



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

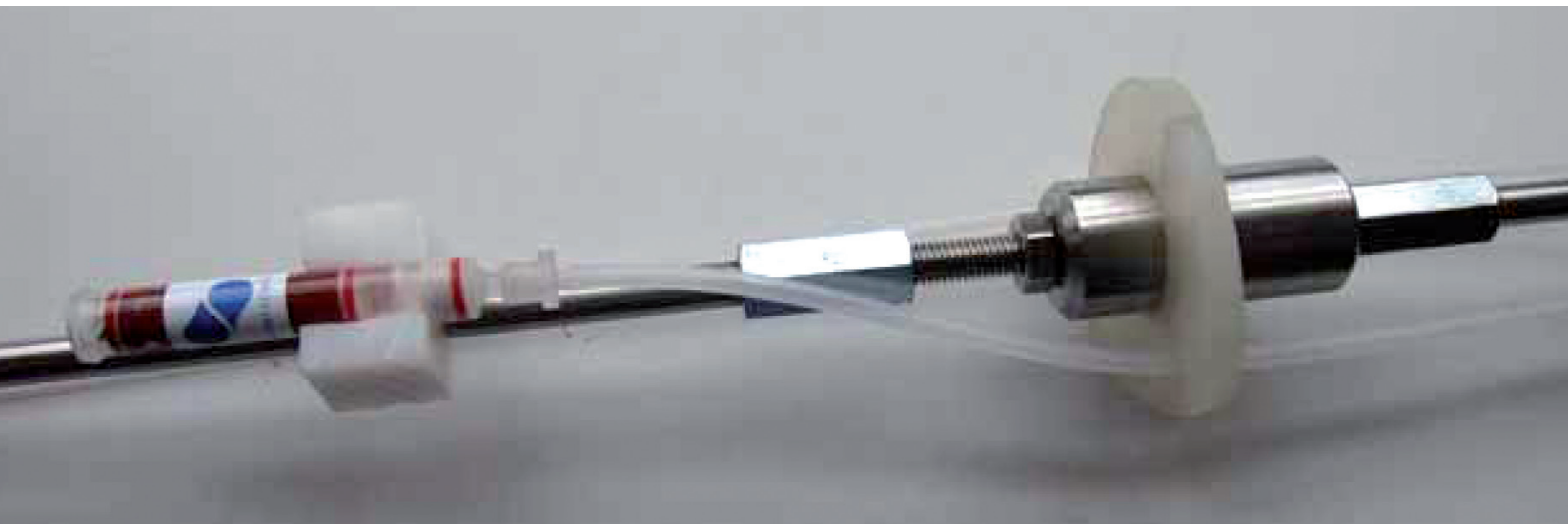
MultiLevel Sampler til 3D måling af grundvandsforurening

Samarbejdsprojekt mellem

Sorbisense A/S

Grontmij / Carl Bro A/S

Region Hovedstaden Koncern Miljø



Titel: MultiLevel Sampler til 3D måling af grundvandsforurening

Resumé: Rapporten beskriver den udviklede MultiLevel Sampler til udtagning af niveauspecifikke vandprøver. Med metoden kan der udtage flere vandprøver samtidig i samme filter. Vandprøvetagningen kan gennemføres uden at påvirke de hydrauliske forhold i formationen omkring boringen, dvs. prøvetagningen kan gennemføres passivt (uden pumpning).

Forfattere: Steffen Damgaard Nielsen, Grontmij – Carl Bro A/S

URL: www.nst.dk

ISBN: 978-87-7279-117-3

Udgiver: Naturstyrelsen

Udgiverkategori: Statslig

År: 2011

Sprog: Dansk

Copyright: Må citeres med kildeangivelse. Miljøministeriet, Naturstyrelsen

Forbehold: Naturstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af Naturstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Naturstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Naturstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

INDHOLDSFORTEGNELSE		SIDE
1	FORORD	3
2	SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	4
2.1	Udviklet MultiLevel Sampler	4
2.2	Princippet for MultiLevel Sampler	4
2.3	Anvendelse af MultiLevel Sampler	4
3	INTRODUKTION	6
4	FORMÅL	7
5	METODEN	8
5.1	MultiLevel Sampling	8
5.2	Passiv sampling	9
5.3	Alternative metoder til multilevel sampling	11
6	UDVIKLINGSARBEJDET	13
6.1	Udvikling af prototype	13
6.2	Beskrivelse af prototype	14
6.3	Tryk- og diffusionstest i laboratoriet	14
7	RESULTATER	17
7.1	Sammenligning med traditionelle vandprøver	17
7.1.1	Boringerne F25, F30, F35 og F40	17
7.1.2	Betydning af horisontal koncentrationsgradient	19
7.1.3	Betydning af vertikal koncentrationsgradient	20
7.1.4	Tidsmæssig udvikling	21
7.2	Sammenligning med andre MLS prøver	21
7.3	Konklusion på feltresultater	26
8	PERSPEKTIVERING AF MULTILEVEL SAMPLER	27

BILAGSFORTEGNELSE

- Bilag 1** Logbog over udviklingsarbejdet
- Bilag 2** Manual, komponenter og montage
- Bilag 3** Grafisk afbildning af SorbiCell resultater
- Bilag 4** GEUS rapport - Flowlog
- Bilag 5** Tværsnit af forureningsfane PCE, TCE, DCE, VC
- Bilag 6** Tabel over samtlige SorbiCell analyseresultater

1 FORORD

Projektet er udført som et samarbejdsprojekt mellem Sorbisense A/S, Grontmij | Carl Bro A/S og Region Hovedstaden Koncern Miljø. I forbindelse med projektet har de tre parter indgået et formaliseret partnerskab med henblik på at udvikle teknologien omkring MultiLevel Sampleren. By- og Landskabsstyrelsen har støttet projektet økonomisk i henhold til ansøgning om tilskud til miljøeffektiv teknologi 2008.

DTU Miljø har velvilligt stillet udvalgte analyseresultater til rådighed, i forbindelse med afprøvning og validering af den udviklede MultiLevel Sampler på en lokalitet i Skuldelev, hvor DTU Miljø udfører et udviklingsprojekt i samarbejde med Region Hovedstaden.

2 SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER

Der er udviklet en MultiLevel Sampler til udtagning af niveauspecifikke vandprøver i dette samarbejdsprojekt mellem Sorbisense A/S, Grontmij | Carl Bro A/S og Region Hovedstaden Koncern Miljø.

2.1 Udviklet MultiLevel Sampler

Med MultiLevel Samplern er der udviklet en metode, som kan udtage flere vandprøver samtidigt i samme filter til analyse for miljøfremmede stoffer.

