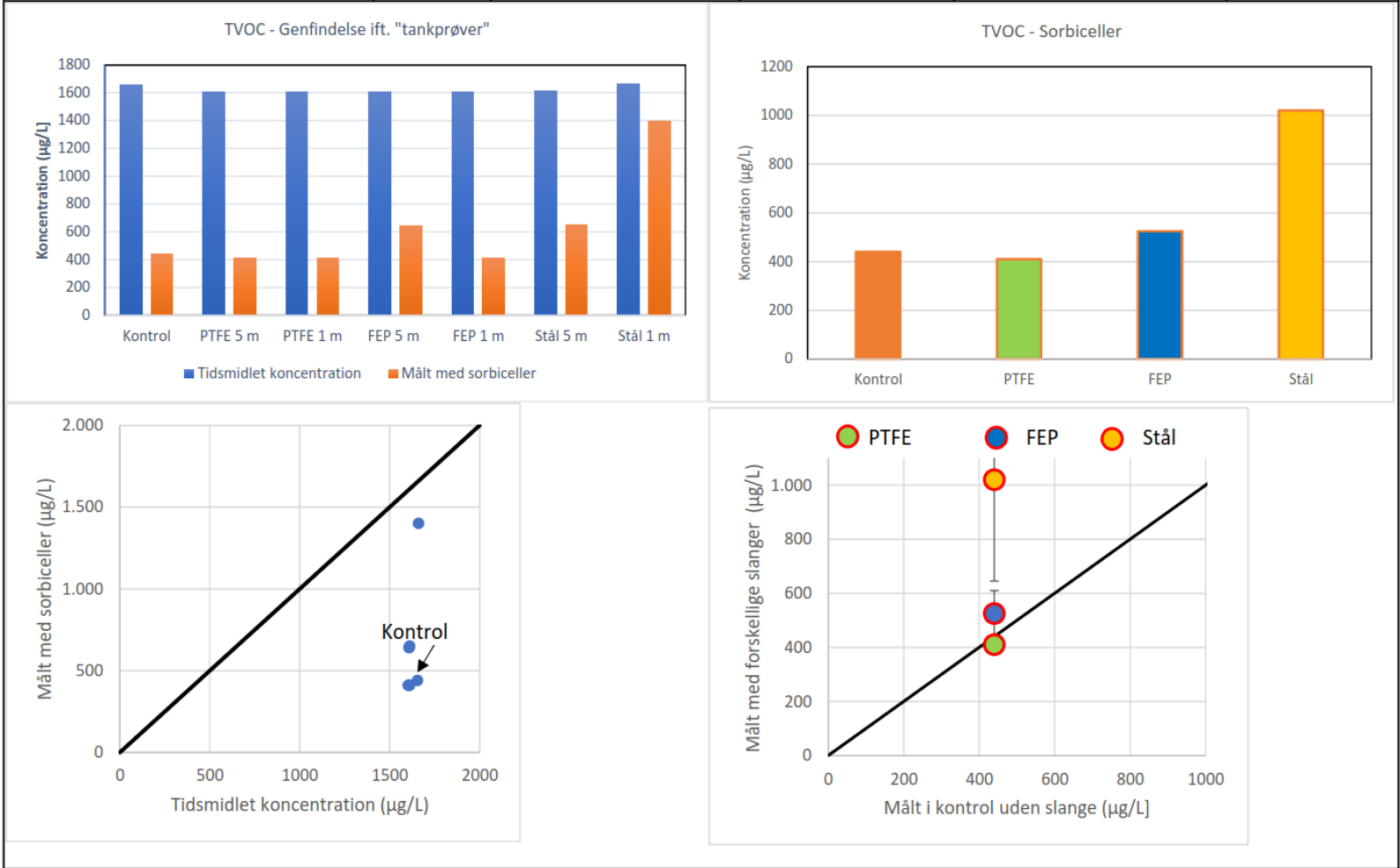
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.

[illegible]

Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m	
	358	385	385	385	385	358	330	
	300	300	300	320	300	280	260	
	136	170	170	153	187	170	136	
	203	203	189	189	189	174	160	
	156	156	169	169	169	156	117	
	141	141	141	130	152	130	98	
	47	94	94	101	94	86	62	
Tidsmidlet stofmængde (µg)	1340	1449	1447	1447	1475	1354	1163	
Opsamlet vand (L)	0,81	0,90	0,90	0,90	0,92	0,84	0,70	
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	1655	1610	1608	1608	1603	1611	1661	
Målt koncentration (µg/L)	440	410	410,0	640,0	410	650	1400	
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	27	25	25	40	26	40	84	
Gennemsnit (µg/L)	440	410		525		1025		
Genfindelse af kontrol (%)	-	93		119		233		



Bilag 5.4 Massebevarelse af benzen fra benzin

Forsøg med slanger - Benzin - benzen

Formål:

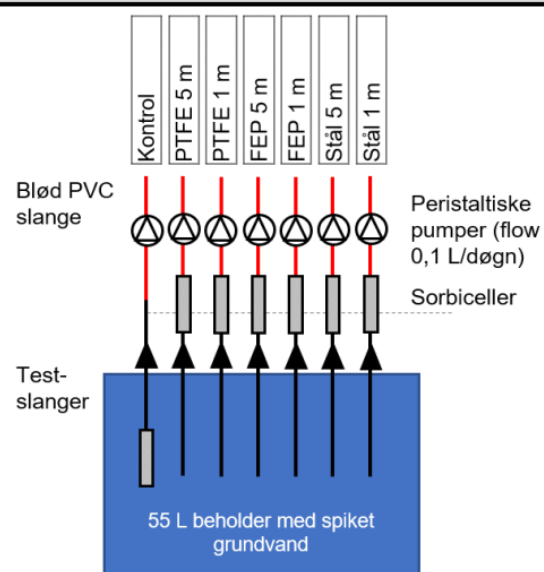
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

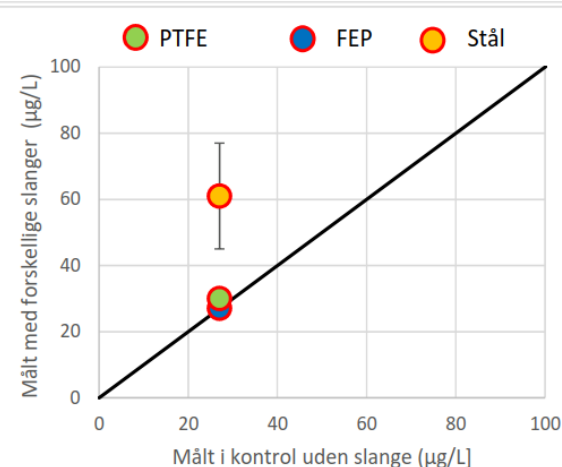
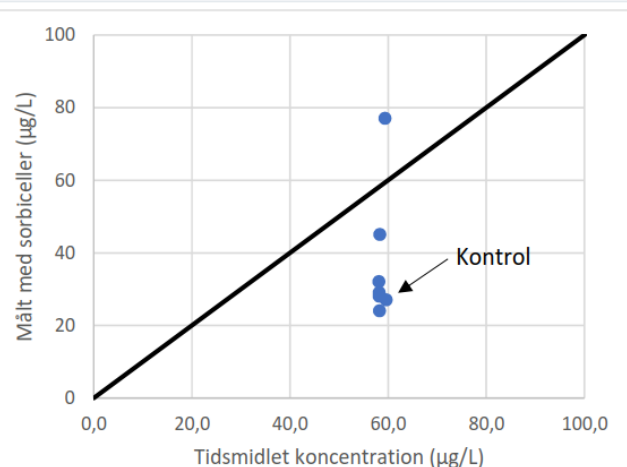
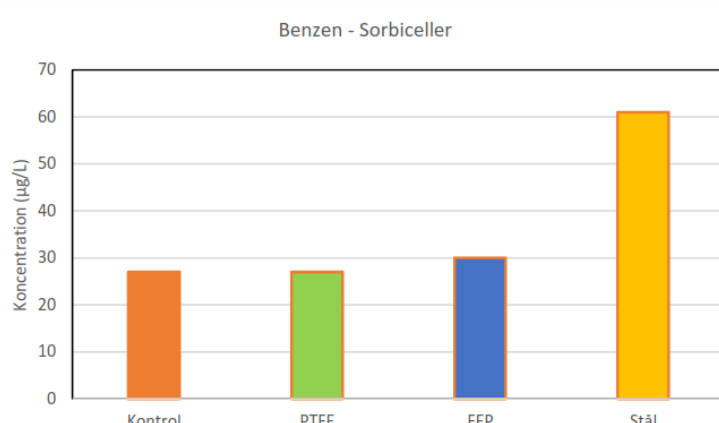
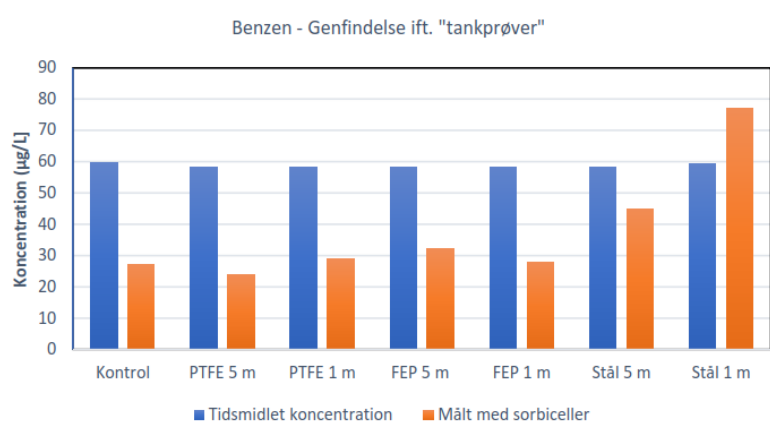
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.

[illegible]

Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m	
	10	10	10	10	10	10	9	
	10	10	10	11	10	10	9	
	5	7	6	6	7	7	5	
	8	8	8	8	8	7	6	
	7	7	7	7	7	7	5	
	6	6	6	6	7	6	4	
	2	4	4	5	4	4	3	
Tidsmidlet stofmængde (µg)	48	52	52	52	54	49	42	
Opsamlet vand (L)	0,81	0,90	0,90	0,90	0,92	0,84	0,70	
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	60	58	58	58	58	58	59	
Målt koncentration (µg/L)	27	24	29,0	32,0	28	45	77	
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	45	41	50	55	48	77	130	
Gennemsnit (µg/L)	27	27		30		61		
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	98		111		226		



Bilag 5.5 Massebevarelse af BTEX'er fra benzin

Forsøg med slanger - Benzin - BTEX'er

Formål:

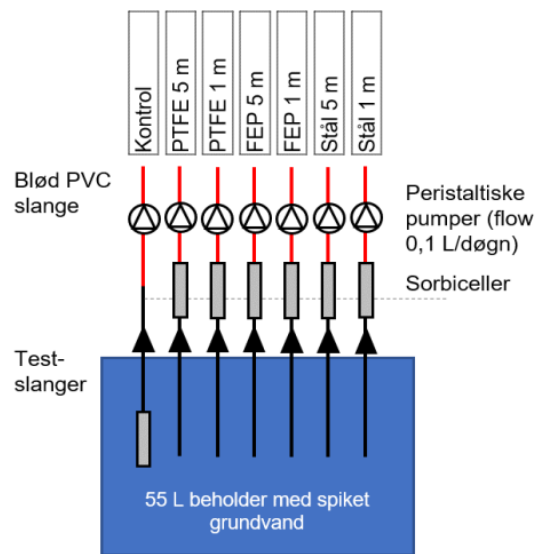
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

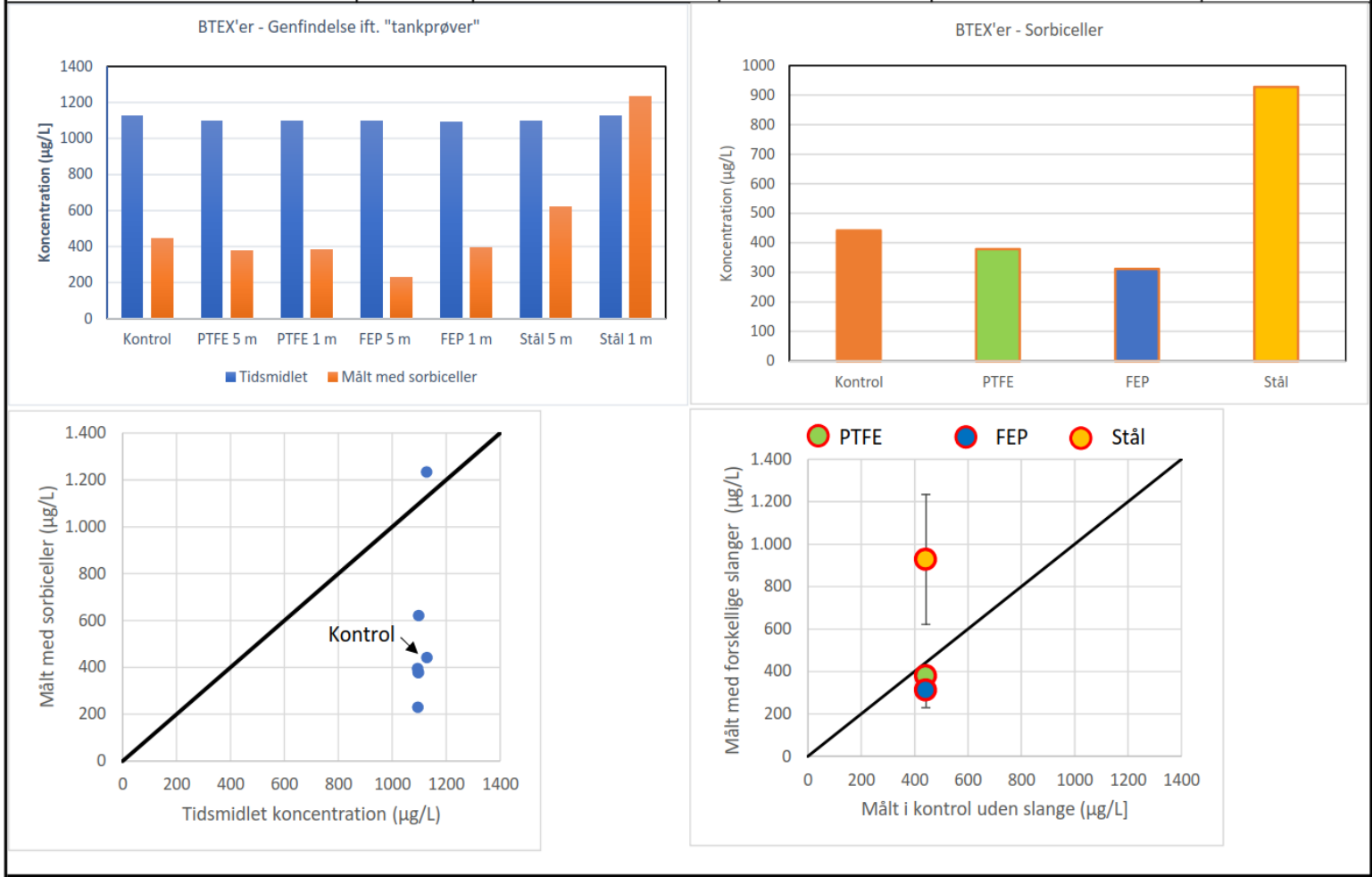
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.

[illegible]

Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m	
	215	231	231	231	231	215	198	
	210	210	210	224	210	196	182	
	96	120	120	108	132	120	96	
	144	144	134	134	134	124	113	
	113	113	123	123	123	113	85	
	103	103	103	95	111	95	71	
	33	65	65	71	65	60	44	
Tidsmidlet stofmængde (µg)	914	987	986	985	1006	922	789	
Opsamlet vand (L)	0,81	0,90	0,90	0,90	0,92	0,84	0,70	
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	1128	1096	1095	1095	1093	1098	1127	
Målt koncentration (µg/L)	442	378	380	230	395	621	1234	
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	39	34	35	21	36	57	109	
Gennemsnit (µg/L)	442	379		312		928		
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	86		71		210		



Bilag 5.6 Massebevarelse af TVOC fra fyringsolie

Forsøg med slanger - Fyringsolie - TVOC

Formål:

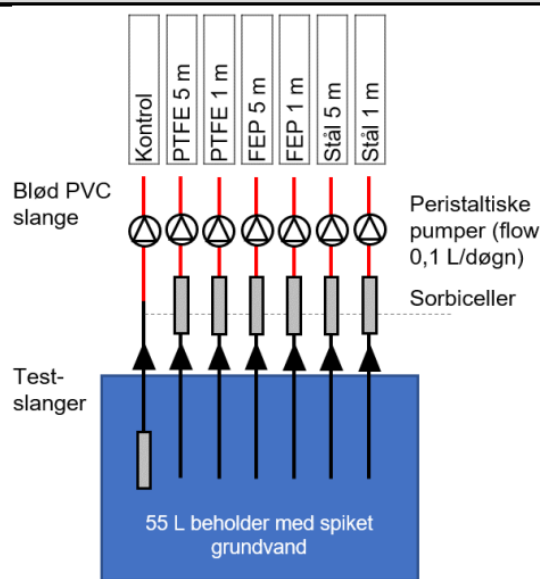
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.



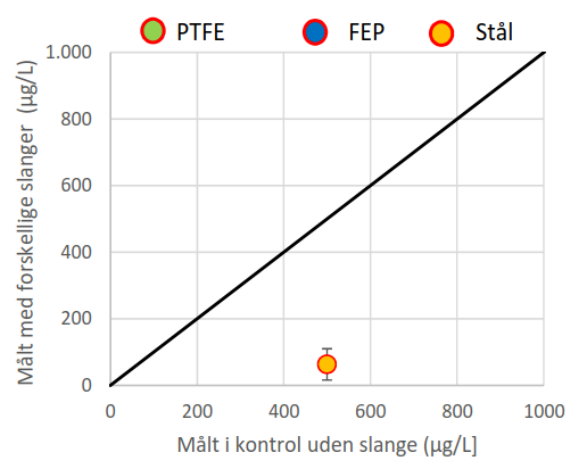
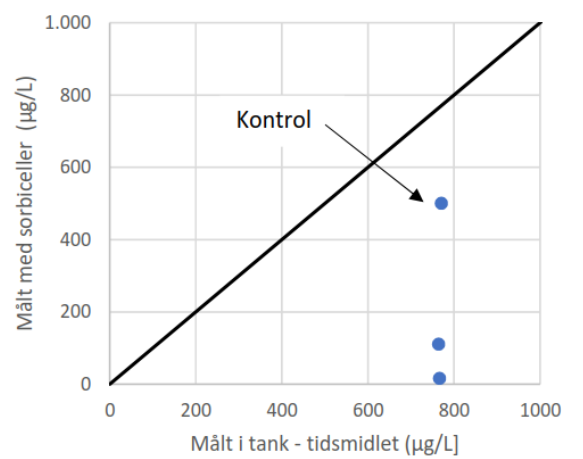
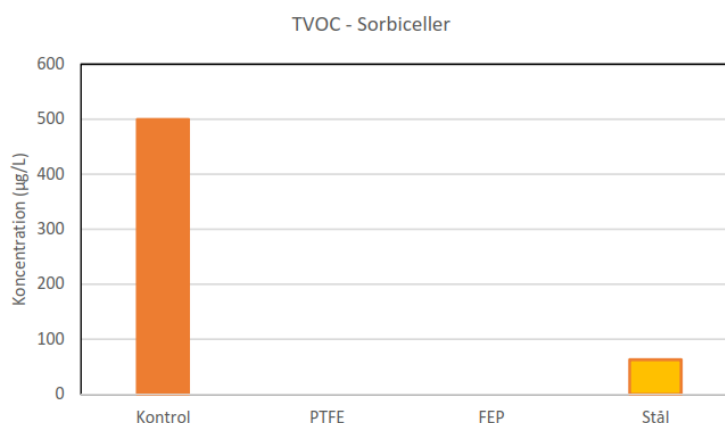
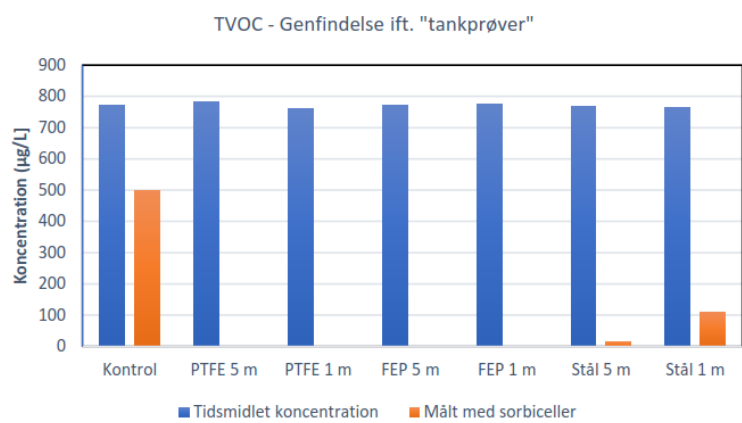
Rådata

[illegible]

* TVOC er korrigeret for den tunge fraktion, som ikke stammer fra fyringsolien og ikke ses af de 7 andre analyser

Behandlede data

Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m
	183	220	183	201	201	183	165
	102	102	110	110	102	94	94
	81	87	87	87	87	87	74
	70	70	70	70	70	70	64
	55	66	66	71	61	55	50
	79	85	85	85	79	79	79
	48	54	54	54	54	54	48
Tidsmidlet stofmængde (µg)	617	682	654	677	653	621	573
Opsamlet vand (L)	0,80	0,87	0,86	0,88	0,84	0,81	0,75
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	771	784	760	770	777	767	764
Målt koncentration (µg/L)	500	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	16	110
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	65	-	-	-	-	2	14
Gennemsnit (µg/L)	500	i.p.		i.p.		63	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	-		-		13	



Bilag 5.7 Massebevarelse af benzen fra fyringsolie

Forsøg med slanger - Fyringsolie - benzen

Formål:

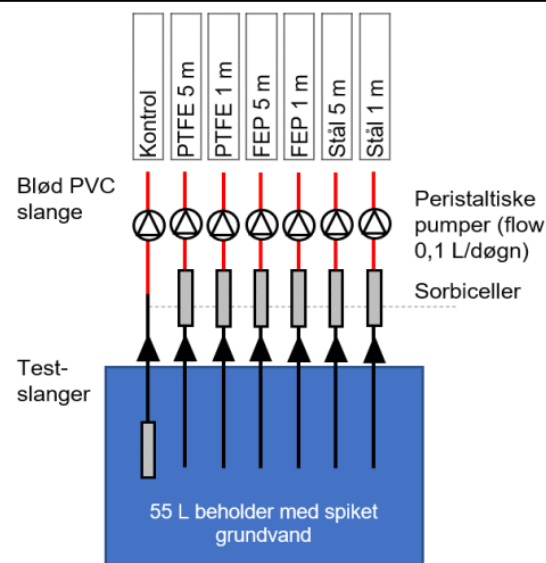
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

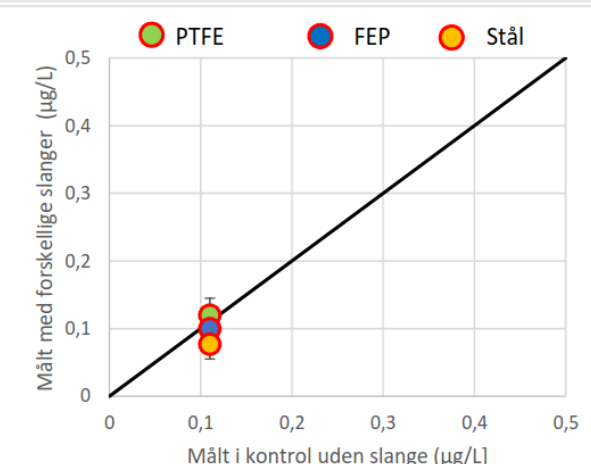
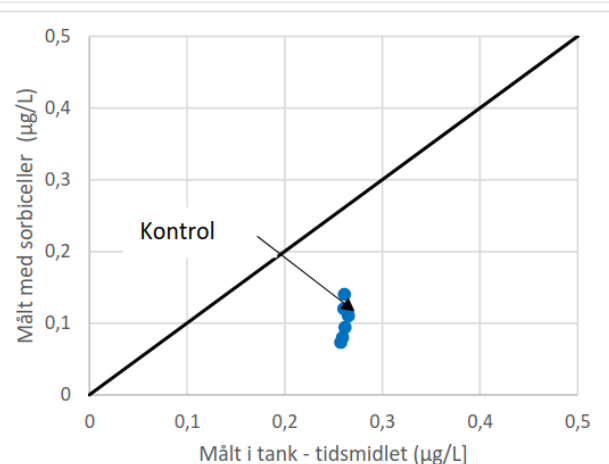
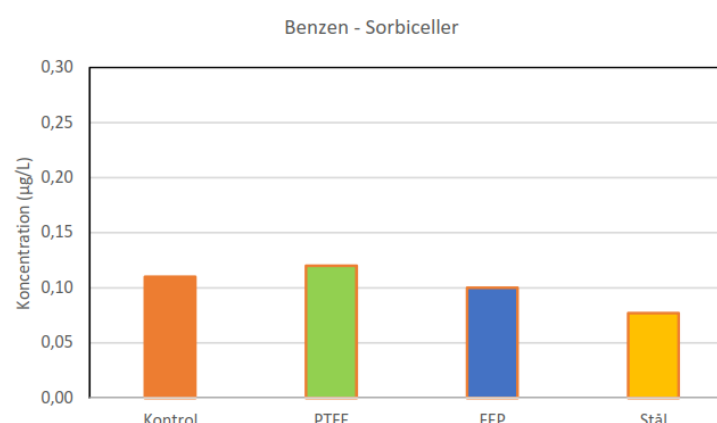
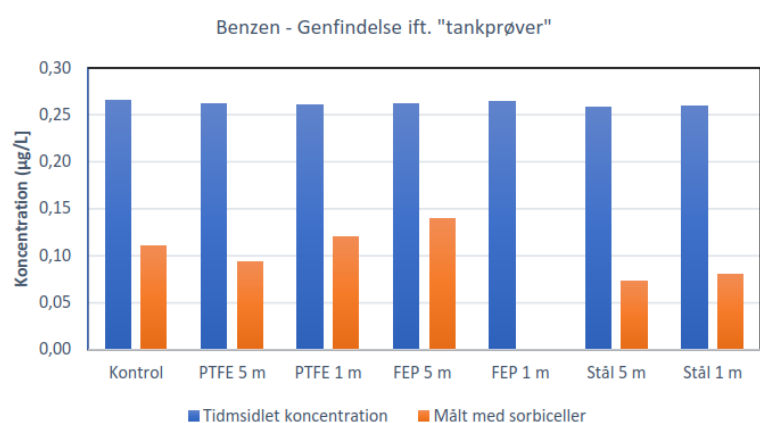
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.

[illegible]

		Behandlede data						
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m	
	0,058	0,069	0,058	0,063	0,063	0,058	0,052	
	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,092	0,092	
	0,055	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,050	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Tidsmidlet stofmængde (µg)	0,21	0,23	0,22	0,23	0,22	0,21	0,19	
Opsamlet vand (L)	0,80	0,87	0,86	0,88	0,84	0,81	0,75	
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
Målt koncentration (µg/L)	0,11	0,094	0,12	0,14	<0,05	0,07	0,08	
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	41	36	46	54	-	28	31	
Gennemsnit (µg/L)	0,11	0,11		0,10		0,077		
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	97		86		70		



Bilag 5.8 Massebevarelse af BTEX'er fra fyringsolie

Forsøg med slanger - Fyringsolie - BTEX'er

Formål:

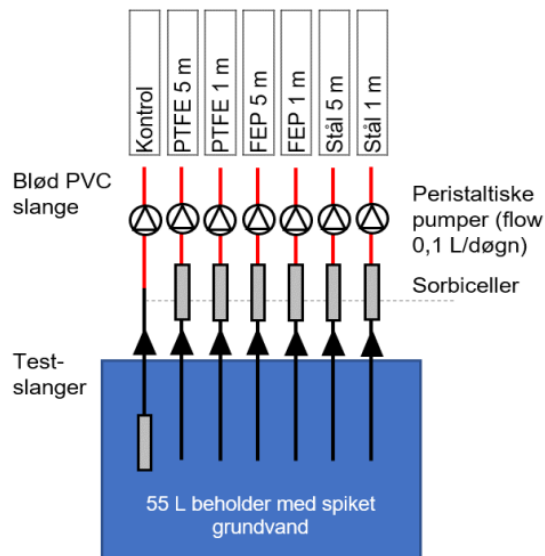
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

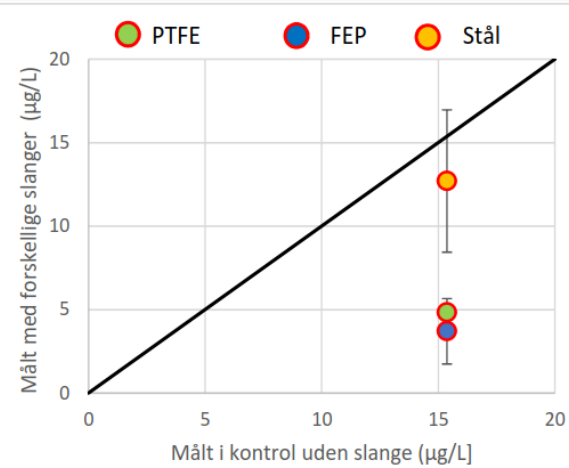
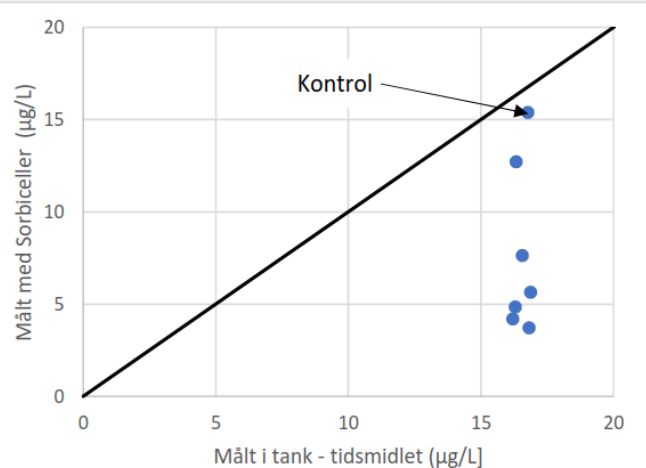
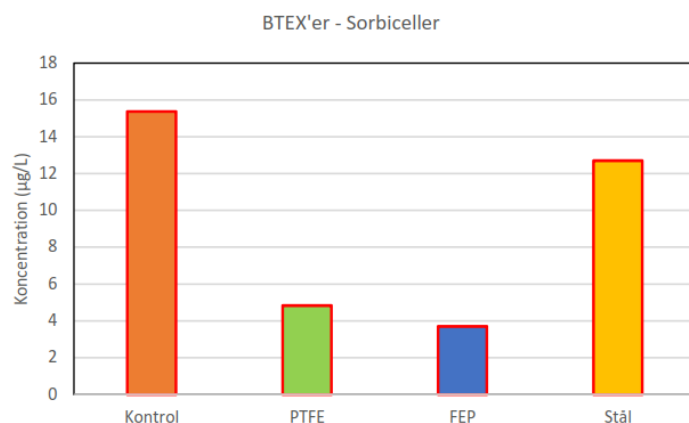
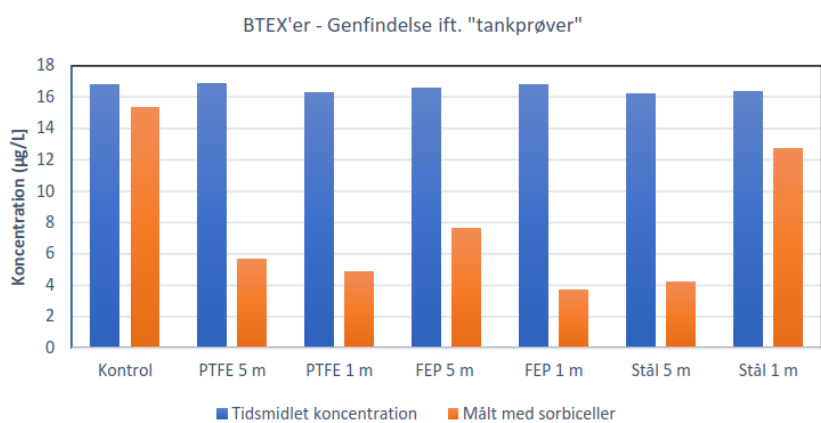
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålør.



Rådata									
Tid	BTEX'er	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m	
	µg/L	kg (flaske + vand)							
12-02-18 07:45	54	1,01	0,99	1,01	1,00	0,99	1,01	1,00	
13-02-18 07:45	57	1,11	1,11	1,11	1,11	1,1	1,11	1,09	
14-02-18 07:45	32	1,24	1,24	1,25	1,25	1,23	1,23	1,21	
15-02-18 07:45	0	1,37	1,38	1,39	1,39	1,37	1,37	1,33	
16-02-18 07:45	0	1,49	1,5	1,51	1,51	1,49	1,49	1,44	
17-02-18 07:45	0	1,59	1,62	1,63	1,64	1,6	1,59	1,53	
18-02-18 07:45	0	1,73	1,77	1,78	1,79	1,74	1,73	1,67	
19-02-18 07:45	0	1,81	1,86	1,87	1,88	1,83	1,82	1,75	
Behandlede data									
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m		
	6	7	6	6	6	6	5		
	6	6	6	6	6	5	5		
	2	2	2	2	2	2	2		
	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0		
Tidsmidlet stofmængde (µg)	13	15	14	15	14	13	12		
Opsamlet vand (L)	0,80	0,87	0,86	0,88	0,84	0,81	0,75		
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	17	17	16	17	17	16	16		
Målt koncentration (µg/L)	15	5,6	4,8	7,6	3,7	4,2	13		
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	92	33	30	46	22	26	78		
Gennemsnit (µg/L)	15	5,2		5,7		8,4			
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	34		36,82		55			



Bilag 5.9 Massebevarelse af TCE

Forsøg med slanger - Chlorerede - TCE

Formål:

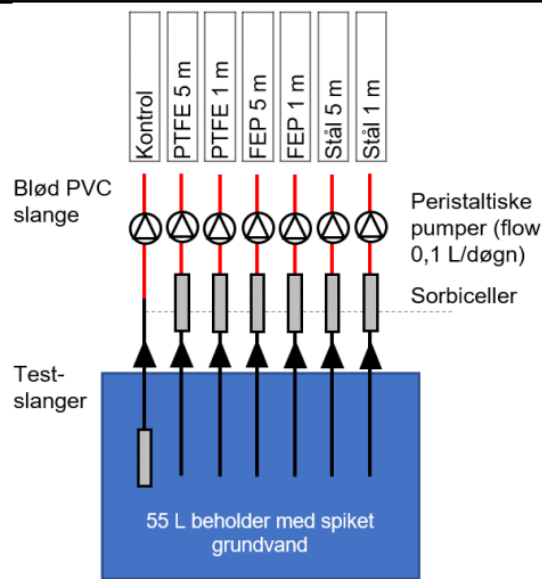
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

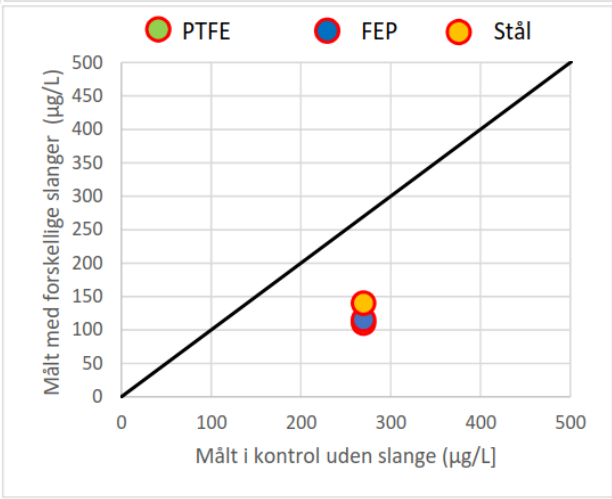
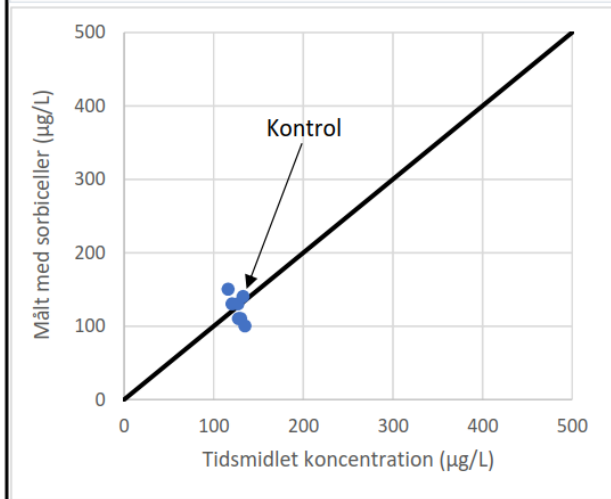
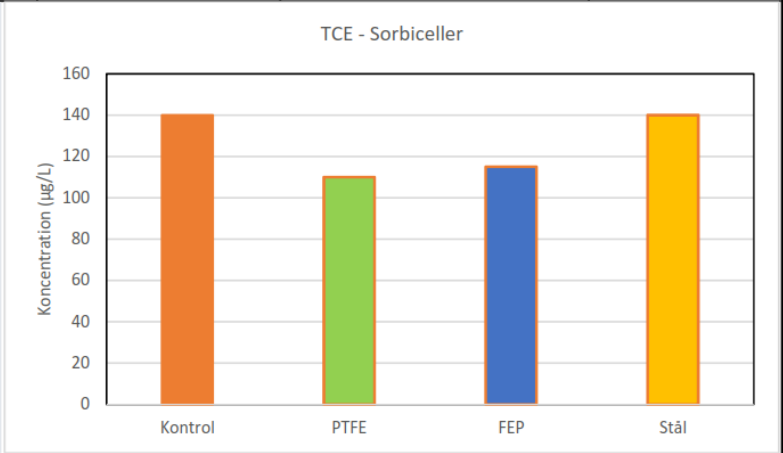
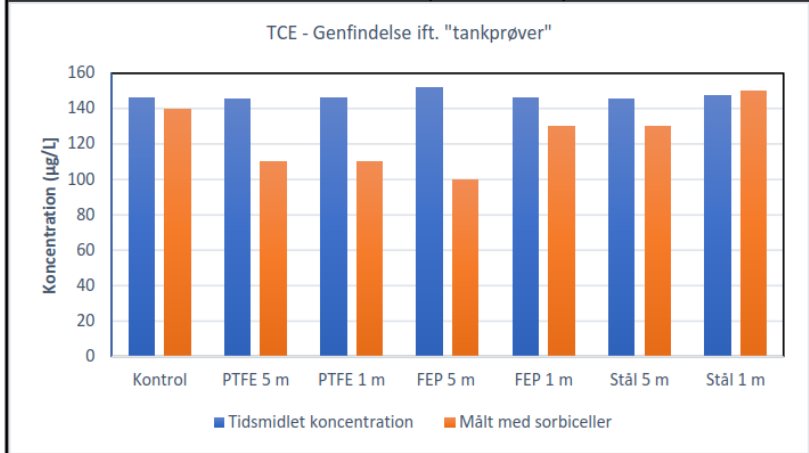
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.

[illegible]

Behandlede data							
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m
	29	27	29	57	28	25	26
	24	22	24	0	23	21	22
	17	16	15	17	16	15	15
	17	16	15	17	16	15	15
	14	14	14	14	13	13	12
	13	13	13	13	12	12	12
	20	20	20	18	19	19	14
Tidsmidlet stofmængde (µg)	133	128	130	135	127	121	116
Opsamlet vand (L)	0,91	0,88	0,89	0,89	0,87	0,83	0,79
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	146	146	146	152	146	145	147
Målt koncentration (µg/)	140	110	110,0	100,0	130	130	150
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	96	76	75	66	89	89	102
Gennemsnit (µg/L)	140	110		115		140	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	79		82		100	



Bilag 5.10 Massebevarelse af PCE

Forsøg med slanger - Chlorerede - PCE

Formål:

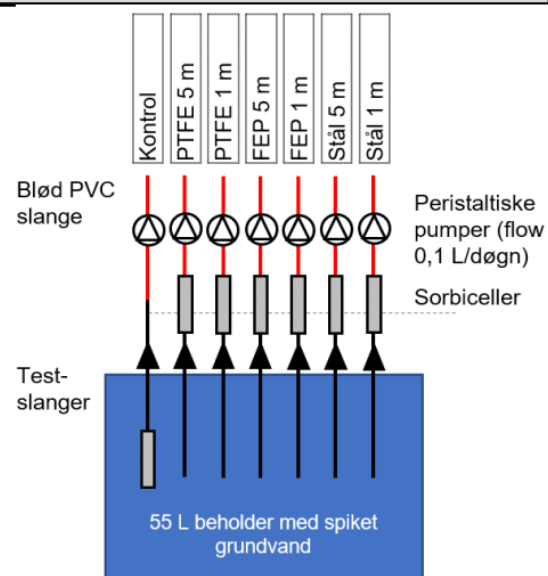
Undersøge adsorption i slanger

Bemærkninger:

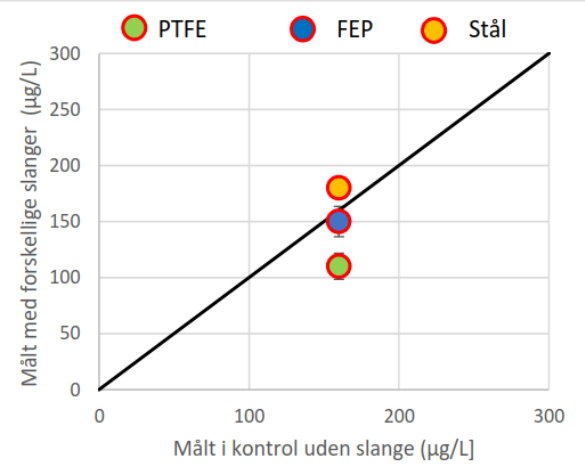
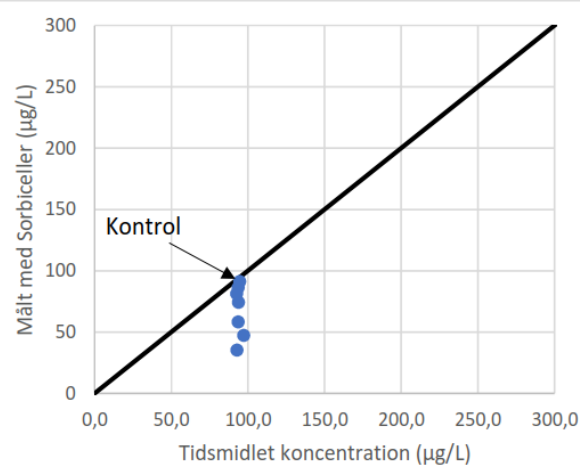
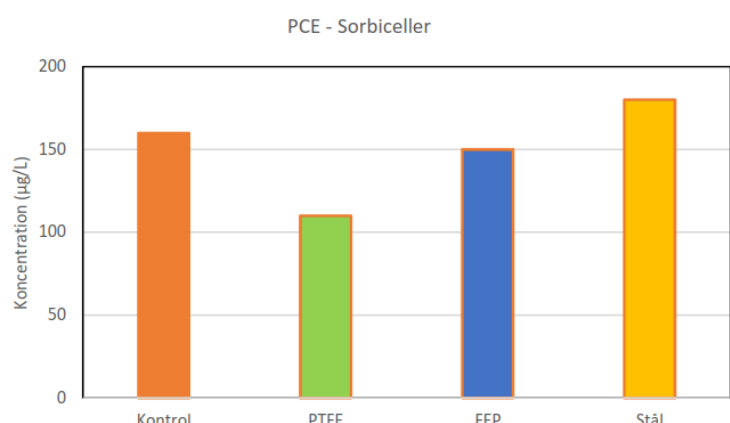
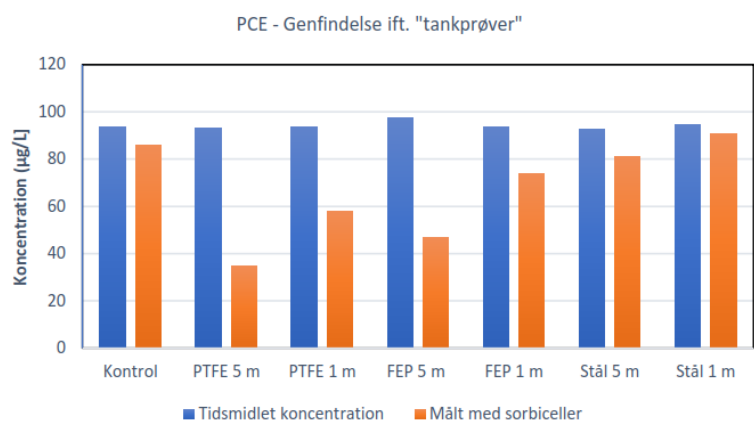
Der blev testet tre slangetyper, hhv. PTFE, FEP og stål.

Alle tre typer blev testet i 1 og 5 m

Der var en kontrol, hvor sorbicellen var nedsænket direkte i tanken uden stålrør.