Med MultiLevel Samplern kan vandprøvetagningen gennemføres uden at påvirke de hydrauliske forhold i formationen omkring boringen, dvs. at vandprøvetagningen kan gennemføres passivt (uden pumpning).

På baggrund af det gennemførte udviklingsarbejde er det tilstræbt, at metoden er operationel, dvs. det er hurtigt, billigt og ukompliceret at anvende metoden.

MultiLevel samplern kan levere analyseresultater, som afspejler en gennemsnitsværdi over forskellige perioder fra 1 uge og op til 3 måneder. Metoden kan undersøge for stofgrupperne chlorerede opløsningsmidler, oliekomponenter og PAH/tjærestoffer.

2.2 Princippet for MultiLevel Sampler

Princippet for MultiLevel Samplern er passive vandprøver, som repræsenterer et gennemsnit for hele måleperioden frem for almindelige vandprøver, som repræsenterer et øjebliksbillede.

Den udviklede MultiLevel Sampler er baseret på SorbiCell-teknologien, men som noget nyt, er det nu muligt at udtage flere niveauspecifikke vandprøver samtidig i det samme grundvandsfilter til analyse for miljøfremmede stoffer.

Den udviklede MultiLevel Sampler er designet, så det er muligt at montere op til 3 SorbiCeller, og således at forureningens vertikale distribution dermed kan beskrives med 3 analyseresultater, som hver især repræsenterer 10-20 cm af den filtersatte strækning. Imellem de 3 SorbiCeller monteres packere, som forhindrer vertikal strømning og opblanding af vand i filterrøret.

MultiLevel Samplern består af en række fleksible enheder, som frit kan kombineres, således at det er muligt at gennemføre multilevel sampling i filtre, som har en længde på ned til 1 m længde eller op til 15 m længde.

2.3 Anvendelse af MultiLevel Sampler

På forurenede lokaliteter, hvor der er en udbredt forureningsfane, vil det være relevant at anvende MultiLevel Samplern i undersøgelsesfasen, og eventuelt i monitoringsfasen, hvis en sådan iværksættes.

MultiLevel Samplern muliggør en differentieret beskrivelse af forureningens vertikale udbredelse. Det vurderes, at nytten af MultiLevel Samplern er størst ved filterlængder på mindst 2 m.

MultiLevel Sampleren bør overvejes allerede i planlægningen af en forureningsundersøgelse, eller senest forud for videregående undersøgelser, idet filterlængderne herved kan vælges således, at der opnås mest mulig information om forureningsfanen. Til dette formål er filterlængder på 1 m ikke egnede, men ved anvendelse af 2 m eller 3 m lange filtre vil kombinationen af filterlængde og MultiLevel Sampleren give den bedste information om forureningens vertikale fordeling.

MultiLevel Sampleren kan anvendes i andre sammenhænge end miljøtekniske boringer. Eksempelvis i vandværkers indvindingsboringer og pejleboringer kan der være behov for at lokalisere horisonter med høje koncentrationer af naturlige eller miljøfremmede stoffer. Sådanne boringer er typisk opbygget med lange filtre, hvor MultiLevel Sampler metoden vil kunne være nyttig, dog fortrinsvis i boringer, hvor der ikke pumpes i måleperioden.

3 INTRODUKTION

Projektet har til formål at udvikle en MultiLevel Sampler til samtidig udtagning af flere passive vandprøver i forskellige dybde i samme grundvandsboring på en pålidelig og ensartet måde til analyse for miljøfremmede stoffer.

Den udviklede MultiLevel Sampler har flere fordele:

- Flere niveauspecifikke vandprøver samtidig i forskellig dybde i samme filter.
- Grundvandsprøver repræsenterer et koncentrationsgennemsnit over hele måleperioden, som kan være fra 1 uge til 3 måneder, i modsætning til almindelige vandprøver, som repræsenterer en øjebliksværdi.
- Den påvirker hydraulikken mindre end en traditionel prøvetagning

Ved i en længere måleperiode at kunne måle variationerne i forureningskoncentrationer over dybden i én enkelt boring, kan udbredelse og spredning af forureningen, samt den totale masse af forurening, bestemmes med en langt større sikkerhed og præcision. Noget der i dag kræver etablering af flere boringer eller anvendelse af komplekse og tidskrævende prøvetagningsmetoder, som er komplicerede at gennemføre korrekt.

Region Hovedstaden Koncern Miljø og øvrige danske myndigheder efterlyser en teknologi, der betyder, at dataindsamling og modellering af grundvandsforurening kan gøres 3-dimensionel i forbindelse med risikovurdering, oprensning og monitorering af grundvandsforurening.

Ligeledes vil forståelsen og den konceptuelle modelleringen af de overordnede miljøforhold, hydrogeologi og strømningsforhold kunne øges betragteligt.

4 FORMÅL

Formålet med projektet har været at udvikle en metode, som skal kunne udtage flere vandprøver samtidigt i samme filter til analyse for miljøfremmede stoffer. Projektet har følgende delformål:

- Vandprøveudtagningen skal kunne gennemføres uden at påvirke de hydrauliske forhold i formationen omkring boringen, dvs. at vandprøvetagningen skal kunne gennemføres passivt (uden pumpning).
- Metoden skal være operationel, dvs. det skal være hurtigt, billigt og ukompliceret at anvende metoden.
- Metoden skal kunne levere en gennemsnitsværdi over forskellige perioder (1 uge til 3 måneder).
- Metoden skal som minimum kunne undersøge for stofgrupperne chlorerede opløsningsmidler, oliekomponenter og PAH/tjærestoffer.

5 METODEN

MultiLevel Sampleren er baseret på passiv sampling, i modsætning til traditionel vandprøvetagning fra grundvandsboringer, som involverer aktiv pumpning.

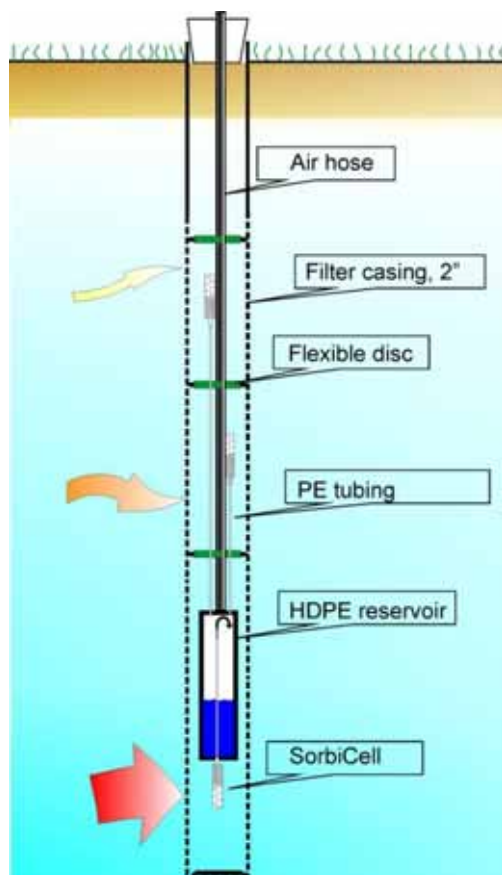
5.1 MultiLevel Sampling

Der er udviklet en MultiLevel Sampler til udtagning af niveauspecifikke vandprøver i dette samarbejdsprojekt mellem Sorbisense A/S, Grontmij | Carl Bro A/S og Region Hovedstaden Koncern Miljø.

Princippet for MultiLevel Samplingen er passive vandprøver, som repræsenterer et gennemsnit for hele måleperioden frem for almindelige vandprøver, som repræsenterer et øjebliksbillede.

Den udviklede MultiLevel Sampler er baseret på SorbiCell-teknologien (se afsnit 5.2), men som noget nyt, er det nu muligt at udtage flere niveauspecifikke vandprøver samtidig i det samme grundvandsfilter til analyse for miljøfremmede stoffer.

Den udviklede MultiLevel Sampler er designet, så det er muligt at montere op til 3 SorbiCeller, og således at forureningens vertikale distribution dermed kan beskrives med 3 analyseresultater, som hver især repræsenterer 10-20 cm af den filtersatte strækning, jf. Figur 5.1.



Figur 5.1 Udviklet MultiLevel Sampler

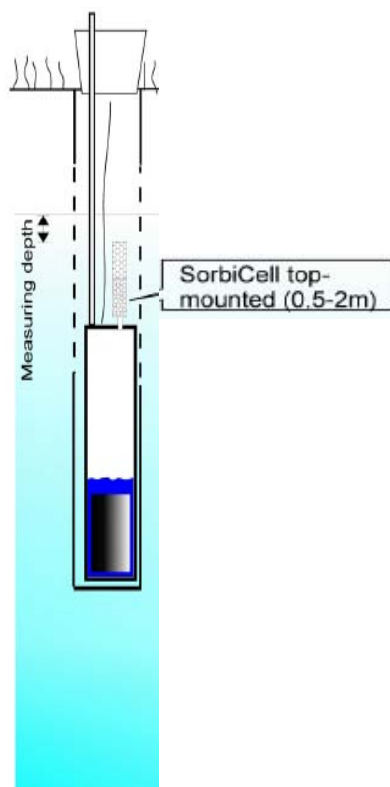
Imellem de 3 SorbiCeller monteres packere, som forhindrer vertikal strømning og opblanding af vand i filterrøret.

I projektet er MultiLevel Sampleren designet, så den kan anvendes i borerings filtersat med Ø63 mm filterrør, som typisk anvendes ved almindelige forurenings- og monitoringsundersøgelser. Imidlertid er der intet til hindrer for, at den udviklede MultiLevel Sampler også kan designes til og anvendes i f.eks. Ø125 mm filterrør, som typisk anvendes i dybere monitorings- og afværgeboringer.

MultiLevel Sampleren består af en række fleksible enheder, som frit kan kombineres, således at det er muligt at gennemføre multilevel sampling i filtre, som har en længde på ned til 1 m længde eller op til 15 m længde.

5.2 Passiv sampling

Princippet bag passiv sampling er nedsænkning i en grundvandsboring af en passiv prøvetagningsenhed i den tidsperiode, som man på forhånd har valgt, at vandprøven skal repræsentere. Perioden kan typisk være 1 uge, 1 måned, eller længere, og helt op til 3 måneder.



Figur 5.2 GWS
Groundwater Sampler

Opsamlingen af vandprøven sker ved langsom fyldning af en beholder, også kaldet Groundwater Sampler, GWS, som er et rør, der sænkes ned i boringen, jf. Figur 5.2 og 5.3 I top eller bund af røret monteres en såkaldt SorbiCell, hvorigennem vandet strømmer under samtidig fyldning af beholderen, jf. Figur 5.4 og 5.5.

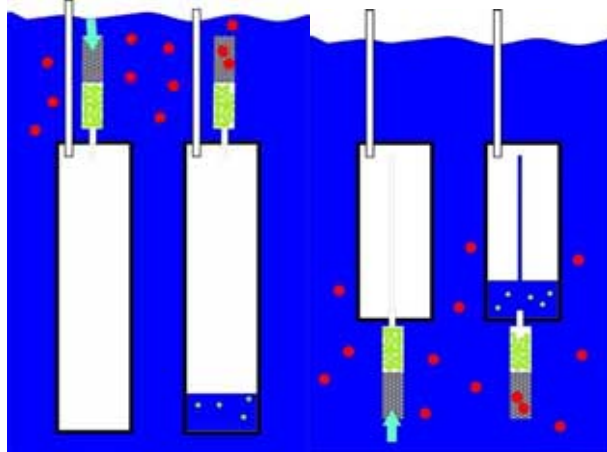
Metoden til passiv sampling, også kaldet SorbiCell-metoden, er udviklet og patenteret af firmaet Sorbisense, som har deltaget i nærværende projekt sammen med Grontmij | Carl Bro og Region Hovedstaden Koncern Miljø.

I lighed med anvendelsen af kulrør ved poreluftmålinger, samles forureningskomponenterne op i SorbiCellen, jf. Figur 5.4 og 5.5. Samtidig udvaskes et sporsalt langsomt fra SorbiCellen, som direkte funktion af vandgennemstrømningen.

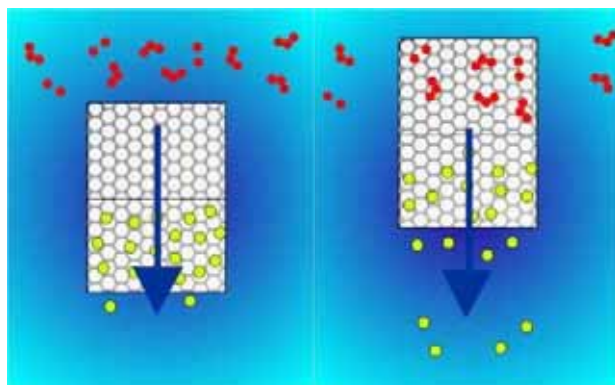
Efter monitoringsperioden er afsluttet, analyseres SorbiCellen for indhold af miljøfremmede stoffer på laboratoriet, samtidig med at det beregnes, hvor meget vand, der er strømmet igennem SorbiCellen på baggrund af saltudvaskningen.