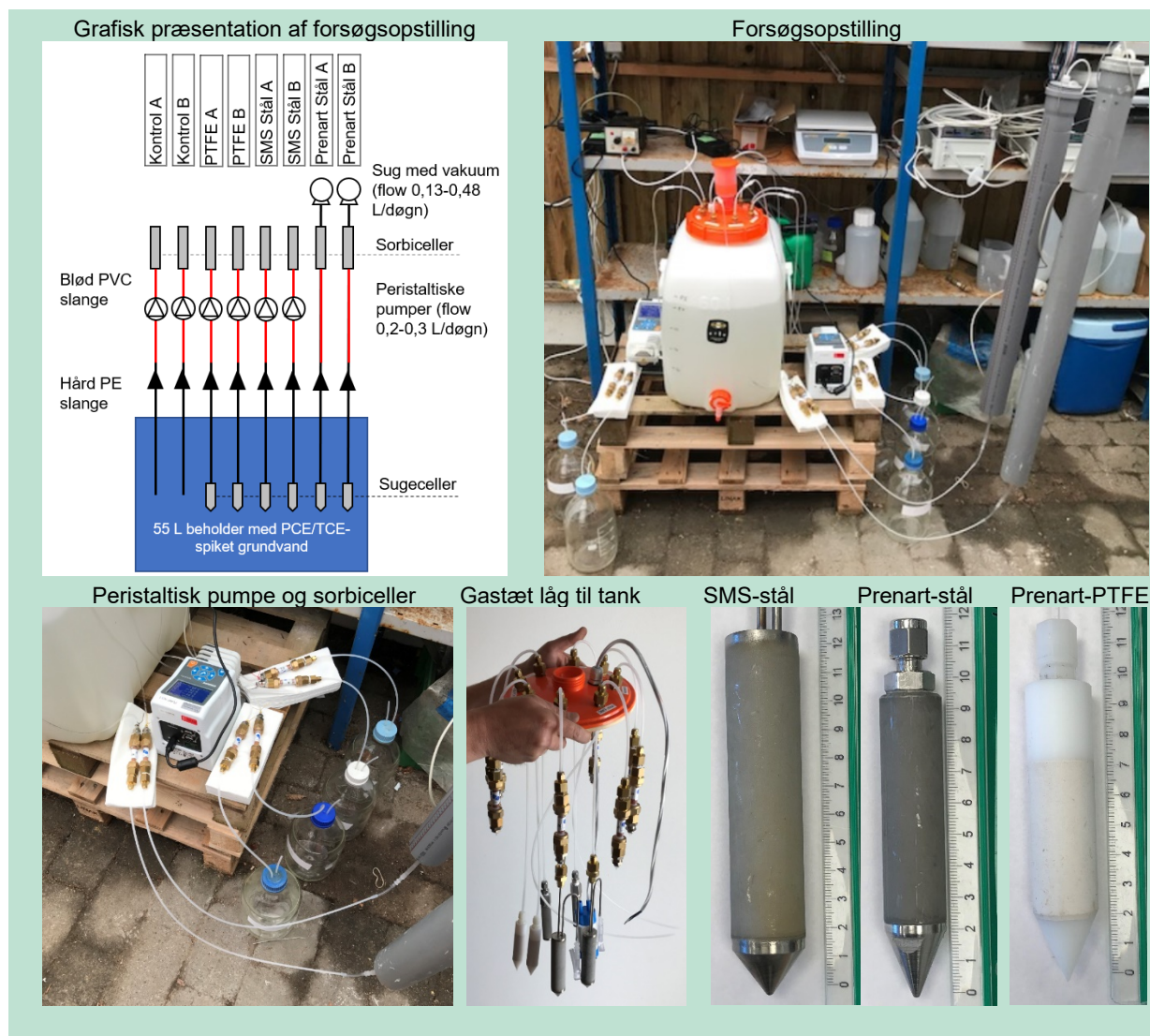


Rådata								
Tid	PCE	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m
	µg/L	kg (flaske + vand)						
22-02-18 08:00	130	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98
23-02-18 06:30	140	1,14	1,12	1,13	1,28	1,12	1,12	1,12
24-02-18 16:30	94	1,29	1,26	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25
25-02-18 18:00	88	1,41	1,38	1,39	1,40	1,38	1,36	1,36
26-02-18 15:00	81	1,53	1,49	1,50	1,52	1,49	1,47	1,47
27-02-18 07:30	73	1,63	1,59	1,60	1,62	1,59	1,57	1,56
28-02-18 07:30	73	1,73	1,69	1,70	1,72	1,68	1,66	1,65
01-03-18 18:00	60	1,90	1,86	1,87	1,87	1,84	1,82	1,77
Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol	PTFE 5 m	PTFE 1 m	FEP 5 m	FEP 1 m	Stål 5 m	Stål 1 m	
	20	19	20	41	20	18	18	
	18	16	18	0	17	15	16	
	11	10	10	11	10	10	10	
	10	10	9	10	10	9	9	
	8	8	8	8	7	7	7	
	7	7	7	7	7	7	7	
	11	11	11	10	11	11	8	
Tidsmidlet stofmængde (µg)	85	82	83	87	82	77	75	
Opsamlet vand (L)	0,91	0,88	0,89	0,89	0,87	0,83	0,79	
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	94	93	94	97	94	93	95	
Målt koncentration (µg/L)	86	35	58,0	47,0	74	81	91	
Genfindelse af tidsmidlet konc. (%)	92	38	62	48	79	87	96	
Gennemsnit (µg/L)	86	47		61		86		
Genfindelsesgrad af kontrol (%)	-	54		70		100		



Bilag 6. Sugecelleforsøg

Undersøgelse af eventuel adsorption i sugecellerne blev testet ved en række batchforsøg, hvor en beholder med 55 L grundvand blev spiket med henholdsvis chlorerede opløsningsmidler og fyringsolie i to forsøgsrækker. Der blev testet tre forskellige sugeceller, som er nærmere beskrevet i afsnit 6.2.2. Fotos fra forsøgene er vist i nedenstående figur, sammen med en skematisk præsentation af forsøgsopstillingen.



FIGUR 6.1. Forsøg med test af adsorption i sugeceller.

Forsøgene blev udført med duplikater på alle sugeceller og kontroller svarende til i alt 8 linjer/enkeltforsøg, der løbende sugede vand fra tanken. Flowet blev kontrolleret med en peristaltisk pumpe på kontrollerne og på linjerne med SMS stålsugeceller og PTFE sugeceller. I det første forsøg (chlorerede opløsningsmidler), var det ikke muligt at få linjerne med stålsugeceller fra Prenart tilstrækkeligt tætte til at flowet kunne vedligeholdes med den peristaltiske pumpe. Disse linjer blev derfor monteret med porevandsprøvetagere, så der kunne etableres og vedligeholdes et stabilt vakuum/flow. Ved det andet forsøg (fyringsolie) blev tætningen optimeret, så alle linjer blev styret med peristaltiske pumper.

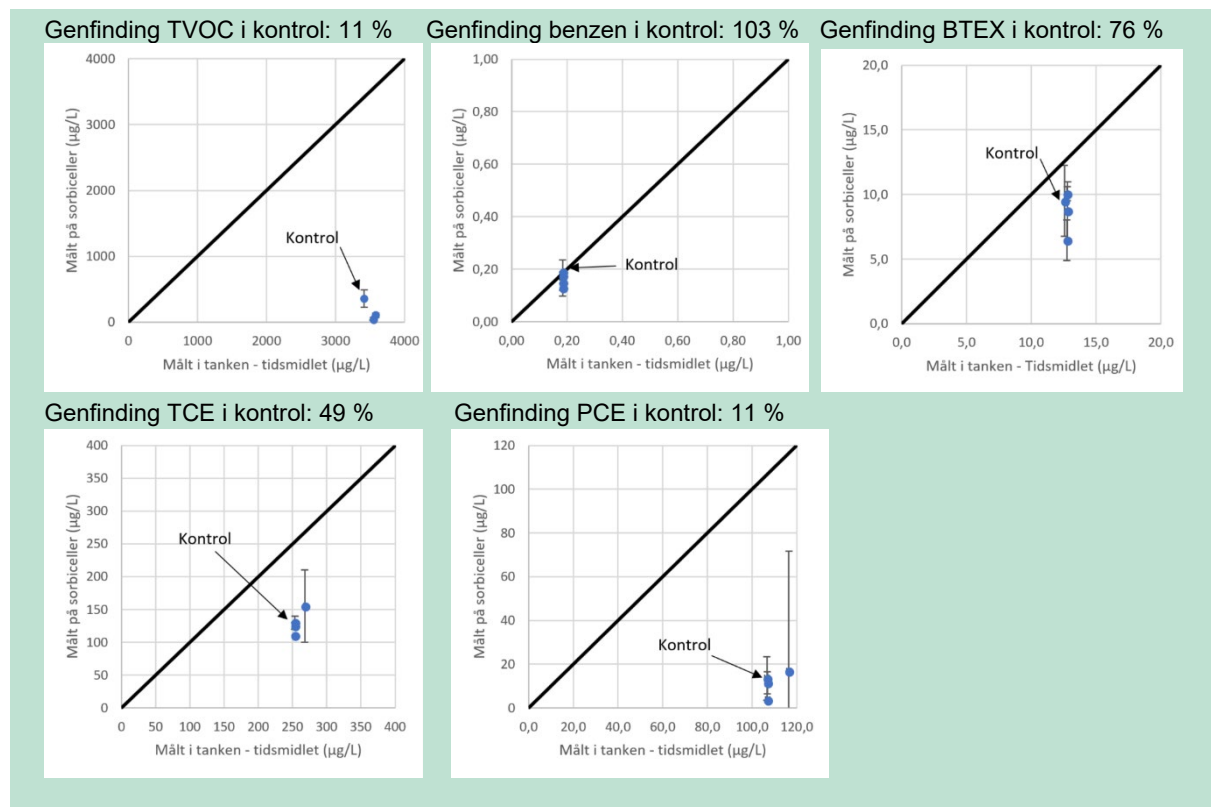
De enkelte linjer/slanger var ført ned i tanken via en specialfremstillet gastæt gennemføring i låget. Trykudligning blev sikret med en vandlås installeret i låget. Omrøring i tanken blev sikret med dykpumpe. I bunden af tanken var

der installeret en hane til løbende vandprøvetagning fra tanken, så koncentrationsudviklingen i testopløsningen kunne følges via indsendelse af almindelige vandprøver til kemisk analyse.

Som det fremgår af figur 6.1, var der to forskellige slangetyper mellem sugecellen og sorbicellen, hhv. en PE-slange der leder ned i tanken til sugecellen og en blød PVC-slange til den peristaltiske pumpe. Begge slangetyper på alle linjer var ens længder (60 cm PE-slange og 60 cm PVC-slange) så eventuelle effekter fra slangerne vil være ens. Anvendelse af den bløde PVC-slange skulle vise sig at være problematisk, hvorfor placeringen af denne er ændret i følgende forsøg med slangetests.

Forsøgene kørte over ca. 7 døgn, svarende til et normalt flow på 0,1-0,3 L/døgn ved en porevandsprøvetagning, bortset fra den ene linje med Prenart-stål hvor flowet blev relativt højt, så forsøget var færdig efter ca. 4 døgn. I løbet af de 7 døgn blev vandet fra hver linje opsamlet i bluecapflasker og afvejet dagligt, og der blev udtaget vandprøver fra tanken hver dag, idet et forforsøg havde vist at koncentrationen i tanken falder over tid i et ikke-lineært forløb. Kombinationen af daglige vandprøver fra tanken og daglig afvejning af vand, der er kørt igennem hver linje, giver mulighed for at beregne en tidsmidlet koncentration for hver linje, som burde svare til den koncentration, der måles på hver sorbicelle. Ved denne korrektion tages der højde for det ikke-lineære forløb af koncentrationen i tankens vandfase.

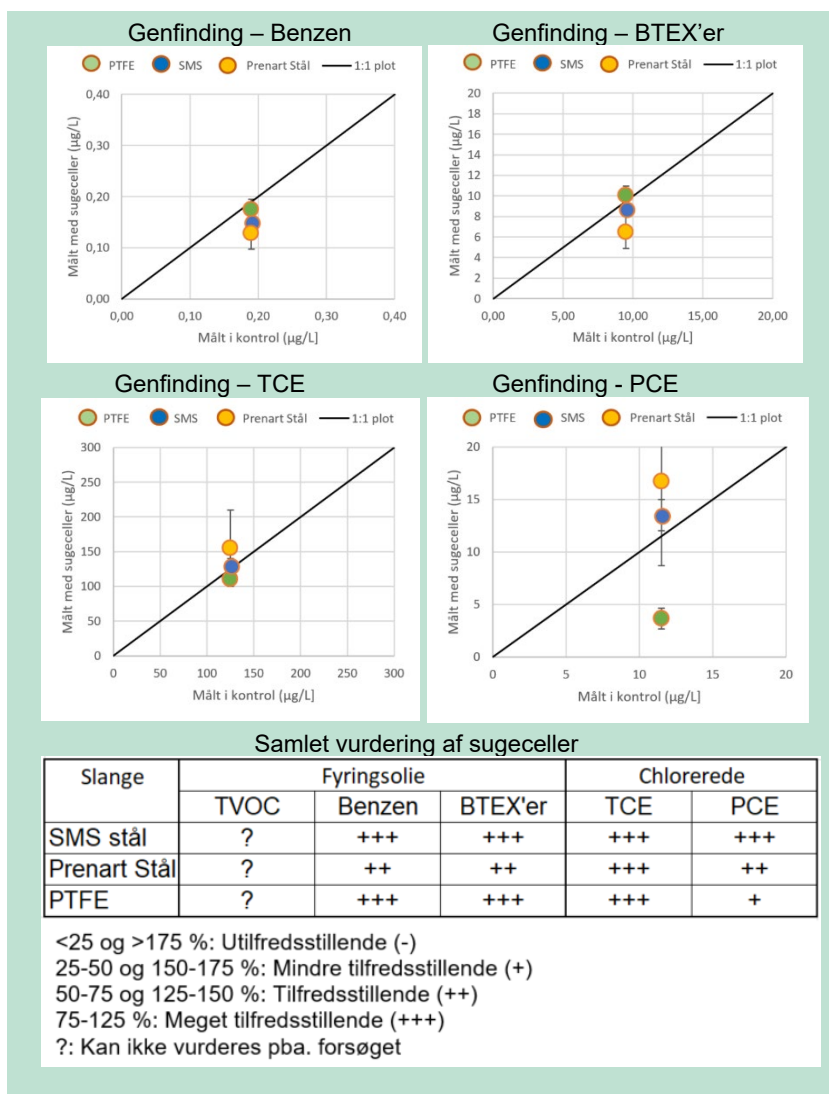
I nedenstående figur er der vist 1:1 plots for sammenhængen mellem koncentrationer målt på sorbiceller og tidsmidlede koncentrationer fra tanken. Som det fremgår, er genfindingen i kontrollerne (dvs. uden sugeceller) af TCE og PCE hhv. 49 og 11 %, mens genfindingen for TVOC, benzen og BTEX'er er hhv. 11, 103 og 76 %. Resultaterne indikerer dermed, at der er forekommet massetab i slangerne, hvilket medfører, at yderligere sammenligning med tidsmidlede koncentrationer ikke er mulig. Det vurderes endvidere at massetabet i slangerne har været så stort, at det ikke er muligt eksplicit at vurdere hvilken sugecelle der egner sig bedst til TVOC fra fyringsolie. Årsagen til det relativt store massetab skyldes, at der ved disse forsøg, som blev udført før slangeforsøgene, var placeret en relativ blød pvc slange til de peristaltiske pumper inden sorbicellerne, hvilket er skitseret på figuren i bilag 6.1 – 6.5. I slangeforsøgene blev sorbicellen flyttet opstrøms den peristaltiske pumpe for at fjerne denne effekt fra PVC-slangen (jf. bilag 5).



FIGUR 6.1. Sammenligning af koncentrationer fra sorbiceller og tidsmidlede koncentrationer fra tank.

Overordnet er det bemærkelsesværdigt at genfindingen for benzen, TCE og PCE (103, 49 og 11 %) er positivt korreleret med opløseligheden, og negativt korreleret med Log (K_{ow}), K_{oc} og Henry's konstant (K_H), jf. standardparametrene i JAGG 2.1. Genfindingen er positivt korreleret med diffusionskoefficienten, hvilket er den omvendte tendens af det forventede, hvis diffusion ud igennem slangerne skulle være en dominerende mekanisme for massetab i slangerne. I slangesystemerne med PE og blød PVC tyder resultaterne således på, at adsorption er den dominerende mekanisme. Hvis BTEX-resultatet inddrages findes den stærkeste (negative) korrelation dog imellem genfinding og K_H , hvilket kunne tyde på at tab grundet flygtighed også spiller en rolle.

Til trods for at det ikke er muligt at sammenligne med de tidsmidlede koncentrationer, er det dog muligt at undersøge effekter af massetab af benzen, BTEX'er TCE og PCE i sugecellerne ved at sammenligne resultater fra målinger med sorbiceller internt imellem linjerne, idet der er medtaget kontroller uden sugeceller, men med ens slangematerialer og -længder. Resultaterne og databehandlingen af disse resultater fremgår af bilag 6.1-6.5 og 1:1 plots er gengivet i nedenstående figur.



FIGUR 6.2. Sammenligning af koncentrationer mellem linjer med sugeceller og kontrollen.

Overordnet fungerer alle sugeceller tilfredsstillende eller meget tilfredsstillende til undersøgelse af benzen, BTEX'er og TCE, mens PTFE er fundet mindre egnet til PCE. Reelt er der tale om små nuanceforskelle mellem adsorptionsegenskaberne for SMS og Prenart Stål, men der er betydelige praktiske fordele ved Prenart stål, idet denne sugecelle kun har et sugerør, så man undgår at skulle afproppe det andet rør. Dette har erfaringsmæssigt givet problemer. Desuden kan denne sugecelle bestilles i Danmark, så man undgår lange leveringstider og told,

som er fundet at være tilfældet med SMS. Sugecellen fra Prenart (ca. 1.000 kr) er desuden betydelig billigere end sugecellen fra SMS (ca. 2.500 kr. afhængig af told og kurser).

Bilag 6.1 Massebevarelse af TVOC i sugeceller

Forsøg med sugeceller - Fyringsolie - TVOC

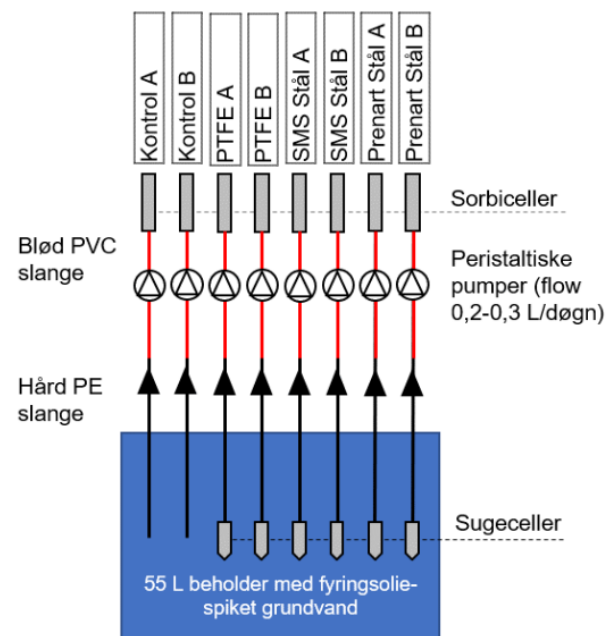
Formål:

Undersøge adsorption i sugeceller

Bemærkninger:

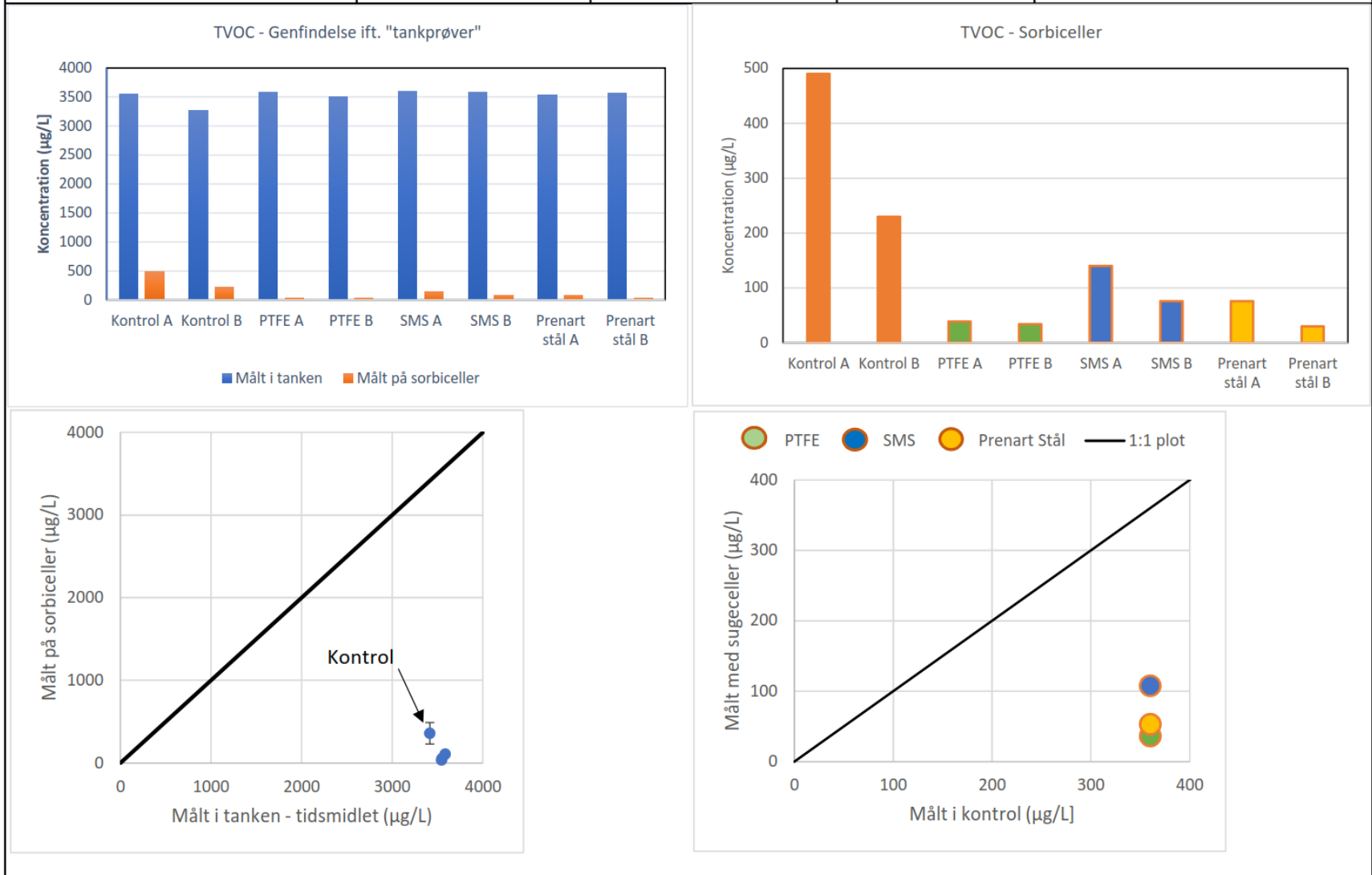
Risiko for tab i PE-slanger

Risiko for tab i blød PVC slange



Rådata									
Tid	TVOC	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	µg/L	kg (flaske + vand)							
15-09-17 15:15	6.400	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
16-09-17 09:15	4.300	1,21	1,10	1,24	1,15	1,24	1,23	1,23	1,24
16-09-17 20:35	3.700	1,35	1,31	1,39	1,30	1,38	1,38	1,37	1,39
17-09-17 13:00	3.100	1,56	1,59	1,61	1,52	1,60	1,60	1,59	1,61
17-09-17 20:00	2.200	1,63	1,69	1,68	1,58	1,68	1,68	1,67	1,70
18-09-17 09:00	2.100	1,78	1,88	1,85	1,72	1,84	1,85	1,84	1,86
18-09-17 15:30	1.300	1,86	1,97	1,94	1,78	1,92	1,93	1,93	1,95

Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	1177	589	1391	856	1338	1338	1284	1338
	560	840	600	600	560	600	560	600
	714	952	748	748	748	748	748	748
	186	265	186	159	212	212	212	239
	323	409	366	301	344	366	366	344
	136	153	153	102	136	136	153	153
Tidsmidlet stofmængde (µg)	3095	3207	3443	2766	3338	3399	3323	3421
Opsamlet vand (L)	0,87	0,98	0,96	0,79	0,93	0,95	0,94	0,96
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	3557	3272	3586	3501	3589	3578	3535	3564
Middelkoncentration (µg/L)	3415		3544		3583		3549	
Målt koncentration (µg/L)	490	230	39	34	140	76	76	30
Middelkoncentration (µg/L)	360		37		108		53	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)			10		30		15	



Bilag 6.2 Massebevarelse af benzen i sugeceller

Forsøg med sugeceller - Fyringsolie - Benzen

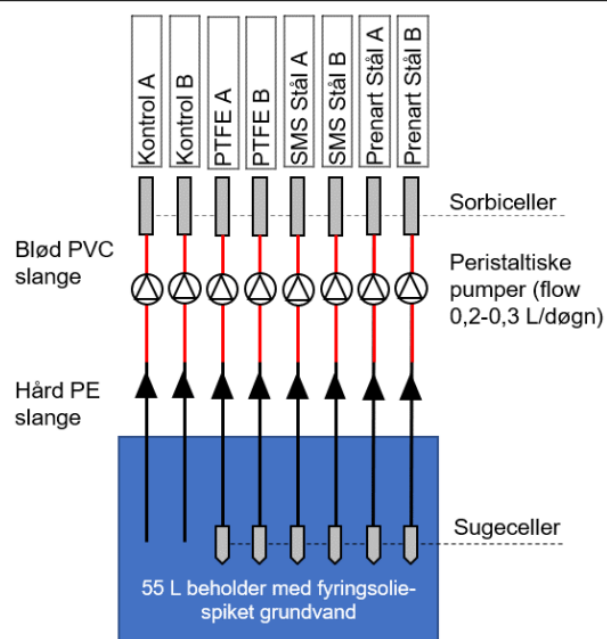
Formål:

Undersøge adsorption i sugeceller

Bemærkninger:

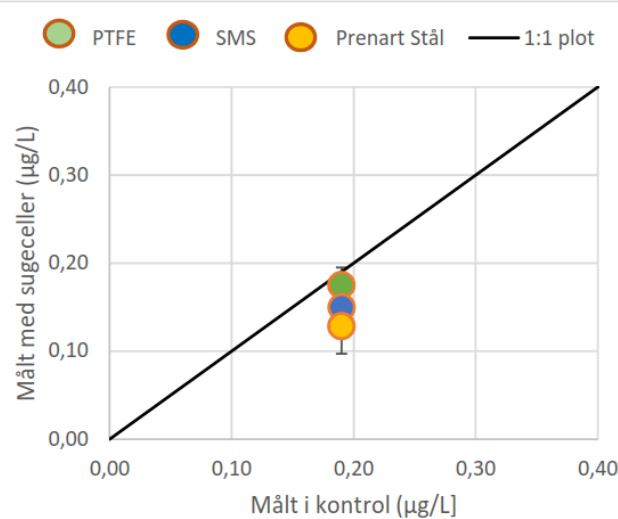
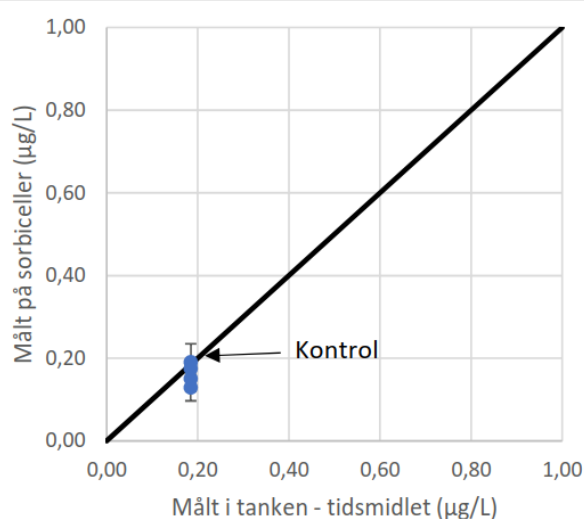
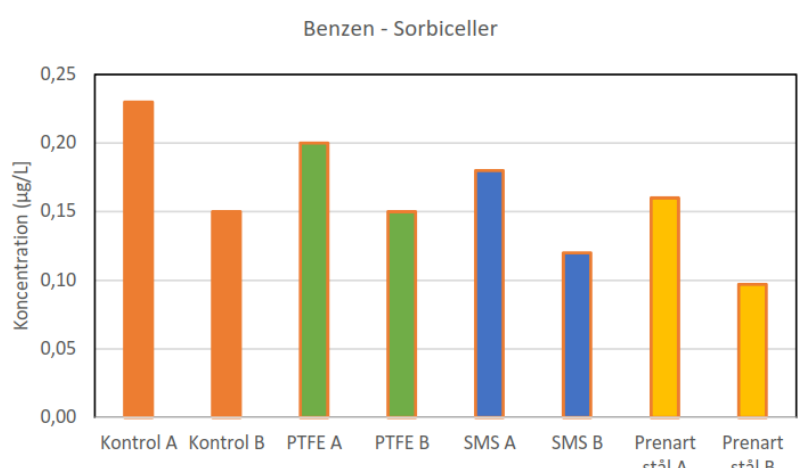
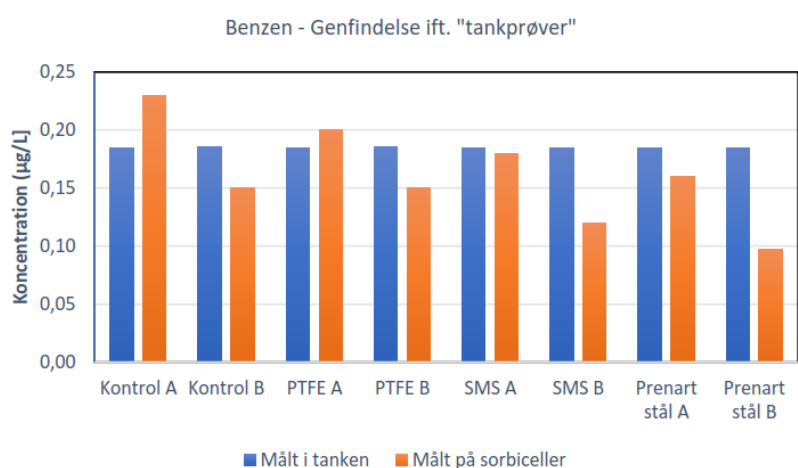
Risiko for tab i PE-slanger

Risiko for tab i blød PVC slange



Rådata									
Tid	Benzen	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	µg/L	kg (flaske + vand)							
15-09-17 15:15	0,17	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
16-09-17 09:15	0,20	1,21	1,10	1,24	1,15	1,24	1,23	1,23	1,24
16-09-17 20:35	0,19	1,35	1,31	1,39	1,30	1,38	1,38	1,37	1,39
17-09-17 13:00	0,19	1,56	1,59	1,61	1,52	1,60	1,60	1,59	1,61
17-09-17 20:00	0,18	1,63	1,69	1,68	1,58	1,68	1,68	1,67	1,70
18-09-17 09:00	0,17	1,78	1,88	1,85	1,72	1,84	1,85	1,84	1,86
18-09-17 15:30	0,17	1,86	1,97	1,94	1,78	1,92	1,93	1,93	1,95

Behandlede data								
	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	0,041	0,020	0,048	0,030	0,046	0,046	0,044	0,046
	0,027	0,041	0,029	0,029	0,027	0,029	0,027	0,029
	0,040	0,053	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
	0,013	0,019	0,013	0,011	0,015	0,015	0,015	0,017
	0,026	0,033	0,030	0,025	0,028	0,030	0,030	0,028
	0,014	0,015	0,015	0,010	0,014	0,014	0,015	0,015
Tidsmidlet stofmængde (µg)	0,161	0,182	0,177	0,146	0,172	0,175	0,173	0,177
Opsamlet vand (L)	0,87	0,98	0,96	0,79	0,93	0,95	0,94	0,96
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18
Middelkoncentration (µg/L)	0,18		0,18		0,18		0,18	
Målt koncentration (µg/L)	0,23	0,15	0,20	0,15	0,18	0,12	0,16	0,10
Middelkoncentration (µg/L)	0,19		0,18		0,15		0,13	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)			92		79		68	



Bilag 6.3 Massebevarelse af BTEX'er i sugeceller

Forsøg med sugeceller - Fyringsolie - BTEX'er

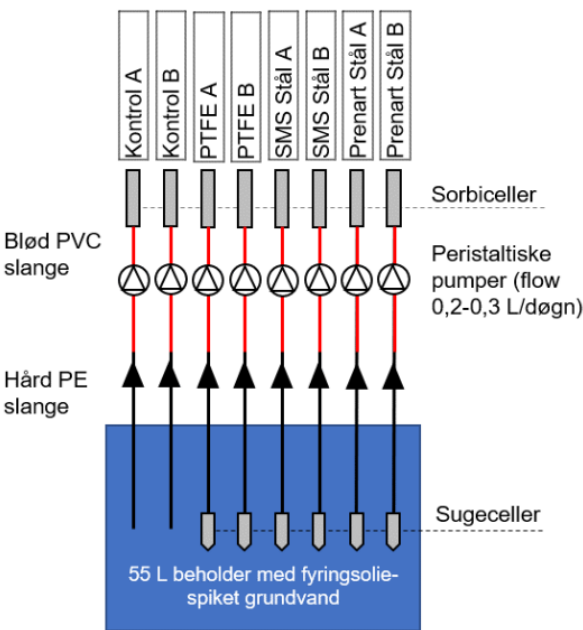
Formål:

Undersøge adsorption i sugeceller

Bemærkninger:

Risiko for tab i PE-slanger

Risiko for tab i blød PVC slange

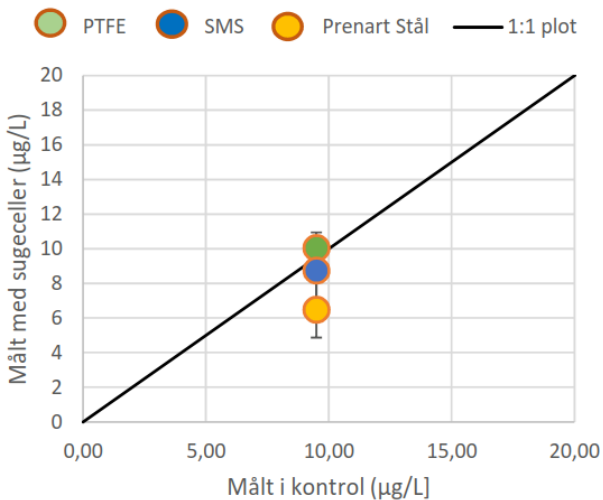
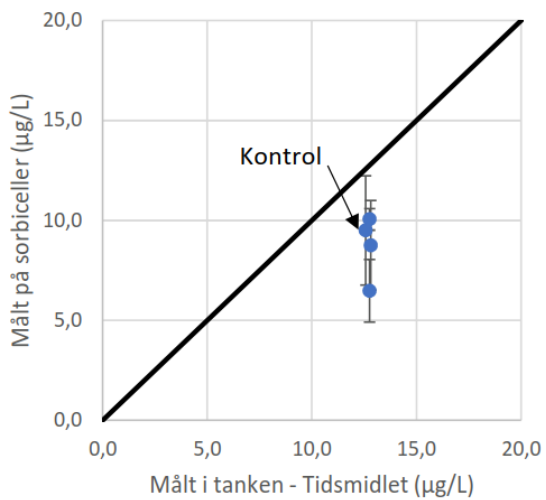
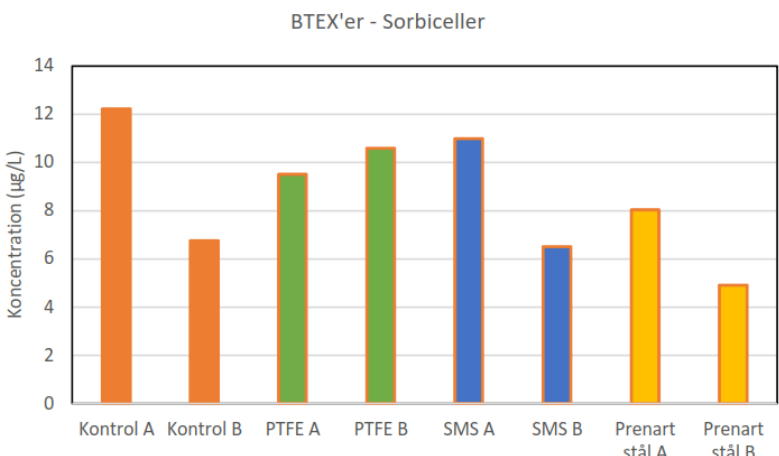
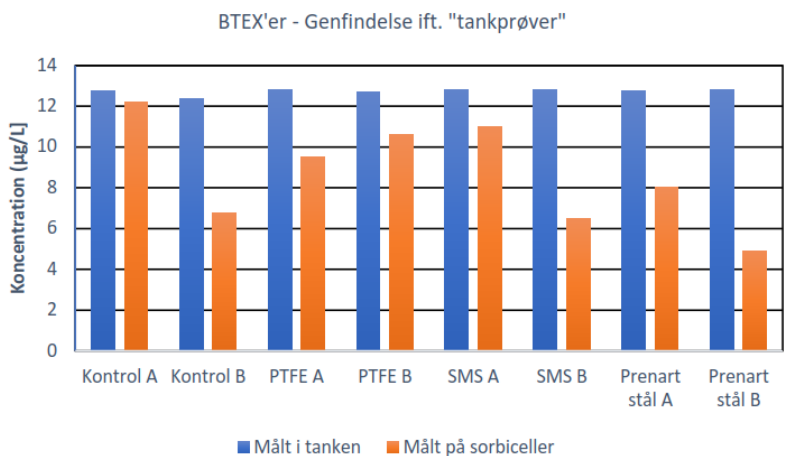


Rådata

Tid	BTEX'er	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	µg/L	kg (flaske + vand)							
15-09-17 15:15	16	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
16-09-17 09:15	15	1,21	1,10	1,24	1,15	1,24	1,23	1,23	1,24
16-09-17 20:35	13	1,35	1,31	1,39	1,30	1,38	1,38	1,37	1,39
17-09-17 13:00	12	1,56	1,59	1,61	1,52	1,60	1,60	1,59	1,61
17-09-17 20:00	11	1,63	1,69	1,68	1,58	1,68	1,68	1,67	1,70
18-09-17 09:00	9,9	1,78	1,88	1,85	1,72	1,84	1,85	1,84	1,86
18-09-17 15:30	8,8	1,86	1,97	1,94	1,78	1,92	1,93	1,93	1,95

Behandlede data

Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	3,410	1,705	4,030	2,480	3,875	3,875	3,720	3,875
	1,960	2,940	2,100	2,100	1,960	2,100	1,960	2,100
	2,625	3,500	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750
	0,805	1,150	0,805	0,690	0,920	0,920	0,920	1,035
	1,568	1,986	1,777	1,463	1,672	1,777	1,777	1,672
	0,748	0,842	0,841	0,561	0,748	0,748	0,841	0,841
Tidsmidlet stofmængde (µg)	11,116	12,122	12,303	10,044	11,925	12,170	11,968	12,274
Opsamlet vand (L)	0,87	0,98	0,96	0,79	0,93	0,95	0,94	0,96
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	13	12	13	13	13	13	13	13
Middelkoncentration (µg/L)	12,6		13		12,8		12,8	
Målt koncentration (µg/L)	12	6,8	9,5	11	11	6,5	8,0	4,9
Middelkoncentration (µg/L)	9,5		10		8,8		6,5	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)			106		92		68	



Bilag 6.4 Massebevarelse af TCE i sugeceller

Forsøg med sugeceller - Chlorerede - TCE

Formål:

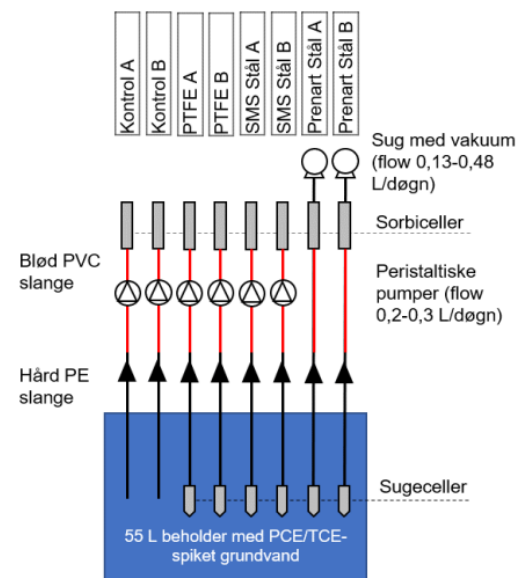
Undersøge adsorption i sugeceller

Bemærkninger:

Vanskeligheder med at bruge peristatiske pumper med Prenart stål, så der blev brugt vakuumkanter, hvor flowet ikke kunne styres så nøjagtigt som med peristaltisk pumpe

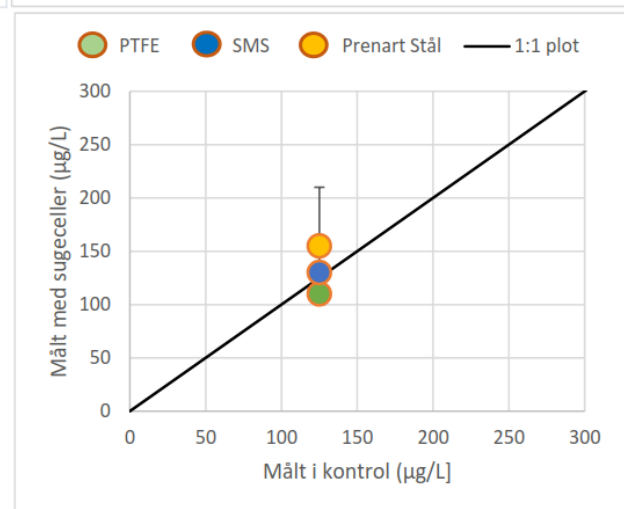
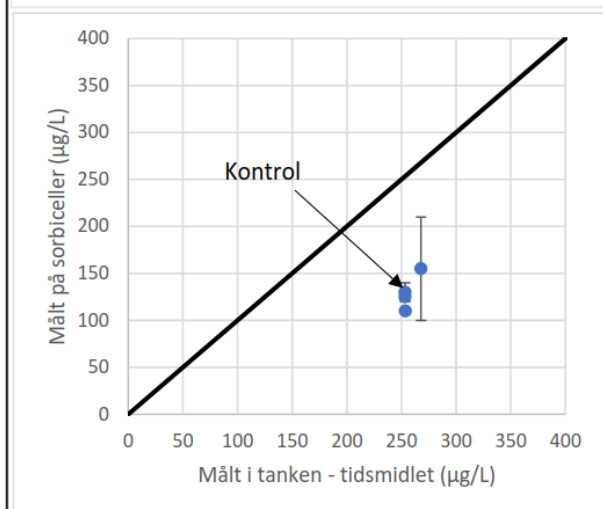
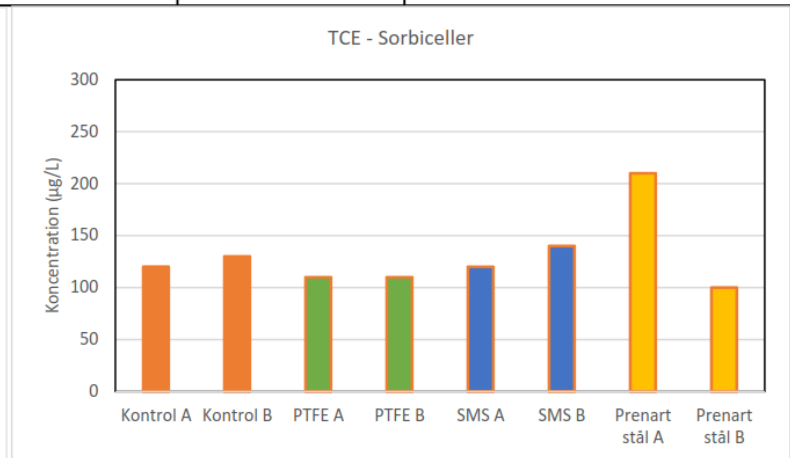
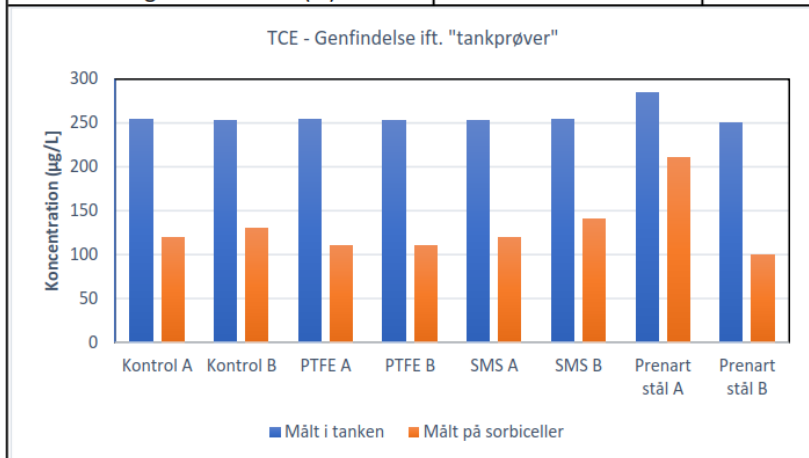
Risiko for tab i PE-slanger