På baggrund af den analyserede mængde af miljøfremmede stoffer og den beregnede vandgennemstrømning, fremkommer den gennemsnitlige koncentration af miljøfremmede stoffer i hele monitoringsperioden.

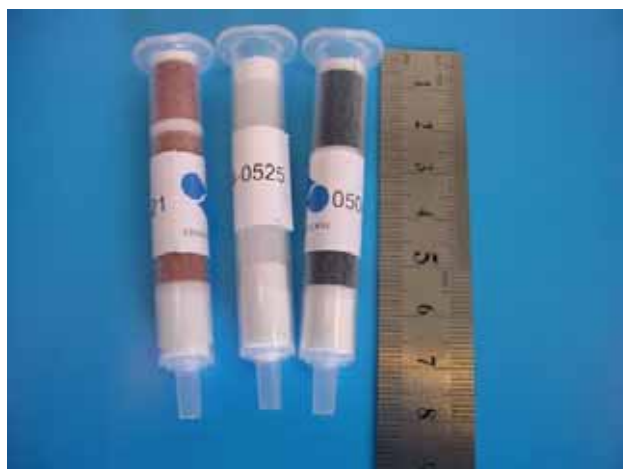
Metoden til passiv vandprøvetagning ved SorbiCell-metoden er valideret i en række praktiske projekter i samarbejde med danske og hollandske rådgivere og myndigheder.



Figur 5.3 Top- og bundmonterede SorbiCeller på GroundWater Sampler, GWS.

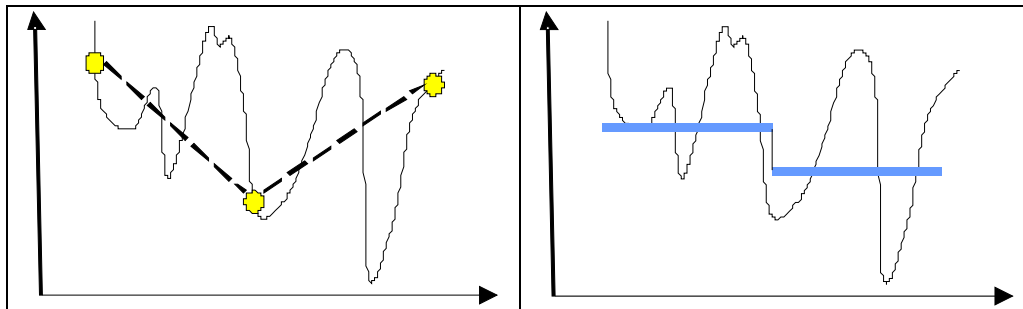


Figur 5.4 Principskitse, hvor forurening (rød) adsorberes i en polymer i SorbiCellen og sporsalt (grøn) udvaskes proportionalt med vandgennemstrømningen.



Figur 5.5 SorbiCelle med polymer og sporsalt.

Ved passiv sampling i længere perioder vil variationer i koncentrationen af miljøfremmede stoffer, dvs. variationer som følge af sæsonudsving, nedbør og pulspåvirkninger udjævnes, og man vil derfor typisk få mere konsistente monitoringsdata end ved sædvanlig prøvetagning, hvor data repræsenterer et vilkårligt øjebliksbillede, jf. Figur 5.6.



Figur 5.6 Normale vandprøver viser et øjebliksbillede ved vandprøvetagningen, mens passive vandprøver viser et gennemsnit for hele prøvetagningsperioden.

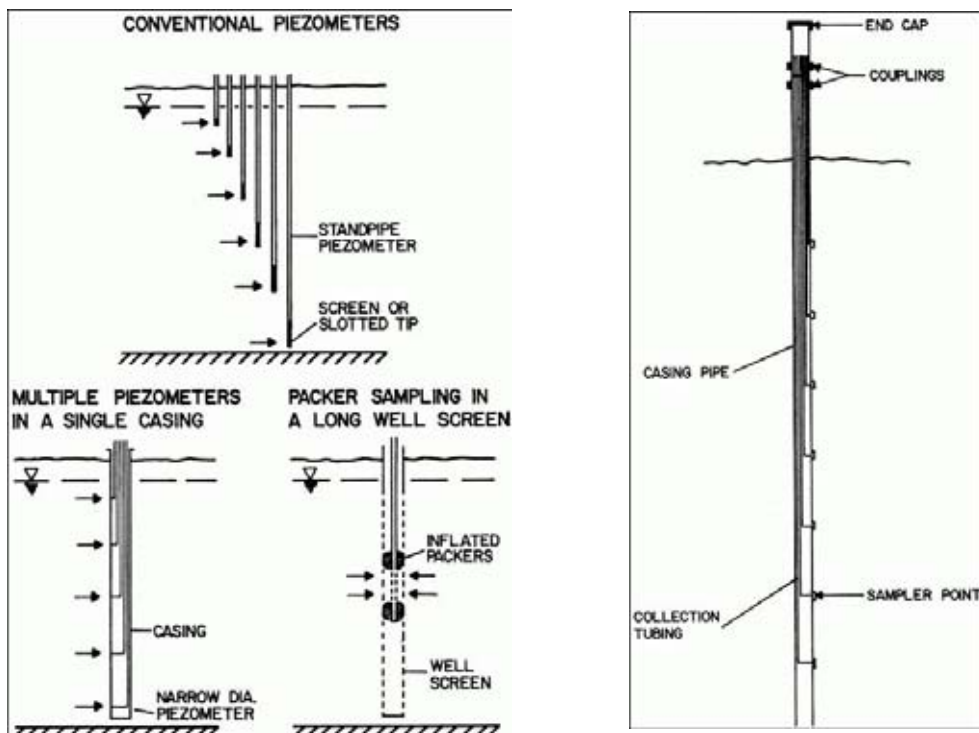
Variationer i forureningskoncentrationer resulterer i usikkerheder ved prøveudtagningen af almindelige vandprøver, som måler et øjebliksbillede ved prøvetagningen. Passive vandprøver måler den gennemsnitlige koncentration over f.eks. 1-2 måneder.

5.3 Alternative metoder til multilevel sampling

Der findes ikke gode alternative metoder til den i dette projekt udviklede MultiLevel Sampler. Andre metoder kan beskrive forureningsens vertikale fordeling, men de involverer som regel en speciel boringsudbygning eller en kompleks form for pumpning, som generelt ikke kan gennemføres i lavtydende boringer samt med pålidelige resultater.

Følgende alternative metoder kan nævnes:

- Separate filtersætninger i forskellig dybde i forskellige boringer (Figur 5.7 øverst)
- Mange filtre i samme boring (Figur 5.7 t.v.)
- Niveaubestemt prøvetagning vha. packere (Figur 5.7 midt)
- Multi-level filtre (Figur 5.7 til højre)
- Separationspumpning o. lign.



Figur 5.7 Forskellige metoder til bestemmelse af vertikal fordeling af forurening, jf. publikation fra University of Florida, <http://edis.ifas.ufl.edu/AE105>.

Den metode, der bedst kan sammenlignes med den udviklede MultiLevel Sampler, er multi-level filtret, som ses til højre ovenfor. Den kræver dog, at boringen på forhånd filtersættes med et specielt konstrueret filter, og derfor kan der ikke efterfølgende prøvetages i andre dybder. Endvidere kan et sådant filter ikke monteres dybere end ca. 8 m under terræn, da prøver i denne form for filter skal tages ved vacuum.

6 UDVIKLINGSARBEJDET

Udviklingsarbejdet af MultiLevel Samleren er sket i tæt samarbejde mellem Sorbisense, Grontmij | Carl Bro og Region Hovedstaden Koncern Miljø, med udnyttelse af de forskellige kompetencer, som projektgruppen til sammen besidder.

6.1 Udvikling af prototype

Fra begyndelsen er det hensigten at konstruere MultiLevel Samleren, så den i felten er mest mulig funktionel og håndterbar, samt kan betjenes af en person. Målet er at udvikle en MultiLevel Sampler som:

- Består af standardiserede moduler, der hurtigt kan samles og skilles samt monteres i filtersætning i felten.
- Består af fleksible moduler med flere muligheder for opbygning i forhold til de konkrete forhold i filtersætning og grundvand.

Udviklingsarbejdet er foregået på forskellige niveauer såvel i felten som i laboratoriet.

En første prototype og testeksemplar af MultiLevel Samleren er konstrueret med henblik på konkret at afprøve systemet i en filtersætning, herunder forhold vedrørende montering og demontering.

MultiLevel Samleren er blevet udviklet, forbedret og designet på baggrund af gentagne tilpasninger og videreudviklinger samt laboratorie- og feltprøvninger i filtersætninger, frem mod den endelige MultiLevel Sampler version 1.0.

Væsentlige ændringer har bl.a. omfattet:

- Slangemontage er ændret, således at slanger skubbes gennem præmonterede klemskruer i GWS'en som derefter strammes. Resultatet er en væsentlig mindre "bøvlfaktor" idet antal og håndtering af små stumper er elimineret.
- Packere er ændret, således at slangerne kan klemmes på plads gennem et snit i gummiflappen. Desuden er flapperne gjort til en integreret del af gevindstængerne, således at tidsrøvende tilpasninger i felten minimeres.
- SorbiCeller fastgøres på gevindstænger med en "snap-klemme".
- Gevind i gevindstænger er forbedret, så det er mere robust.

MultiLevel Samleren kan føres ned i en vandfyldt boring eller trækkes op, med håndkraft og med en hastighed af 5-10 meter/min. Hertil kommer lidt tid til at skruer forlænger-stænger på af hhv. ½, 1 eller 2 meters længde, ca. 30 sekunder pr. samling.

På baggrund af de gentagne forbedringer under udviklingsarbejdet er "bøvlfaktoren" reduceret væsentligt, idet antallet af (især små) stumper, der skal monteres i felten er reduceret til et minimum. Generelt kan systemet betjenes af en mand.

I denne innovative udviklingsfase er der ført en logbog over udviklingen med tanker, iagttagelser og beslutninger omkring opbygning og design af MultiLevel Sampleren, jf. bilag 1.

Nogle idéer er vurderet som oplagte i den første udgave, version 1.0 af MultiLevel Sampleren, mens andre idéer er vurderet ikke relevante eller først relevante i senere versioner af MultiLevel Sampleren, på den anden side af nærværende projekt.

6.2 Beskrivelse af prototype

På baggrund af den gennemførte ideudvikling og feltafprøvning er der i nærværende udviklingsprojekt designet en håndterbar og funktionel MultiLevel Sampler, som er benyttet videre i projektet til validering af systemet. Manual for komponenter og montage er vedlagt i bilag 2.

MultiLevel Sampleren består overordnet af følgende komponenter:

- **Gevindstang** af stål med henholdsvis gevindmuffe i den ene ende og gevind i den anden ende. Gevindstængerne leveres i længder fra 0,25 m til 2,0 m og kan skrues sammen til én lang gevindstang.
- **Reservoir** til opsamling af vand, som skrues sammen med gevindstangen.
- **Packer** til at forhindre vand i at bevæge sig vertikalt i en boring som funktion af trykforskelle. Består af gevindmuffe og gevind samt en fleksibel flap af gummi/silicone.
- **Fod** som MultiLevel Sampleren står på, i bunden af filtersætningen.
- **SorbiCelle** hvori vandprøven udtages ved passiv sampling. SorbiCellen monteres med en celleclips på gevindstangen og forbindes med 2/4 mm slange til reservoiret. Der kan monteres op til 3 SorbiCeller på en MultiLevel Sampler.
- **Celleclips** hvorpå SorbiCeller monteres på gevindstangen.
- **Propper** i bund og top af reservoir, som har gevindhuller til gevindstang og fod, samt indløbshuller for SorbiCeller / slanger fra SorbiCeller samt udluftningshul til slange, for luft der presses ud til atmosfæren efterhånden som reservoiret fyldes med vand.

MultiLevel Sampleren består af fleksible enheder, som frit kan kombineres, således at det er muligt at gennemføre multilevel sampling i filtre, som har en længde på ned til 1 m længde og op til 15 m længde. MultiLevel Sampleren kan anvendes i boringer filtersat med Ø63 mm filterrør, men kan forholdsvis let tilpasses større diameter filterrør ved at anvende fleksible gummiskiver med større diameter.

6.3 Tryk- og diffusionstest i laboratoriet

Tryktesten viser hvor effektivt packeren forhindrer vand i at bevæge sig vertikalt i en boring som funktion af trykforskelle.

Testen er udført ved at indsætte to packere i et 1 m blindrør. Røret fyldes med vand, hvorefter bundproppen skrues af. Hastigheden af vandet, der strømmer forbi packeren som funktion af trykhøjden bestemmes, hvorefter "effektiviteten" for packeren kan beregnes.

Resultatet viser, at packeren reducerer hastigheden ca. 10 gange, fra 1486 ml/sek. til 147 ml/sek. Standardafvigelsen på de 5 målinger er 13,7 %. Resultater er angivet i Tabel 6.1.