Risiko for tab i blød PVC slange



Rådata									
Tid	TCE	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	µg/L	kg (flaske + vand)							
30-06-17 13:16	390	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0	0
01-07-17 10:30	300	1,27	1,27	1,25	1,24	1,26	1,26	0,34	0,065
01-07-17 17:15		1,36	1,36	1,34	1,33	1,36	1,36	0,51	0,063
02-07-17 09:23	290	1,36	1,36	1,34	1,33	1,36	1,36	0,86	0,17
02-07-17 18:15		1,47	1,48	1,46	1,44	1,47	1,47	1,0	0,21
03-07-17 08:25	260	1,65	1,66	1,63	1,61	1,65	1,66	1,4	0,31
03-07-17 17:20		1,77	1,78	1,74	1,72	1,77	1,77	1,6	0,38
04-07-17 07:45	230	1,94	1,96	1,91	1,88	1,95	1,95	1,9	0,45
04-07-17 16:05		2,05	2,07	2,01	1,99	2,06	2,06		0,51
05-07-17 08:10	230	2,25	2,27	2,19	2,17	2,28	2,25		0,62
05-07-17 16:20		2,34	2,38	2,31	2,28	2,34	2,36		0,67
06-07-17 08:10	210	2,55	2,58	2,48	2,45	2,57	2,56		0,80
06-07-17 16:10		2,64	2,68	2,57	2,54	2,66	2,64		0,85
07-07-17 08:20	180	2,83	2,88	2,75	2,72	2,86	2,83		0,88

Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	100	100	97	90	97	97	117	22
	27	27	27	27	30	30	152	31
	80	83	80	77	80	83	147	40
	71	74	69	66	74	71	124	34
	71	71	64	67	76	69		38
	66	68	64	62	64	68		41
	55	59	53	53	57	53		15
Tidsmidlet stofmængde (µg)	469	481	452	440	476	470	541	220
Opsamlet vand (L)	1,85	1,90	1,78	1,74	1,88	1,85	1,90	0,88
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	254	253	254	253	253	254	285	251
Middelkoncentration (µg/L)	253		254		253		268	
Målt koncentration (µg/L)	120	130	110,0	110,0	120	140	210	100,0
Middelkoncentration (µg/L)	125		110		130		155	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)			88		104		124	



Bilag 6.5 Massebevarelse af PCE i sugeceller

Forsøg med sugeceller - Chlorerede - PCE

Formål:

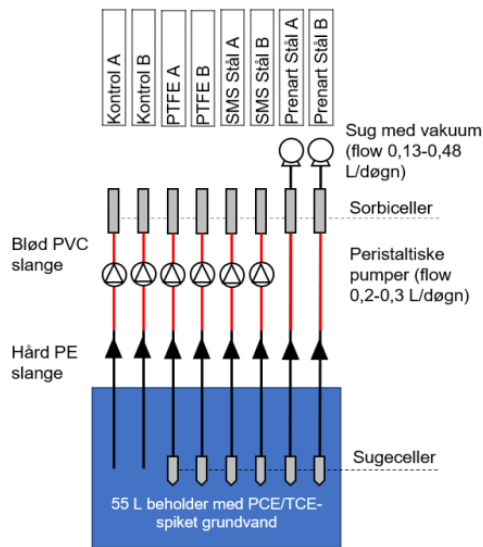
Undersøge adsorption i sugeceller

Bemærkninger:

Vanskeligheder med at bruge peristatiske pumper med Prenart stål, så der blev brugt vakuumkanter, hvor flowet ikke kunne styres så nøjagtigt som med peristaltisk pumpe

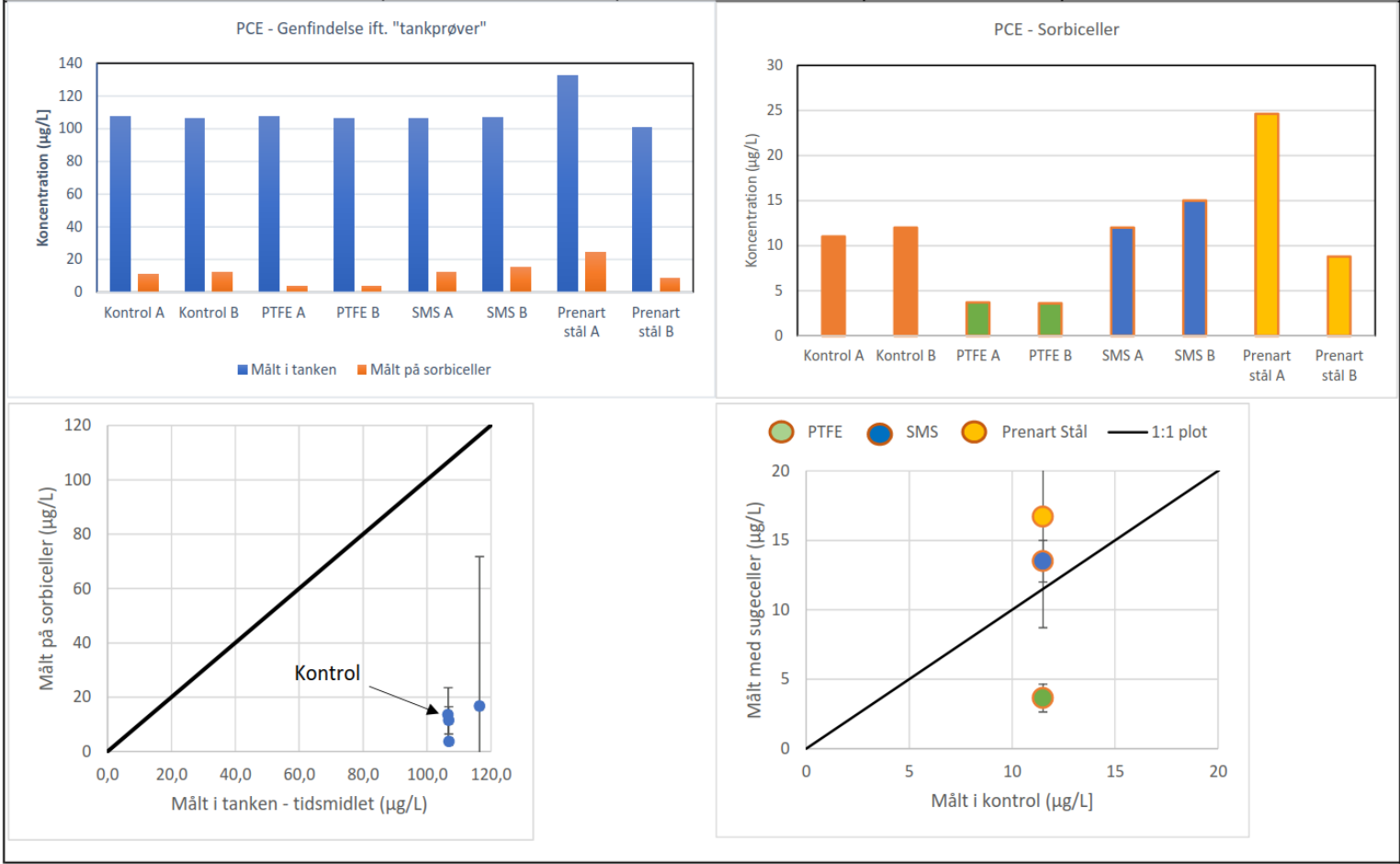
Risiko for tab i PE-slanger

Risiko for tab i blød PVC slange



Rådata									
Tid	PCE	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	µg/L	kg (flaske og vand)							
30-06-17 13:16	280	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0	0
01-07-17 10:30	160	1,27	1,27	1,25	1,24	1,26	1,26	0,34	0,065
01-07-17 17:15		1,36	1,36	1,34	1,33	1,36	1,36	0,51	0,063
02-07-17 09:23	120	1,36	1,36	1,34	1,33	1,36	1,36	0,86	0,17
02-07-17 18:15		1,47	1,48	1,46	1,44	1,47	1,47	1,0	0,21
03-07-17 08:25	96	1,65	1,66	1,63	1,61	1,65	1,66	1,4	0,31
03-07-17 17:20		1,77	1,78	1,74	1,72	1,77	1,77	1,6	0,38
04-07-17 07:45	88	1,94	1,96	1,91	1,88	1,95	1,95	1,9	0,45
04-07-17 16:05		2,05	2,07	2,01	1,99	2,06	2,06		0,51
05-07-17 08:10	70	2,25	2,27	2,19	2,17	2,28	2,25		0,62
05-07-17 16:20		2,34	2,38	2,31	2,28	2,34	2,36		0,67
06-07-17 08:10	70	2,55	2,58	2,48	2,45	2,57	2,56		0,80
06-07-17 16:10		2,64	2,68	2,57	2,54	2,66	2,64		0,85
07-07-17 08:20	61	2,83	2,88	2,75	2,72	2,86	2,83		0,88

Behandlede data								
Stofmængde opsamlet pr. døgn (µg)	Kontrol A	Kontrol B	PTFE A	PTFE B	SMS A	SMS B	Prenart stål A	Prenart stål B
	64	64	62	57	62	62	75	14
	13	13	13	13	14	14	72	15
	31	32	31	30	31	32	58	16
	27	28	26	25	28	27	47	13
	24	24	22	23	26	24		13
	21	22	20	20	20	22		13
	18	20	18	18	19	18		5
Tidsmidlet stofmængde (µg)	198	202	191	185	200	198	251	88
Opsamlet vand (L)	1,85	1,90	1,78	1,74	1,88	1,85	1,90	0,88
Tidsmidlet koncentration (µg/L)	107	106	108	106	106	107	132	100
Middelkoncentration (µg/L)	107		107		107		116	
Målt koncentration (µg/L)	11	12	3,7	3,6	12,0	15,0	24,6	8,8
Middelkoncentration (µg/L)	12		3,7		14		17	
Genfindelsesgrad af kontrol (%)			32		117		145	



Bilag 7. Massebevarelse i slanger til grundvandsprøvetagning

PE-Slangerne der bruges til grundvandsprøvetagning, blev testet for massebevarelse, ved en forsøgsopstilling, som tilnærmer sig prøvetagningsforholdene ved almindelig grundvandsprøvetagning. Af nedenstående figur fremgår en grafisk præsentation af opstillingen og foto fra forsøget.



FIGUR 7.1. Forsøgsopstilling til test af massebevarelse i PE-slanger til grundvandsprøvetagning.

Der er kørt to forsøg for at undersøge massebevarelse i PE-slanger til grundvandsprøvetagning – hhv. et forsøg med fyringsolie, og et forsøg med TCE/PCE. Som det fremgår af figur 7.1, består opstillingen i en beholder der spikeres med fyringsolie eller PCE/TCE. Efterfølgende er beholderen opblandet i 15 min. Der er i hvert forsøg testet to slangelængder i duplikat – 1 og 5 m, og der er udtaget prøver fra alle slanger to gange.

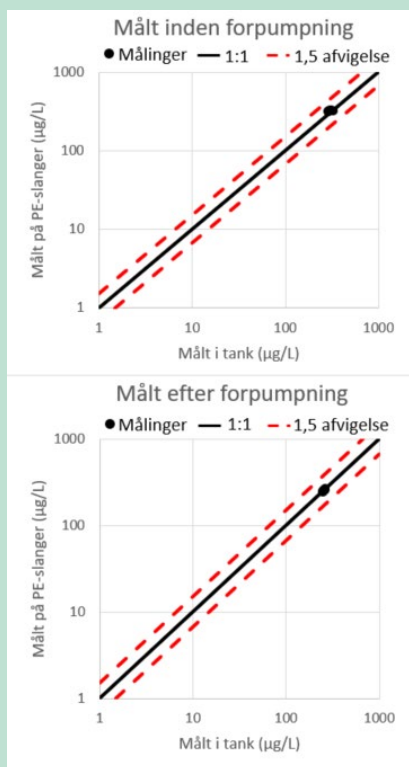
Første prøvetagning var umiddelbart efter opblanding og anden prøve efter at der er forpumpet 10 L igennem hver slange svarende til en reduceret (konservativ) forpumpning ved grundvandsprøvetagning.

Hver slange var monteret med en standard engangs Duplopumpe, der normalt bruges til grundvandsprøvetagning, som var nedsænket i tanken. Der er desuden løbende udtaget vandprøver fra tanken til kontrol af forsøgsopløsningens koncentration. Alle vandprøver fra tanken og slanger er analyseret som almindelige vandprøver.

Bilag 7.1 Indledende screening for massebevarelse i slanger

Resultater og databehandling fremgår af bilag 7.2 og 7.3. I figur 7.1 og 7.2 er der vist 1:1 plots til sammenligning af koncentrationer af TCE/PCE og fyringsoliekulbrinter målt direkte ved prøvetagning fra tanken og fra vandprøver der er pumpet igennem slangerne.

Som det fremgår af figur 7.1 er der en relativ god sammenhæng mellem målinger fra prøver udtaget fra tanken og prøver fra slangerne, og der konstateres en genfinding på 100-105 % uanset slangelængde og om det er TCE eller PCE.



Inden forpumpning:

Genfinding - TCE – 1 m PE-slange: 105 %

Genfinding - PCE – 1 m PE-slange: 105 %

Genfinding - TCE – 5 m PE-slange: 103 %

Genfinding - PCE – 5 m PE-slange: 102 %

Efter forpumpning:

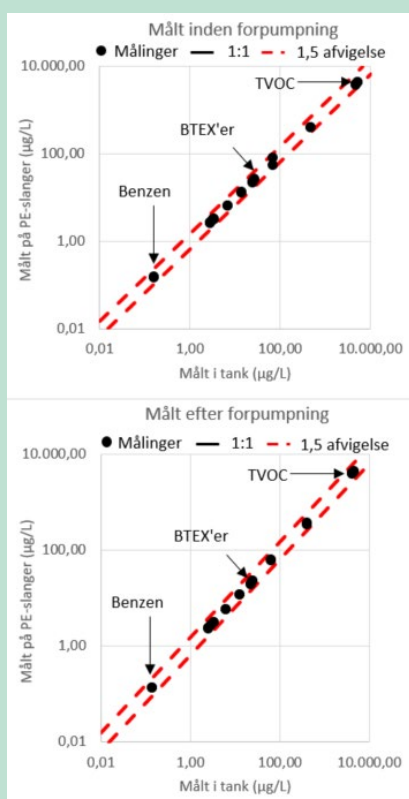
Genfinding - TCE – 1 m PE-slange: 105 %

Genfinding - PCE – 1 m PE-slange: 104 %

Genfinding - TCE – 5 m PE-slange: 101 %

Genfinding - PCE – 5 m PE-slange: 100 %

FIGUR 7.2. Test af TCE/PCE-adsorption på PE-slanger til grundvandsprøvetagning.



Inden forpumpning:

Genfinding - Benzen – 1 m PE-slange: 98 %

Genfinding - BTEX – 1 m PE-slange: 98 %

Genfinding - TVOC – 1 m PE-slange: 85 %

Genfinding - Benzen – 5 m PE-slange: 95 %

Genfinding - BTEX – 5 m PE-slange: 94 %

Genfinding - TVOC – 5 m PE-slange: 87 %

Efter forpumpning:

Genfinding - Benzen – 1 m PE-slange: 100 %

Genfinding - BTEX – 1 m PE-slange: 95 %

Genfinding - TVOC – 1 m PE-slange: 99 %

Genfinding - Benzen – 5 m PE-slange: 100 %

Genfinding - BTEX – 5 m PE-slange: 94 %

Genfinding - TVOC – 5 m PE-slange: 104 %

FIGUR 7.3. Test af fyringsolieadsorption på PE-slanger til grundvandsprøvetagning.

Af figur 7.3 fremgår det, at der generelt er en god sammenhæng mellem målinger af fyringsoliekomponenter fra tanken og målinger fra slangerne uanset hvilket komponent i fyringsolien der måles på (bemærk, detaljer om toluen, xylener m.fl. kan ses i bilag 7.3), om det er før eller efter forpumpning eller hvilken slangelængde der testes. Dog er der en reduceret genfinding af TVOC umiddelbart efter opblanding på 85-87 % for 1 og 5 m slange. Det vurderes, at denne forskel skal tilskrives en relativ stor variation i TVOC-koncentrationen (4.100-6.100 µg/L) på de første tankprøver, og ikke som et egentlig udtryk for massetab. Dette underbygges yderligere af, at der ikke er indikationer på øget massetab ved længere slange. Efter forpumpningen er genfindingen for alle komponenter og slangelængder 94-104 % og der er ikke indikationer på massetab af fyringsolie i PE-slangen, der anvendes til grundvandsprøvetagning.

Den hydrauliske opholdstid i PE-slangerne (ID: 10 mm) ved forsøgene var ca. 2-11 sek. og med et overflade-/volumenforhold på 400 m²/m³. Til sammenligning var der i FEP-slangerne (ID: 2 mm) til porevandsprøvetagning en hydraulisk opholdstid på 23-113 min og et overflade-/volumenforhold på 2.000 m²/m³. Når der ved disse undersøgelser ikke konstateret samme udfordringer med adsorption som ved porevandsprøvetagning, hænger der sandsynligvis sammen med, at både den hydrauliske opholdstid og overflade-/volumenforholdet i slangerne til grundvandsprøvetagning i betydelig mindre grad fordrer massetab.

Bilag 7.2 Adsorption af TCE i PE-slanger til grundvandsprøvetagning

Test af adsorption af chlorerede opløsningsmidler på PE-slanger til grundvandsprøvetagning

Formål:

At undersøge om der forekommer afsorption på standard PE-slanger som anvendes til grundvandsprøvetagning

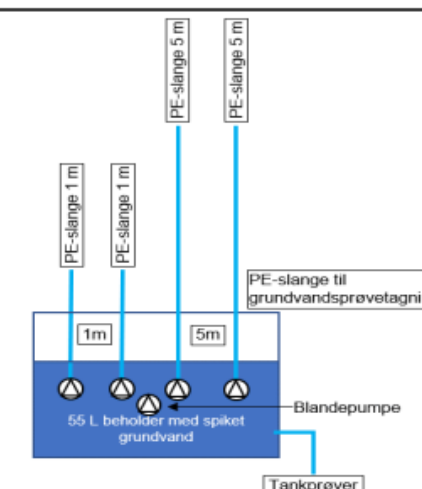
Bemærkninger:

Der er lavet et laboratorieforsøg, hvor der indledningsvist er lavet 55 L vand som er spiket med TCE og PCE og opblandet i 15 min inden forsøget er startet.

Efterfølgende er der udtaget vandprøver fra tanken for at kende startkoncentrationen og vandprøver med 2 PE-slangelængder, hhv. 1 og 5 m. Der er dobbeltbestemmelse på hver slange længde - dvs. 2 X 1 m slange og 2 gange 5 m slange. Alle prøver fra hver slange og fra tank udtages også som dobbeltbestemmelser.

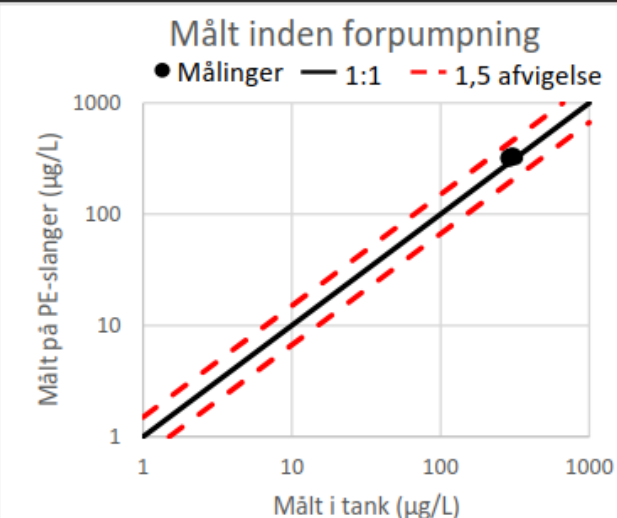
Efter ovenstående er hver slange gennempumpet med 10 L vand fra tanken svarende til en forpumpning som udføres ved almindelig vandprøvetagning

Efter forpumpningen er der udtaget vandprøver fra tank og slanger igen. Fra tanken udtages både vandprøver umiddelbart efter forpumpningen (dvs. før prøvetagning fra slanger) og efter vandprøvetagning fra slangerne.



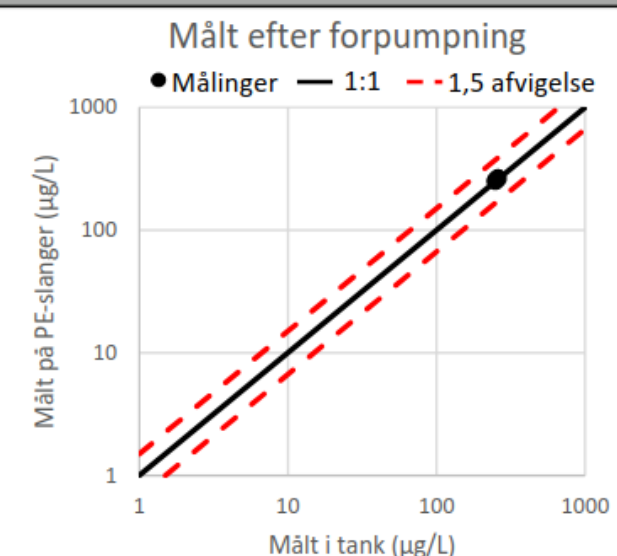
Inden forpumpning

	Prøve mærke	Trichlormethan µg/l	1,1,1-trichlorethan µg/l	Trichlorethen µg/l	Tetrachlormethan µg/l	Tetrachlorethen µg/l
Målt i tank. Inden forpumpning	TankAIC	< 0,02	< 0,02	330	< 0,02	340
	TankBIC	< 0,02	< 0,02	290	< 0,02	300
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	310	< 0,02	320
Med 1 m PE slange. Inden forpumpning	PE1AAIC	< 0,02	< 0,02	310	< 0,02	320
	PE1ABIC	< 0,02	< 0,02	320	< 0,02	330
	PE1BAIC	< 0,02	< 0,02	330	< 0,02	340
	PE1BBIC	< 0,02	< 0,02	340	< 0,02	360
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	325	< 0,02	338
Genfinding ift. prøver fra tank	-	-	-	105	-	105
Med 5 m slange. Inden forpumpning	PE5AAIC	< 0,02	< 0,02	310	< 0,02	310
	PE5ABIC	< 0,02	< 0,02	310	< 0,02	320
	PE5BAIC	< 0,02	< 0,02	330	< 0,02	340
	PE5BBIC	< 0,02	< 0,02	330	< 0,02	340
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	320	< 0,02	328
Genfinding ift. prøver fra tank	-	-	-	103	-	102

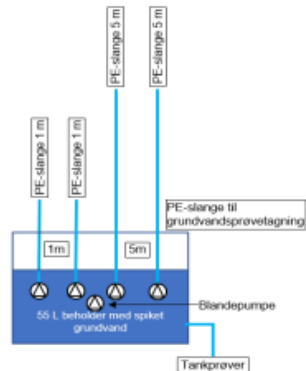


Forpumpning af 10 L i hver slange

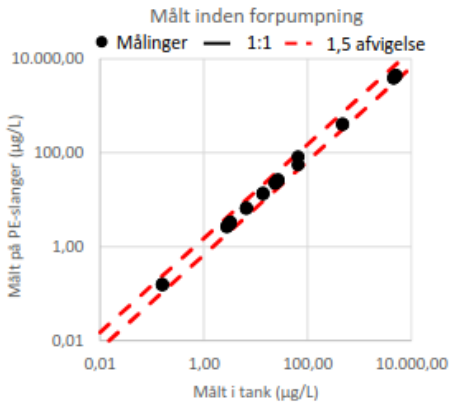
Målt i tank Efter forpumpning	TankAIIC	< 0,02	< 0,02	260	< 0,02	250
	TankBIIC	< 0,02	< 0,02	260	< 0,02	250
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	260	< 0,02	250
Med 1 m PE slange. Efter forpumpning	PE1AAIIC	< 0,02	< 0,02	290	< 0,02	270
	PE1ABIIC	< 0,02	< 0,02	270	< 0,02	260
	PE1BAIIC	< 0,02	< 0,02	270	< 0,02	260
	PE1BBIIC	< 0,02	< 0,02	260	< 0,02	250
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	273	< 0,02	260
Genfinding ift. prøver fra tank	-	-	-	105	-	104
Med 5 m slange. Efter forpumpning	PE5AAIIC	< 0,02	< 0,02	270	< 0,02	260
	PE5ABIIC	< 0,02	< 0,02	270	< 0,02	260
	PE5BAIIC	< 0,02	< 0,02	250	< 0,02	240
	PE5BBIIC	< 0,02	< 0,02	260	< 0,02	240
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	263	< 0,02	250
Genfinding ift. prøver fra tank	-	-	-	101	-	100
Målt i tank. Efter sidste prøvetagning forpumpning	TankAIII	< 0,02	< 0,02	250	< 0,02	240
	TankBIII	< 0,02	< 0,02	260	< 0,02	250
	Gennemsnit	< 0,02	< 0,02	255	< 0,02	245



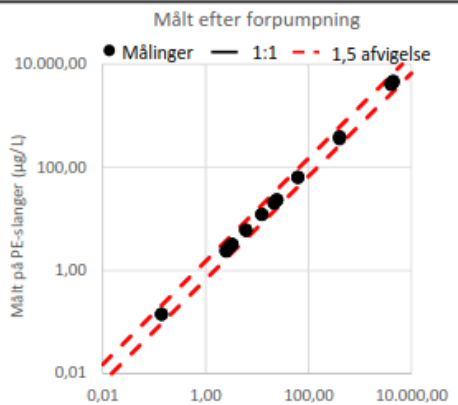
Bilag 7.3 Adsorption af fyringsolie i PE-slanger til grundvandsprøvetagning

Test af adsorption af fyringsolie på PE-slanger til grundvandsprøvetagning													
Formål: At undersøge om der forekommer afsorption på standard PE-slanger som anvendes til grundvandsprøvetagning													
Bemærkninger: Der er lavet et laboratorieforsøg, hvor der indledningsvist er lavet 55 L vand som er spiket med fyringsolie og opblandet i 15 min inden forsøget er startet. Efterfølgende er der udtaget vandprøver fra tanken for at kende startkoncentrationen og vandprøver med 2 PE-slangelængder, hhv. 1 og 5 m. Der er dobbeltbestemmelse på hver slange længde - dvs. 2 X 1 m slange og 2 gange 5 m slange. Alle prøver fra hver slange og fra tank udtages også som dobbeltbestemmelser. Efter ovenstående er hver slange gennempumpet med 10 L vand fra tanken svarende til en forpumpning som udføres ved almindelig vandprøvetagning Efter forpumpningen er der udtaget vandprøver fra tank og slanger igen. Fra tanken udtages både vandprøver umiddelbart efter forpumpningen (dvs. før prøvetagning fra slanger) og efter vandprøvetagning fra slangerne.													
													
Inden forpumpning													
Prøver	Prøve mærke	Benzen µg/l	Toluen µg/l	Ethylbenzen µg/l	m+p-Xylen µg/l	o-Xylen µg/l	Sum af xylener µg/l	BTEX (sum) µg/l	Naphthalen µg/l	C6H6-C10 µg/l	C10-C25 µg/l	C25-C35 µg/l	Sum (C6H6-C35) µg/l
Målt i tank. Inden forpumpning	FTankAI	0,16	3,2	2,8	14	6,7	24	27	3,3	420	3.700	54	4.100
	FTankBI	0,16	3,2	2,8	14	6,7	24	27	3,3	530	5.500	79	6.100
	Gennemsnit	0,16	3,2	2,8	14	6,7	24	27	3,3	475	4.600	67	5.100
Med 1 m PE slange. Inden forpumpning	FPE1AAI	0,16	3,1	2,7	14	6,6	23	27	3,3	370	3.900	49	4.300
	FPE1ABI	0,16	3,1	2,7	13	6,5	22	25	3,3	480	4.100	64	4.700
	FPE1BAI	0,15	3,1	2,7	14	6,7	23	27	3,4	410	4.100	64	4.600
	FPE1BBI	0,16	3,2	2,7	14	6,6	23	27	3,2	350	3.300	44	3.700
	Gennemsnit	0,16	3,1	2,7	14	6,6	23	26,5	3,3	403	3.850	55	4.325
Genfinding ift. prøver fra tank	-	98	98	96	98	99	95	98	100	85	84	83	85
Med 5 m slange. Inden forpumpning	FPE5AAI	0,15	3	2,6	13	6,4	22	25	3,2	390	4.300	150	4.900
	FPE5ABI	0,16	3,1	2,7	13	6,5	22	25	3,1	380	3.800	64	4.200
	FPE5BAI	0,15	3,2	2,8	14	6,7	24	27	3,4	430	4.000	63	4.500
	FPE5BBI	0,15	3,1	2,6	13	6,5	22	25	3,2	420	3.700	51	4.200
	Gennemsnit	0,15	3,1	2,7	13	6,5	23	26	3,2	405	3.950	82	4.450
Genfinding ift. prøver fra tank	-	95	97	96	95	97	94	94	98	85	86	123	87
Forpumpning af 10 L i hver slange													
Målt i tank Efter forpumpning	FTankAII	0,14	2,9	2,5	13	6,1	22	25	3,5	380	3.600	57	4.000
	FTankBII	0,14	2,9	2,5	12	6,1	21	24	3,1	430	4.400	67	4.900
	Gennemsnit	0,14	2,9	2,5	13	6,1	22	25	3,3	405	4.000	62	4.450
Med 1 m PE slange. Efter forpumpning	FPE1AAII	0,14	2,8	2,4	12	6	20	23	3,1	310	3.400	49	3.700
	FPE1ABII	0,14	2,8	2,4	12	6	20	23	3,1	380	4.100	69	4.600
	FPE1BAII	0,14	2,8	2,4	12	6,1	21	23	3,1	370	4.600	74	5.000
	FPE1BBII	0,14	2,9	2,4	12	6,1	21	24	3,5	360	3.900	64	4.300
	Gennemsnit	0,14	2,8	2,4	12	6,1	21	23	3,2	355	4.000	64	4.400
Genfinding ift. prøver fra tank	-	100	97	96	96	99	95	95	97	88	100	103	99
Med 5 m slange. Efter forpumpning	FPE5AAII	0,14	2,8	2,3	12	5,8	20	23	3	380	4.200	65	4.700
	FPE5ABII	0,14	2,8	2,4	12	6	20	23	3,5	450	4.600	71	5.100
	FPE5BAII	0,14	2,8	2,3	12	5,9	20	23	3	380	4.200	57	4.600
	FPE5BBII	0,14	2,7	2,3	12	5,8	20	23	3	340	3.700	59	4.100
	Gennemsnit	0,14	2,8	2,3	12	5,9	20	23	3,1	388	4.175	63	4.625
Genfinding ift. prøver fra tank	-	100	96	93	96	96	93	94	95	96	104	102	104
Målt i tank. Efter sidste prøvetagning forpumpning	FTankAIII	0,14	2,8	2,4	12	6	20	23	3,5	390	4.200	59	4.700
	FTankBIII	0,14	2,8	2,4	12	6	20	23	3,5	400	4.400	75	4.900
	Gennemsnit	0,14	2,8	2,4	12	6	20	23	3,5	395	4.300	67	4.800

Målt inden forpumpning



Målt efter forpumpning



Bilag 8. Felttest A

(fyringsolieforurening)

I september 2001 konstateres et oliespild fra en 2.500 liter fyringsolietank, som var nedgravet i forhaven til en villa. Efterfølgende opgraves tanken og den omkringliggende forurenede jord. Der blev efterladt dybereliggende jordforurening og ejendommen er efterfølgende blevet delvist kortlagt på vidensniveau 2. Felttesten er udført for Region Hovedstaden og afleveret i /10/.

Formål

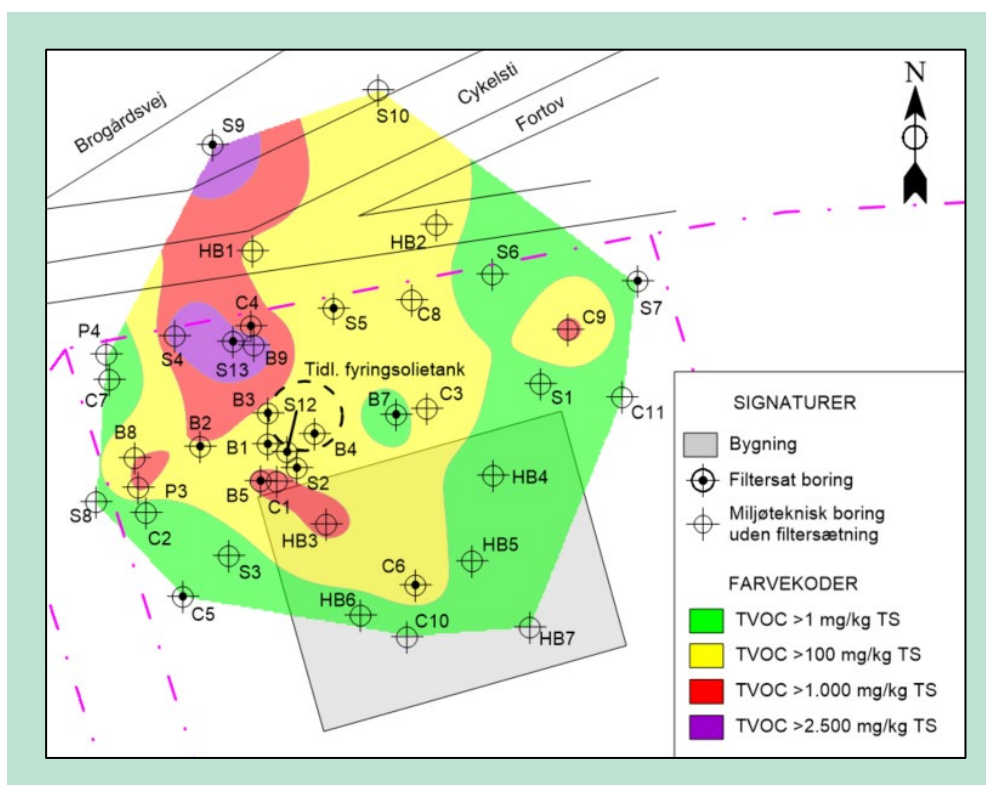
Formålet med undersøgelse af denne lokalitet var at teste om udstyret fungerede på en lokalitet med moræner, samt at undersøge metodens potentiale på en lokalitet forurenede med fyringsolie.

Jord- og grundvandsforurening

Med det formål at afgrænse jord- og grundvandsforureningen er der udført forureningsundersøgelser af flere omgange. En oversigt over borer og hvor der er foretaget kemisk analyse af jord- og eller grundvandsprøver fremgår af nedenstående figur sammen med konturering af de højest konstaterede totalindhold af kulbrinter i jorden. Ud fra undersøgelse vurderes jordforureningen med fyringsolie at omfatte et område på mindst 230 m², beliggende under beboelsen samt ud mod/ind under offentlige vejarealer (mod nord). Vertikalt træffes jordforureningen fra min. 2,0 m.u.t. til maks. ca. 5,0 m.u.t.

Der er ved de tidligere undersøgelser konstateret indhold af totalkulbrinter på op til 7.100 mg/kg TS i jorden (S9, 2,5 m u.t.) og op til 4.100 µg/L i vandprøver fra sekundært grundvand (B2, filtersat 2,5-3,5 m u.t.), som vurderes at omfatte usammenhængende sandlommer fra ca. 2,5-4 m u.t. Der vurderes at være en restforurening med ca. 700 kg fyringsolie fordelt i ca. 550 ton jord.

S12 og S13 er filtersat i det primære grundvand, henholdsvis 6,5-8,5 og 5,5-7,5 m u.t. og der er ikke konstateret indhold af olieculbrinter over analysemetodens detektionsgrænse.



FIGUR 8.1. Placering af boringer og kontureret udbredelse af kulbrinteindhold i jordprøver efter afgravning. TVOC = totalindhold af kulbrinter.

Som det fremgår af figur 8.1, er de højeste indhold af oliekomponenter i jorden konstateret i det nordvestlige hjørne af grunden og i offentligt areal ud mod vejen, mens de højeste indhold i det sekundære grundvand er konstateret i boring B2.

Geologi, grundvandsinteresser og hydrogeologi

Samlet set forekommer der relativt variable geologiske aflejringer. Der er konstateret et fyldlag på 2,3-5,2 m, som er underlejret af blandede sand-, silt- og lerlag til mellem 5,5 og 11,5 m u.t. Herunder er der overvejende konstateret grus til ca. 23 m u.t. og sand til ca. 31 m u.t.

Lokalt er der i boringerne på lokaliteten truffet fyld (lermuld og sandmuld) til 1,2 m u.t., hvorunder der er truffet senglacialt/glacialt sand til 2,3 m u.t. Herunder er der truffet glacialt moræneler til 7 m u.t., underlejret af glacialt sand og grus fra ca. 7,0 m u.t.

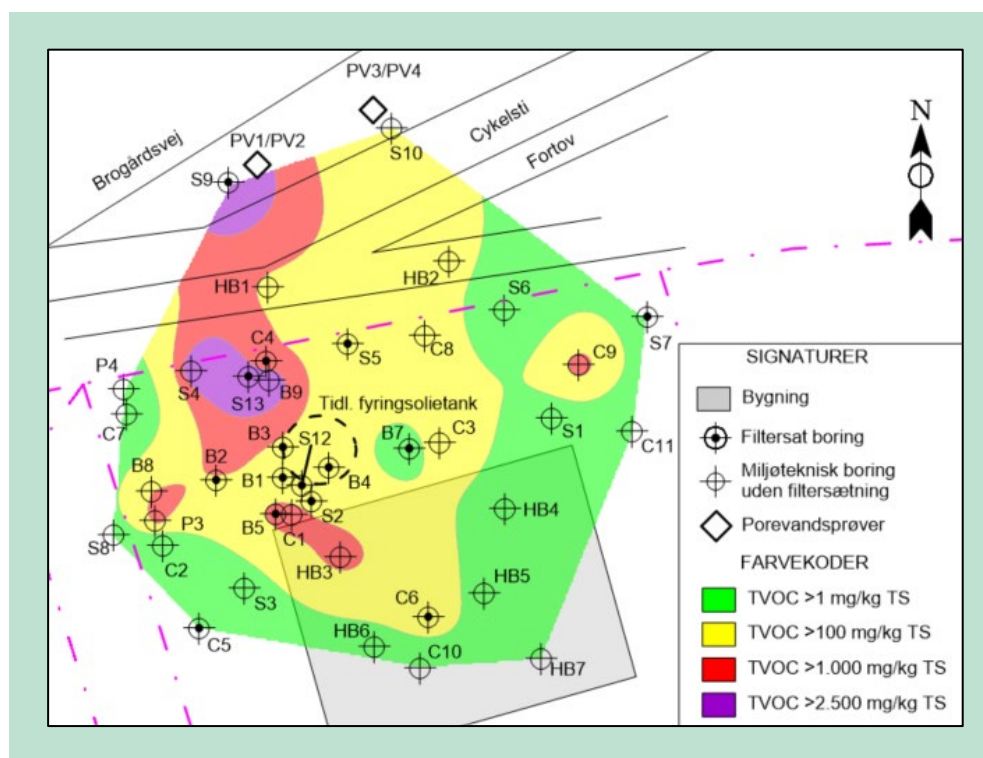
Ejendommen er beliggende i et område med særlige drikkevandsinteresser og den nærmeste indvindingsboring er beliggende ca. 2 km i sydvestlig retning.

Det primære grundvand har lokalt et trykniveau ca. 4,6 m u.t. og det er vurderet at være spændt og knyttet til sand-/gruslag under moræneler. Strømningsretningen er øst-nordøstlig.

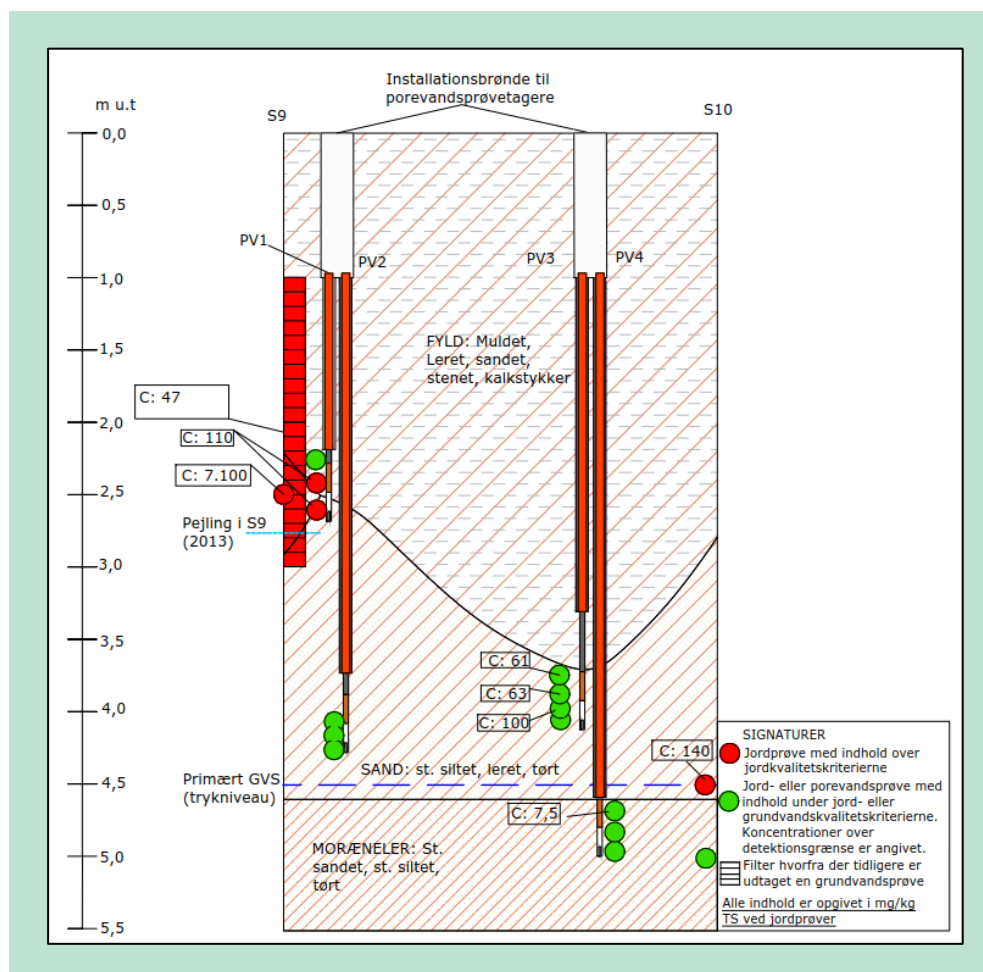
Der er konstateret et sekundært grundvandsspejl varierende mellem 1,95 og 3,79 m u.t. Det sekundære grundvand er vurderet at bestå af usammenhængende lommer af sekundært grundvand og det har ikke været muligt at bestemme en entydig strømningsretning.

Placering og installation af sugeceller

Porevandsundersøgelserne i dette projekt omfattede installation af fire sugeceller, som var placeret parvist ved hhv. boring S9 og S10 (se figur 8.2). Som det ses i figur 8.2, er PV1 og PV2 placeret ved S9, mens PV3 og PV4 er placeret ved S10.



FIGUR 8.2. Horisontal placering af sugeceller.



FIGUR 8.3. Vertikal placering af jordprøver og sugeceller.

Baseret på tidligere undersøgelser blev der i S9 konstateret de højeste totalindhold af olie i jorden (op til 7.100 mg/kg TS 2,5 m u.t.), mens der blev målt betydeligt lavere koncentrationer ved S10 (op til 140 mg/kg TS 4,0 m u.t.). Ved installation af sugecellerne blev der udtaget nye jordprøver til dokumentation for jordens indhold af oliekuilbrinter i og omkring (vertikalt) punktet for placering af sugecellerne.

Et tværsnit med sugecellernes placering i jorden er vist i figur 8.3, sammen med analyseresultater for totalindhold af oliekuilbrinter fra jordanalyser. Sugecellen PV1 er installeret i lerede aflejringer i dybden 2,6 m u.t., hvor det ved installationen blev vurderet, at jordforureningen var kraftigst. De kemiske analyser viste dog, et betydelig lavere indhold af TVOC ift. 2013, idet der blev konstateret 110 mg/kg TS ved PV1. Sugecellen PV2 blev installeret 4,3 m u.t. (ligeledes i ler) svarende til 1,7 m under PV1. Der blev ikke konstateret indhold af kulbrinter over analysemetodens detektionsgrænse ved PV2, og sugecellen skulle derfor afgrænse forureningen i PV1. Der blev ikke konstateret indhold af BTEX'er over analysemetodens detektionsgrænse i de analyserede jordprøver.

PV3 blev installeret i dybden 4,1 m u.t. i lerede aflejringer, hvor jordforureningen i dette område blev vurderet at være kraftigst. Sugecellen PV4 blev installeret 0,9 m under PV3 i dybden 5,0 m u.t. ligeledes i ler. Sugecellen vurderes ligesom PV2 at udgøre en vertikal afgrænsning.

Som det fremgår af figur 8.3, er der i 2013 pejlet et grundvandsspejl i S9 beliggende 2,75 m u.t. I 2014 kunne der ikke pejles et vandspejl i S9, men de tidligere pejlinger viser at det kan forekomme med mellemrum. Da borerne var sløjfet på tidspunktet for installation af sugecellerne var det ikke muligt at vurdere den præcise beliggenhed af det sekundære grundvand ved porevandsprøvetagningen.

Metode for installation af sugecellerne fremgår af kapitel 3. Sugecellerne (rustfrit stål fra Soil Measurement Systems produkt nr.: SW-074-8) PV1-PV4 blev installeret i november 2016. Fotos fra installationen fremgår af figur 8.4.



FIGUR 8.4. Fotos fra installation af sugeceller.