Med Flaps		Uden Flaps	Effekt	Reduktion
Fmiddel (ml/sek)		Fmiddel (ml/sek)	%	
alle 5 målinger				
147,4	middelværdi	1485,8	9,9%	90,1%
20,2	standardafvigelse			

Tabel 6.1 Tryktest

Diffusionstesten viser, hvor effektivt packeren forhindrer diffusion af stoffer vertikalt gennem/forbi packeren, i forhold til at der ikke monteres packere.

Testen er udført ved at isætte packeren i et 1 m blindrør indtil ca. 5 cm over bunden. Røret fyldes med demineraliseret vand og gennem en slange injiceres 10 ml 1 molær KCl under packeren. En ledningsevnesensor monteres 25 cm over packeren og måler ledningsevne EC_R over tid (6-8 timer). Desuden måles ledningsevne i 1 M KCl EC_I .

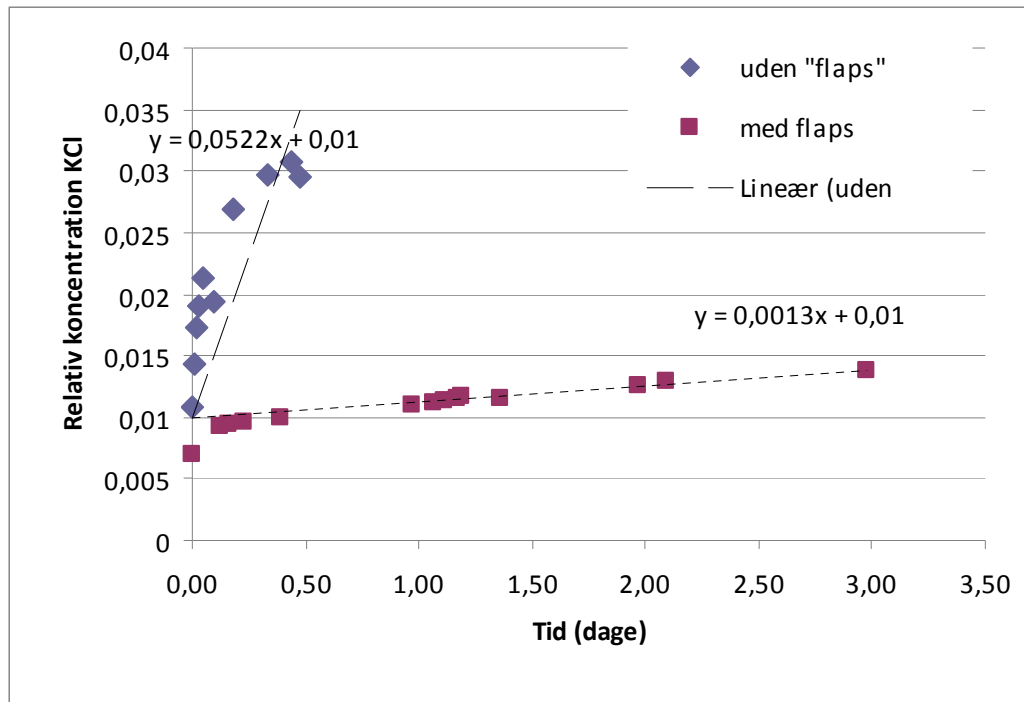
Testen gentages derefter uden flap, hvorefter packerens effektivitet mod diffusion bestemmes.

Diffusionshastigheden udtrykkes som stigning af EC_R/EC_I over tid. Diffusionstesten viser at en packer reducerer diffusionshastigheden med 97,5 %. Resultater er angivet i Tabel 6.2 og

Figur 6.3.

Hastighed uden flaps	0,0522
Hastighed med flaps	0,0013
Diffusionshastighed med flaps er 2,5% af hastighed uden flaps	2,5%
Reduktion i diffusionshastighed	97,5%

Tabel 6.2 Diffusionstest.



Figur 6.3 Diffusionstest.

7 RESULTATER

Den udviklede MultiLevel Sampler er fremstillet i 4 eksemplarer, med henblik på at gennemføre test og validering af systemet.

Hensigten er at afprøve og validere den udviklede MultiLevel Sampler på en allerede kendt lokalitet, hvor der eksisterer stor viden om grundvands- og forureningsforholdene.

Den benyttede testlokalitet findes i Skuldelev omkring gadekæret, hvor der findes flere kraftige forureninger med chlorerede opløsningsmidler fra en tidligere metalbearbejdende virksomhed, som har udført affedtning med chlorerede opløsningsmidler.

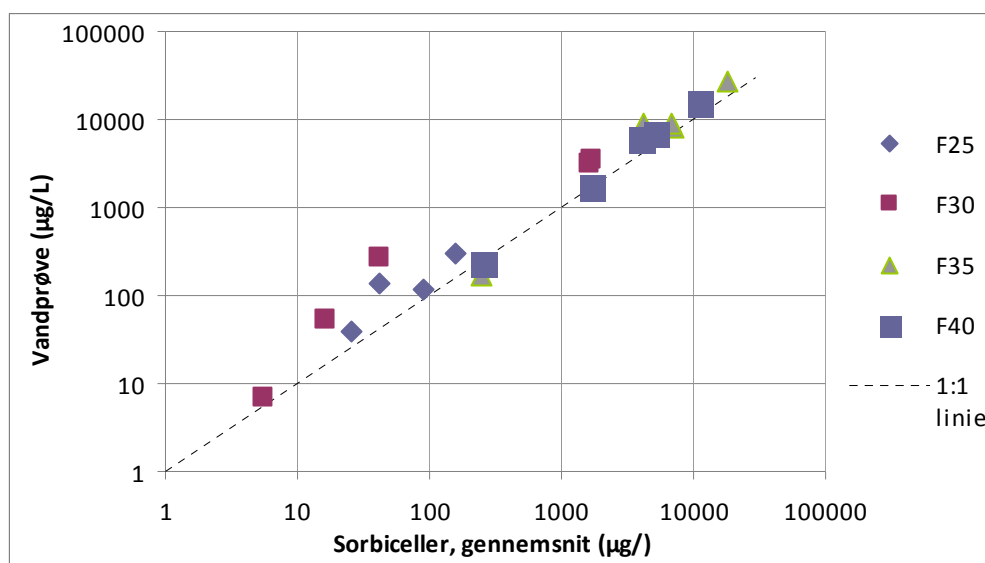
Region Hovedstaden har forestået flere udvidede forureningsundersøgelser på lokaliteten, samt forestået et større in-situ afværgeprojekt. DTU Miljø udfører et udviklingsprojekt på lokaliteten i Skuldelev i samarbejde med Region Hovedstaden.

7.1 Sammenligning med traditionelle vandprøver

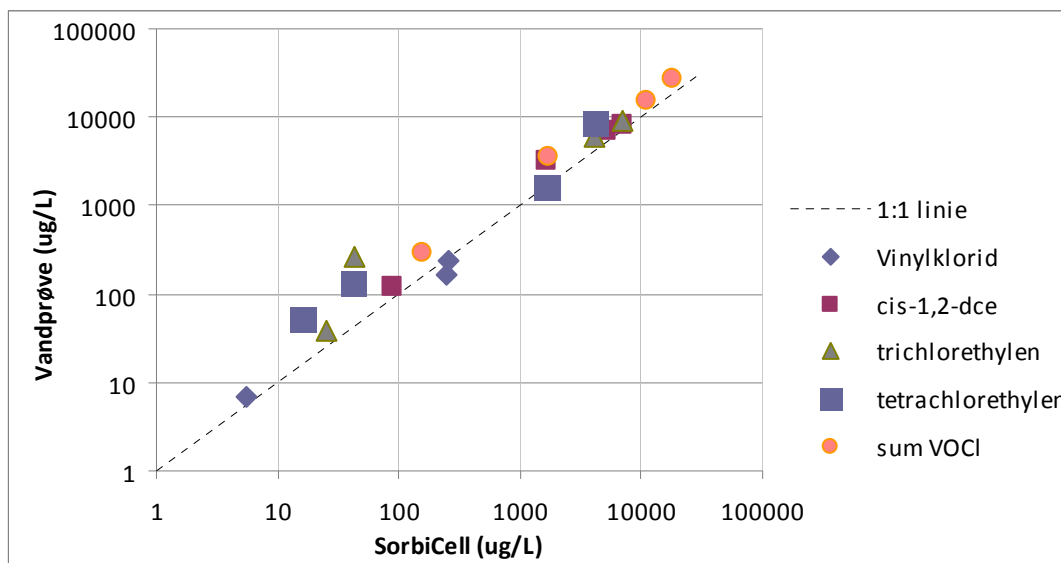
7.1.1 Boringerne F25, F30, F35 og F40

For hvert af filtrene foreligger der 4 SorbiCelle resultater; 2 fra bund af filter og 2 fra top af filter (reelt 25 cm fra bund henholdsvis top af filter). Første sæt prøver er fra perioden 17. okt. - 10. nov. 2009 og det andet sæt prøver er fra perioden 27. nov. - 8. dec. 2009. Fra hvert af filtrene foreligger der desuden en vandprøve udtaget på traditionel vis af DTU Miljø. Alle resultater for SorbiCellerne ses på tabelform i bilag 6.

I Figur 7.1 er gennemsnittet af alle 4 SorbiCelle resultater afbildet sammen med resultatet af DTU's vandprøver. Afbildningen er vist for hvert filter i Figur 7.1 og for hvert af de dominerende chlorerede stoffer i Figur 7.2. Logaritmisk skala er anvendt, da der er stor variation i koncentrationerne boringerne imellem. Baggrundsdata og lineær afbildning ses i bilag 6.



Figur 7.1 Korrelation mellem SorbiCeller og vandprøver for de enkelte filtre (vandprøvedata fra DTU Miljø).



Figur 7.2 Korrelation mellem SorbiCeller og vandprøver for de enkelte stoffer (vandprøvedata fra DTU Miljø).

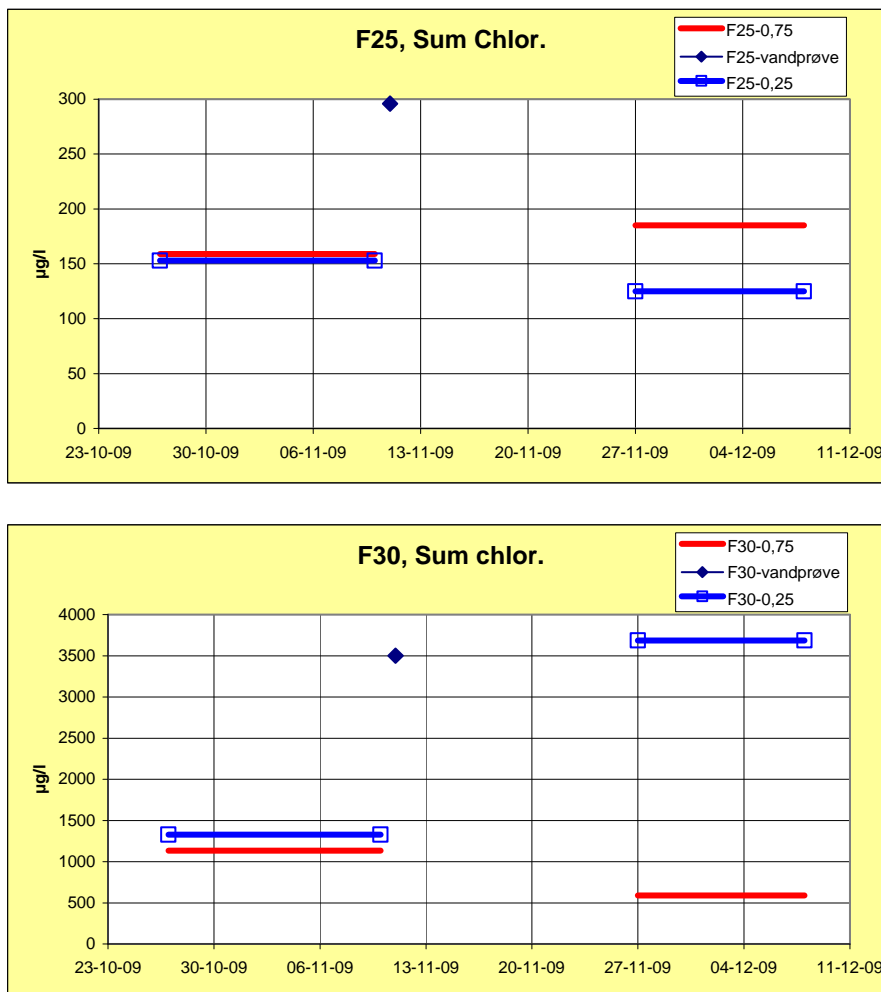
Der ses at være en generelt god overensstemmelse mellem de traditionelle vandprøver og SorbiCellerne. Der er en tendens til at der i de lave koncentrationer fås en højere koncentration ved pumpning end ved passiv prøvetagning, og den dårligste overensstemmelse ses ved boring F30. Som beskrevet i det følgende, kan store koncentrationsgradienter være en nærliggende forklaring på dette.