Der blev installeret to sugeceller i hver installationsbrønd. I bunden af hver brønd blev der udført to 6" forede borer, som blev ført til 0,5-0,8 m over det ønskede niveau for installation af sugecellen. Inde i forerøret blev der etableret en permanent foring af 110 mm PVC kloakrør, således at forerøret fra boringen kunne tages op.

Inden forerøret på 6" blev trukket op, blev der afproppet med bentonit imellem det ydre og indre forerør, for at minimere risikoen for, at der løber terrænnært grundvand ned til sugecellen, omkring det permanente forerør. Det blev forsøgt at anvende storebæltsblanding til afpropning, men da storebæltsblandingen løb ind under underkanten af kloakrøret blev der i stedet anvendt bentonit. Bentonitten blev hældt i, så den udfyldte hele voluminet omkring kloakrøret fra bunden af den forede boring og op til bunden af installationsbrønden. Under optrækning af forerøret blev der efterfyldt med bentonit for at udfylde det volumen, som selve forerøret udfyldte.

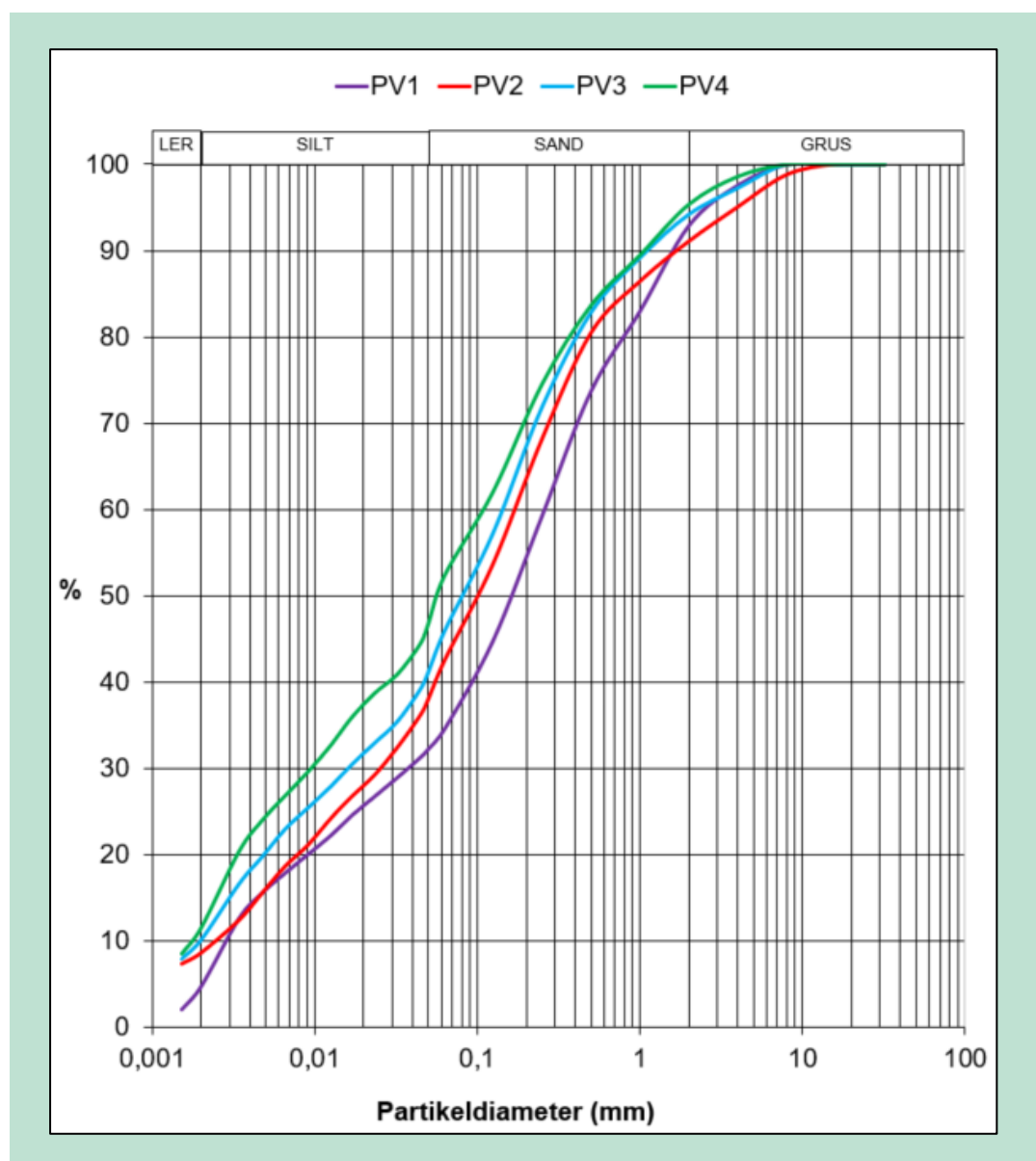
I bunden af hver permanente foring (110 mm kloakrør) blev der håndboret til den ønskede dybde for installation af sugecellen. Kvartsmel opslæmmet i demineraliseret vand blev tilsat i den dybde hvor sugecellen skulle installeres og selve sugecellen blev installeret umiddelbart

derefter. Over sugecellen blev der hældt 20 cm filtersand og efterfyldt med 20 cm bentonit. Der blev efterfølgende hældt yderligere bentonit i, så det stod minimum 20 cm op i bunden af den permanente foring.

Sugecellerne blev efterfølgende forbundet med sorbiceller og vakuumkammer. Prøvetagerne blev programmeret ud fra den konkrete installation - dvs. indstilling af løftehøjde fra sugecelle til vakuumkammer og indstilling af startvakuum.

De første porevandsprøver på lokaliteten blev udtaget uden forpumpning, for at vurdere effekter af forpumpning. I PV1, PV3 og PV4 blev der udtaget tre porevandsprøver fra hver installation. Fra PV2 blev der udtaget to porevandsprøver, da sugecellen mistede den hydrauliske kontakt efter anden prøvetagning som følge af for højt vakuum ift. bubbling pressure for sugecellen.

Ved installation af sugecellerne blev der udtaget jordprøver fra installationsdybden til analyse for kornstørrelsesfordeling, og resultaterne ses af nedenstående figur.



FIGUR 8.5. Resultater fra bestemmelse af kornstørrelsesfordeling.

Som det fremgår af figur 8.5, er kornstørrelsen generelt mindre i PV3 og PV4 end i PV1 og PV2. Betragtes PV1/PV2 og PV3/PV4 hver for sig, er der en tendens til at der er en større andel af silt og ler desto dybere prøverne er udtaget (PV3 og PV4), hvilket også stemmer med den visuelle vurdering fra feltet. Af nedenstående tabel fremgår en oversigt over fordelingen af ler, silt, sand og grus i de fire prøver sammen med definitionen på partikelstørrelse fra U.S. Department of Agriculture (USDA).

Tabel 8.1: Procentvis fordeling af ler, silt, sand og grus i dybder hvor sugeceller er installeret, samt indhold af organisk stof og vandindhold.

Tekstur- beskrivelse	USDA	PV1	PV2	PV3	PV4
	mm	%	%	%	%
Ler	<0,002	4,7	8,6	10	12
Silt	0,002-0,05	28	29	31	35
Sand	0,05-2,0	61	53	53	49
Grus	2,0-10	6,3	9,4	6,0	4,0
Glødetab	-	2,6	1,5	1,8	1,5
Vandindhold	-	18	12	14	12

I henhold til /11/ kan jordprøverne ud fra fraktioneringen i ler, silt, sand og grus overordnet bedømmes efter nedenstående opdeling:

- <12 % ler og >45-50 % sand klassificeres som morænesand.
- <12 % ler og >45-50% silt klassificeres som morænesilt
- 12-15 % ler og >45-50% silt klassificeres som moræneler stærkt siltet.
- 12-15 % ler og >45-50% sand som moræneler stærkt sandet.

Underliggende kommentarer på fraktioner af silt og ler kan inddeles således:

- <5 % ler/silt klassificeres som svagt leret eller svagt siltet.
- 5-10 % ler/silt klassificeres som leret eller siltet.
- >10 % ler/silt klassificeres som stærkt leret.

På baggrund af ovenstående nogle kan PV1-PV4 klassificeres således:

- PV1 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og stærkt siltet.
- PV2 klassificeres som morænesand, der er leret og stærkt siltet.
- PV3 klassificeres som morænesand, der er leret og stærkt siltet.
- PV4 klassificeres som moræneler, der er stærkt sandet og stærkt siltet

Kornkurverne er indtastet i HydrogeoSieveXL for at estimere den hydrauliske ledningsevne, samt give et interval for estimerne på ledningsevnen. For de fire jordprøver kan der estimeres følgende hydrauliske ledningsevner:

PV1: $4,73 \cdot 10^{-6}$ ($7,92 \cdot 10^{-9} - 1,81 \cdot 10^{-5}$).

PV2: $1,78 \cdot 10^{-6}$ ($5,78 \cdot 10^{-9} - 6,27 \cdot 10^{-6}$).

PV3: $1,19 \cdot 10^{-6}$ ($8,84 \cdot 10^{-9} - 4,23 \cdot 10^{-6}$).

PV4: $5,85 \cdot 10^{-7}$ ($5,68 \cdot 10^{-9} - 1,75 \cdot 10^{-6}$).

Prøvetagningsskemaer fra porevandsprøvetagningen fremgår af bilag 8.1 og nøgletal fra prøvetagningen i de fire prøvetagningspunkter er opsummeret i nedenstående tabel:

Tabel 8.2: Nøgletal fra porevandsprøvetagning. *Stiger til maks. vakuum på 500 mbar. I.S.: Ikke stabilt. Tid for prøvetagning er den samlede tid der gik med opsamling af porevandsprøverne efter forpumpning. Eff. tid for prøvetagning var tiden der gik efter vakuum var tilstrækkelig høj til at der kunne suges vand fra formationen.

Prøvetagningsrunde	Nøgletal	PV1	PV2	PV3	PV4
Runde 1	Tid for prøvetagning (døgn)	4	4	3	3
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	1	3	3	2
	Volumen (ml)	1.998	1.300	1.973	1.985
	Stabilt vakuum (mbar)	I.S.	500*	100	I.S.
Runde 2	Tid for prøvetagning (døgn)		6	2	
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)		6	2	
	Volumen (ml)		514	2089	
	Stabilt vakuum (mbar)		500*	I.S.	
Runde 3	Tid for prøvetagning (døgn)	3		5	6
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	1		5	6
	Volumen (ml)	1.998		1.973	1.995
	Stabilt vakuum (mbar)	I.S.		25	I.S.
Runde 4	Tid for prøvetagning (døgn)	2			2
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	2			2
	Volumen (ml)	2.000			2.001
	Stabilt vakuum (mbar)	I.S.			I.S.

Som det fremgår af tabel 8.2, foregik prøvetagningen, specielt i PV1 og PV2, generelt over relativt kort tid (1-6 døgn), hvilket medførte risiko for gennembrud på sorbicellerne. Det blev på denne lokalitet valgt at analysere sorbicellerne trods det relativt hurtige flow, men at analysere kontrollaget for at kontrollere for gennembrud. Der blev ikke konstateret gennembrud på de analyserede sorbiceller. Alle porevandsprøver blev analyseret for olieulbrinter og BTEX'er.

Resultater fra porevandsundersøgelser

Analyseresultaterne fremgår af nedenstående tabel sammen med Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium /12/. det bemærkes, at grundvandskvalitetskriteriet ikke gælder for porevand, men alligevel anvendes til sammenligning, da porevandet transporteres mod grundvandet.

Tabel 8.3 Analyseresultater for porevandsprøver i µg/L. ¹⁾ Miljøstyrelsens vejledende grundvandskvalitetskriterier. i.p.: Ikke påvist. Fed + lysegrå: Overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet Grå skrift: Resultater som der ses bort fra pga. mangelfuld afpropning.

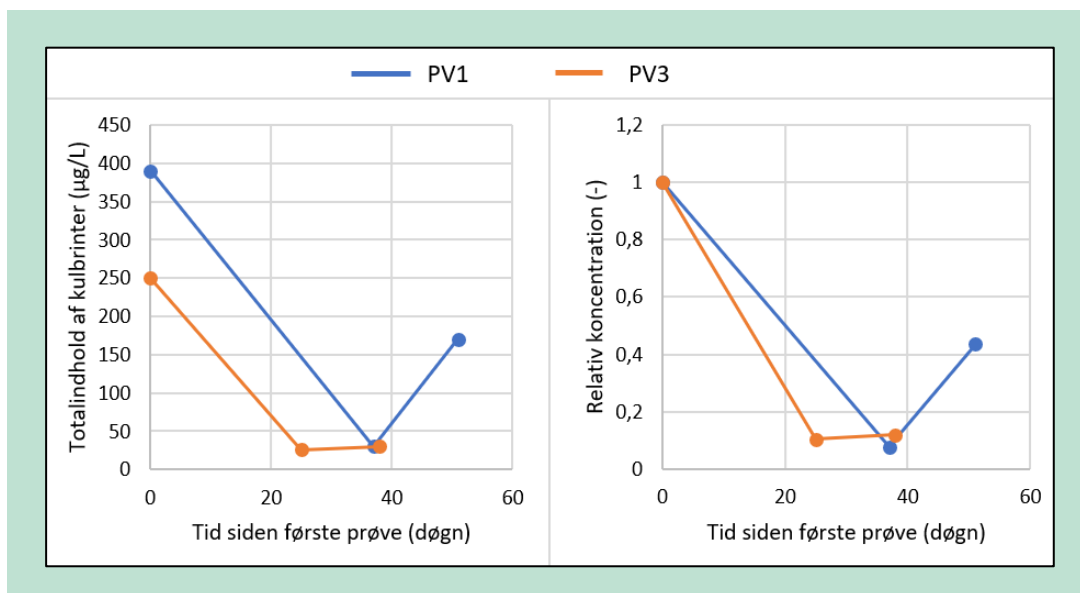
	PV1	PV1	PV1	PV2	PV2
Dybde, m u.t.	2,6			4,3	
Opsamlet dato	11/11-16	20/12-16	2/1-17	11/11-16	6/12-16
Benzen	<0,01	0,065	0,8	<0,04	<0,1
Toluen	16	<0,4	0,55	12	<1
Ethylbenzen	0,16	<0,05	0,08	<0,08	<0,2
Xylener	0,81	<0,15	0,28	<0,2	<0,6
Kulbrinter C ₆ -C ₁₀	46	<5	<5	<8	<20
Kulbrinter C ₁₀ -C ₁₅	240	<6	130	120	<20
Kulbrinter C ₁₅ -C ₂₀	87	<5	35	8	<20
Kulbrinter C ₂₀ -C ₃₅	17	<6	8	<9	<20
Kulbrinter C ₃₅ -C ₄₀	<8	<8	<8	<10	<30
Totalkulbrinter	390	<30	170	120	<110

	PV3	PV3	PV3	PV4	PV4	PV4
Dybde, m u.t.	4,1			5,0		
Opsamlet dato	11/11-16	6/12-16	20/12-16	11/11-16	20/12-16	2/1-17
Benzen	0,077	<0,02	<10	<0,03	<0,03	<0,02
Toluen	6,1	<0,03	<0,4	12	<0,4	<0,3
Ethylbenzen	0,10	<0,05	<0,05	0,098	<0,05	<0,05
Xylener	0,42	<0,15	<0,15	0,66	<0,15	<0,15
Kulbrinter C ₆ -C ₁₀	41	<5	<5	57	<5	<5
Kulbrinter C ₁₀ -C ₁₅	180	13	<6	370	<6	<6
Kulbrinter C ₁₅ -C ₂₀	29	13	<5	100	<5	<5
Kulbrinter C ₂₀ -C ₃₅	<6	<6	<6	18	<6	<6
Kulbrinter C ₃₅ -C ₄₀	<8	<7	<8	<8	<8	<7
Totalkulbrinter	250	26	<30	570	<30	<29

Som det fremgår af tabel 8.3, er der konstateret indhold af toluen og totalkulbrinter på op til henholdsvis 16 og 390 µg/L svarende til hhv. ca. 3 og 43 gange Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier. Totalindholdet af kulbrinter vil i kraft af den største overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet være den styrende faktor ift. risikovurdering for grundvandsressourcen.

Det er bemærkelsesværdigt, at der i PV2 og PV4 kun konstateres overskridelse af grundvandskvalitetskriterierne i første prøvetagningsrunde. Dette skal sandsynligvis kædes sammen med, at der ved afhentning af porevandsprøven efter første prøvetagningsrunde blev konstateret vand inden i det permanente forerør, som sandsynligvis skyldes, at afpropningen ikke var tilstrækkelig. Der blev derfor etableret yderligere afpropning i alle forerør. Efter yderligere afpropning er der ikke konstateret indhold over grundvandskvalitetskriterierne i de efterfølgende prøver udtaget i PV2 og PV4. Ved de efterfølgende vurderinger ses der derfor bort fra den første porevandsprøve, der er udtaget i PV2 og PV4.

Som det fremgår af bilag 8.1, er der tilsat 360 ml demineraliseret vand til kvartsmelet i forbindelse med installationen. Normalt forpumpes der med 2-3 gange det tilsatte vandvolumen inden den endelige porevandsprøve udtages. Forpumpningen er udeladt i dette projekt, for at vurdere hvor meget det reelt betyder. I nedenstående figur er der vist tidsserier for indhold af totalkulbrinter i PV1 og PV3.



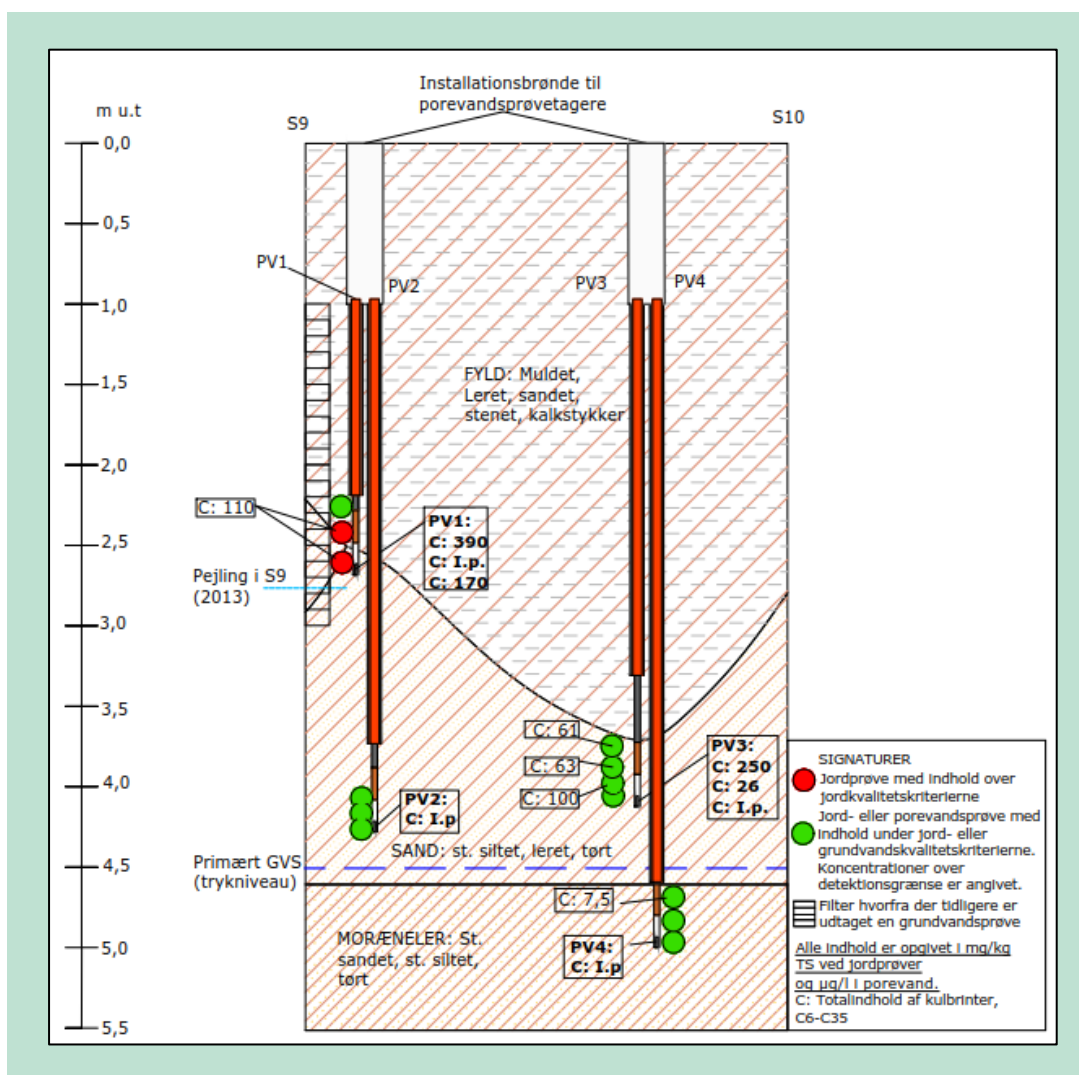
FIGUR 8.6. Tidsserie for totalindhold af kulbrinter i PV1 og PV3.

Som det fremgår, er de højeste porevandskoncentrationer konstateret i den første prøve i PV1 og PV3. Det fremgår endvidere, at koncentrationen af totalkulbrinter varierer mellem <30 og 390 µg/L i PV1 og <30 og 250 µg/L i PV3. Der er således ikke en indikation på at forpumpningen har betydning for resultaterne. Der er som det fremgår ikke tendens i tidsserierne der indikerer, at der kan være en effekt af fortynding med demineraliseret vand fra installation.

For PV1 og PV3 gælder, at den største fraktion af totalkulbrinter ligger i C₁₀-C₁₅ (op til 240 µg/L), mens der konstateres koncentrationer af C₆-C₁₀-kulbrinter på op til 46 µg/L, C₁₅-C₂₀-kulbrinter på op til 87 µg/L og C₂₀-C₃₅-kulbrinter på op til 17 µg/L.

Konceptuel forståelse

Den vertikale fordeling af forureningens spredning i porevandet fremgår af nedenstående figur. Som det fremgår, er der ikke konstateret spredning af oliekomponenter fra niveauet for de øverste porevandsprøver til porevandsprøven udtaget 1,8 m under PV1 (PV2). Det samme gør sig gældende for PV4, som er udtaget 0,8 m under PV3.



FIGUR 8.7. Vertikal fordeling af jord- og porevandsforurening. For jordprøver hvor der ikke er konstateret indhold over analysemetodens detektionsgrænse er der ikke angivet en koncentration.

Da der ikke er konstateret indhold af kulbrinter i de nederste porevandsprøver i PV2 og PV3, indikerer det, at forureningen konstateret i de øverste prøvetagningsdybder enten ikke har haft tid nok til at blive transporteret til de nederste prøvetagningsdybder, eller at der forekommer stoffjernelse under transporten (nedbrydning og/eller adsorption).

Beregnet vs. målt porevandskoncentration

Porevandskoncentration i området med jordforurening under Brogårdsvej er estimeret ved fugacitetsberegninger i Miljøstyrelsens JAGG 2.1 ved anvendelse af oliemodulet. Udgangspunktet for beregningen er de højeste koncentrationer af oliekomponenter i jordprøver i PV1-PV4. De resterende antagelser fremgår af udskriften fra JAGG 2.1 som fremgår af bilag 8.4 I nedenstående tabel er de beregnede porevandskoncentrationer af kulbrintefraktioner sidestillet med de maksimalt målte porevandskoncentrationer i PV1-PV4 samt med de målte indhold af kulbrintefraktioner i jorden. Hvor der ikke er målt indhold af kulbrinter over detektionsgrænsen i jorden er detektionsgrænsen anvendt til beregningen i JAGG 2.1.

Som det fremgår af tabel 8.4 er de beregnede koncentrationer i alle tilfælde større end de målte koncentrationer, når der fokuseres på C₆-C₁₀ fraktionen og totalkulbrinter. For C₆-C₁₀ varierer forskellen mellem en faktor 15-260 og for totalkulbrinter varierer forskellen mellem en faktor 2-46.

For fraktionerne C₁₀-C₁₅ og C₂₀-C₃₅ varierer det, om porevandskoncentrationen er størst for de beregnede eller målte koncentrationer og for C₁₅-C₂₀ fraktionen er porevandskoncentrationen for de målte indhold større eller på niveau med de beregnede, svarende til en faktor 7-58 højere indhold i de beregnede sammenlignet med de målte indhold.

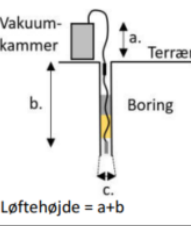
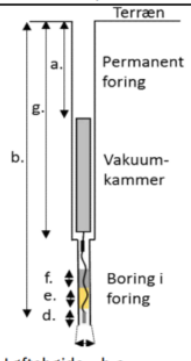
Samlet set er der indikationer på, at JAGG-modellen ikke regner konservativt for mellemlange kulbrinter.

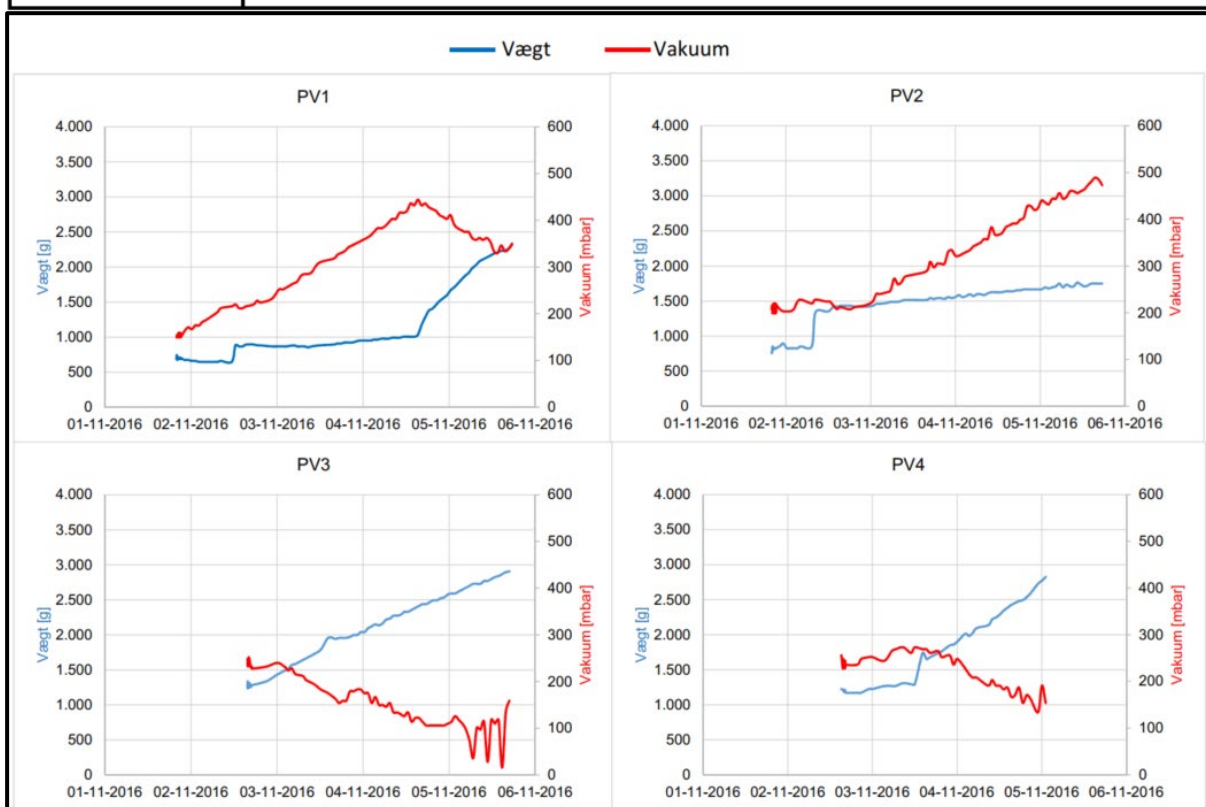
Tabel 8.4. Sammenligning af beregnede og målte porevandskoncentrationer. PV = porevandskoncentration.

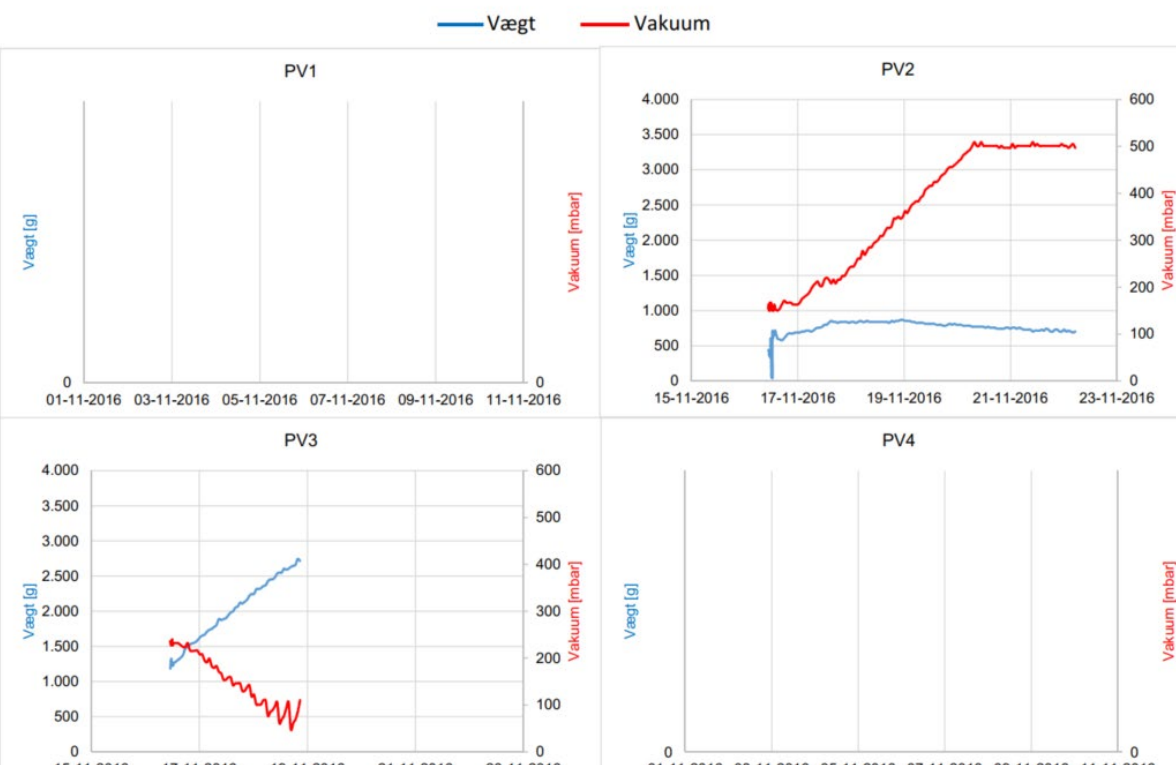
Kulbrintefraktion	Fase/målt/beregnet	PV1	PV2	PV3	PV4
	Dybde	2,6	4,3	4,0	5,0
C ₆ -C ₁₀	Jordkoncentration, mg/kg TS	2,2	<2	<2	<2
	PV beregnet, µg/L	720	1.300	771	1.300
	PV målt (maks.), µg/L	46	<20	41	<5
C ₁₀ -C ₁₅	Jordkoncentration, mg/kg TS	32	<5	6,3	<5
	PV beregnet, µg/L	257	142	60	130
	PV målt (maks.), µg/L	240	<20	180	<6
C ₁₅ -C ₂₀	Jordkoncentration, mg/kg TS	41	<5	33	7,5
	PV beregnet, µg/L	1,5	0,6	1,4	0,83
	PV målt (maks.), µg/L	87	<20	29	<6
C ₂₀ -C ₃₅	Jordkoncentration, mg/kg TS	32	<20	63	<20
	PV beregnet, µg/L	3,3	6,6	8,4	6,1
	PV målt (maks.), µg/L	17	<20	<6	<6
C ₆ -C ₃₅	Jordkoncentration, mg/kg TS	110	<32	100	<35
	PV beregnet, µg/L	980	1.400	840	1.400
	PV målt (maks.), µg/L	390	<110	26	<30

Ovenstående illustrerer, at udtagning af porevandsprøver kan medvirke til betydeligt mere realistiske risikovurderinger. Dette er særligt relevant på sager med relativt lave jordkoncentrationer, hvor det til trods for indhold på niveau med jordkvalitetskriteriet ikke er muligt at afvise en risiko for grundvandsressourcen via JAGG-beregninger i oliemodulet. Omvendt kan der også forekomme situationer, hvor JAGG-modellen underestimerer porevandskoncentrationen og dermed risikobilledet for grundvandsressourcen.

Bilag 8.1 Feltskemaer

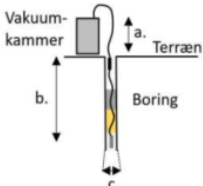
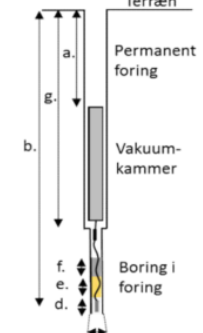
 Dansk Miljørådgivning A/S	Sagsnavn:		Brogaardsvej 133, Gentofte				Prøvetagningsperiode:		2/11-10/11 2016				
	DMR-sagsnr.:		2016-1029				Prøvetager:		MFL				
	Kundesagsnr.:						Sagsbehandler hos DMR:		PLA				
Opstilling	Prøve	Opstilling	Kammerhøjde (a.) a. [m]	Sugecelle (b.) b. [m]	Diameter (c.) c. [m]	Kvarts- mel g.	Vand tilsat ml	Foring (g.) g. [m]	Sorbicelle Nr.	Start- vakuu mbar	Løftehøjde cm	Forpumpe ml	Vand opsamlet ml
Terrænnær (T.N.)													
	PV1	Dyb	1,4	2,6	0,07	1000	360	2,2	0711-3320	150	120	0	1998
	PV2	Dyb	2,5	4,3	0,07	1000	360	3,7	0711-3322	200	170	0	1300
	PV3	Dyb	1,9	4,1	0,07	1000	360	3,3	0711-3323	220	220	0	1973
	PV4	Dyb	2,75	5,0	0,07	1000	360	4,6	0711-3325	220	225	0	1985
Dyb													
													
Bemærkninger:													

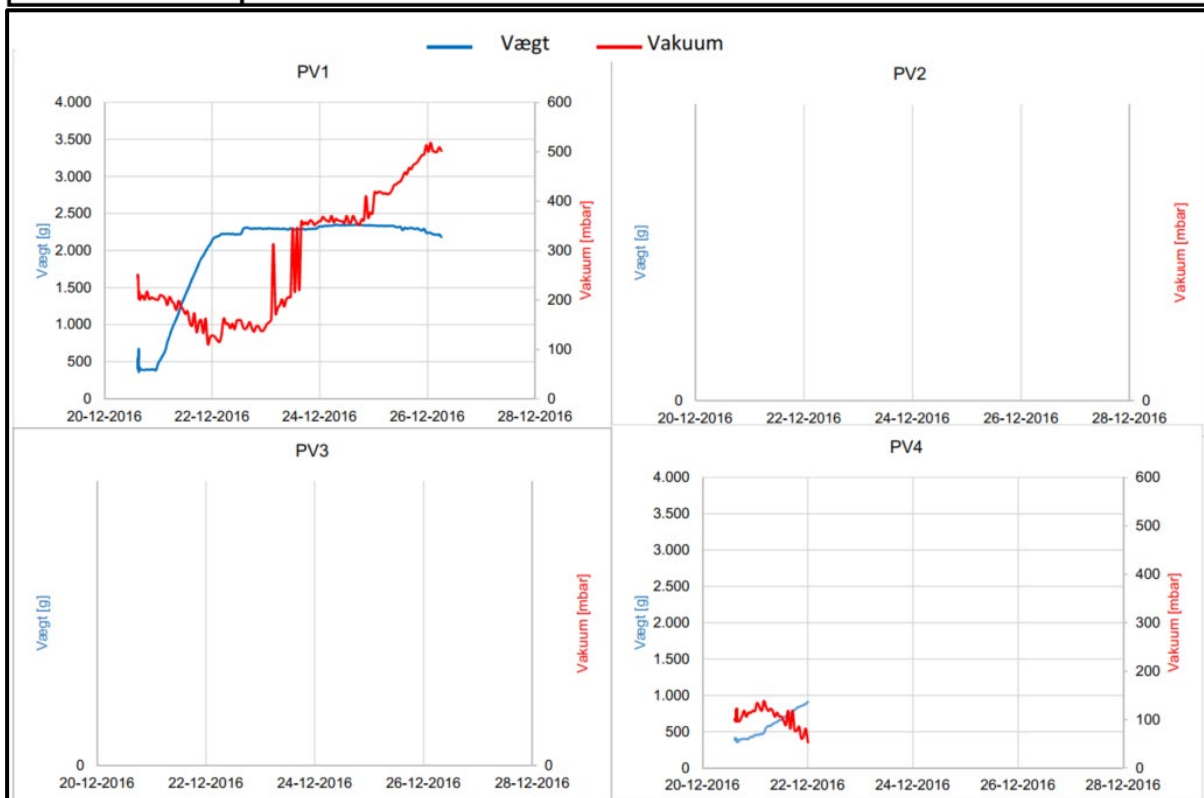




The figure consists of four subplots, each representing a different process (PV1, PV2, PV3, PV4). Each subplot has two y-axes: the left axis represents weight (Vægt [g]) ranging from 0 to 4,000, and the right axis represents vacuum (Vakuum [mbar]) ranging from 0 to 600. The x-axis represents time from 06-12-2016 to 14-12-2016. A legend at the top indicates that the blue line represents weight (Vægt) and the red line represents vacuum (Vakuum).

- PV1:** The weight (blue line) starts at approximately 1,000 g on 08-12-2016 and increases steadily to about 2,800 g by 11-12-2016. The vacuum (red line) starts at approximately 300 mbar on 08-12-2016 and decreases to about 100 mbar by 11-12-2016.
- PV2:** Both weight and vacuum remain near zero throughout the period.
- PV3:** The weight (blue line) starts at approximately 1,000 g on 08-12-2016 and increases steadily to about 2,500 g by 11-12-2016. The vacuum (red line) starts at approximately 100 mbar on 08-12-2016 and decreases to about 50 mbar by 11-12-2016.
- PV4:** The weight (blue line) starts at approximately 1,500 g on 08-12-2016 and increases to about 2,200 g by 10-12-2016, then remains relatively stable. The vacuum (red line) starts at approximately 200 mbar on 08-12-2016, drops to about 100 mbar, and then increases to about 350 mbar by 14-12-2016.

DMR Dansk Miljørådgivning A/S	Sagsnavn:		Brogaardsvej 133, Gentofte					Prøvetagningsperiode:		20/12-28/12 2016				
	DMR-sagsnr.:		2016-1029					Prøvetager:		MFL				
	Kundesagsnr.:							Sagsbehandler hos DMR:		PLA				
Opstilling	Prøve	Opstilling	Kammerhøjde (a.)	Sugecelle (b.)	Diameter (c.)	Kvarts-mel	Vand tilsat	Foring (g.)	Sorbicelle	Start-vakuum	Løftehøjde	Forpumpe	Vand opsamlet	
Terrænnær (T.N.)			a. [m]	b. [m]	c. [m]	g.	ml	g. [m]	Nr.	mbar	cm	ml	ml	
 Løftehøjde = a+b	PV1	Dyb	1,4	2,6	0,07	1000	360	2,2	0711-3326	220	120	3996	2000	
 Løftehøjde = b-a	PV4	Dyb	2,75	5,0	0,07	1000	360	4,6	0711-3185	200	225	3970	2001	
Bemærkninger:														



Bilag 8.2 Fugacitetsberegninger i JAGG 2.1

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrekekoncentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Jord

Kommentar

Ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

Jordtype		Sand
Poreluftvolumen	V _L	0,3
Vand-indhold	V _v	0,15
Samlet porøsitet	$\omega = V_L + V_v$	0,45
Volumen af jordskellet	V _J	0,55
Kornrumvægt	d	2,65
Volumenvægt	ρ	1,4575
Indhold af organisk kulstof	f _{oc}	0,1

Beregning: Fugacitet

Kommentar

Ja	Målepunkt	Dato	Fri fase?	Anvendt brugerdata
	PV1	02-11-2016	Risiko for fri fase	Nej

Angiv signifikant cifre

	Jordkoncentrationer				Vandkoncentrationer			Poreluft konc.		
	Indtastede værdier	Beregnet ud fra profil	Jordkvalitets-kriterium	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Grunddata-kriteriet	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Afdampnings-kriteriet	Overskridelse af kriteriet
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	gange	µg/l	µg/l	gange	mg/m³	mg/m³	gange
BTEX'er										
Benzen		0,00033	1,5	Nej	1,1	1	1,12	0,45	0,00013	3420
Toluen		0			0,76	5	Nej	0,25	0,4	Nej
Ethylbenzen		0,00033			0,54			0,15		
Sum Xylener		0,00033			0,53	5	Nej	0,13	0,1	2,82
Naphtalen		0,0006			0,29	1	Nej	0,0019	0,04	Nej
Kulbrintefraktioner										
C ₆ -C ₁₀	2,2	2,2	25	Nej	720			250		
C ₁₀ -C ₁₅	32	32			260			49		
C ₁₅ -C ₂₀	41	41			1,5			1,4		
C ₂₀ -C ₂₅	32	32			3,3			3,1E-06		
Sum af kulbrinter	110	110	100	1,1	980	9	109	300	0,1	3040
Alkylbenzener										
C ₆ -C ₁₅ aromatiske kulbrinter					710	1	712	120	0,03	3860
Polyaromatiske Kulbrinter (PAH)										
Benzo(a)pyren		0,5	0,3	1,67	0,0064	0,01	Nej	3,3E-08		
benzo(b+j+k)fluoranthren		0,5			0,0059			1,5E-08		
benzo(ghi)perylene		0,4			0,00075			3,5E-10		
Dibenz(a,h)anthracen		0,05	0,3	Nej	0,00089			9,4E-13		
Fluoranthren		0,02089			0,053	0,1	Nej	3,9E-06		
indeno(1,2,3-cd)pyren		5,13004			0,007			6,1E-09		
Sum af 7 PAH'er jord		6,20094	4	1,55						
Sum af 4 PAH'er					0,014	0,1	Nej			
NSO-forbindelser										
Sum af NSO-forbindelser	0	0,1001			170,258			71,868		

Beregningerne udført af

Firmanavn DMR A/S
 Navn/initialer PLA
 Dato/Underskrift 07-04-2017

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret NM
 Godkendt 07-04-2017

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekoncentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Bemærkninger
om jordtypen

På baggrund af slemme-/sigeanalysen er jordtypen defineret som sand.

Bemærkninger
kemisk analyse

Miljøstyrelsen anfører, i udkast til rapporten "Revision af fugacitetsberegninger, håndtering af fri fase og blandingsforureninger" fra 2007, at profillet for olie/benzinblanding bruges hvis C6-C10 fraktionen, udgør mere end 40 % af totalindholdet af kulbrinter. I denne beregning er der således benyttet profillet "lung olie".

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekonzentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Jord

Kommentar

Jordtype

Poreluftvolumen

Vand-indhold

Samlet porøsitet

Volumen af jordskellet

Kornrumvægt

Volumenvægt

Indhold af organisk kulstof

Ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

		Sand
V_L	0,3	
V_V	0,15	
$\phi = V_L + V_V$	0,45	
V_d	0,55	
d	2,65	
ρ	1,4575	
f_{oc}	0,1	

Beregning: Fugacitet

Kommentar

Ja	Målepunkt	Dato	Fri fase?	Anvendt brugerdata
	PV2	02-11-2016	Risiko for fri fase	Nej

Angiv signifikant cifre

Jordkoncentrationer				Vandkoncentrationer			Poreluft konc.		
Indtastede værdier	Beregnet ud fra profil	Jordkvalitets-kriterium	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Grundlæggende kriteriet	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Advarsnings-kriteriet	Overskridelse af kriteriet
mg/kg	mg/kg	mg/kg	gange	µg/l	µg/l	gange	mg/m³	mg/m³	gange
Benzen	0,0003	1,5	Nej	1,1	1	1,07	0,42	0,00013	3220
Toluen	0			0,73	5	Nej	0,23	0,4	Nej
Ethylbenzen	0,0003			0,52			0,18		
Sum Xylener	0,0003			0,51	5	Nej	0,16	0,1	3,34
Naphtalen	9,3E-05			0,069	1	Nej	0,00093	0,04	Nej
Kulbrintefraktioner									
$C_{10}-C_{13}$	2	2	25	Nej	1300		720		
$C_{10}-C_{15}$	5	5			140		27		
$C_{15}-C_{20}$	5	5			0,6		0,63		
$C_{20}-C_{25}$	20	20			6,6		6,9E-06		
Sum af kulbrinter	32	32	100	Nej	1400	9	750	0,1	7470
Alkylbenzener									
$C_{10}-C_{13}$ aromatiske kulbrinter				1300	1	1270	280	0,03	9210
Polyaromatiske Kulbrinter (PAH)									
Benzo(a)pyren	0,5	0,3	1,67	0,023	0,01	2,26	1,2E-07		
benzo(b+j+k)fluoranthren	0,5			0,021			5,5E-08		
benzo(ghi)perylene	0,4			0,0026			1,3E-09		
Dibenz(a,h)anthracen	0,05	0,3	Nej	0,0031			3,3E-12		
Fluoranthren	0,00255			0,023	0,1	Nej	1,7E-06		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,49238			0,0072			6,3E-09		
Sum af 7 PAH'er jord	2,54492	4	Nej						
Sum af 4 PAH'er				0,031	0,1	Nej			
NSO-forbindelser									
Sum af NSO-forbindelser	0	0,1001		285,147			77,4608		

Beregningerne udført af

Firmanavn

Navn/initialer

Dato/Underskrift

DMR A/S

PLA

07-04-2017

Paul Hansen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret NM

Godkendt 07-04-2017 *Anna Lykfeldt*

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekoncentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Bemærkninger
om jordtypen

På baggrund af slemme-/sigeanalysen er jordtypen defineret som sand.

Bemærkninger
kemisk analyse

Detektionsgrænser er indsat som bedste estimat på jordkoncentration. Miljøstyrelsen anfører, i udkast til rapporten "Revision af fugacitetsberegninger, håndtering af fri fase og blandingsforureninger" fra 2007, at profillet for olie/benzinblanding bruges hvis C6-C10 fraktionen, udgør mere end 40 % af totalindholdet af kulbrinter. I denne beregning er der således benyttet profillet "tung olie".

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekonzentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Jord

Kommentar

Jordtype

Poreluftvolumen

Vand-indhold

Samlet porøsitet

Volumen af jordskellet

Kornrumvægt

Volumenvægt

Indhold af organisk kulstof

Ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

		Sand
V_L	0,3	
V_V	0,15	
$\phi = V_L + V_V$	0,45	
V_J	0,55	
d	2,65	
ρ	1,4575	
f_{oc}	0,1	

Beregning: Fugacitet

Kommentar

Ja	Målepunkt	Dato	Fri fase?	Anvendt brugerdata
	PV3 (4,0 m u.t.)	02-11-2016	Risiko for fri fase	Nej

Angiv signifikant cifre

Jordkoncentrationer				Vandkoncentrationer			Poreluft konc.		
Indtastede værdier	Beregnet ud fra profil	Jordkvalitetskriterium	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Grunddatakriteriet	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Advarselskriteriet	Overskridelse af kriteriet
mg/kg	mg/kg	mg/kg	gange	µg/l	µg/l	gange	mg/m³	mg/m³	gange
	0,0003	1,5	Nej	1,1	1	1,15	0,43	0,00013	3340
	0			0,78	5	Nej	0,24	0,4	Nej
	0,0003			0,56			0,16		
	0,0003			0,55	5	Nej	0,14	0,1	3,02
	0,00012			0,066	1	Nej	0,00041	0,04	Nej
2	2	25	Nej	770			270		
6,3	6,3			60			11		
33	33			1,4			1,4		
63	63			8,4			7,1E-06		
100	100	100	Nej	840	9	93,4	280	0,1	2780
				760	1	763	120	0,03	3930
PAH)									
	0,5	0,3	1,67	0,0075	0,01	Nej	3,9E-08		
	0,5			0,0069			1,8E-08		
	0,4			0,00088			4,2E-10		
	0,05	0,3	Nej	0,001			1,1E-12		
	0,01682			0,05	0,1	Nej	3,7E-06		
	4,66368			0,0075			6,5E-09		
	5,73049	4	1,43						
				0,015	0,1	Nej			
0	0,1001			194,802			77,1951		

Beregningerne udført af

Firmanavn

Navn/initialer

Dato/Underskrift

DMR A/S

PLA

07-04-2017

Poul Hansen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret NM

Godkendt 07-04-2017 *Annika Lykfeldt*

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekoncentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Bemærkninger
om jordtypen

På baggrund af slæmme-/sigeanalysen er jordtypen defineret som sand.

Bemærkninger
kemisk analyse

Detektionsgrænser er indsat som bedste estimat på jordkoncentration, for indhold af TVOC der ikke er over detektionsgrænsen. Miljøstyrelsen anfører, i udkast til rapporten "Revision af fugacitetsberegninger, håndtering af fri fase og blandingsforureninger" fra 2007, at profillet for olie/benzinblanding bruges hvis C6-C10 fraktionen, udgør mere end 40 % af totalindholdet af kulbrinter. I denne beregning er der således benyttet profillet "tung olie".

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekoncentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Jord

Kommentar

Jordtype

Poreluftvolumen

Vand-indhold

Samlet porositet

Volumen af jordskellet

Kornrumvægt

Volumenvægt

Indhold af organisk kulstof

Ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

	Ler	
V_L	0,1	
V_V	0,3	
$\epsilon = V_L + V_V$	0,4	
V_d	0,6	
d	2,7	
ρ	1,62	
f_{oc}	0,1	

Beregning: Fugacitet

Kommentar

Angiv signifikant cifre

Ja	Målepunkt	Dato	Fri fase?	Anvendt brugerdata
	PV4 (5,0 m u.t.)	02-11-2016	Risiko for fri fase	Nej

Jordkoncentrationer				Vandkoncentrationer			Poreluft konc.		
Indtastede værdier	Beregnet ud fra profil	Jordkvalitets-kriterium	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Grundvands-kriteriet	Overskridelse af kriteriet	Beregnet ud fra fugacitet	Aldamplings-kriteriet	Overskridelse af kriteriet
mg/kg	mg/kg	mg/kg	gange	µg/l	µg/l	gange	mg/m³	mg/m³	gange
Benzen	0,0003	1,5	Nej	1	1	1,03	0,39	0,00013	2990
Toluen	0			0,71	5	Nej	0,22	0,4	Nej
Ethylbenzen	0,0003			0,51			0,17		
Sum Xylener	0,0003			0,5	5	Nej	0,15	0,1	3,27
Naphtalen	9,3E-05			0,068	1	Nej	0,00086	0,04	Nej
Kulbrintefraktioner									
C_6-C_{10}	2	2	25	Nej	1300		670		
$C_{10}-C_{15}$	5	5			130		25		
$C_{15}-C_{20}$	7,5	7,5			0,83		0,87		
$C_{20}-C_{25}$	20	20			6,1		6,4E-06		
Sum af kulbrinter	35	35	100	Nej	1400	9	690	0,1	6930
Alkylbenzener									
C_9-C_{12} aromatiske kulbrinter				1200	1	1250	260	0,03	8540
Polyaromatiske Kulbrinter (PAH)									
Benzo(a)pyren	0,5	0,3	1,67	0,021	0,01	2,09	1,1E-07		
benzo(b+j+k)fluoranthren	0,5			0,019			5,1E-08		
benzo(ghi)perylene	0,4			0,0025			1,2E-09		
Dibenz(a,h)anthracen	0,05	0,3	Nej	0,0029			3,1E-12		
Fluoranthren	0,00382			0,032	0,1	Nej	2,4E-06		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,63229			0,0073			6,4E-09		
Sum af 7 PAH'er jord	2,68611	4	Nej						
Sum af 4 PAH'er				0,029	0,1	Nej			
NSO-forbindelser									
Sum af NSO-forbindelser	0	0,1001		212,4			31,7014		

Beregningerne udført af

Firmanavn DMR A/S
 Navn/initialer PLA
 Dato/Underskrift 07-04-2017

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret NM
 Godkendt 07-04-2017

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler

Oliestoffer - fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Beregninger af kildestyrkekoncentration	Lokalitetsnr.:	
Adresse:	Brogaardsvej 133	Postnr/by:	2820 Gentofte
Matrikel nr.:	9ae Vangede	Projekt nr.:	2016-1029
Note			

Bemærkninger
om jordtypen

På baggrund af slæmme-/sigeanalysen er jordtypen defineret som sand.

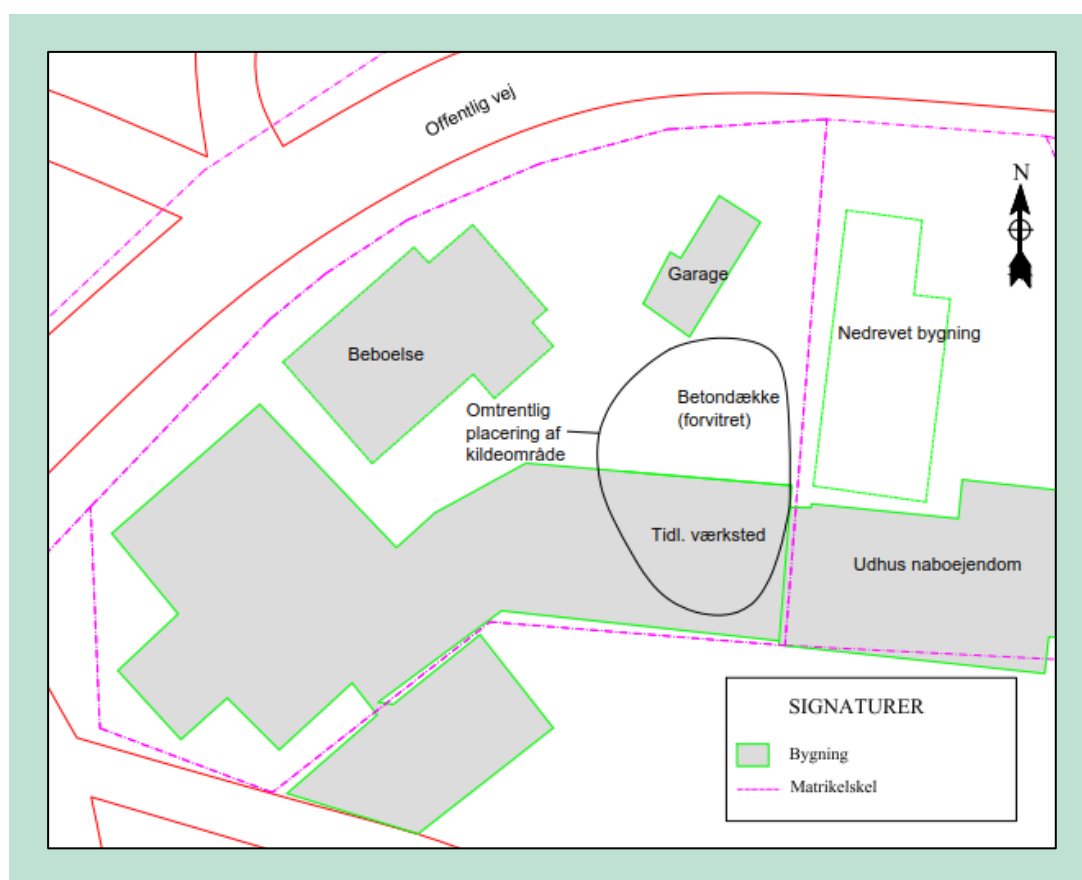
Bemærkninger
kemisk analyse

Detektionsgrænser er indsat som bedste estimat på jordkoncentration, for indhold af TVOC der ikke er over detektionsgrænsen. Miljøstyrelsen anfører, i udkast til rapporten "Revision af fugacitetsberegninger, håndtering af fri fase og blandingsforureninger" fra 2007, at profillet for olie/benzinblanding bruges hvis C6-C10 fraktionen, udgør mere end 40 % af totalindholdet af kulbrinter. I denne beregning er der således benyttet profillet "tung olie".

Bilag 9. Felttest B (chlorerede opløsningsmidler)

På den undersøgte ejendom har der siden 1926 været smedje og siden 1953 været maskinværksted med reparation af landbrugsmaskiner i tilhørende bygninger. Værkstedss aktiviteterne ophørte i 1990.

Anvendelsen til maskinværksted har ledt til jord- og grundvandsforurening med chlorerede opløsningsmidler (primært tetrachlorethylen - PCE), som udgør en risiko for områdets grundvandsinteresser, herunder drikkevandsboringer, beliggende ca. 700 m syd-sydvest for lokaliteten. En overordnet situationsplan som viser placering af bygningerne ses af nedenstående figur.



FIGUR 9.1. Placering af bygninger og kildeområde på ejendom.

Felttesten er udført som en del af teknologiudviklingsprojekt, og supplerede sagsløsningen i en igangværende videregående grundvandsundersøgelse, udført for Region Nordjylland.

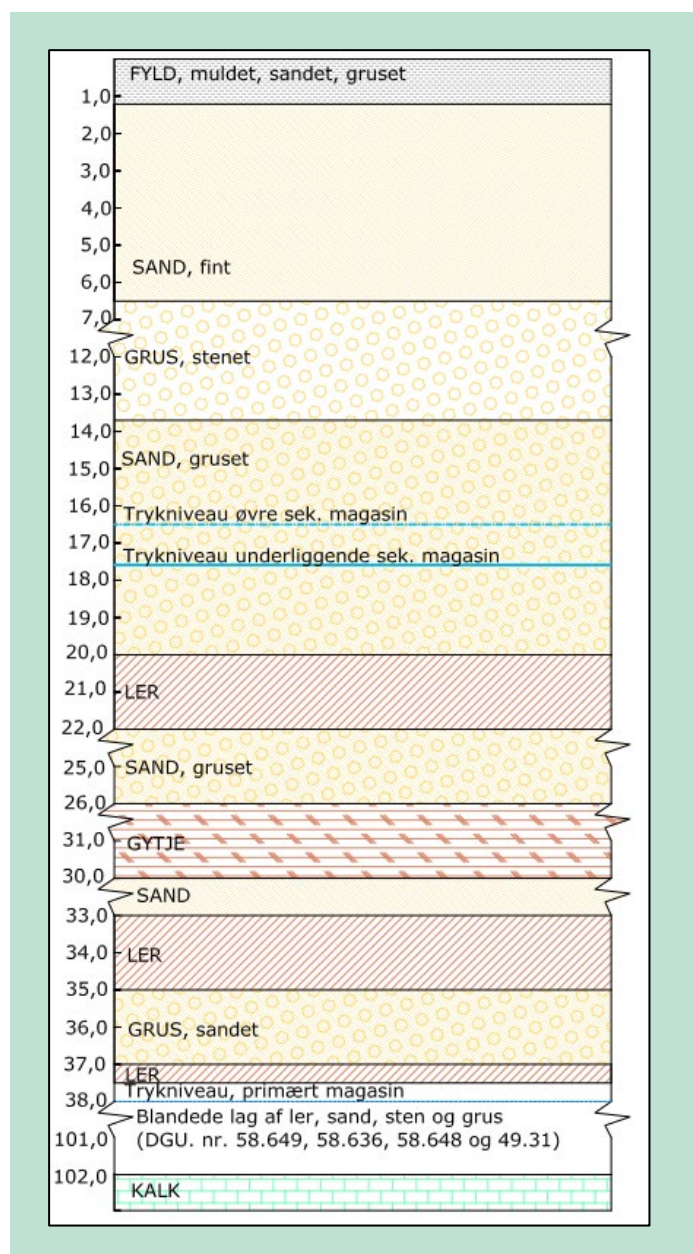
Formål med porevandsundersøgelser

Formålet med porevandsundersøgelse af denne lokalitet var primært at undersøge kildestyrkekoncentrationen, som ellers skulle estimeres ved fugacitetsberegninger. Sekundært var det formålet at måle porevandskoncentrationen under en del af kildeområdet, hvor var konstateret indhold af PCE i jordprøver på op til 1.000 mg/kg TS.

Geologi, grundvandsinteresser og hydrogeologi

Et geologisk profilsnit for den lokale geologi fremgår af nedenstående figur. Profilsnittet er tolket ud fra boreprofiler fra tidligere undersøgelser, samt udvalgte profiler fra Jupiter databasen.

Lokalt er der et forvitret betondække ved terræn, som dækker hele pladsen foran værkstedet og et intakt betondække under værkstedet. Under betondækket er der et fyldlag på op til 1,2 m bestående af muld, sand og grus. Under fyldlaget er der et sandlag, som strækker sig til ca. 6,5 m u.t. Under sandlaget er der grus til ca. 13 m u.t., som stedvist er sandet og stenet. Gruslaget er underlejret af et sandlag til ca. 20 m u.t. Fra ca. 20 - 21,4 m u.t. er der truffet ler, som er underlejret af vekslende lag af sand, gytje, ler og grus til 38,8 m u.t.



Figur 9.2: Lokalt geologisk profilsnit ved/omkring kildeområdet.

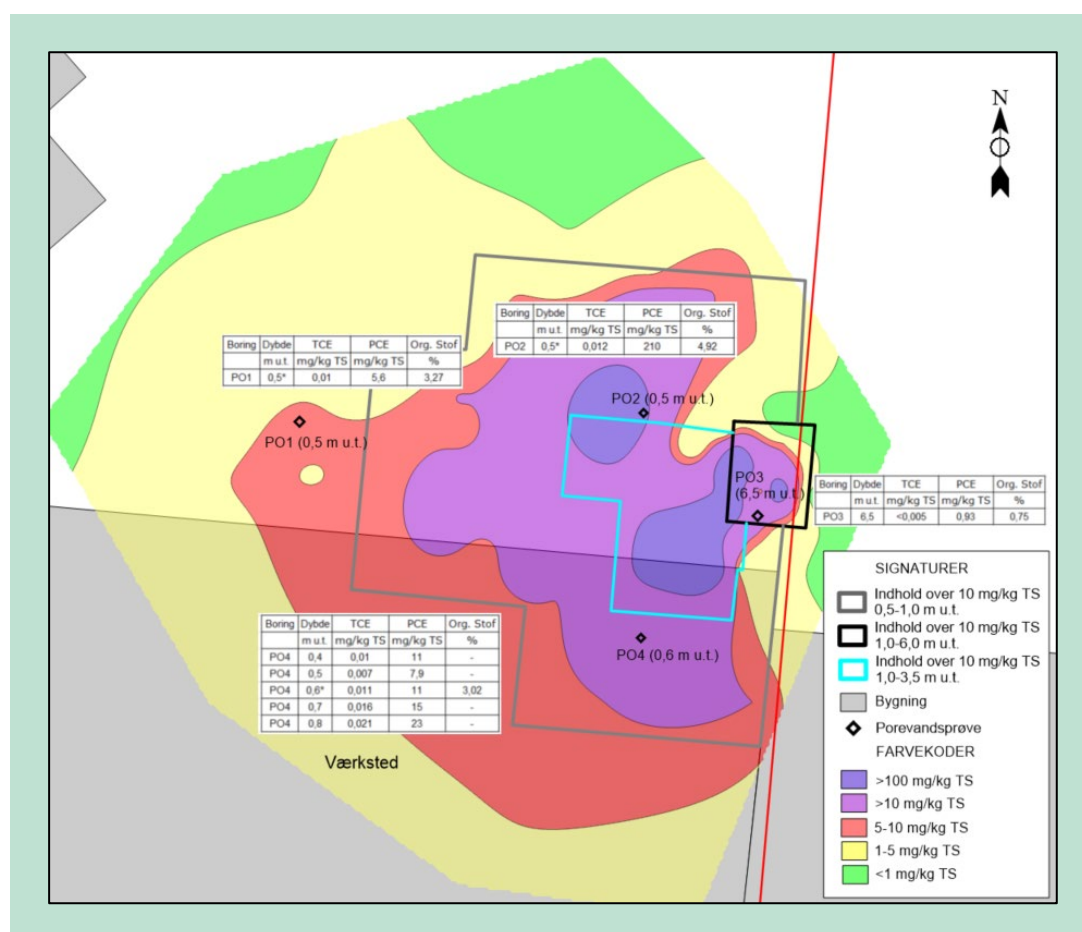
Det øvre sekundære magasin, med trykniveau omkring 16,5 m u.t., er tilknyttet de sandede og grusede aflejringer over lerlaget fra 20-21,4 m u.t. Strømningsretningen for det øvre sekundære magasin er øst-nordøstlig. Der er endvidere truffet et underliggende sekundært magasin med trykniveau omkring 17,6 m u.t. i filtret som er sat 35,5-37,5 m u.t. Strømningsretningen for

ver udtaget dybere end 1 m u.t. Områder med dybereliggende forurening er ligeledes visualiseret i figur 9.3, og der er som det fremgår dels et område hvor indhold af PCE >10 mg/kg TS strækker sig til ca. 3,5 m u.t. og dels et område hvor forureningen først er afgrænset 6,0 m u.t.

I grundvandet er der konstateret indhold af PCE i det øvre sekundære magasin på op til 530 µg/L (S5, 16,8-18,8 m u.t.) og i det filtersatte underliggende sekundære magasin op til 140 µg/L (S3, 35,5-37,5 m u.t.), svarende til henholdsvis 530 og 140 gange Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium.

Placering og installation af sugeceller

Porevandsundersøgelserne i dette projekt omfattede installation af fire sugeceller. Placeringen af porevandsprøverne fremgår af nedenstående figur. PO1, PO2 og PO4 blev placeret relativt terrænnært (0,5-0,6 m u.t.), i områder med forskellige jordkoncentrationer af PCE, for dermed at måle kildestyrkekoncentrationen i jordprøver, der repræsenterede mest mulig af kildeområdet. PO4 blev placeret relativt dybt (6,5 m u.t.) for at estimere porevandskoncentrationen under den del af kildeområdet, hvor den højeste koncentration var konstateret (1.000 mg/kg TS).



FIGUR 9.4. Placering af sugeceller og koncentration af TCE og PCE samt indhold af organisk stof i jordprøver fra samme punkter/dybder. I PO4 er der suppleret med koncentrationer i jordprøver både over og under installationsdybden. *angiver dybden for installation af sugecellen.

En detaljeret metodebeskrivelse for installation af sugecellerne ses i kapitel 3. Sugecellerne (rustfrit stål fra Soil Measurement Systems produkt nr.: SW-074-8) PO1-PO4 blev installeret i juni og august 2016. Fotos fra installationen fremgår af figur 9.5.



FIGUR 9.5. Fotos fra installation af sugeceller.

Overordnet, var det relativt let at installere de terrænnære sugeceller (PO1, PO2 og PO4), da det kunne udføres med håndbor, og man kunne se hele installationen, og sikre sig, at sugecellen sad korrekt i kvartsmelet. Disse tre installationer fungerede også efter hensigten fra starten, mens det i begyndelsen ikke var muligt at trække porevand fra den dybe sugecelle ved PO3. Det blev derfor lavet en ny manuel installation ved (med håndbor) at bore/trække sugecellen op via det permanente forerør og lave en ny installation. I forbindelse med denne installation blev der indkøbt et endoskop med en 10 m lang ledning, så det kunne sænkes ned og inspicere at sugecellen sad centreret i boringen og var dækket af kvartsmel. Denne teknik til inspektion af dybe installationer (hvor det ikke kan ses direkte) anbefales fremadrettet, for at minimere risikoen for at fejlinstallationer ikke bliver opdaget med det samme.

Samlet vurderes det, at proceduren for de terrænnære installationer fungerede efter hensigten. Proceduren for de dybe installationer fungerer ligeledes, men selve installationen af sugecellen i kvartmelet er vanskelig at styre, når det foregår så dybt at det ikke kan ses direkte

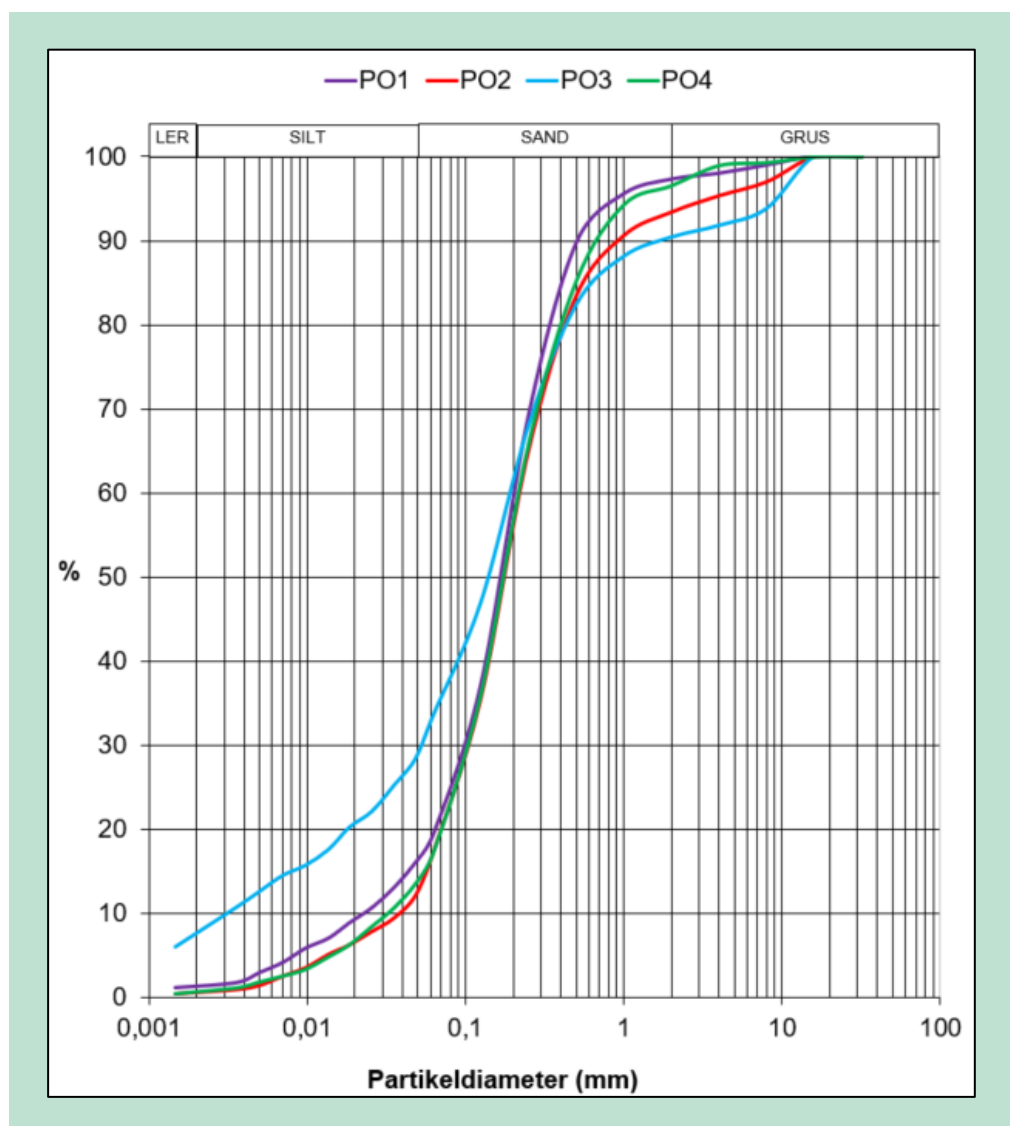
hvordan installationen sidder. Selvom inspektion med endoskop giver en god tryghed for at installationen er korrekt, vurderes det, at udvikling af et installationsaggregat til dybe installationer som bedre kan sikre, optimal placering af sugecelle og kvartmel vil medvirke til at spare tid og give tryghed for installationens duelighed.

Ved PO3 blev der i bunden af den permanente foring (110 mm kloakrør, 6,0 m u.t.) håndboret til den ønskede dybde for installation af sugecellen (6,5 m u.t.). Kvartsmel opslæmmet i demineraliseret vand blev tilsat i den dybde hvor sugecellen skulle installeres og selve sugecellen blev installeret umiddelbart efter. Over sugecellen blev der hældt 20 cm filtersand og efterfyldt med 20 cm bentonit.

Sugecellerne blev efterfølgende forbundet med sorbiceller og vakuumkammer. Prøvetagerne blev programmeret ud fra den konkrete installation - dvs. indstilling af løftehøjde fra sugecelle til vakuumkammer og indstilling af startvakuum.

Porevandsprøverne på lokaliteten blev udtaget uden forpumpning, for at vurdere effekter af forpumpning. I PO1, PO3 og PO4 blev der udtaget tre porevandsprøver fra hver installation og i PO2 blev der udtaget 6 porevandsprøver.

Ved installation af sugecellerne blev der udtaget jordprøver fra installationsdybden til analyse for kornstørrelsesfordeling, og resultaterne ses af nedenstående figur.



FIGUR 9.6. Resultater fra bestemmelse af kornstørrelsesfordeling.

Som det fremgår af figur 9.6, er der højere indhold af ler og silt i PO3 (udtaget 6,5 m u.t.) end i PO1, PO2 og PO4 (udtaget 0,5-0,6 m u.t.). Af nedenstående tabel fremgår en oversigt over fordelingen af ler, silt, sand og grus i de fire prøver, sammen med definitionen på partikelstørrelse fra U.S. Department of Agriculture (USDA).

Tabel 9.1: Procentvis fordeling af ler, silt, sand og grus i dybder hvor sugeceller er installeret, samt organisk stof og vandindhold.

Tekstur-beskrivelse	USDA mm	PO1 %	PO2 %	PO3 %	PO4 %
Ler	<0,002	1,1	0,5	6,0	0,5
Silt	0,002-0,05	14,9	11,7	22,4	13,1
Sand	0,05-2,0	81,3	81,2	62	83
Grus	2,0-10	1,7	3,6	3,4	2,7
Glødetab	-	3,3	4,9	0,93	3,09
Vandindhold	-	15	17	10	13

I henhold til /12/ kan jordprøverne ud fra fraktioneringen i ler, silt, sand og grus overordnet bedømmes efter nedenstående:

- <12 % ler og >45-50 % sand klassificeres som morænesand.
- <12 % ler og >45-50% silt klassificeres som morænesilt
- 12-15 % ler og >45-50% silt klassificeres som moræneler stærkt siltet.
- 12-15 % ler og >45-50% sand som moræneler stærkt sandet.

Underliggende kommentarer på fraktioner af silt og ler kan inddeles således:

- <5 % ler/silt klassificeres som svagt leret eller svagt siltet.
- 5-10 % ler/silt klassificeres som leret eller siltet.
- >10 % ler/silt klassificeres som stærkt leret eller siltet.

På baggrund af ovenstående nøgle kan PV1-PV4 klassificeres således:

- PO1 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og stærkt siltet.
- PO2 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og stærkt siltet.
- PO3 klassificeres som morænesand, der er leret og stærkt siltet.
- PO4 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og stærkt siltet.

Kornkurverne er indtastet i HydrogeoSieveXL for at estimere middelværdien for den hydrauliske ledningsevne, samt et interval for min. og maks. estimaterne på ledningsevnen. For de fire jordprøver er der konstateret følgende hydraulisk ledningsevne:

PO1: $4,56 \cdot 10^{-6}$ ($9,7 \cdot 10^{-7} - 1,2 \cdot 10^{-5}$).

PO2: $6,66 \cdot 10^{-6}$ ($4,62 \cdot 10^{-7} - 1,42 \cdot 10^{-5}$).

PO3: $3,44 \cdot 10^{-6}$ ($8,27 \cdot 10^{-9} - 1,22 \cdot 10^{-5}$).

PO4: $6,70 \cdot 10^{-6}$ ($3,07 \cdot 10^{-8} - 1,66 \cdot 10^{-5}$).

Der er som det fremgår estimeret den laveste hydrauliske ledningsevne i PO3, efterfulgt i stigende rækkefølge af PO1, PO2 og PO4.

Ved installation af sugecellerne er der endvidere udtaget jordprøver til kemisk analyse for chlorerede opløsningsmidler og organisk stof, og resultaterne fremgår af figur 9.4. Som det fremgår er det højeste indhold af PCE konstateret i PO2, indholdene i PO1 og PO4 er omtrent på samme niveau og i PO3 er det laveste indhold af PCE konstateret.

Det fremgår endvidere, at indholdet af organisk stof er højest og på samme niveau i PO1, PO2 og PO4, og lavest i PO3, hvilket hænger sammen med prøvetagningsdybden for de 4 jordprøver.

Prøvetagningsskemaer fra porevandsprøvetagningen og nøgletal fra prøvetagningen i de to prøvetagningspunkter ses af nedenstående tabel:

Tabel 9.2: Nøgletal fra porevandsprøvetagning. *Stiger til maks. vakuum på 500 mbar. Tid for prøvetagning er den samlede tid der gik med opsamling af porevandsprøverne efter forpumpning. Eff. tid for prøvetagning var tiden der gik efter vakuum var tilstrækkelig høj til at der kunne suges vand fra formationen.

Prøvetagningsrunde	Nøgletal	PO1	PO2	PO3	PO4
Runde 1	Tid for prøvetagning (døgn)	7	7		
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	7	6		
	Volumen (ml)	2.030	1.086		
	Stabilt vakuum (mbar)	120	110		
Runde 2	Tid for prøvetagning (døgn)	7	9		
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	6	5		
	Volumen (ml)	1.683	1.629		
	Stabilt vakuum (mbar)	120	120		
Runde 3	Tid for prøvetagning (døgn)		7	5	
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)		6	5	
	Volumen (ml)		1.980	1.950	
	Stabilt vakuum (mbar)		150	90	
Runde 4	Tid for prøvetagning (døgn)		6	5	7
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)		5	5	7
	Volumen (ml)		2.060	1.980	2.050
	Stabilt vakuum (mbar)		200	100	500*
Runde 5	Tid for prøvetagning (døgn)		7	5	7
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)		6	5	7
	Volumen (ml)		2.070	1.970	1.900
	Stabilt vakuum (mbar)		300	150	500*
Runde 6	Tid for prøvetagning (døgn)				7
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)				6
	Volumen (ml)				1.852
	Stabilt vakuum (mbar)				500*

Resultater fra porevandsundersøgelser

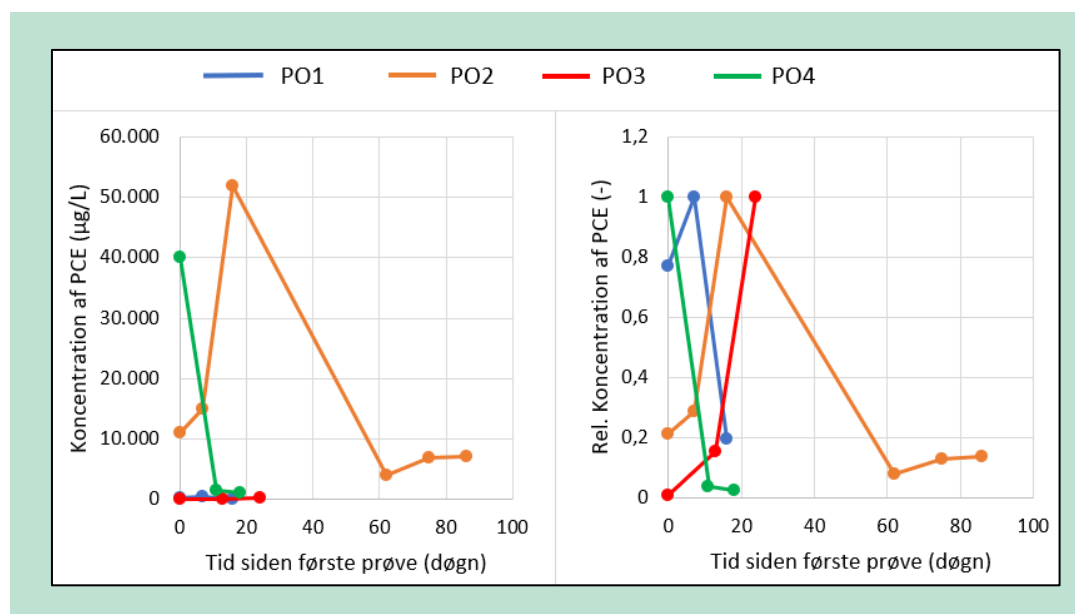
Analyseresultaterne fremgår af nedenstående tabel sammen med Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium /11/. det bemærkes, at grundvandskvalitetskriteriet ikke gælder for porevand, men anvendes til sammenligning, da porevandet transporteres mod grundvandet. Fremhævede felter angiver overskridelse af grundvandskvalitetskriterierne.

Overordnet, er der, som det fremgår af tabel 9.3, konstateret indhold af TCE og PCE, svarende til hhv. op til en faktor 27 (PO4) og op til en faktor 52.000 (PO2). Indholdet af PCE udgør derfor langt den største overskridelse af kvalitetskriterierne og vil være styrende for risikovurderinger for grundvandet på den konkrete lokalitet.

Tabel 9.3: Resultater for chlorerede opløsningsmidler i porevandsprøver. *=den første prøve udtaget ved PO3 er ikke medtaget i beregning af middelværdi og median pga. ekstra fortynding med demineraliseret vand fra to installationer. (TCE) trichlorethylen, (PCE) tetrachlorethylen. Grå skravering markerer indhold over grundvandskvalitetskriteriet.

Prøve	Dybde	Dato	Forpumpet	Prøvevolumen	TCE	PCE
			mL	mL	µg/L	µg/L
PO1	0,5	15-22/6 2016	0	1.086	1,3	300
		22-29/6 2016	1.086	2.043	1,7	390
		29/6-8/7 2016	3.129	1.683	0,26	77
	Middel (PO1)				1,1	260
Median (PO1)				1,3	300	
PO2	0,5	15-22/6 2016	0	2.030	0,69	11.000
		22-29/6 2016	2.030	2.053	0,74	15.000
		29/6-8/7 2016	4.083	1.629	5,5	52.000
		15-23/8 2016	5.712	1.980	1,8	4.100
		23/8-5/9 2016	7.692	2.060	4,2	6.800
	5-16/9 2016	9.752	2.070	4,6	7.200	
Middel (PO2)				2,9	16.000	
Median (PO2)				3	9.100	
PO3	6,5	15-23/8 2016*	0	1.950	0,56	4,1
		23/8-5/9 2016	1.950	1.980	3,0	56
		5-16/9 2016	3.930	1.970	3,8	360
	Middel (PO3)				3,4	210
Median (PO3)				3,4	210	
PO4	0,6	23/8-5/9 2016	0	2.050	27	40.000
		5-16/9 2016	2.050	1.900	7,4	1.500
		16-29/10 2016	3.950	1.852	5,0	1.100
	Middel (PO4)				15	14.000
Median (PO4)				9,2	1.500	
Grundvandskvalitetskriterier					1	1

For alle målepunkter fremgår det, at der er konstateret relativ stor variation i indholdet af PCE i porevandet. I nedenstående figur er indholdet af PCE plottet i tidsserier i de fire prøvetagningspunkter.



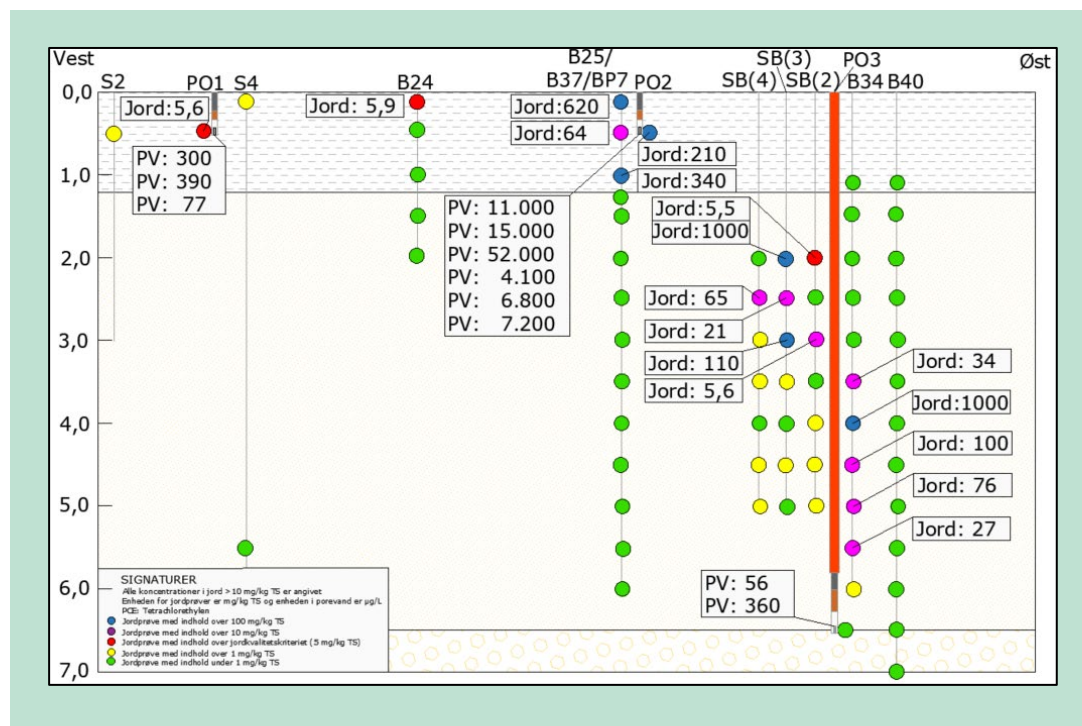
FIGUR 9.7. Tidsserier for indhold af PCE.

Som det fremgår af ovenstående figur, er der ikke en entydig tendens i koncentrationer udtaget fra samme punkt, bortset fra PO3. Det var forventet, at den første prøve ville have et relativt lavere indhold, pga. det ekstra tilsatte demineraliserede vand fra dobbelt installation af denne sugecelle. De efterfølgende ville forventeligt være stabiliseret på et relativt stabilt koncentrationsniveau, fordi demineraliseret vand til installation dermed blev fjernet. Der er dog konstateret et stigende indhold i PO3, hvor der også var anvendt mest demineraliseret vand. Af samme årsag er det ved beregning af middelværdier og medianer i tabel 9.3 valgt at se bort fra det første resultat fra PO3.

Det foreligger ikke en entydig forklaring på de konstaterede variationer i hvert punkt, men ved gravearbejdet, blev det konstateret at forureningen på denne lokalitet var relativt heterogent fordelt i jorden. Dette kan eks. medføre, at der ved én prøvetagningsrunde skabes hydraulisk kontakt til en lille dråbe af fri fase, som så er suget væk ved de efterfølgende prøvetagninger. En anden mulighed er, at der har været variationer i nedbør, der influerer på koncentrationen i specielt de terrænnære prøver. Dette virker dog ikke sandsynligt i PO4, som er udtaget under bygningen under et 15 cm tykt betongulv uden betydelige synlige skader.

Konceptuel forståelse

I nedenstående figur er der vist et vertikalt snit af jordforureningens udbredelse sammen med placering af porevandsprøverne PO1, PO2 og PO3 og indhold målt i porevandsprøver og udvalgte jordprøver.



FIGUR 9.8. Vertikal fordeling af jord- og porevandsforurening.

På denne sag har der sandsynligvis været håndteret chlorerede opløsningsmidler på betonpladsen, og spildt PCE er efterfølgende trængt ned igennem betonpladen igennem revner og sprækker, som har resulteret i en meget heterogen forureningsfordeling i jorden.

Sammenholdes den horisontale spredning i figur 9.3 med den vertikale profil i figur 9.7, fremgår det, at jordforureningen ved PO1 og PO2 er beliggende relativt terrænnært (0,5-1,0 m u.t.), mens jordforureningen ved PO3 ligger betydelig dybere. Der fremgår endvidere af den horisontale spredning i figur 9.3 og den vertikale spredning i figur 9.7, at koncentrationen kan ændres fra 1.000 mg/kg TS i jorden og til <1 mg/kg TS inden for en vertikal afstand på ca. 1 m.

Dette eksempel understreger, at en grundig karakterisering af jordforureningens fordeling inden udførelse af porevandsundersøgelser er afgørende for optimal placering af porevandsprøverne. Alternativt skal der udtages porevandsprøver i relativt mange punkter for at sikre, en bred repræsentation af porevandsprøver ved forskellige jordkoncentrationer.

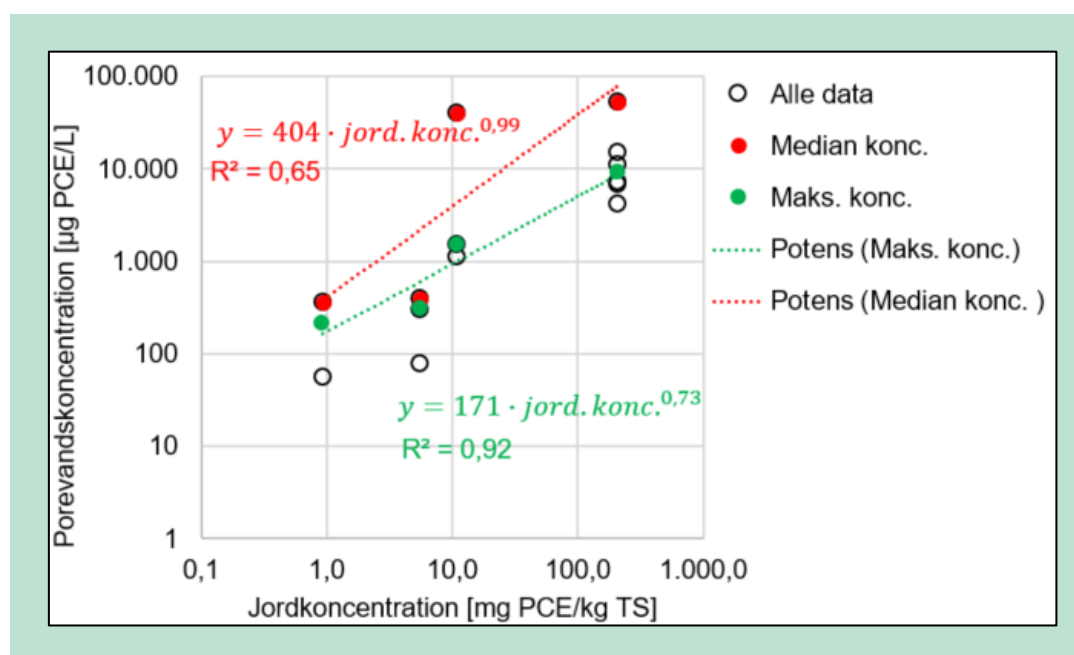
En vurdering af kildestyrkekoncentrationen bør derfor tage højde for den heterogene fordeling.