Resultaterne for summen af chlorerede opløsningsmidler er i Figur 7.3 og Figur 7.4 afbildet sammen med almindelige vandprøver udtaget fra filtrene. I bilag 3 er de tilsvarende figurer vist for enkeltstofferne PCE, TCE, DCE og VC.

Den nederste SorbiCelle i hvert filter er vist med blå farve og den øverste med rød farve, og længden markerer den periode, cellerne har siddet i boringen.

Som det ses, giver vandprøven i F25 og til dels i F30 et højere resultat end SorbiCellerne, mens der er god overensstemmelse i de øvrige boringer. Der synes at være en tendens til at vandprøverne stemmer bedst overens med den nederste SorbiCelle.

Effekten af den nøjagtige placering af Whale-pumpen ved den almindelige prøvetagning kendes ikke, men da der er en vertikal koncentrationsgradient ned gennem den filtersatte boring, hvilket demonstreres ved SorbiCellerne, vil det formentlig have en vis betydning for resultatet, om Whale pumpen ved prøveudtagningen var placeret en halv meter højere eller lavere i filteret.

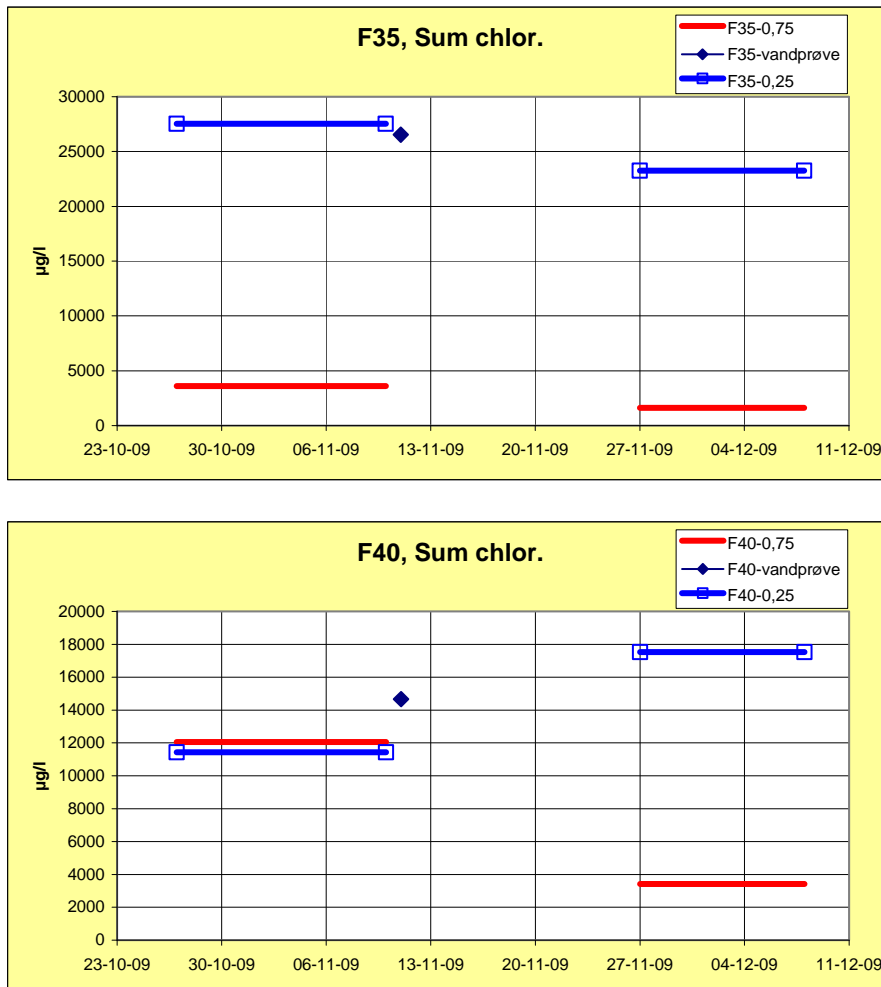


Figur 7.3 Sammenligning med vandprøver, boring F25 og F30 (vandprøvedata fra DTU Miljø).

7.1.2 Betydning af horisontal koncentrationsgradient

Det afvigende resultat i F25 kan skyldes, at der er en stor horisontal koncentrationsgradient lige omkring boringen, idet F25 ligger i kanten af forureningsfanen. På den senere illustration i Figur 7.5 viser kontureringen af forureningsfanen på baggrund af alle resultater, at der er 20-30 gange højere koncentrationer mindre end 3 m fra boring F25.

Ved aktiv prøvetagning, dvs. pumpning, kan man forestille sig, at mere forurenede vand trækkes til fra den del af forureningsfanen, hvilket vil give et højere resultat end der reelt er i selve boringen. Effekten må så overskygge den effekt, en tilstrømning af renere vand fra den anden side har på resultatet, og det vurderes som sandsynligt pga. forskellen i størrelsesordener.



Figur 7.4 Sammenligning med vandprøver, boring F35 og F40 (vandprøvedata fra DTU Miljø).

7.1.3 Betydning af vertikal koncentrationsgradient

Udover den varierende koncentration ned gennem filteret vil også variationen i den filteratte formations permeabilitet have betydning for resultatet af en aktiv vandprøve. Således vil en inhomogen tilstrømning kunne give et uventet resultat, selv om de virkelige værdier ned gennem filterstrækningen kendes.

Hvis eksempelvis de aktive vandprøver konsekvent stemmer bedst med de nederste SorbiCeller i stedet for at ligge midt mellem SorbiCelle-resultaterne (forudsat at der er forskel på øvre og nedre resultat), kan man forsigtigt konkludere, at det meste af vandet i vandprøven kom fra den nederste del af filteret.

Betydningen af en permeabilitetsforskel kan belyses bedre, hvis permeabiliteten ned gennem strækningen faktisk kendes. Til dette formål er der forsøgt udført flowlogs i de testede borer, F25, F30, F35 og F40 samt et par supplerende borer, se bilag 4.

Flowlogs er udført af GEUS med udstyr, der kan anvendes i Ø63 mm borer. Sådanne borer er dog ikke særligt egnede til flowlogs, da der kun kan skabes et meget langsomt flow ved hjælp af en Whale pumpe. Større pumper kan ikke være i boreren samtidig med logudstyret.

To af borerne lykkedes det ikke at flowlogge pga. for stor afsenkning ved pumpningen, men resultaterne af de udførte flowlogs for F30 