Kildestyrkekoncentration

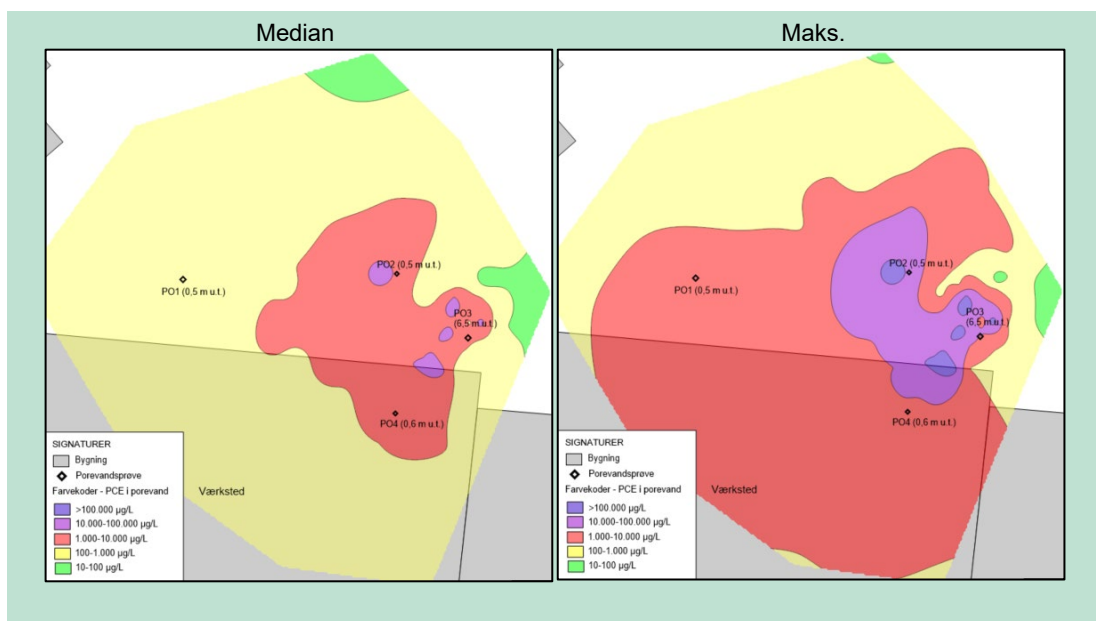
Porevandsundersøgelserne i selve forureningens kildeområde (PO1, PO2 og PO4) viser overordnet, at der kan måles kildestyrkekoncentrationer af PCE (median) på 300-16.000 µg/L.

Den arealvægtede kildestyrkekoncentration blev estimeret ved at tage udgangspunkt i konturplottet for den horisontale fordeling af jordkoncentrationer vist i figur 9.3. Denne fordeling er bestemt ved anvendelse af kriging i Surfer, og opdeling af kildeområdet i delarealer på ca. 50 cm². Kildestyrkekoncentrationen i hver delfelt blev estimeret ud fra ligningerne i figur 9.9, hvor jord- og porevandskoncentrationen er plottet mod hinanden og der er plottet hhv. median og maksimale tendenslinjer.

Den horisontale fordeling af kildestyrkekoncentrationen baseret på forholdet mellem jordkoncentrationer og hhv. median- og maksimale porevandskoncentrationer er præsenteret i figur 9.10.



Figur 9.9. Plot af målte jord- og porevandskoncentrationer og tendenslinjer baseret på potensfunktioner fittet til henholdsvis de maksimale koncentrationer og mediankoncentrationerne.



Figur 9.10. Horisontal fordeling af PCE i porevand estimeret henholdsvis ud fra forholdet mellem jordkoncentrationer og hhv. median- og maksimale porevandskoncentrationer.

Porevandskoncentration under kildeområdet (udsivning)

Der blev placeret en porevandsprøve, PO3, under området hvor de højeste jordkoncentrationer på 1.000 mg/kg TS var målt (B34). Jordprøven var udtaget 4,0 m u.t. og porevandsprøven blev udtaget 6,5 m u.t. Den vertikale fordeling ses af figur 9.8. Som det fremgår var der mellem punktet for udtagning af porevandsprøven og det relativt høje indhold i B34, konstateret aftagende indhold af PCE på 1,5-100 mg/kg TS, hvilket underbygger, at porevandsprøven var placeret under kildeområdet.

Det fremgår endvidere af figur 9.8, at der maksimalt konstateres indhold af PCE i PO3 på 360 µg/L.

For at etablere et sammenligningsgrundlag, er der lavet en vertikal transportberegning i Miljøstyrelsens JAGG-model (v. 2.1), for at vurdere om der kan forventes gennemslag af PCE i PO3, når det skal transporteres 2,5 m vertikalt fra 4,0 m u.t. Ved beregningen er der taget udgangspunkt i mediankoncentrationen af PCE i porevandet i B34 (4,0 m u.t.) på ca. 27.000 µg/L, estimeret ved ligningen vist i figur 9.9 og en minimal transporttid på 26 år, svarende til tiden fra værkstedet lukkede og til prøvetagningstidspunktet. Beregningen er vedlagt i 9.2. Som det fremgår af bilag 9.2, kan der estimeres en koncentration i porevandet i PO3 på ca. 24.000 µg/L, svarende til ca. 89 % af udgangskoncentrationen. Sammenlignes med det maksimalt konstaterede indhold på 360 µg/L, indikerer resultaterne, at der er betydelig større effekter af fortynding, adsorption og stoffjernelse/nedbrydning, end der estimeres ved en vertikal transport beregning. Det skal dog tages i betragtning, at der kun er placeret én porevandsprøve under B34, og at udtagning af flere porevandsprøver under kildeområdet ville nuancere billedet. Men det vurderes, at forskellen mellem de faktisk målte indhold og det estimerede indhold i JAGG er på et niveau, der understreger, at udsivningen fra kildeområdet er betydelig mindre end hvad der kan estimeres teoretisk.

Beregnet vs. målt porevandskoncentration

I bilag 9.3 er der foretaget fugacitetsberegninger i Miljøstyrelsens JAGG 2.1, for at estimere porevandskoncentrationer, med udgangspunkt i standard indhold af organisk kulstof på 0,1% i sand. Dertil er der beregnet porevandskoncentrationer, hvor målt indhold af organisk stof er anvendt til at estimere indhold af organisk kulstof (estimeret ved at gange glødetab med 0,58

/13/). Begge dele er sammenlignet med porevandskoncentrationer (median og maks. koncentration) i nedenstående tabel.

Tabel 9.3. Sammenligning af beregnede og målte porevandskoncentrationer. Organisk kulstof er estimeret ved at gange organisk stof med 0,58 /1/.

Punkt	PCE-jord (målt)	Org. stof	Org. kulstof	PCE i porevand beregnet vha. JAGG		PCE porevand (målt)	
				0,1 % org. kulstof	Målt org. stof)	Median	Maks.
	mg/kg TS	%	%	µg/L	µg/L		
PO1	5,6	3,3	1,9	7.300	570	300	390
PO2	210	4,9	2,8	206.000	15.000	9.100	52.000
PO3	0,93	0,75	0,44	1.200	380	210	360
PO4	11	3,0	1,74	14.000	1.200	1.500	40.000

Som det fremgår af tabel 9.3, overestimerer de beregnede porevandskoncentrationer ud fra standardværdier for org. stof i PO1-PO3 de målte maksimale porevandskoncentrationer. Den faktuelle overskridelse er på ca. 3-19. I PO4 er der én målt porevandskoncentration på 40.000 µg/L mens de resterende målinger i PO4 er på hhv. 1.400 og 1.500 µg/L (se tabel 9.2).

Der fremgår desuden, at beregninger baseret på målte indhold af organisk stof, resulterer i at porevandskoncentrationerne af PCE reduceres betydeligt, og stemmer relativt godt med målte median PCE-koncentrationer, idet forskellen ligger indenfor en faktor 1-2.

Bilag 9.1 Feltskemaer fra porevandsprøvetagning

DMR

Dansk Miljørådgivning A/S

Sagsnavn: Mariagervej 78, Skjellerup

DMR-sagsnr.: 2015-1201

Kundesagsnr.: 823-01183

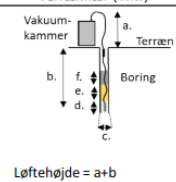
Prøvetagningsperiode: 15/6-22/6 2016

Prøvetager: PLA

Sagsbehandler hos DMR: PLA/PL

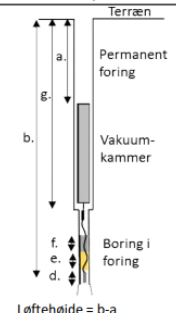
Opstilling

Terraæn (T.N.)



Løftehøjde = a+b

Dyb



Løftehøjde = b-a

Prove

Opstilling g

Kammerhøjde (a.) a. [m]

Sugecelle (b.) b. [m]

Diameter (c.) c. [m]

Kvarts-mel g.

Vand tilsat ml

Foring (g.) g. [m]

Sorbicelle Nr.

Start-vakuu mbar

Løftehøjde cm

Forpumpe ml

Vand opsamlet ml

PO1

Dyb

T.N.

0,6

0,5

7

780

258

0711-2822

80

50

nej

2030

PO2

Dyb

T.N.

0,6

0,5

7

780

258

0711-2823

80

50

nej

1086

PO3

Dyb

4

6,4

10

1900

630

5,5

80

240

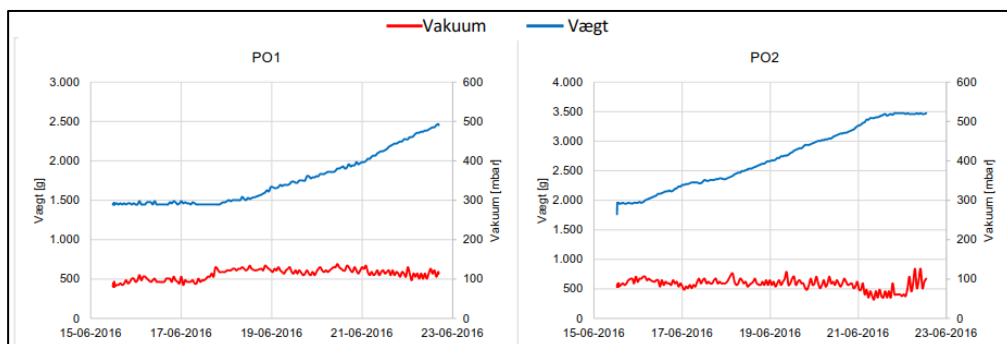
nej

Dyb

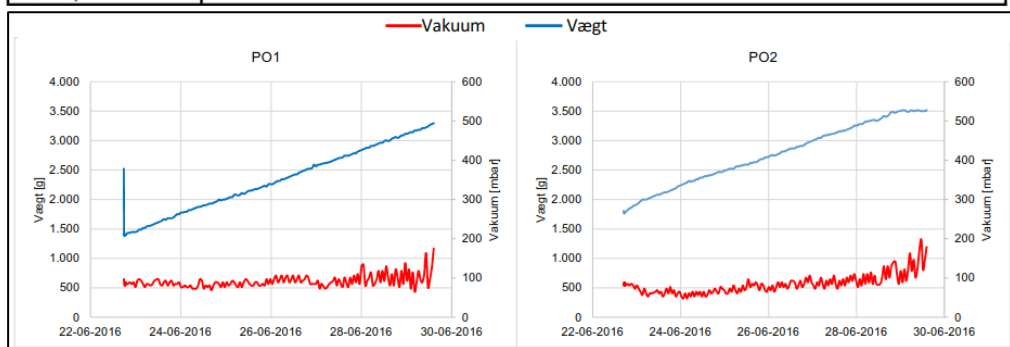
T.N.

</

Bemærkninger:
- Der blev ikke opsamlet vand fra PO3.

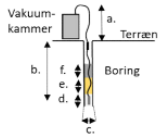
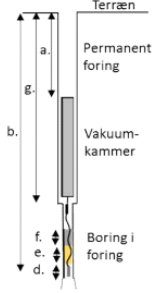


DMR Dansk Miljørådgivning A/S		Sagsnavn:	Mariagervej 78, Skjellerup					Prøvetagningsperiode:	15/6-22/6 2016						
		DMR-sagsnr.:	2015-1201					Prøvetager:	PLA						
		Kundesagsnr.:						Sagsbehandler hos DMR:	PLA/PL						
Opstilling		Prove	Opstilling g	Kammerhøjde (a.)	Sugecelle (b.)	Diameter (c.)	Kvarts-mel g.	Vand tilsat ml	Foring (g.)	Sorbicelle Nr.	Start-vakuum mbar	Løftehøjde cm	Forpumpet ml	Vand opsamlet ml	
Terrænnær (T.N.)				a. [m]	b. [m]	c. [m]			g. [m]						
Løftehøjde = a+b Dyb		PO1	Dyb												
			T.N.	0,6	0,5	7	780	258		0711-2821	80	50	1086	2043	
		PO2	Dyb												
			T.N.	0,6	0,5	7	780	258		0711-2819	80	50	2030	2053	
		PO3	Dyb	4	6,4	10	1900	630			80	240			
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
Løftehøjde = b-a Dyb			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
			Dyb												
			T.N.												
Bemærkninger: - Løftehøjden på PO1 og PO2 blev indtastet forkert, den skulle have været 110. - Der blev ikke opsamlet vand fra PO3.															



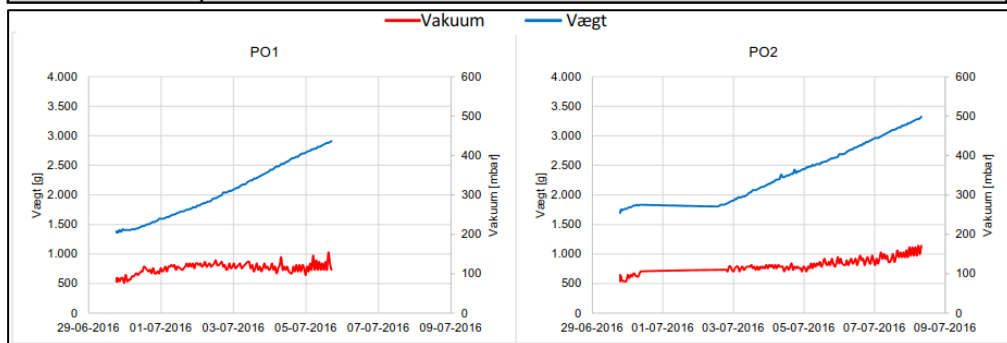
DMR

Dansk Miljørådgivning A/S

Sagsnavn:		Mariagervej 78, Skjellerup				Prøvetagningsperiode:		29/6-07/7 2016						
DMR-sagsnr.:		2015-1201				Prøvetager:		PLA						
Kundesagsnr.:						Sagsbehandler hos DMR:		PLA/PL						
Opstilling		Prove	Opstilling g	Kammerhøjde (a.) a. [m]	Sugecelle (b.) b. [m]	Diameter (c.) c. [m]	Kvarts-mel g.	Vand tilsat ml	Foring (g.) g. [m]	Sorbicelle Nr.	Start-vakuum mbar	Løftehøjde cm	Forpumpe ml	Vand opsamlet ml
Terraennaer (T.N.)														
	Vakuu-kammer	PO1	Dyb											
			T.N.	0,6	0,5	7	780	258		0711-0820	80	50	4073	1683
		PO2	Dyb											
			T.N.	0,6	0,5	7	780	258		0711-2818	80	50	3139	1629
		PO3	Dyb											
			T.N.	4	6,4	10	1900	630			200	240	nej	
			Dyb											
			T.N.											
			Dyb											
			T.N.											
			Dyb											
Løftehøjde = a+b														
	Dyb													
			T.N.											
		PO1	Dyb											
			T.N.											
		PO2	Dyb											
			T.N.											
		PO3	Dyb											
			T.N.											
			Dyb											
			T.N.											
			Dyb											
Løftehøjde = b-a														

Bemærkninger:

- Løftehøjden på PO1 og PO2 blev indtastet forkert, den skulle have været 110.
- Der blev ikke opsamlet vand fra PO3.



DMR

Dansk Miljørådgivning A/S

Sagsnavn: Mariagervej 78, Skjellerup

DMR-sagsnr.: 2015-1201

Kundesagsnr.:

Prøvetagningsperiode: 15/8-23/8 2016

Prøvetager: PLA

Sagsbehandler hos DMR: PLA/PL

Opstilling

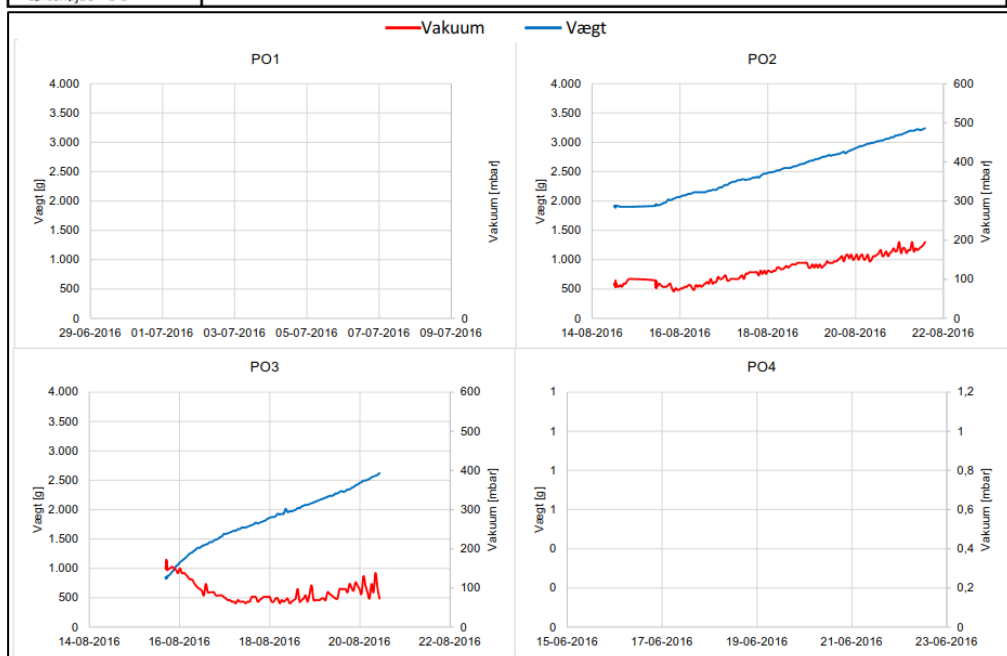
Terraænnaer (T.N.)

Dyb

Prøve	Opstilling g	Kammerhøjde (a.) a. [m]	Sugecelle (b.) b. [m]	Diameter (c.) c. [m]	Kvarts-mel g.	Vand tilsat ml	Foring (g.) g. [m]	Sorbicelle Nr.	Start-vakuüm mbar	Løftehøjde cm	Forpumpe ml	Vand opsamlet ml
PO2	Dyb											
	T.N.	0,6	0,5	7	780	258			80	50	5712	1980
PO3	Dyb	4	6,4	10	1900	630				240	0	1950
	T.N.											
PO4	Dyb											
	T.N.	0,6	0,6	7	780	258			80	120		
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											

Bemærkninger:

- Der blev ikke opsamlet vand fra PO4.



DMR

Dansk Miljørådgivning A/S

Sagsnavn:

Mariagervej 78, Skjellerup

Prøvetagningsperiode:

23/8-5/9 2016

DMR-sagsnr.:

2015-1201

Prøvetager:

PLA

Kundesagsnr.:

Sagsbehandler hos DMR:

PLA/PL

Opstilling

Prove

Opstilling g

Kammerhøjde (a.)

a. [m]

Sugecelle (b.)

b. [m]

Diameter (c.)

c. [m]

Kvarts-mel g.

Vand tilsat ml

Foring (d.)

g. [m]

Sorbicelle Nr.

Start-vakuum mbar

Løftehøjde cm

Forpumpe ml

Vand opsamlet ml

Terraennær (T.N.)

Dyb

T.N.

0,6

0,5

7

780

258

0611-8813

80

110

7692

2060

Vakuumpumpe

b.

f.

e.

d.

c.

Boring

Terraennær

Løftehøjde = a+b

PO3

Dyb

T.N.

4

6,4

10

1900

630

0611-8811

240

1950

1980

PO4

Dyb

T.N.

0,6

0,6

7

780

258

0611-8815

80

120

0

2050

Bemærkninger:

- Der blev ikke opsamlet vand fra PO4.

Dyb

a.

b.

f.

e.

d.

Boring i foring

Permanent foring

Vakuumpumpe

Løftehøjde = b-a

DMR

Dansk Miljørådgivning A/S

Sagsnavn: Mariagervej 78, Skjellerup

DMR-sagsnr.: 2015-1201

Prøvetagningsperiode: 16/9-29/9 2016

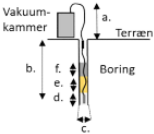
Prøvetager: PLA

Kundesagsnr.:

Sagsbehandler hos DMR: PLA/PL

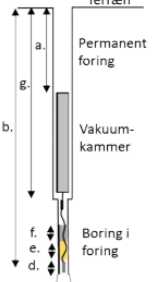
Opstilling

Terrænnær (T.N.)



Løftehøjde = a+b

Dyb



Løftehøjde = b-a

Prove

Opstilling g

Kammerhøjde (a.) a. [m]

Sugecelle (b.) b. [m]

Diameter (c.) c. [m]

Kvarts-mel g.

Vand tilsat ml

Foring (d.) g. [m]

Sorbicelle Nr.

Start-vakuu mbar

Løftehøjde cm

Forpumpet ml

Vand opsamlet ml

PO4

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

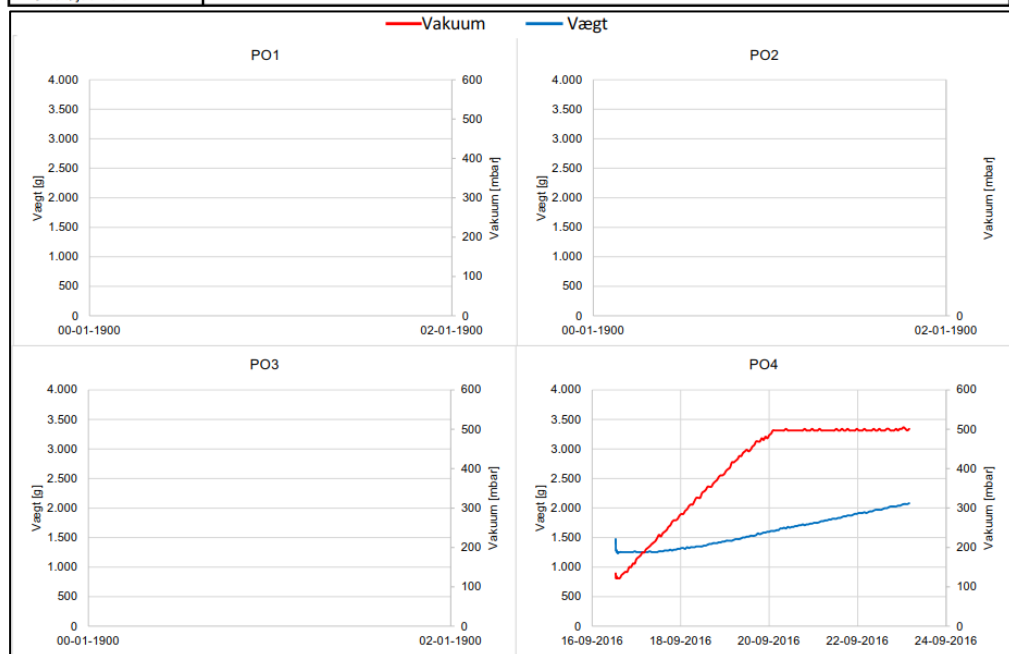
T.N.

Dyb

T.N.

Dyb

T.N.



Bilag 9.2 Vertikal transport

Vertikal transport

Lokaliteten

Navn: Automatiseret porevandsprøvetager Lokaltetsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nummer: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note: _____

Kildeområde

Kommentar **ja**
 Længde af kildeområde Y 1,0 m
 Brede af kildeområde X 1,0 m
 Standard data Indtastede data (angives med fed)
 Nettonedbør N 363,0 36,0 mm/år
 Kommune/Egn Mariagerfjord
 Afstand til grundvandsspejl Z 2,5 m Beregnet porevandshastighed 0,24 m/år
 Longitudinal dispersivitet α_{LW} 0,001
 Varighed af spild a Vedvarende Kun for DTU V1D model 1a

Jordparametre

Kommentar **ja**
 Jordtype Sand
 Vandindhold θ_w 0,15
 Luftindhold θ_a 0,3
 Total porøsitet (VL+VV) n 0,45
 % organisk indhold f_{oc} 0,1
 Bulkmassefylde ρ 1,4575 kg/l
 Sprækkeafstand (2B) 2B 5,0 m Kun hvis sprækketransport
 Sprækkeåbning (2b) 2b 7,9E-05 m Kun hvis sprækketransport
 Bulk-hydraulisk ledningsevne Kb 6,3E-08 m/s Kun hvis sprækketransport

Nedbrydningsforhold:

Aerobe forhold

Stoffer og stofegenskaber

Kommentar **ja**
 Forureningskomponent Tetrachlorethylene
 Målepunkt n
 Dato 27,0 mg/l
 Kildekoncentration 27,0
 Beregnet værdi anvendt Nej
 Testværdi anvendt Ja
 1. ordens nedbrydn.konst., aerob 0 dag⁻¹
 1. ordens nedbrydn.konst., anaerob 0 dag⁻¹
 Diffusionskoefficient (luft) D_{da} 6,4E-06 m²/s
 Diffusionskoefficient (vand) D_{dw} 6,4E-10 m²/s
 Diffusionskoefficient (matrix) D_m 9,1E-03 m²/år
 K_{oc} 497 mg/l
 Henrys konstant K_H 0,801
 Retardation R 5,8

Beregning: Vertikal transport

Kommentar **ja** Anvendt model: Model A + C Angiv signifikant cifre 3

Stationær (ligevægts) koncentration efter nedslivning til grundvandet i 2,5 m's dybde (z)

C(z), Porevandskoncentration lige over grundvandet (input til trin 1a) 27,0 mg/l
 Total flux 0,972 g/år
 Grundvandskriterium 0,001 mg/l
 Overskridelse af kriteriet 27000 gange

Transient koncentration efter nedslivning igennem 2,5 m til grundvandet efter 26 år

Tid (t), år 26,0
 C(z,t), transient porevandskonc. lige over grundvandet efter tid, t 23,8 mg/l
 Anvendt brugerdata? Ja, se bemærkning

Beregningerne udført af

Firmanavn DMR A/S
 Navn/initialer PLA
 Dato/Underskrift 12-08-2017 Per Hansen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret PL
 Godkendt 12-08-2017 Per Hansen

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler.

Vertikal transport

Lokaliteten

Navn: _____ Automatiseret porevandsprøvetager _____ Lokaltetsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nummer: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note _____

Bemærkninger
om kildeområde

I dette beregningseksempel er der taget udgangspunkt i et område på 1*1 m, men arealet er reelt uden betydning for resultatet. Der er endvidere taget udgangspunkt i en vertikal afstand på 2,5 m, svarende til afstanden mellem jordprøven med det højeste indhold i B34 og dybden for PD3.

Bemærkninger
om jordparametre

Jordtypen er valgt ud fra karakterisering af jordprøver fra lokaliteten.

Bemærkninger
om forurening

Der er taget udgangspunkt i en porevandskoncentration på 27.000 µg/L svarende til det der kan estimeres ud fra forholdet mellem median porevandskoncentrationer og jordprøver fra lokaliteten.

Bemærkninger
om beregning

Der er taget udgangspunkt i en minimal transporttid på 26 å svarende til tiden mellem af værkstedsdriften ophørte og prøvetagningstidspunktet.

Bemærkninger
om kemiske stoffer

Der regnes på PCE, som er konstateret i langt højeste koncentration jordprøven og er styrende for risikovurderingen for grundvandet

Bilag 9.3 Fugacitetsberegninger i JAGG 2.1

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn: Automatiseret porevandsprøvetager Lokalitetsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nr.: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note: _____

Jord

Kommentar

ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

Jordtype
 Poreluftvolumen V_L
 Vandindhold V_V
 Samlet porøsitet $c = V_L + V_V$
 Volumen af jordskellet V_J
 Kornrumvægt d
 Volumenvægt ρ
 Indhold af organisk kulstof f_{oc}

Sand	
V_L	0,3
V_V	0,15
$c = V_L + V_V$	0,45
V_J	0,55
d	2,65
ρ	1,4575
f_{oc}	0,1

kg/l

kg/l

%

Stoffer

Kommentar

ja

Forureningskomponent

Målepunkt

MP

Dato

dato

Molmasse

m

Damptryk

p

Vandopløselighed

S

log oktanol/vand ford. koef.

log K_{OW}

K_{OC}

K_{OC}

Henry's konstant

K_H

Stof 1	Stof 2	Stof 3	Stof 4
Tetrachlorethyle	Tetrachlorethyle	Tetrachlorethyle	Tetrachlorethyle
n	n	n	n
PO1	PO2	PO3	PO4
01-07-16	01-07-16	01-07-2016	01-08-16
166	166	166	166
2.466	2.466	2.466	2.466
206	206	206	206
3,4	3,4	3,4	3,4
497	497	497	497
0,801	0,801	0,801	0,801

g/mol

Pa

mg/l

Maksimal ford. luft

f_i

Maksimal ford. vand

f_v

Maksimal ford. jord

f_j

Mættede damptryk

C_{Lmax}

0,22	0,22	0,22	0,22
0,13	0,13	0,13	0,13
0,65	0,65	0,65	0,65
165.087	165.087	165.087	165.087

mg/m³

Fugacitetsberegninger

Angiv signifikant cifre

Kommentar

ja

Målt konc. i poreluft

C_L

Beregnet jordkonc.

C_i

Beregnet vandkonc.

C_v

Målt konc. i grundvand

C_v

Beregnet poreluftskonc.

C_L

Beregnet jordkonc.

C_i

Målt konc. i jorden

C_i

Beregnet poreluftskonc.

C_L

Beregnet vandkonc.

C_v

								mg/m ³
								mg/kg TS
								mg/l
								mg/l
								mg/m ³
								mg/kg TS
5,6	210	0,93	11					mg/kg TS
5.870	165.000	975	11.500					mg/m ³
7,33	206	1,22	14,4					mg/l
nej	Risiko for infase	nej	nej					
Nej	Nej	Nej	Nej					

Risiko for fri fase?

Anvendt Brugerdata?

Beregningerne udført af

Firmanavn

DMR A/S

Navn/initialer

PLA

Dato/Underskrift

22/10/2018

Perd. Hansen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret

PL

Godkendt

22/10/2018

PL

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler.

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Automatiseret porevandsprøvetager	Lokalitetsnr.:	
Adresse:		Postnr./by:	
Matrikel nr.:		Projekt nr.:	2015-1201
Note			

Bemærkninger
om jordtype

Der er taget udgangspunkt i sand.

Bemærkninger
om kemiske data

Der regnes på PCE, som er konstateret i langt højeste koncentration jordprøven og er styrende for risikovurderingen for grundvandet

Bemærkninger
om fugacitet

Der er målt en PCE koncentration i vandet fra afløbet på 0,54 µg/L

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn: Automatiseret porevandsprøvetager Lokalitetsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nr.: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note: _____

Jord

Kommentar ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

Jordtype		Sand	
Poreluftvolumen	V_L	0,3	
Vandindhold	V_V	0,15	
Samlet porøsitet	$\varepsilon = V_L + V_V$	0,45	
Volumen af jordskellet	V_d	0,55	
Kornrumvægt	d	2,65	kg/l
Volumenvægt	ρ	1,4575	kg/l
Indhold af organisk kulstof	f_{oc}	0,1	1,9 %

Stoffer

Kommentar ja
 Forureningskomponent

Målepunkt	MP	Stof 1	Stof 2	Stof 3	Stof 4	
Dato	dato	Tetrachlorethylene				
Molmasse	m	PO1				
Damptryk	p	01-07-16				
Vandopløselighed	S					g/mol
log oktanol/vand ford. koef.	log K_{OW}					Pa
K _{OC}	K_{OC}					mg/l
Henrys konstant	K_H					
Maksimal ford. luft	f_l	0,02				
Maksimal ford. vand	f_v	0,01				
Maksimal ford. jord	f_j	0,97				
Mættede damptryk	C_{Lmax}	165,087				mg/m³

Fugacitetsberegninger

Angiv signifikant cifre

Kommentar nej

Målt konc. i poreluft	C_L						mg/m³
Beregnet jordkonc.	C_i						mg/kg TS
Beregnet vandkonc.	C_v						mg/l
Målt konc. i grundvand	C_v						mg/l
Beregnet poreluftskonc.	C_L						mg/m³
Beregnet jordkonc.	C_i						mg/kg TS
Målt konc. i jorden	C_i	5,6					mg/kg TS
Beregnet poreluftskonc.	C_L	463					mg/m³
Beregnet vandkonc.	C_v	0,577					mg/l
Risiko for fri fase?		nej	nej	nej	nej		
Anvendt Brugerdata?		Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning		

Beregningerne udført af

Firmanavn DMR A/S
 Navn/initialer PLA
 Dato/Underskrift 22/10/2018 Poul Jensen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret PL
 Godkendt 22/10/2018 PL

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler.

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Automatiseret porevandsprøvetager	Lokalitetsnr.:	
Adresse:		Postnr./by:	
Matrikel nr.:		Projekt nr.:	2015-1201
Note			

Bemærkninger
om jordtype

Der er taget udgangspunkt i sand, men med lokalitetsspecifikke indhold af organisk kulstof omregnet med en faktor 0,58 fra målte indhold af organisk stof

Bemærkninger
om kemiske data

Der regnes på PCE, som er konstateret i langt højeste koncentration jordprøven og er styrende for risikovurderingen for grundvandet

Bemærkninger
om fugacitet

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn: Automatiseret porevandsprøvetager Lokaltetsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nr.: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note: _____

Jord

Kommentar ja Standard data Indtastede data (angives med fed)

Jordtype		Sand	
Poreluftvolumen	V_L	0,3	
Vandindhold	V_V	0,15	
Samlet porøsitet	$e = V_L + V_V$	0,45	
Volumen af jordskellet	V_d	0,55	
Kornrumvægt	d	2,65	kg/l
Volumenvægt	ρ	1,4575	kg/l
Indhold af organisk kulstof	f_{oc}	0,1	2,8 %

Stoffer

Kommentar ja
 Forureningskomponent

Målepunkt	MP	Stof 1	Stof 2	Stof 3	Stof 4	
Dato	dato	Tetrachlorethylene				
Molmasse	m	n				
Damptryk	p	PO2				
Vandopløselighed	S	01-07-16				
log oktanol/vand ford. koeff.	log K_{OW}					
K _{OC}	K_{OC}					
Henrys konstant	K_H					
Maksimal ford. luft	f_l	0,01				
Maksimal ford. vand	f_v	0,01				
Maksimal ford. jord	f_j	0,98				
Mættede damptryk	C_{Lmax}	165,087				mg/m³

Fugacitetsberegninger

Kommentar nej

Målt konc. i poreluft	C_L							mg/m³
Beregnet jordkonc.	C_i							mg/kg TS
Beregnet vandkonc.	C_v							mg/l
Målt konc. i grundvand	C_v							mg/l
Beregnet poreluftskonc.	C_L							mg/m³
Beregnet jordkonc.	C_i							mg/kg TS
Målt konc. i jorden	C_i	210						mg/kg TS
Beregnet poreluftskonc.	C_L	11.900						mg/m³
Beregnet vandkonc.	C_v	14,8						mg/l
Risiko for fri fase?		nej	nej	nej	nej			
Anvendt Brugerdata?		Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning			

Beregningerne udført af

Firmanavn DMR A/S
 Navn/initialer PLA
 Dato/Underskrift 22/10/2018 Paul Larsen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret PL
 Godkendt 22/10/2018 PL

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler.

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Automatiseret porevandsprøvetager	Lokalitetsnr.:	
Adresse:		Postnr./by:	
Matrikel nr.:		Projekt nr.:	2015-1201
Note			

Bemærkninger
om jordtype

Der er taget udgangspunkt i sand, men med lokalitetsspecifikke indhold af organisk kulstof omregnet med en faktor 0,58 fra målte indhold af organisk stof

Bemærkninger
om kemiske data

Der regnes på PCE, som er konstateret i langt højeste koncentration jordprøven og er styrende for risikovurderingen for grundvandet

Bemærkninger
om fugacitet

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn: Automatiseret porevandsprøvetager Lokaltetsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nr.: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note: _____

Jord

Kommentar **ja** Standard data Indtastede data (angives med fed)

Jordtype _____
 Poreluftvolumen V_L 0,3
 Vandindhold V_V 0,15
 Samlet porøsitet $c = V_L + V_V$ 0,45
 Volumen af jordskellet V_J 0,55
 Kornrumvægt d 2,65 kg/l
 Volumenvægt ρ 1,4575 kg/l
 Indhold af organisk kulstof f_{oc} 0,1 %

Stoffer

Kommentar **ja**

Forureningskomponent

Målepunkt

Dato

Molmasse

Damptryk

Vandopløselighed

log oktanol/vand ford. koef.

K_{oc}

Henrys konstant

Maksimal ford. luft

Maksimal ford. vand

Maksimal ford. jord

Mættede damptryk

Fugacitetsberegninger

Kommentar

Målt konc. i poreluft

Beregnet jordkonc.

Beregnet vandkonc.

Målt konc. i grundvand

Beregnet poreluftskonc.

Beregnet jordkonc.

Målt konc. i jorden

Beregnet poreluftskonc.

Beregnet vandkonc.

Risiko for fri fase?

Anvendt Brugerdata?

Beregningerne udført af

Firmanavn

Navn/initialer

Dato/Underskrift

DMR A/S

PLA

22/10/2018

Poul Larsen

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret

Godkendt

PL

22/10/2018

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler.

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Automatiseret porevandsprøvetager	Lokalitetsnr.:	
Adresse:		Postnr./by:	
Matrikel nr.:		Projekt nr.:	2015-1201
Note			

Bemærkninger
om jordtype

Der er taget udgangspunkt i sand, men med lokalitetsspecifikke indhold af organisk kulstof omregnet med en faktor 0,58 fra målte indhold af organisk stof

Bemærkninger
om kemiske data

Der regnes på PCE, som er konstateret i langt højeste koncentration jordprøven og er styrende for risikovurderingen for grundvandet

Bemærkninger
om fugacitet

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn: Automatiseret porevandsprøvetager Lokalisationsnr.: _____
 Adresse: _____ Postnr./by: _____
 Matrikel nr.: _____ Projekt nr.: 2015-1201
 Note: _____

Jord

Kommentar *ja* Standard data Indtastede data (angives med fed)

Jordtype		Sand	
Poreluftvolumen	V_L	0,3	
Vandindhold	V_V	0,15	
Samlet porøsitet	$e = V_L + V_V$	0,45	
Volumen af jordskellet	V_d	0,55	
Kornrumvægt	d	2,65	kg/l
Volumenvægt	ρ	1,4575	kg/l
Indhold af organisk kulstof	f_{oc}	0,1	1,74 %

Stoffer

Kommentar *ja*
 Forureningskomponent

Målepunkt	MP	Stof 1	Stof 2	Stof 3	Stof 4	
Dato	dato	Tetrachlorethylene				
Molmasse	m	n				
Damptryk	p	PO4				
Vandopløselighed	S	01-08-16				
log oktanol/vand ford. koef.	log K_{OW}	166				g/mol
Koc	K_{OC}	2,466				Pa
Henrys konstant	K_H	206				mg/l
		3,4				
		497				
		0,801				
Maksimal ford. luft	f_l	0,02				
Maksimal ford. vand	f_v	0,01				
Maksimal ford. jord	f_j	0,97				
Mættede damptryk	C_{Lmax}	165,087				mg/m³

Fugacitetsberegninger

Kommentar *nej*

Målt konc. i poreluft	C_L						mg/m³
Beregnet jordkonc.	C_i						mg/kg TS
Beregnet vandkonc.	C_V						mg/l
Målt konc. i grundvand	C_V						mg/l
Beregnet poreluftskonc.	C_L						mg/m³
Beregnet jordkonc.	C_i						mg/kg TS
Målt konc. i jorden	C_i	11					mg/kg TS
Beregnet poreluftskonc.	C_L	990					mg/m³
Beregnet vandkonc.	C_V	1,23					mg/l
Risiko for fri fase?		nej	nej	nej	nej		
Anvendt Brugerdata?		Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning	Ja, se bemærkning		

Beregningerne udført af

Firmanavn DMR A/S
 Navn/initialer PLA
 Dato/Underskrift 22/10/2018 *Paul Hansen*

Beregningerne kontrolleret /godkendt af

Kontrolleret PL
 Godkendt 22/10/2018 *PL*

Beregningerne er udført med de ovenfor angivne data og uden at der er foretaget ændringer af beregningsformler.

Fugacitetsberegninger

Lokaliteten

Navn:	Automatiseret porevandsprøvetager	Lokalitetsnr.:	
Adresse:		Postnr./by:	
Matrikel nr.:		Projekt nr.:	2015-1201
Note			

Bemærkninger
om jordtype

Der er taget udgangspunkt i sand, men med lokalitetsspecifikke indhold af organisk kulstof omregnet med en faktor 0,58 fra målte indhold af organisk stof

Bemærkninger
om kemiske data

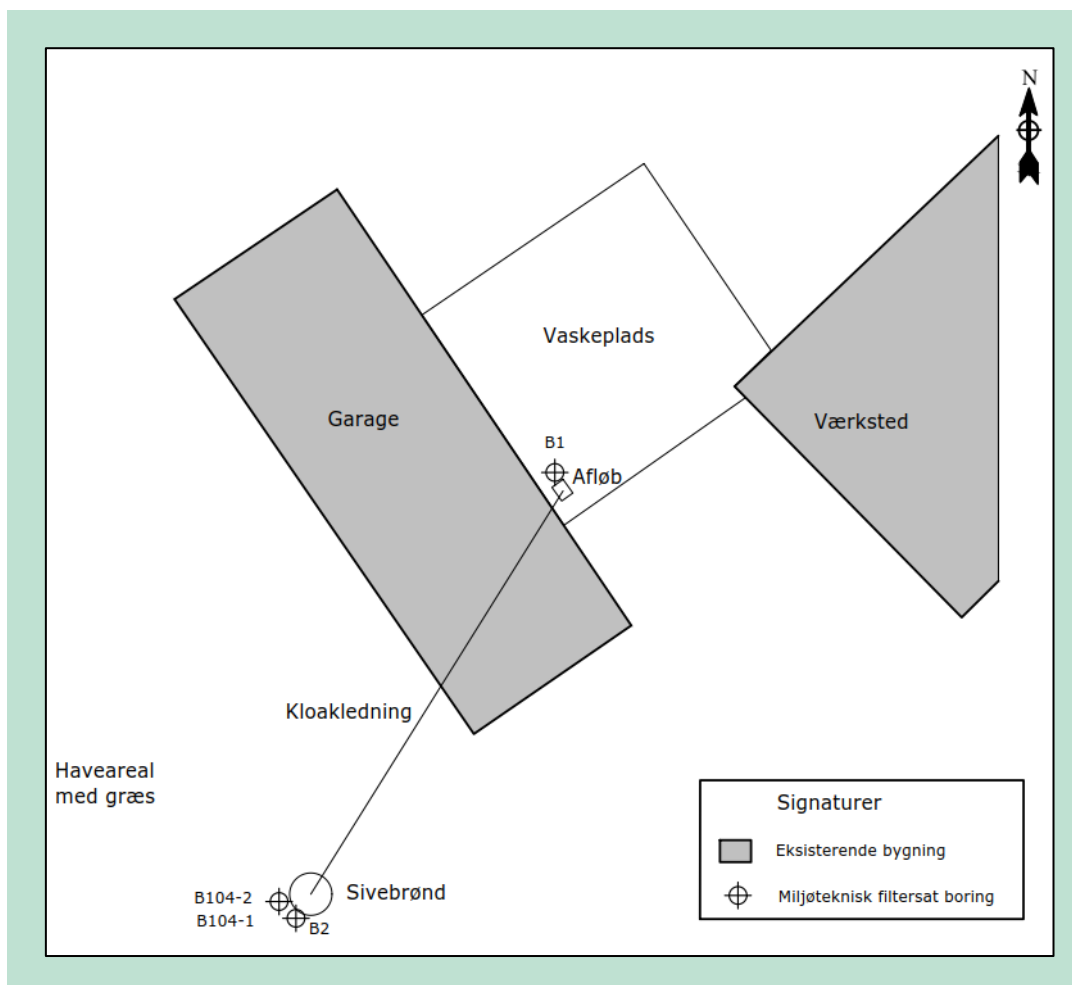
Der regnes på PCE, som er konstateret i langt højeste koncentration jordprøven og er styrende for risikovurderingen for grundvandet

Bemærkninger
om fugacitet

Bilag 10. Felttest C (pesticider)

På den undersøgte ejendom har der i perioden ca. 1975 til ca. 1990 været maskinstation og i perioden 1924 til i dag har der været landbrug. Landbrugsdriften overgik i 1999 til økologisk drift.

Anvendelsen af ejendommen til maskinstation har ledt til en grundvandsforurening med pesticider i et terrænnært og et dybereliggende sekundært grundvandsmagasin. Kilden til grundvandsforureningen er en sivebrønd, der er tilkoblet en vaskeplads. En overordnet situationsplan som viser indretningen med bygninger og installationer omkring kildeområdet, ses af nedenstående figur.



FIGUR 10.1. Placering af bygninger og kildeområde (sivebrønd) på ejendom.

Felttesten er udført som en del af teknologiudviklingsprojektet, og supplerede sagsløsningen i en igangværende videregående undersøgelse udført af Region Nordjylland. DMR har ikke forestået den videregående undersøgelse og nærværende beskrivelse forholder sig dermed kun til hvordan porevandsprøverne udvider den konceptuelle forståelse i kildeområdet.

Formål med porevandsundersøgelser

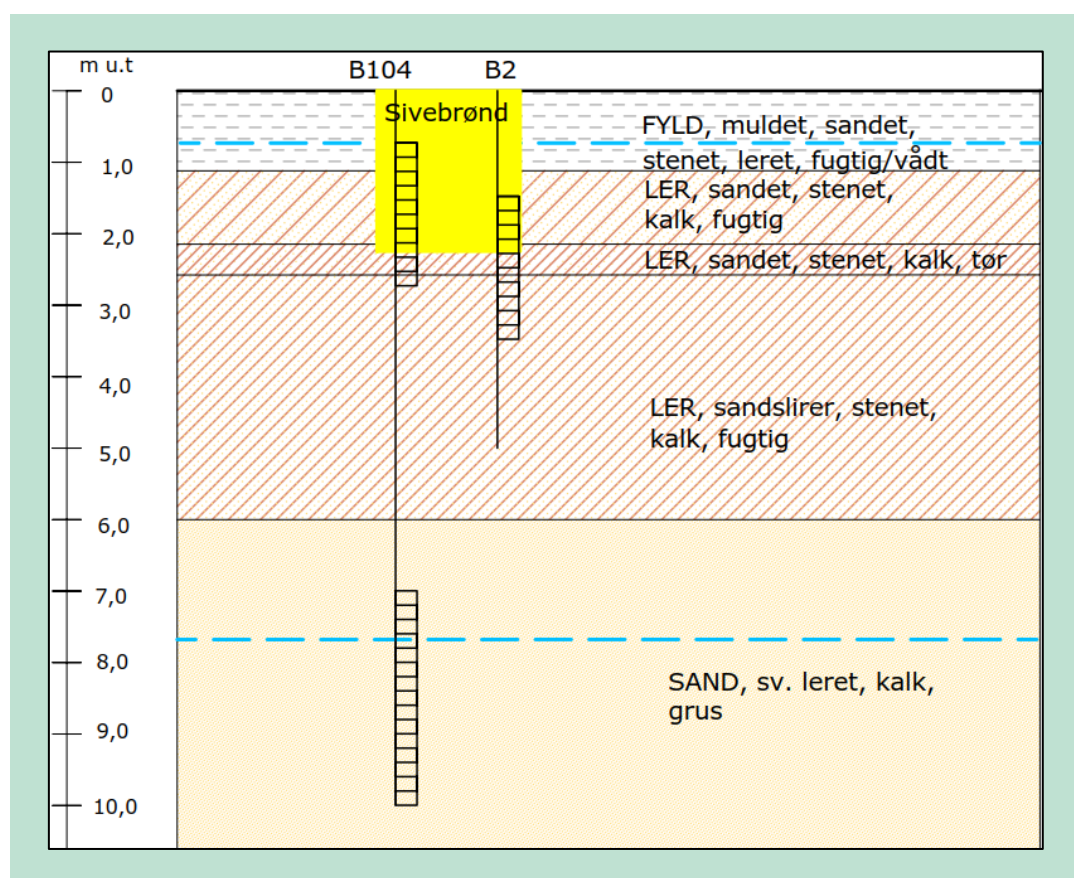
Formålet med porevandsundersøgelse på denne lokalitet var primært at undersøge kildestyrkekoncentrationen i lerede aflejringer i to forskellige dybder under sivebrønden. Desuden var

formålet at udvikle en metode til installation af sugecellerne i lerlag beliggende under et terrænnært grundvandsmagasin.

Geologi, grundvandsinteresser og hydrogeologi

Et geologisk profilsnit for den lokale geologi fremgår af nedenstående figur. Profilsnittet er tolket ud fra boreprofiler fra tidligere undersøgelser, samt fra installation af sugecellerne.

Ved terræn er der græs, som er underlejret af ca. 1 m fyld. Under fyldet er der truffet sandet fugtig ler til ca. 2 m u.t. og herunder et sandet lerlag til ca. 2,5 m u.t., som blev vurderet at være tørt. Under dette lag blev der konstateret fugtig ler med sandslirer fra ca. 2,5 – 6 m u.t. I hele lerlaget fra 1-6 m u.t. blev der konstateret sten og kalkklumper. Fra 6,0 m u.t. er der truffet sand der er svagt leret, og med mindre indslag af kalk og grus.



Figur 10.2: Lokalt geologisk profilsnit ved/omkring kildeområdet.

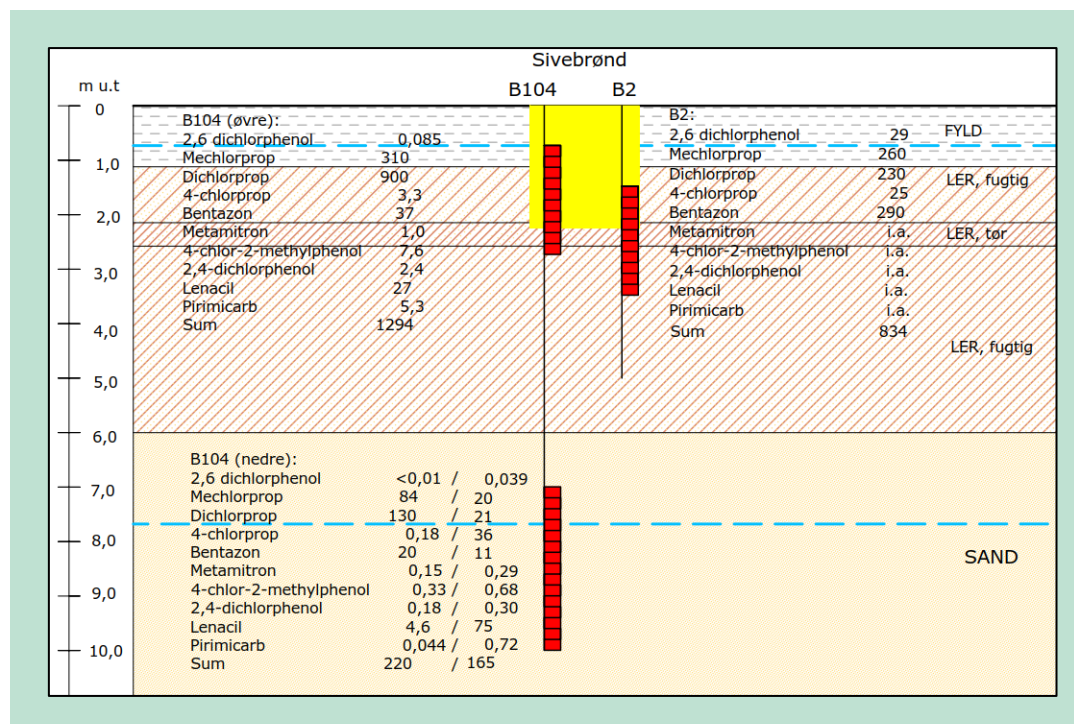
Terrænnært er der truffet sekundært grundvand ca. 0,7 m u.t. Det vurderes at der er tale om usammenhængende lommer af sekundært grundvand som ligger ovenpå lerlaget. Der er desuden konstateret et underliggende sekundært grundvandsspejl med trykniveau ca. 7,5 m u.t.

Grundvandsforurening ved sivebrønden

Konstateret grundvandsforurening med pesticider fra tidligere undersøgelser er vist på figur 10.3. Det bemærkes, at der i alt er konstateret 16 enkeltkomponenter i det terrænnære grundvand og 18 enkeltkomponenter i det dybereliggende sekundære magasin, men på figur 10.3 er der kun vist resultater for enkeltkomponenter med koncentrationer $>1 \mu\text{g/L}$ i mindst ét af de tre filtre samt summen af pesticider.

Som det fremgår af figur 10.3, er de højeste koncentrationer af enkeltkomponenter fordelt på mechlorprop, dichlorprop, 4-chlorprop, bentazon og lenacil. I det terrænnære grundvand er der

konstateret indhold af disse fem enkeltkomponenter på til hhv. 310, 900, 25, 290 og 27 µg/L svarende til 250-9.000 gange grundvandskvalitetskriteriet. I det dybereliggende sekundære grundvand er der konstateret indhold på op til hhv. 84, 130, 36, 20 og 75 µg/L svarende 200-1.300 gange grundvandskvalitetskriteriet.

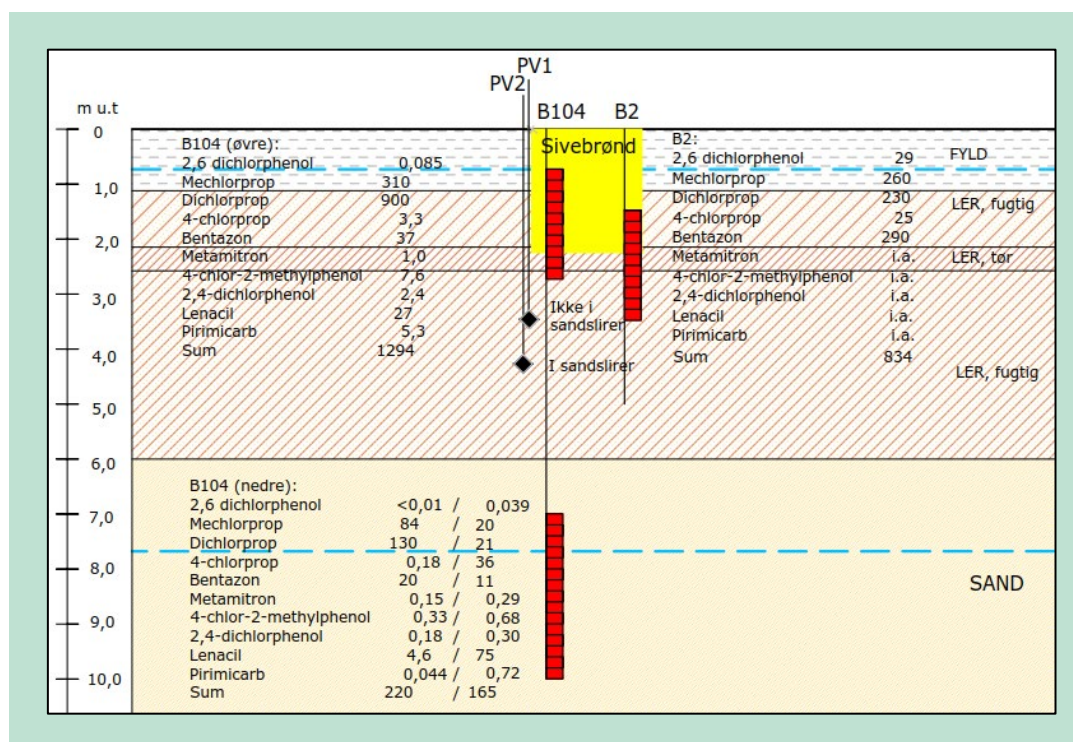


FIGUR 10.3. Oversigt over pesticidresultater fra tidligere undersøgelser.

Da porevandsprøverne analyseres på sorbiceller var det ikke på prøvetagningstidspunktet muligt at få en analysepakke der omfattede alle de konstaterede enkeltkomponenter. Der er anvendt en analysepakke til porevandsprøverne, der bl.a. omfatter bentazon, dichlorprop og mechlorprop, som er de tre enkeltkomponenter, der udgør de største overskridelser af grundvandskvalitetskriterierne i borerne. I det efterfølgende behandles kun grundvandsresultater der også er analyseret for i porevandet.

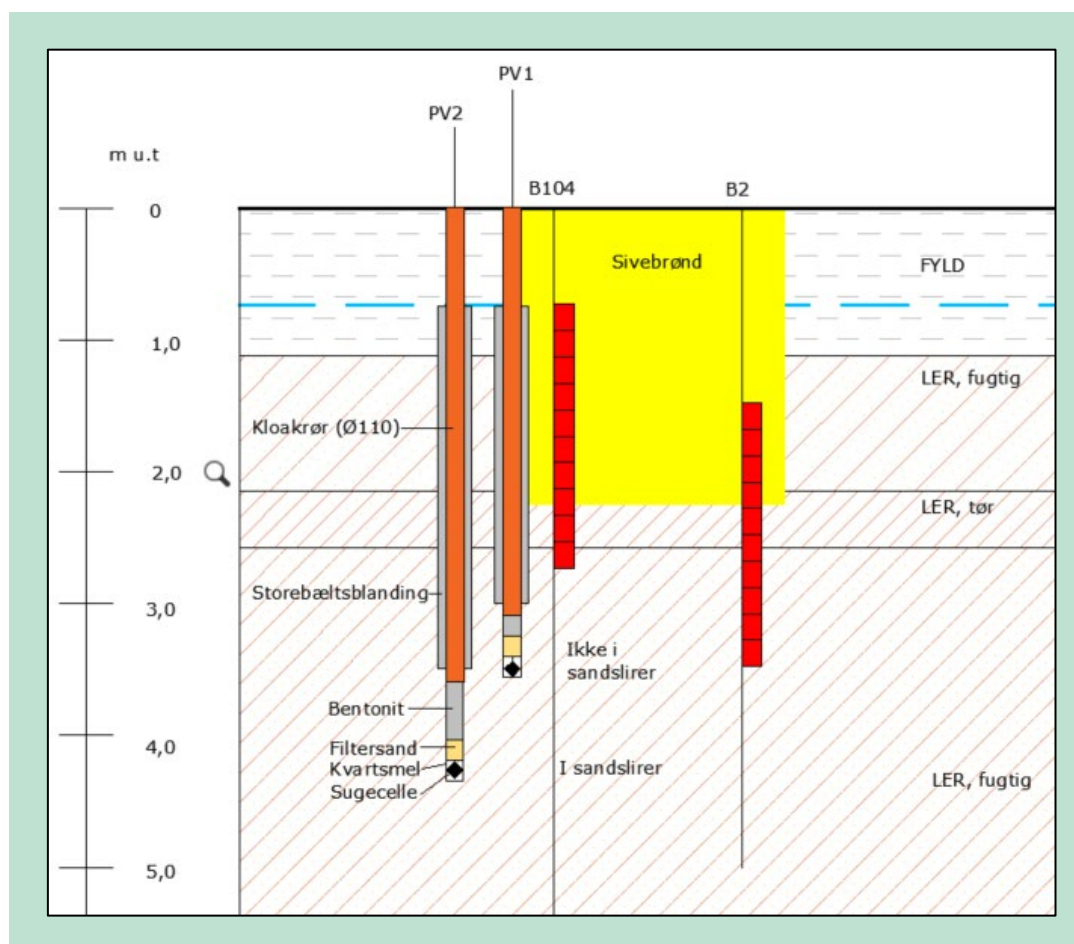
Placering og installation af sugeceller

Der blev installeret to sugeceller under underkanten af sivebrønden som blev oplyst til 2,1 m u.t. af grundejer. Da låget var helt tildækket med jord/græs var det ikke muligt at undersøge dette nærmere. Sugecellerne blev placeret hhv. 3,5 og 4,2 m u.t. hvilket er visualiseret på nedenstående figur.



FIGUR 10.4. Placering af sugeceller (PV1 og PV2).

Som det fremgår, er PV1 placeret i moræneler, mens PV2 blev placeret i en sandslirer i moræneleren. En mere detaljeret visualisering af afproppingen omkring sugecellerne ses af nedenstående figur og en detaljeret metodebeskrivelse fremgår af kapitel 3.



FIGUR 10.5. Afpropning ved sugecelleinstallation.

Sugecellerne blev installeret ved at lave en foret 6" boring til 0,5-1 m over det niveau, hvor sugecellen skulle installeres. Efterfølgende blev der monteret en 4" snegl på 1 m for enden af 6" sneglen, og der blev boret til den ønskede installationsdybde.

Der blev efterfølgende nedsænket et standard Ø110 kloakrør i forerøret. Kloakrøret kan presses 10-20 cm ned i den nederste 4" boring, hvorved der er etableret et tæt hulrum mellem forerøret og kloakrøret. I dette hulrum blev der hældt en relativ viskøs storebæltsblanding ned, som var tilsat netop nok vand til at det kunne flyde ned og fylde hulrummet op. Det var samtidig så tyktflydende en blanding, så der ikke var stor risiko for at det kunne flyde ind hvor sugecellen skulle installeres. Efterfølgende kunne det ydre forerør trækkes op, mens kloakrøret blev stående med storebæltsblanding omkring og udgjorde en permanent foring, hvori porevandsprøvetagningen kunne udføres uden at terrænnært grundvand trængte ned til sugecellen. Fotos fra installation af sugeceller ses af nedenstående figur.

Område for installation af sugeceller (Sivebrønd er under sorte brønde)



Installation af kloakrør

Klargøring af storebæltsblanding

Storebæltsblanding hældes i



FIGUR 10.6. Fotos fra installation af sugeceller.

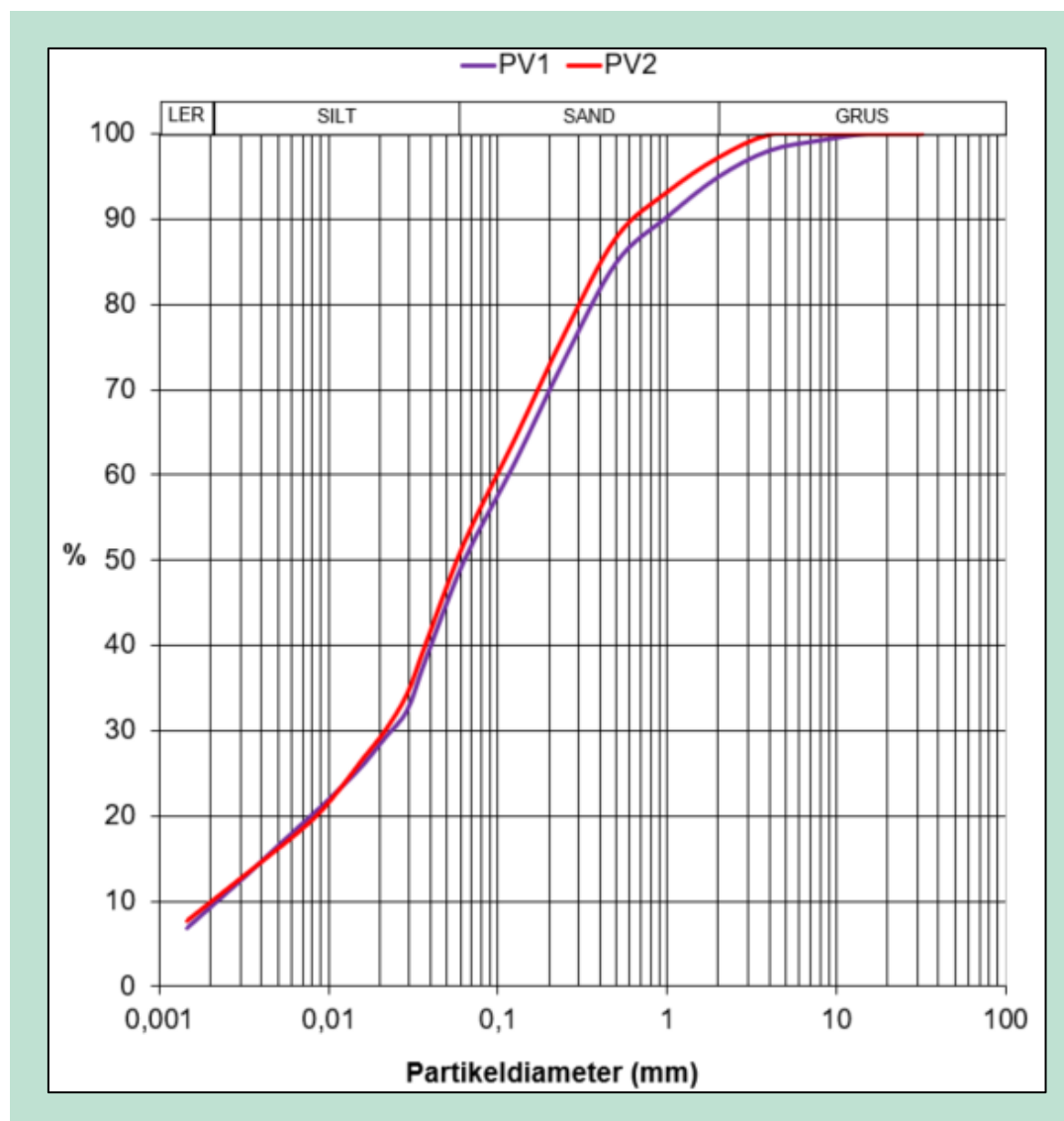
Det blev erfaret, at der skal være særlig opmærksomhed omkring opblanding af storebæltsblanding, og at der ikke tilsættes mere vand, end der stadig er tale om en tyktflydende blanding. Men udover det, vurderes det, at den beskrevne metode for afpropning fungerer effektivt. Den efterfølgende installation af sugeceller blev udført på samme måde som på lokaliteten for felttest B, med installation i kvartsmel mm. Det vurderes dermed, at metoden med at installere

et kloakrør og afpropning med storebæltsblanding fungerer godt, og mens den efterfølgende installation af sugeceller i kvartsmelet er brugbar.

Sugecellerne blev efterfølgende forbundet med sorbiceller og vakuumkammer. Prøvetagerne blev programmeret ud fra den konkrete installation - dvs. indstilling af løftehøjde fra sugecelle til vakuumkammer og indstilling af startvakuum.

Porevandsprøverne på lokaliteten blev udtaget uden forpumpning, for at vurdere effekter af forpumpning. I PV1 blev der udtaget tre prøver og i PV2 blev der udtaget tre porevandsprøver. Det var dog kun de sidste to porevandsprøver fra PV2 der blev sendt til analyse idet den første var udtaget for hurtigt, hvilket giver risiko for gennembrud på sorbicellen.

Ved installation af sugecellerne blev der udtaget jordprøver fra installationsdybden til analyse for kornstørrelsesfordeling, og resultaterne ses af nedenstående figur.



FIGUR 10.7. Resultater fra bestemmelse af kornstørrelsesfordeling.

Som det fremgår af figur 10.7, ligger kornstørrelsesfordelingen relativt tæt i de to prøvetagningspunkter, til trods for at det blev vurderet at PV2 blev installeret i en sandslire. Det skyldes, at sandsliren var relativt tynd (2-3 cm) og dermed var det ikke muligt kun at tage prøver

fra dette lag til kortstørrelsesfordeling. Af nedenstående tabel fremgår en oversigt over fordelingen af ler, silt og sand i de fire prøver sammen med definitionen på partikelstørrelse fra U.S. Department of Agriculture (USDA).

Tabel 10.1: Procentvis fordeling af ler, silt, sand og grus i dybder hvor sugeceller er installeret, samt organisk stof og vandindhold.

Tekstur- beskrivelse	USDA	PV1	PV2
	mm	%	%
Ler	<0,002	6,9	7,8
Silt	0,002-0,05	31	32
Sand	0,05-2,0	57	57
Grus	2,0-10	5,1	3,2
Organisk stof	-	3,5	3,0
Vandindhold	-	15	16

Jordprøverne kan ud fra fraktioneringen i ler, silt, sand og grus overordnet bedømmes efter nedenstående:

- <12 % ler og >45-50 % sand klassificeres som morænesand.
- <12 % ler og >45-50% silt klassificeres som morænesilt
- 12-15 % ler og >45-50% silt klassificeres som moræneler stærkt siltet.
- 12-15 % ler og >45-50% sand som moræneler stærkt sandet.

Underliggende kommentarer på fraktioner af silt og ler kan inddeles således:

- <5 % ler/silt klassificeres som svagt leret eller svagt siltet.
- 5-10 % ler/silt klassificeres som leret eller siltet.
- >10 % ler/silt klassificeres som stærkt leret eller siltet.

På baggrund af ovenstående nøgle kan PV1-PV2 klassificeres således:

- PV1 klassificeres som morænesand, der er leret og stærkt siltet.
- PV2 klassificeres som morænesand, der er leret og stærkt siltet.

Kornkurverne er indtastet i HydrogeoSieveXL for at estimere middelværdien for den hydrauliske ledningsevne, samt et interval for min. og maks. estimaterne på ledningsevnen. For de to jordprøver er der konstateret følgende hydraulisk ledningsevne:

PV1: $6,53 \cdot 10^{-7}$ ($1,93 \cdot 10^{-6} - 5,47 \cdot 10^{-9}$).

PV2: $5,65 \cdot 10^{-7}$ ($1,67 \cdot 10^{-6} - 4,37 \cdot 10^{-9}$).

Der er som det fremgår tale om relativt enslydende værdier for den hydrauliske ledningsevne i de to prøvetagningspunkter. Reelt er strømningsforholdene sandsynligvis mere komplicerede i PV2, idet der er tale om en sandslire. Sandsliren blev i felten vurderet at være vandførende.

Prøvetagningsskemaer fra porevandsprøvetagningen og nøgletal fra prøvetagningen i de to prøvetagningspunkter ses af nedenstående tabel:

Tabel 10.2. Nøgletal fra porevandsprøvetagning. Tid for prøvetagning er den samlede tid der gik med opsamling af porevandsprøverne efter forpumpning. Eff. tid for prøvetagning var tiden der gik efter vakuum var tilstrækkelig høj til at der kunne suges vand fra formationen.

Prøvetagningsrunde	Nøgletal	PV1	PV2
Runde 1	Tid for prøvetagning (døgn)	5	1
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	5	1
	Volumen (ml)	1.940	1.950
	Stabilt vakuum (mbar)	0	120
Runde 2	Tid for prøvetagning (døgn)	7	6
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	7	6
	Volumen (ml)	1.995	1.950
	Stabilt vakuum (mbar)	400	100
Runde 3	Tid for prøvetagning (døgn)	5	5
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	5	5
	Volumen (ml)	2.000	1.980
	Stabilt vakuum (mbar)	100	60

Som det fremgår af tabel 10.2, blev porevandsprøven i PV2 i runde 1 udtaget over 1 døgn. Denne prøve blev derfor ikke sendt til analyse, da der maksimalt må trækkes 500 ml gennem sugecellerne pr. døgn for ikke at risikere gennembrud på adsorbenten.

Resultater fra porevandsundersøgelser

Analyseresultaterne fremgår af nedenstående tabel sammen med Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier og resultater fra B104 øvre og nedre. Det bemærkes, at grundvandskvalitetskriteriet ikke gælder for porevand, men anvendes til sammenligning, da porevandet transporteres mod grundvandet. Fremhævede felter angiver overskridelse af grundvandskvalitetskriterierne.

Tabel 10.3: Resultater for pesticider i porevandsprøver og grundvandsprøver. Grå baggrund angiver overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet. Sum af pesticider fra grundvandsprøver inkluderer også enkeltkomponenter, der ikke er vist i tabellen.

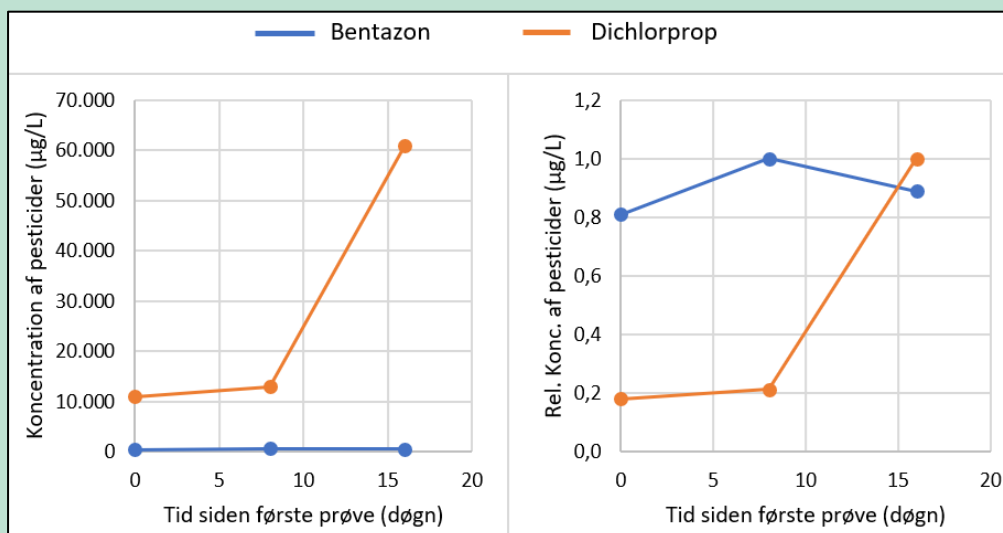
Prøvetagningspunkt	2-(4-chlorophenoxy)propionic acid	2-4-D	Bentazon	Dichlorprop	Fenoprop	MCPA	MCP	Sum af pesticider
B2	i.a.	<0,10	290	i.a.	i.a.	<0,10	260	834
B104-øvre (µg/L)	i.a.	0,14	37	i.a.	i.a.	0,014	310	1.300
PV1 (µg/L)	51	<0,050	510	<0,35	<0,35	0,74	1.700	13.000
	59	<0,050	630	0,39	0,39	0,89	1.900	16.000
	100	<0,050	560	0,33	0,33	0,64	11.000	73.000
PV2 (µg/L)	390	<0,050	65	0,50	0,50	1,2	1.200	3.200
	450	<0,050	55	0,45	0,45	0,8	1.300	3.600
B104-nedre (µg/L)	i.a.	0,035	20	i.a.	i.a.	0,019	84	240
	i.a.	<0,010	11	i.a.	i.a.	0,018	20	170
GV-kriterie (µg/L)	0,1							0,5

Der er i porevandet samlet set konstateret 6 enkeltkomponenter. En vigtig årsag til at der er færre enkeltkomponenter i porevandet end i grundvandet er, at der er anvendt en relativt begrænset analysepakke i porevandet, som blev valgt ud fra at dække enkeltkomponenter, der er konstateret i relativt størst koncentration i grundvandet (bentazon, dichlorprop og MCP). Som det fremgår, er alle disse stoffer konstateret i relativt høje koncentrationer i porevandet i forhold til grundvandet. Overordnet er indholdet af enkeltkomponenter pesticider i:

- PV1 i intervallet 0,33-61.000 µg/L.
- PV2 i intervallet 0,45-1.800 µg/L.

Det fremgår desuden, at indholdene af enkeltkomponenter i porevandet forholdsmeæssigt følger de konstaterede indhold af enkeltkomponenter i grundvandet, idet der er konstateret højest indhold af dichlorprop, efterfulgt af MCP og bentazon.

Som det fremgår, er der i PV1 stigende koncentrationer for Dichlorprop og MCP over tid, som kan indikere, at der kan have været en vis fortynding med vand fra installationen. Det er dog ikke en entydig tendens da eks. bentazon og MCPA i PV1 ligger på samme niveau i alle tre prøver. Tidsserier for bentazon og dichlorprop i PV1 er yderligere fremhævet i nedenstående figur.



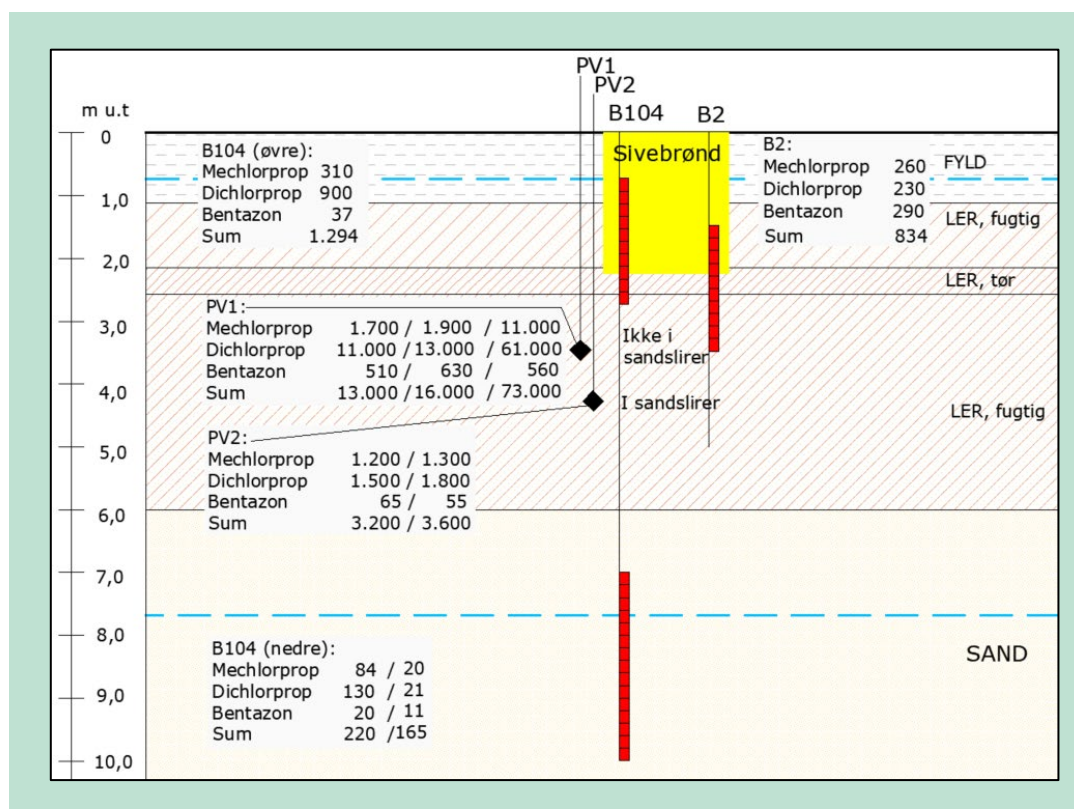
FIGUR 10.8. Tidsserie for indhold af bentazon og dichlorprop.

En mulig forklaring på de varierende koncentrationer kan være en effekt af øget influensradius desto mere der suges, og der dermed opnås kontakt med højere koncentrationer efter de første to prøver. De konstaterede indhold i PV2 ligger på samme niveau i de to analyserede prøver.

Indholdene i PV1 og PV2 bekræfter, at prøvetagningsmetoden fungerer efter hensigten, og kan dokumentere høje indhold i porevandet i pesticidpunktkilder.

Konceptuel forståelse

I nedenstående figur er der vist et vertikalt snit af porevandsforureningens udbredelse under sivebrønden sammen med placering af porevandsprøverne PV1 og PV2 og indhold målt i porevandsprøver.



FIGUR 10.9. Vertikal fordeling af pesticidforurening.

Som det fremgår af figur 10.9, er der konstateret en høj kildestyrkekoncentration under sivebrønden idet der er konstateret sum af pesticider, der er 26 gange højere end i det øvre filter. Hvilket illustrerer værdien af porevandsprøvetagning til vurdering af kildestyrkekoncentrationen.

Når der konstateres betydelig lavere indhold af pesticider i PV2 skyldes det sandsynligvis, dels, at der er en fortyndingseffekt fra vand der strømmer ind fra siden i sandsliren, og dels at koncentrationen falder vertikalt.

Samlet set vurderes det, at porevandsprøverne på denne lokalitet har bidraget til en væsentlig revurdering af kildestyrkekoncentrationen.

DMR®

Dansk Miljørådgivning A/S

Opstilling

Terrænnær (T.N.)

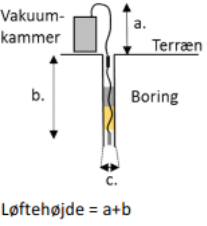
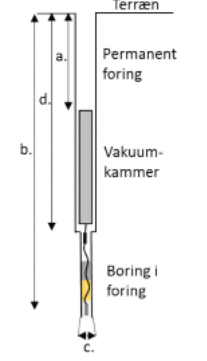
Løftehøjde = a+b

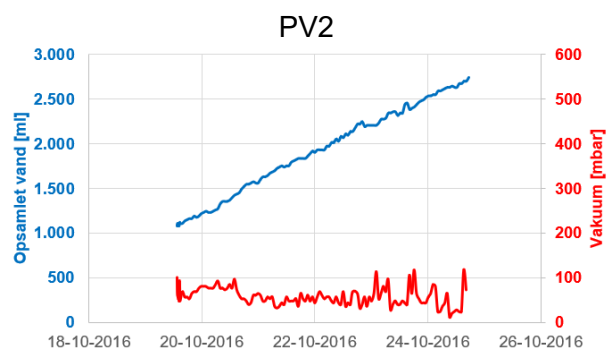
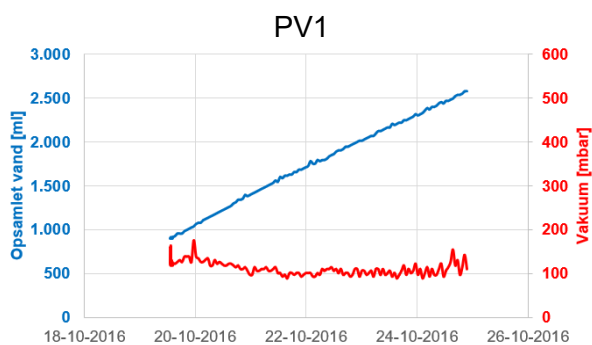
Dyb

Terræn

Løftehøjde = b-a

Sagsnavn:	Odesundvej 218, Snedsted						Prøvetagningsperiode:	10-18/10 2016				
DMR-sagsnr.:	2015-1201						Prøvetager:	PLA				
Kundesagsnr.:							Sagsbehandler hos DMR:	PLA/PL				
Prove	Opstillin g	Kammerhøjde (a.) a. [m]	Sugecelle (b.) b. [m]	Diameter (c.) c. [m]	Kvarts- mel g.	Vand tilsat ml	Foring (d.) g. [m]	Sorbicelle Nr.	Start- vakuu mbar	Løftehøjde cm	Forpumpe ml	Vand opsamlet ml
PV1	Dyb	0,9	3,5	0,1	2300	780		0711-3191	120	160	0	1995
	T.N.											
PV2	Dyb	0	4,2	0,1	2300	780		0711-3196	50	0	0	1950
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											
	T.N.											
	Dyb											

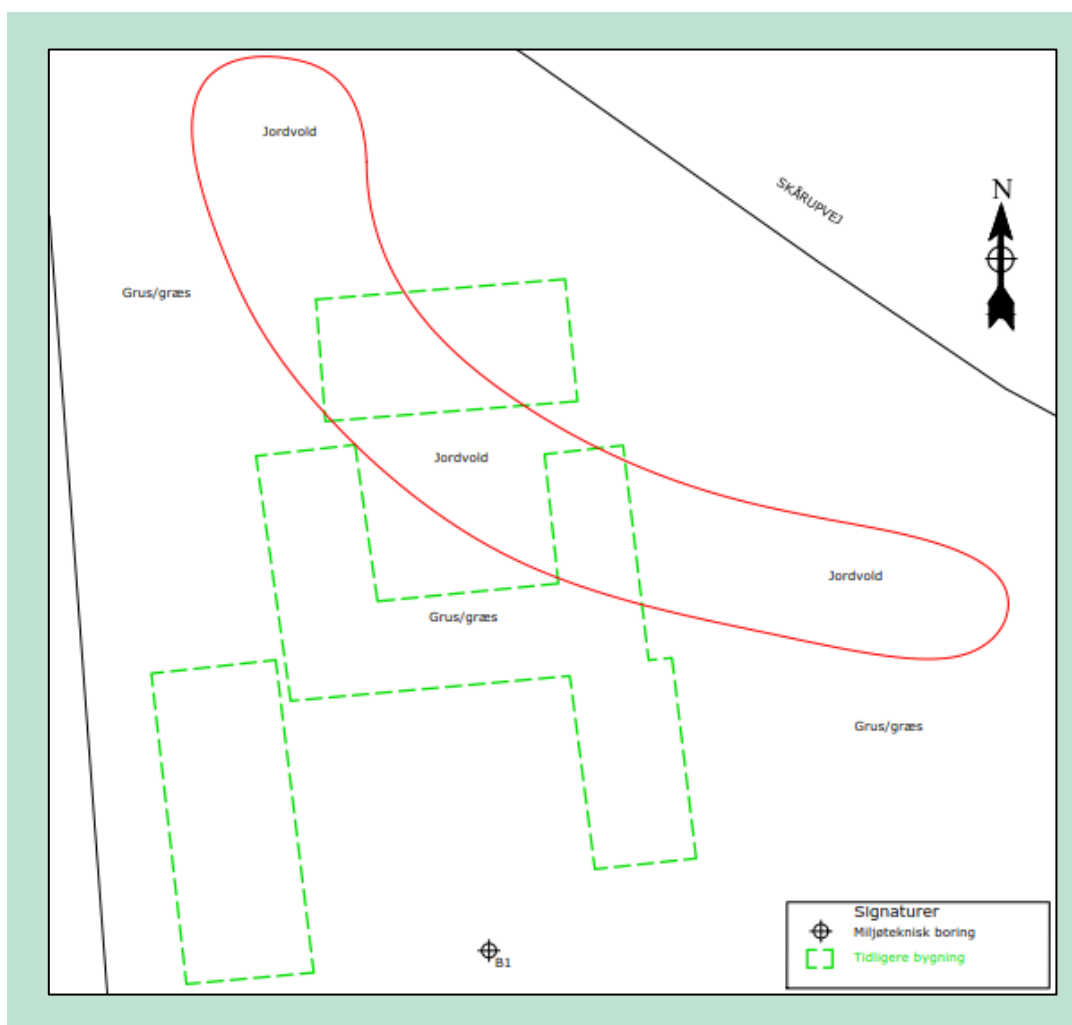
 Dansk Miljørådgivning A/S	Sagsnavn:		Oddesundvej 218, Snedsted				Prøvetagningsperiode:		18-26/10 2016				
	DMR-sagsnr.:		2015-1201				Prøvetager:		PLA				
	Kundesagsnr.:						Sagsbehandler hos DMR:		PLA/PL				
Opstilling	Prøve	Opstilling g	Kammerhøjde (a.) a. [m]	Sugecelle (b.) b. [m]	Diameter (c.) c. [m]	Kvarts- mel g.	Vand tilsat ml	Foring (d.) g. [m]	Sorbicelle Nr.	Start- vakuu mbar	Løftehøjde cm	Forpumpet ml	Vand opsamle t ml
Terrænnær (T.N.)  Løftehøjde = a+b	PV1	Dyb	0,9	3,5	0,1	2300	780		0711-3195	120	160	0	2000
		T.N.											
Dyb  Løftehøjde = b-a	PV2	Dyb	0	4,2	0,1	2300	780		0711-3194	50	0	0	1980
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
		Dyb											
		T.N.											
Bemærkninger:													



Bilag 11. Felttest D (pesticider)

På den undersøgte ejendom har der i perioden 1954 til 1986 været landbrug og i perioden 1986-2000 været produkthandel og oplag af skrot. Der foreligger kun meget begrænsede oplysninger om landbrugsdriften og tilhørende potentielle forureningskilder for pesticider. Placering af tidligere bygninger ses af nedenstående figur.

Da det ved tidligere undersøgelser blev fundet, at der ikke kunne konstateres grundvand indenfor de øverste 15 m på lokaliteten (B1 i nedenstående figur), blev det besluttet at foretage porevandsundersøgelser med terrænnære porevandsprøver.



FIGUR 11.1. Placering af tidligere bygninger på ejendom.

Porevandsundersøgelserne er udført som en del af en forureningsundersøgelse for Region Midtjylland. I nærværende er der dog kun inddraget resultater fra porevandsundersøgelserne.

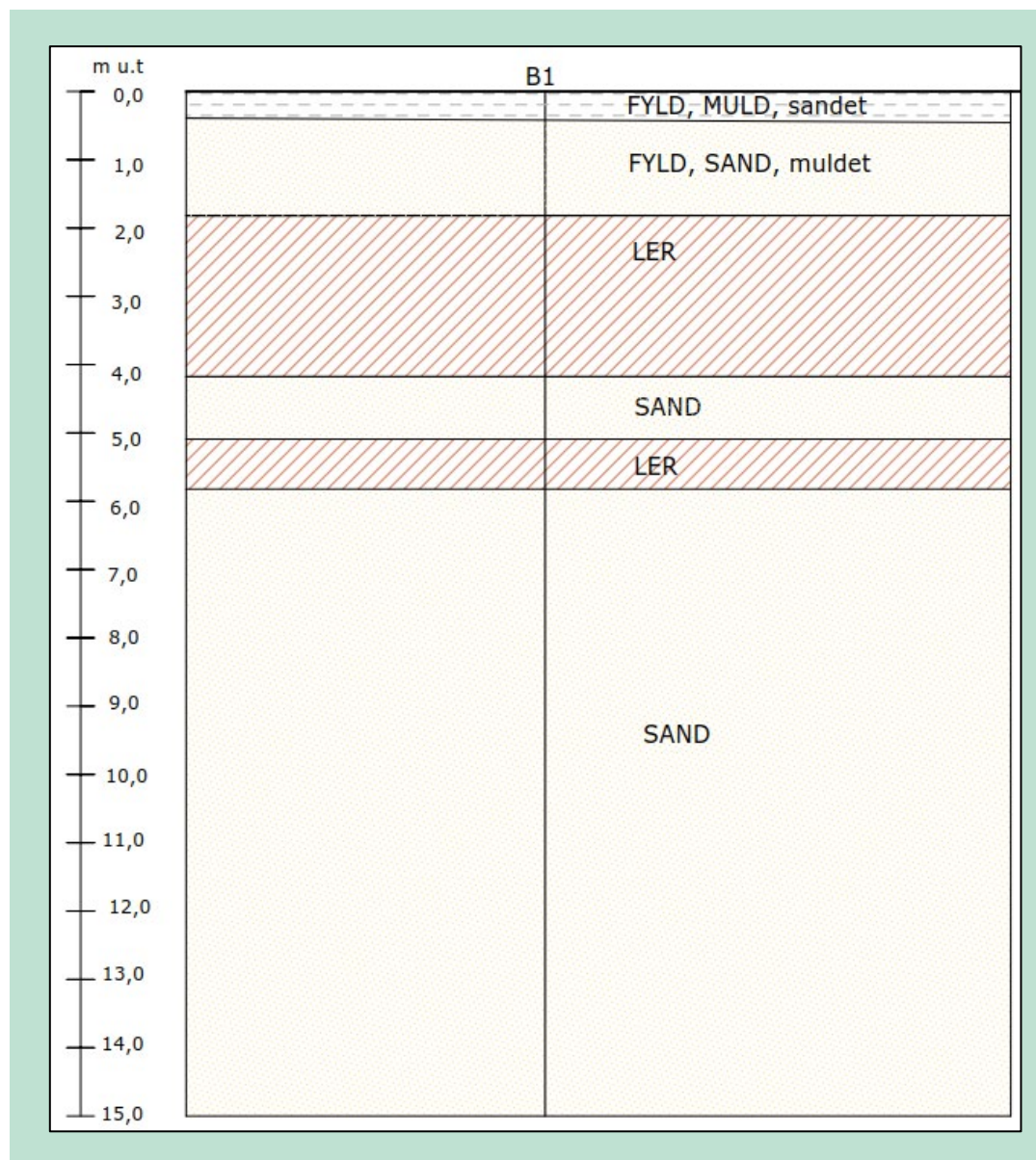
Formål med porevandsundersøgelser

Formålet med porevandsundersøgelsen på denne lokalitet var at undersøge om der forekommer terrænnær forurening med pesticider i tre punkter fordelt på lokaliteten.

Geologi, grundvandsinteresser og hydrogeologi

Et geologisk profilsnit for den lokale geologi fremgår af nedenstående figur. Profilsnittet er tolket ud fra boreprofilen fra tidligere undersøgelse, samt fra geologisk tolkning fra installation af sugecellerne.

Ved terræn er der græs/grus, som er underlejret af ca. 1,7 m fyld bestående af muld og sand. Under fyldet er der truffet sandet fugtig ler til ca. 4 m u.t. og herunder et sandlag til ca. 5 m u.t. Under dette lag er der konstateret et mindre lerlag til ca. 5,8 m u.t. som er underlejret af sand.



Figur 11.2: Lokalt geologisk profilsnit.

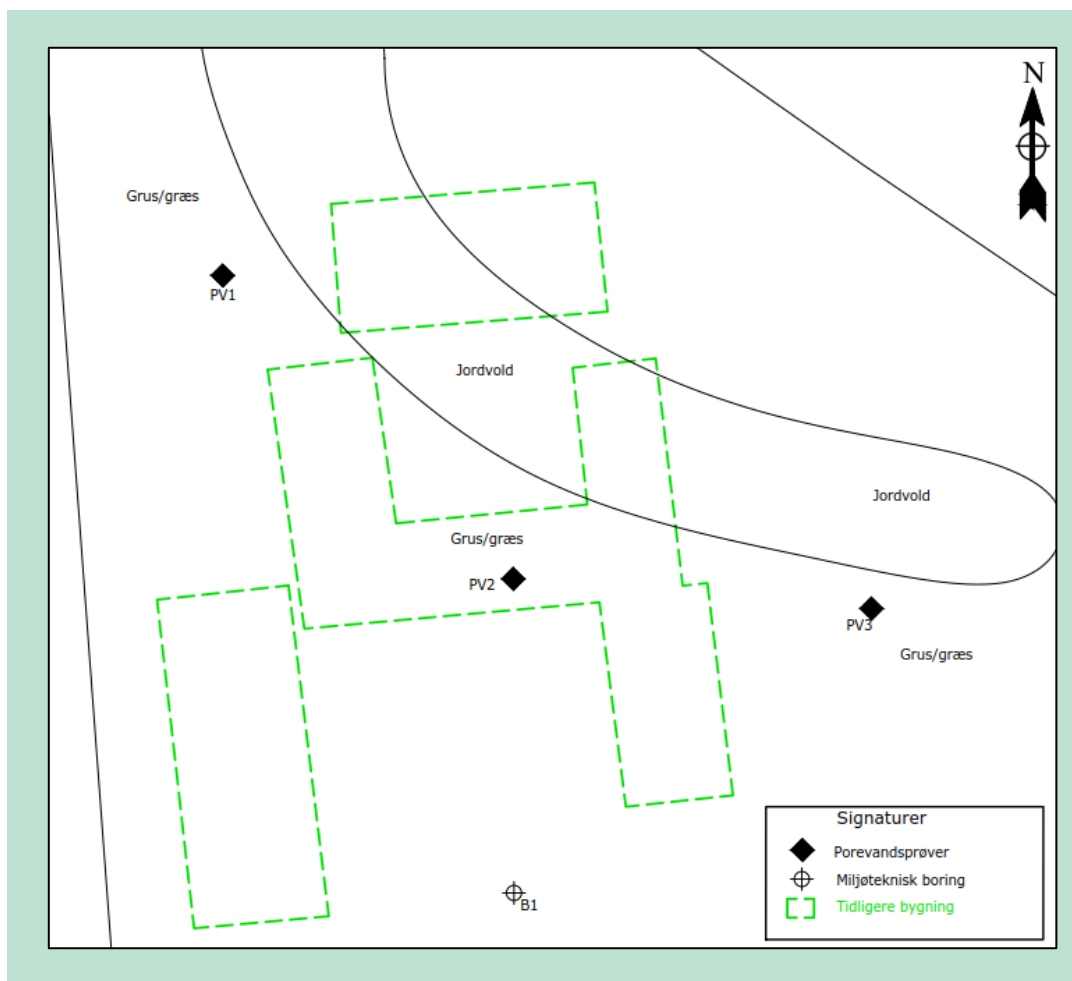
Der er ikke konstateret grundvand indenfor de øverste 28 m hvilket stemmer godt overens med regionale vurdering af at det terrænnære grundvandsmagasin har trykniveau ca. 28 m u.t.

Grundvandsforurening under lokaliteten

Der er ikke tidligere konstateret grundvandsforurening med pesticider på lokaliteten, men heller ikke undersøgt for det.

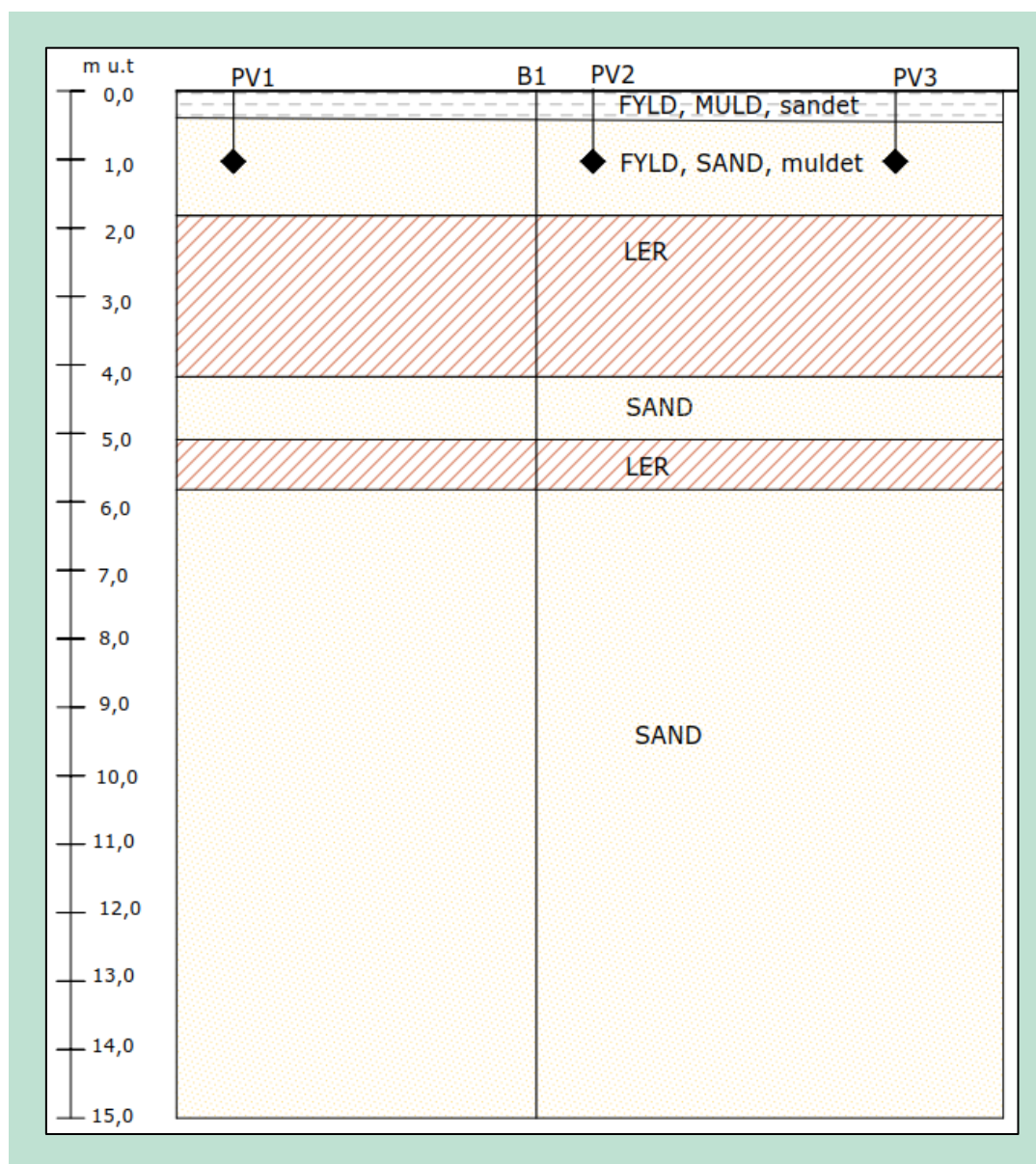
Placering og installation af sugeceller

Sugecellerne blev placeret som vist på nedenstående figur. Da der ikke forelå information om nærmere placering af potentielle punktkilder, er der tale om en relativ tilfældig placering, med en god fordeling på lokaliteten.



FIGUR 11.3: Placering af porevandsprøver.

Alle sugeceller blev installeret i fyldlaget 1 m under terræn, jf. nedenstående figur.



FIGUR 11.4. Placering af sugeceller under terræn.

Som det fremgår, er PV1-PV3 placeret i fyld af muldet sand. Sugecellerne blev installeret i kvartsmel, med ca. 20 cm sand over. Derefter blev der etableret ca. 30 cm bentonit som afpropning mod terræn. En nærmere beskrivelse af sugecelleinstallation ses i kapitel 3.

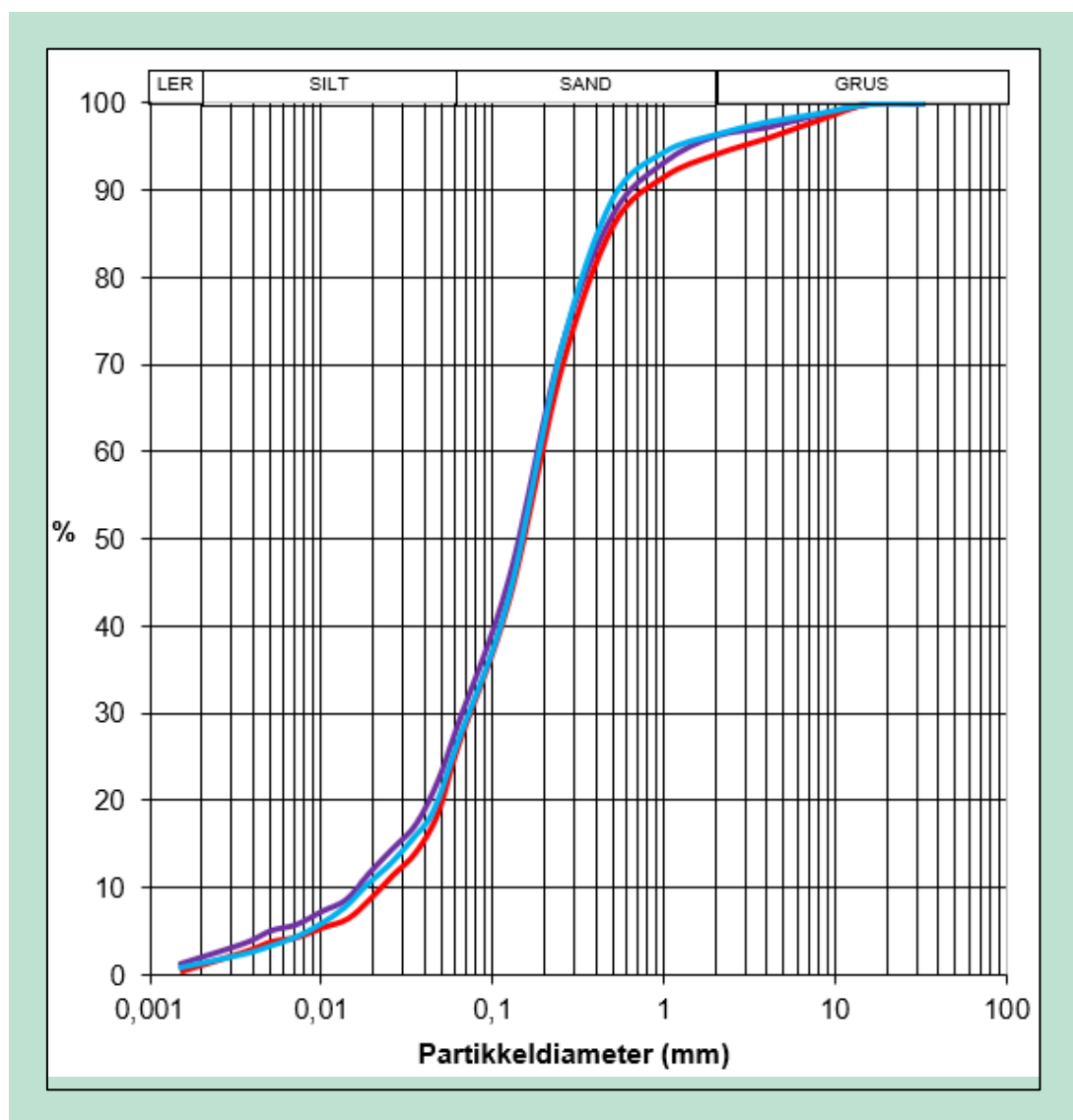
Fotos fra installation af sugeceller ses af nedenstående figur.



FIGUR 11.5. Fotos fra installation af sugeceller.

Fra PV1 og PV3 blev der forpumpet hhv. 1.632 og 2.057 ml svarende til ca. 4,5-5,7 gange det vandvolumen, der blev brugt ved installation. Der blev ikke forpumpet fra PV2, idet prøvetagningen gik særdeles langsomt i dette punkt. Det blev derfor besluttet at sende sorbicellen fra forpumpning direkte til analyse. Data fra prøvetagningen fremgår af feltbilaget i bilag 11.1

Ved installation af sugecellerne blev der udtaget jordprøver fra installationsdybden til analyse for kornstørrelsesfordeling, og resultaterne ses af nedenstående figur.



FIGUR 11.6. Resultater fra bestemmelse af kornstørrelsesfordeling.

Som det fremgår af figur 11.6, ligger kornstørrelsesfordelingen relativt tæt i de tre prøvetagningspunkter, hvilket også stemmer godt overens med at de er udtaget i samme dybde på lokaliteten. Af nedenstående tabel fremgår en oversigt over fordelingen af ler, silt, sand og grus i de fire prøver sammen med definitionen på partikelstørrelse fra U.S. Department of Agriculture (USDA).

Tabel 11.1: Procentvis fordeling af ler, silt, sand og grus i dybder hvor sugeceller er installeret, samt organisk stof og vandindhold.

Tekstur- beskrivelse	USDA	PV1	PV2	PV3
	mm	%	%	%
Ler	<0,002	1,2	0,4	0,8
Silt	0,002-0,05	3,8	3,4	2,5
Sand	0,05-2,0	91	90	93
Grus	2,0-10	3,7	5,9	3,5
Organisk stof	-	2,5	1,1	0,93
Vandindhold	-	10	14	13

Jordprøverne kan ud fra fraktioneringen i ler, silt, sand og grus overordnet bedømmes efter nedenstående:

- <12 % ler og >45-50 % sand klassificeres som morænesand.
- <12 % ler og >45-50% silt klassificeres som morænesilt

- 12-15 % ler og >45-50% silt klassificeres som moræneler stærkt siltet.
- 12-15 % ler og >45-50% sand som moræneler stærkt sandet.

Underliggende kommentarer på fraktioner af silt og ler kan inddeles således:

- <5 % ler/silt klassificeres som svagt leret eller svagt siltet.
- 5-10 % ler/silt klassificeres som leret eller siltet.
- >10 % ler/silt klassificeres som stærkt leret eller siltet.

På baggrund af ovenstående nøgle kan PV1-PV3 klassificeres således:

- PV1 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og svagt siltet.
- PV2 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og svagt siltet.
- PV3 klassificeres som morænesand, der er svagt leret og svagt siltet.

Kornkurverne er indtastet i HydrogeoSieveXL for at estimere middelværdien for den hydrauliske ledningsevne, samt et interval for min. og maks. estimaterne på ledningsevnen. For de tre jordprøver er der konstateret følgende hydrauliske ledningsevner:

PV1: $2,36 \cdot 10^{-6}$ ($5,36 \cdot 10^{-7}$ - $1,24 \cdot 10^{-6}$).

PV2: $2,86 \cdot 10^{-6}$ ($9,25 \cdot 10^{-7}$ - $2,43 \cdot 10^{-6}$).

PV3: $2,96 \cdot 10^{-6}$ ($4,57 \cdot 10^{-7}$ - $1,64 \cdot 10^{-6}$).

Der er som det fremgår tale om relativt ens værdier for den hydrauliske ledningsevne i de tre prøvetagningspunkter.

Prøvetagningsskemaer for porevandsprøvetagning i de tre punkter fremgår af bilag 11.1. Prøverne blev screenet med en kombination af to analysepakker – LCTQ1 og LCTQ2, der omfatter 105 forskellige pesticider/nedbrydningsprodukter.

Nøgletal fra prøvetagningen i de tre prøvetagningspunkter fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 11.2: Nøgletal fra porevandsprøvetagning. *Stiger til maks. vakuum på 500 mbar. Tid for prøvetagning er den samlede tid der gik med opsamling af porevandsprøverne efter forpumpning. Eff. tid for prøvetagning var tiden der gik efter vakuum var tilstrækkelig høj til at der kunne suges vand fra formationen.

Prøvetagningsrunde	Nøgletal	PV1	PV2	PV3
Runde 1	Tid for prøvetagning (døgn)	22	38	6
	Eff. tid for prøvetagning (døgn)	22	38	6
	Volumen (ml)	1.298	1.331	940
	Stabilt vakuum (mbar)	500*	500*	500*

Det er bemærkelsesværdigt, at prøvetagningen i PV1 og PV2 tager henholdsvis 22 og 38 døgn, hvilket er en relativ lang prøvetagningsperiode. Dette skal endvidere ses i lyset af at prøverne udtages i sand, som generelt har en relativt høj ledningsevne, men omvendt ikke indeholder så meget vand som eks. ler.

Resultater fra porevandsundersøgelser

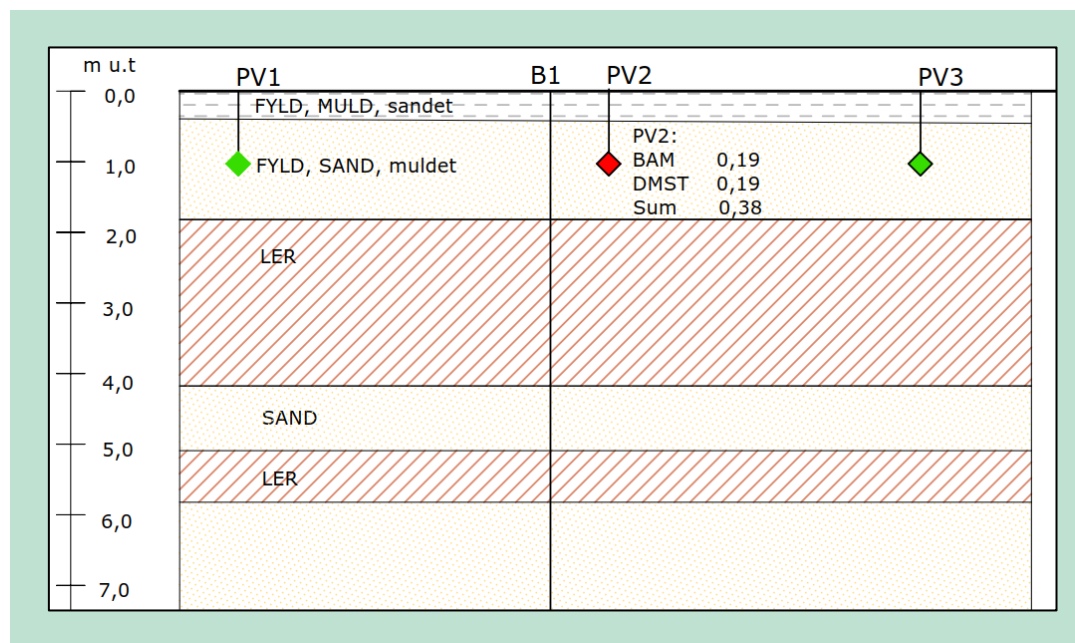
Analyseresultaterne for stoffer med indhold over detektionsgrænsen i mindst en prøve fremgår af nedenstående tabel, sammen med Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier. Det bemærkes, at grundvandskvalitetskriterierne ikke gælder for porevand, men anvendes til sammenligning, da porevandet transporteres mod grundvandet. Fremhævede felter angiver overskridelse af grundvandskvalitetskriterierne.

Tabel 11.3: Resultater for pesticider i porevandsprøver.

	2,6-dichlorbenzamid (BAM)	N,N-Dimethyl-N'-p-tolylsulphamide (DMST)	Sum
PV1	<	<	i.p.
PV2	0,19	0,19	0,38
PV3	<	<	i.p.
Grundvandskvalitetskriterier	0,1	0,1	0,5

Som det fremgår af tabel 11.2, blev der i PV2 konstateret 2 pesticider/nedbrydningsprodukter, hhv. BAM og DMST og begge stoffer i en koncentration på 0,19 µg/L svarende til ca. 2 gange grundvandskvalitetskriteriet. Der blev ikke konstateret indhold af pesticider i PV1 og PV3.

I nedenstående figur er der vist et vertikalt snit hvor de konstaterede indhold i porevandet er visualiseret.



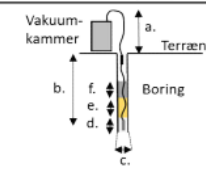
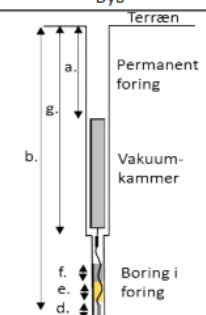
FIGUR 11.7. Fordeling af porevandsforurening.

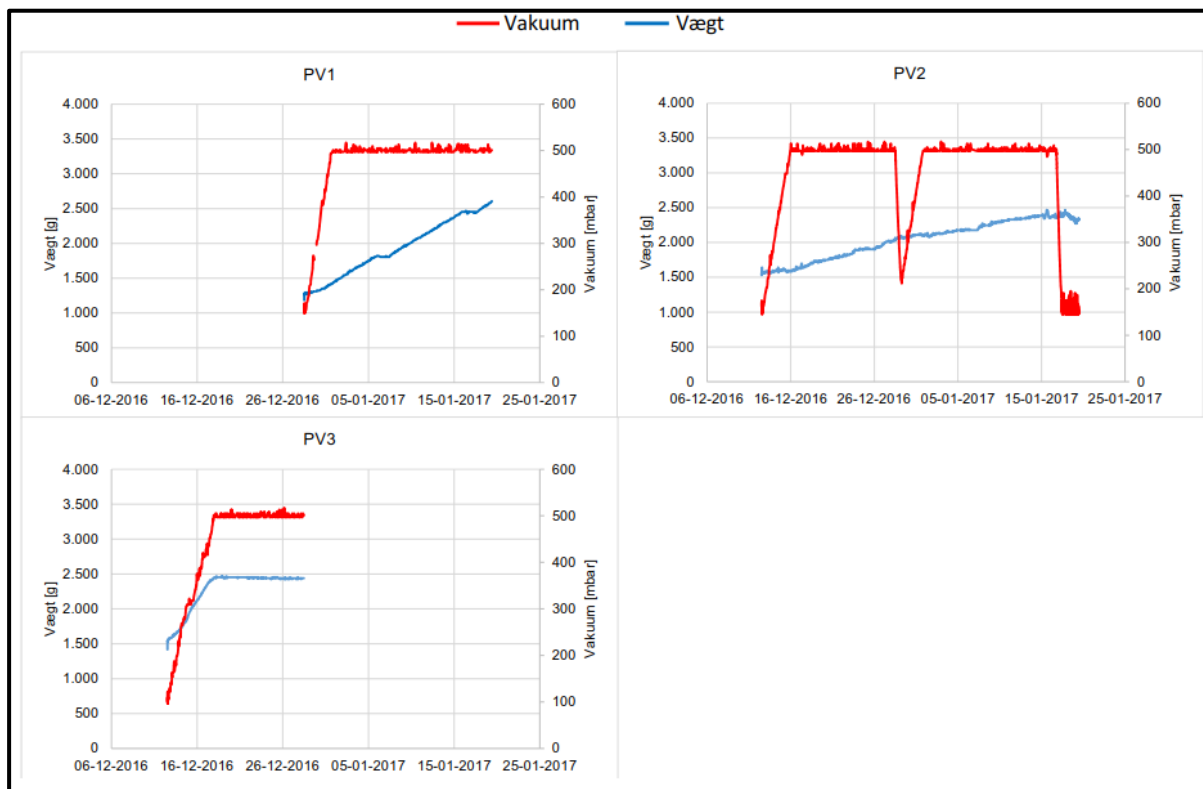
Som det fremgår af figur 11.7, er der konstateret et relativt begrænset indhold af pesticider i porevandet ca. 1 m u.t. i PV2, mens der ikke er konstateret indhold over detektionsgrænsen i PV1 og PV3.

BAM er et nedbrydningsprodukt af pesticiderne dichlobenil og chlorthiamid, der blev brugt i perioden 1965-1997, hvorefter stofferne har været forbudte. Pesticiderne er ukrudtsmidler og blev solgt under handelsnavnene Prefix, Casoron G, Prefix G og Prefix Garden.

DMST er et nedbrydningsprodukt af tolylfluamid, som er et svampemiddel. Stoffet er ikke blevet solgt i Danmark siden 2007.

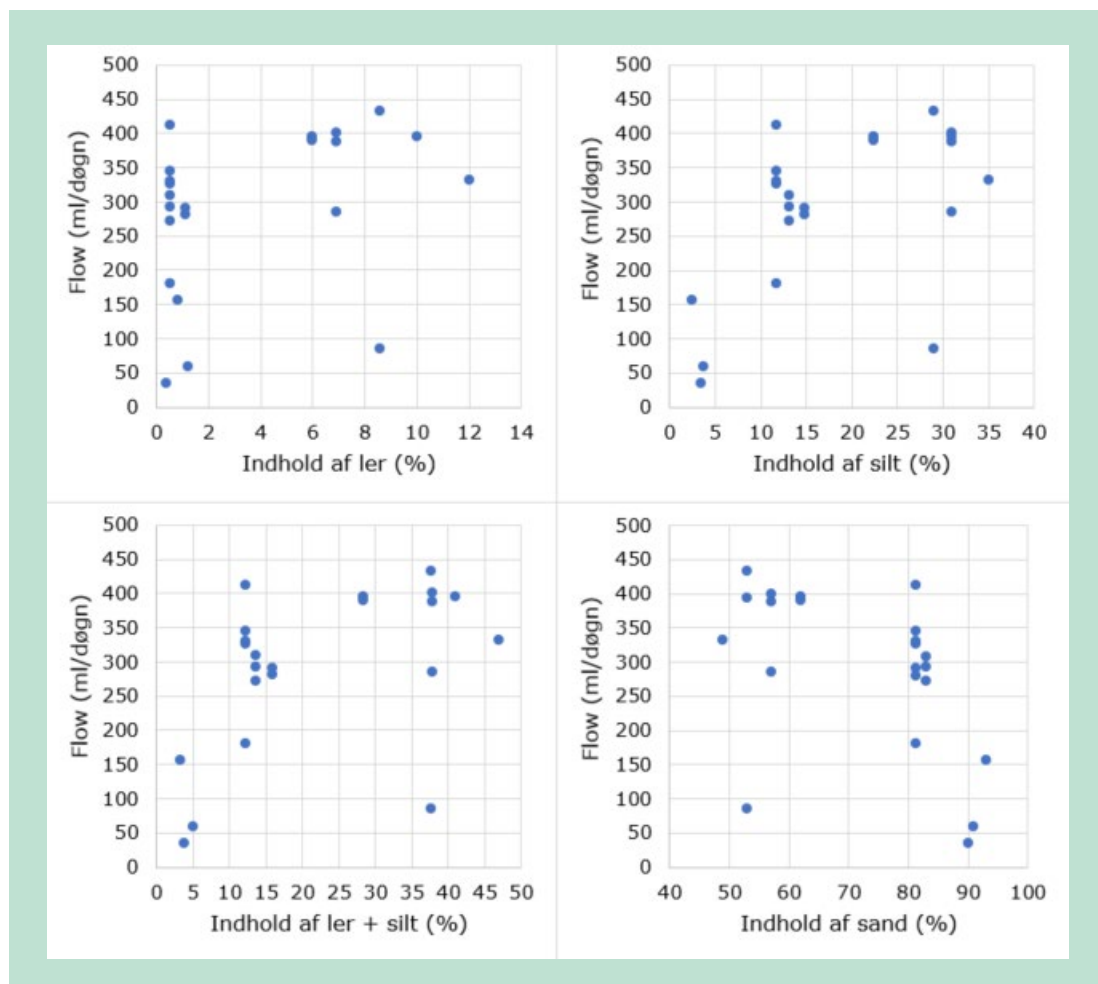
Bilag 11.1 Feltskemaer fra porevandsprøvetagning

 Dansk Miljørådgivning A/S	Sagsnavn:		Skårupvej 63, Hobro				Prøvetagningsperiode:		16/12 2016 - 19/1 2017				
	DMR-sagsnr.:		2015-1278				Prøvetager:		PLA				
	Kundesagsnr.:						Sagsbehandler hos DMR:		PLA/AHK				
Opstilling	Prove	Opstilling	Kammerhøjde (a.) a. [m]	Sugecelle (b.) b. [m]	Diameter (c.) c. [m]	Kvarts- mel g.	Vand tilsat ml	Foring (g.) g. [m]	Sorbicelle Nr.	Start- vakuu mbar	Løftehøjde cm	Forpumpe ml	Vand opsamlet ml
Terrænnær (T.N.)													
	PV1	TN	0,4	1	0,07	1100	360		0711-3941	150	1,4	1632	1298
	PV2	TN	0,4	1	0,07	1100	360		0711-3187	150	1,4	0	1331
	PV3	TN	0,4	1	0,07	1100	360		0711-3186	100	1,4	2057	940
Dyb													
													
Bemærkninger:													

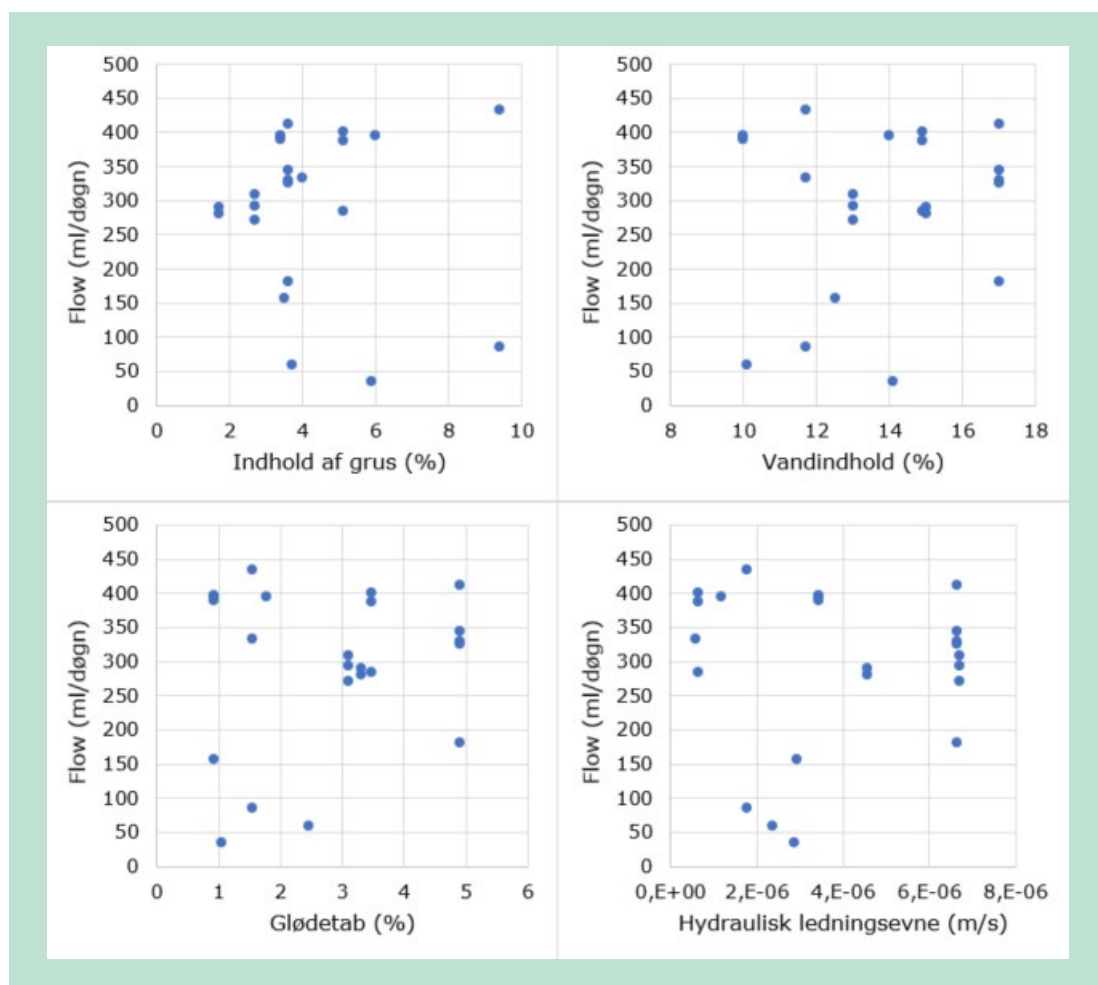


Bilag 12. Jordkarakteristik og porevandsflow

Det gennemsnitlige flow af porevand under prøvetagningen er plottet mod forskellige jordfysiske målinger.



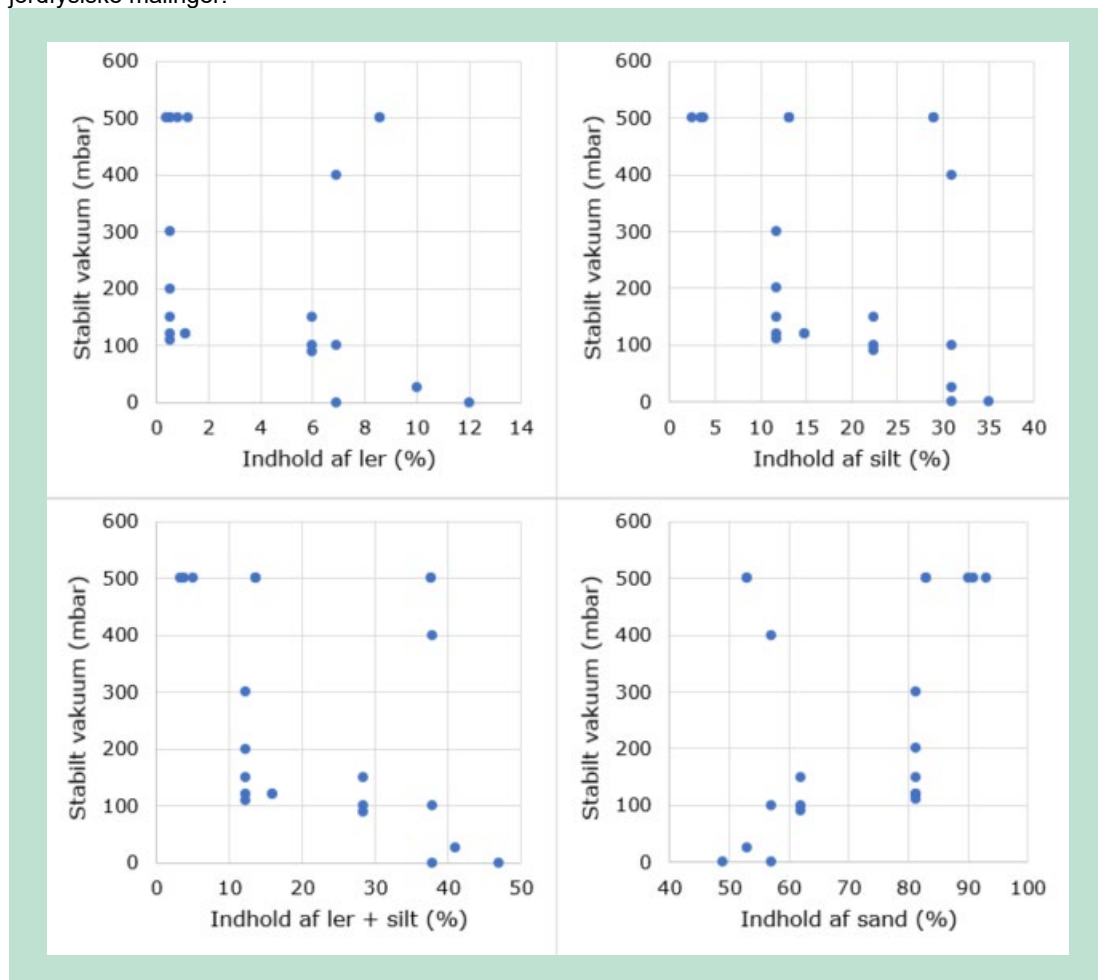
FIGUR 12.1. Flow plottet mod jordfysiske målinger.



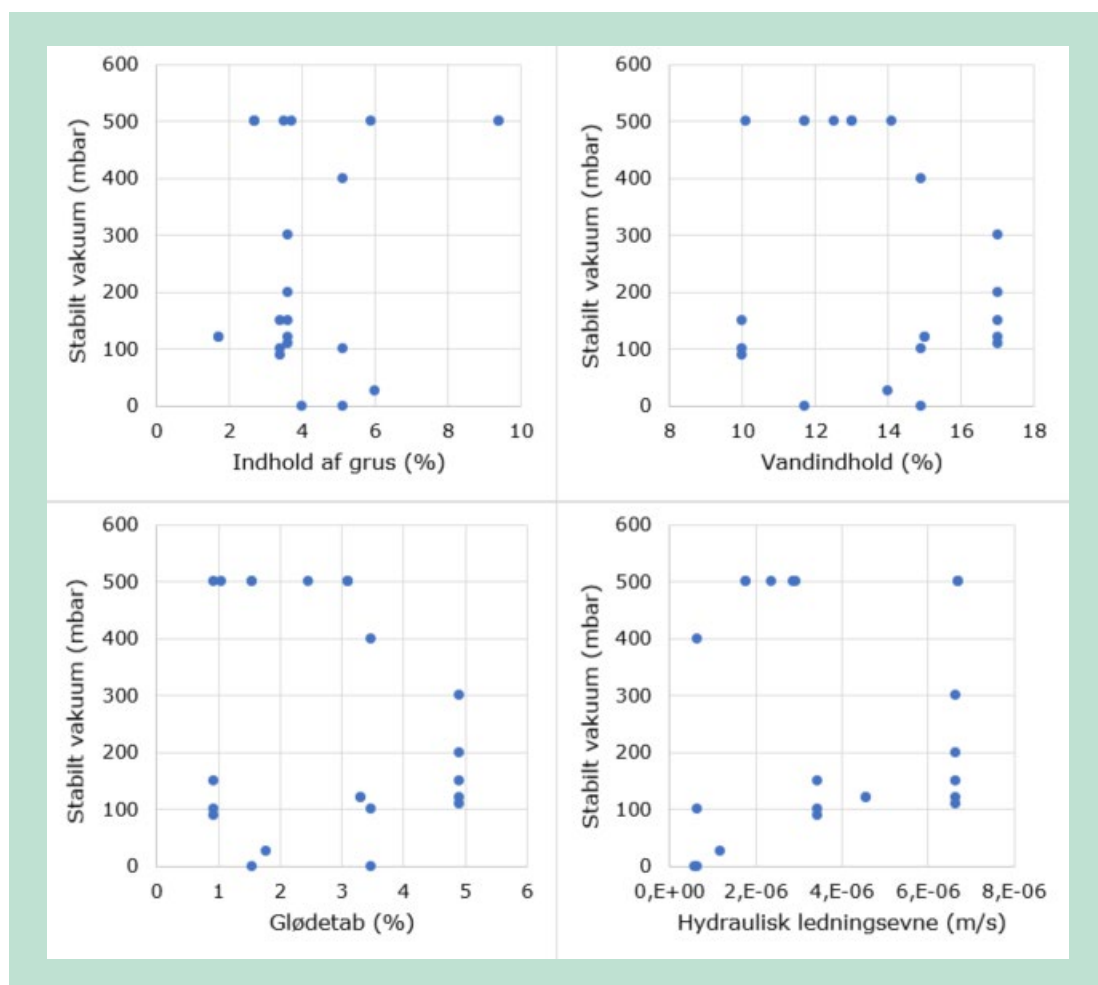
FIGUR 12.1 (fortsat). Flow plottet mod jordfysiske målinger.

Bilag 13. Jordkarakteristik og stabilt vakuum

Det stabile vakuum der indstiller sig ved hver porevandsprøvetagning er plottet mod forskellige jordfysiske målinger.



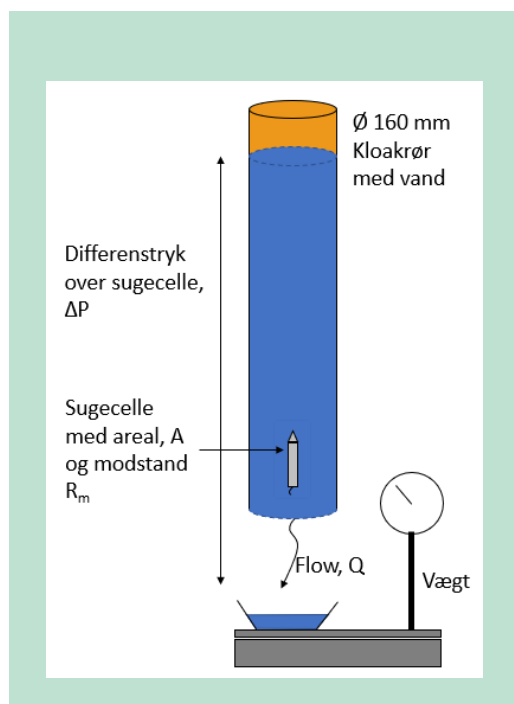
FIGUR 13.1. Stabilt vakuum plottet mod jordfysiske målinger.



FIGUR 13.1 (fortsat). Stabilt vakuum plottet mod jordfysiske målinger.

Bilag 14. Bestemmelse af filtermodstand

Opstillingen til undersøgelse af filtermodstand ses af nedenstående figur.



FIGUR 14.1. Måling af filtermodstand på tre typer af sugeceller.

Ud fra forsøget kan filtermodstanden beregnes ved følgende ligning /8/:

$$R_m = \frac{\Delta P \cdot A}{\mu \cdot Q}$$

Hvor:

R_m er filtermodstanden (m^{-1}).

ΔP er differenstrykket over sugecellen (Pa).

A er sugecellens overfladeareal (m^2).

μ er vands viskositet ved 20 °C (0,001002 Pa·s).

Q er flow (m^3/s).

Rådata og beregnet filtermodstand ses af nedenstående tabel.

Tabel 14.1. Rådata fra beregning af filtermodstand.

	Slange	PRENART/DMR - stål	SMS - stål	Prenart/DMR - PTFE
Tid [sek]	170	3.600	3.600	3.600
Areal [m^2]	3,1E-06	4,3E-03	7,5E-03	3,0E-03
Tryk [Pa]	13.900	13.750	13.800	13.750
Volumen [ml]	500	213	1.125	10
Flow [m^3/s]	2,9E-06	5,9E-08	3,1E-07	2,9E-09
Filtermodstand [m^{-1}]	1,5E+07	1,0E+12	3,3E+11	1,4E+13
Vands viskositet ved 20 °C	0,001002	Pa s		

Automatiseret porevandsprøvetagning - Udvikling og felttest

I rapporten dokumenteres udvikling, opbygning og felt-test af en ny automatiseret porevandsprøvetager.

Først beskrives design, udvikling og opbygning af ud-styrspakken. Dertil beskrives test og kalibrering af de anvendte sensorer. Denne del dokumenterer ligeledes opbygningen af softwaren, der er baseret på Arduino platformen.

Efterfølgende beskrives feltprocedurer for installation af sugeceller og det automatiserede udstyr. Der præsenteres konceptuelle overvejelser omkring porevandsprøvetagningen, herunder influensradius og valg af startvaku-um.

Dernæst beskrives de samlede erfaringer, der kan uddrages fra de udførte felttests på lokaliteter forurenet med chlorerede kulbrinter, pesticider og olie. Dette omfatter bl.a. erfaringer med nødvendig prøvetagningstid, prøve-tagning i forskellige jordtyper, koncentrationsvariationer i tid og sted og reproducérbarhed.

Slutteligt præsenteres resultater fra materialetests, som belyser effekten af forskellige materialer til slanger og sugeceller på de målte koncentrationer.

I konklusionen opsummeres status for udstyrspakken og betragtninger omkring anvendelse og begrænsninger.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk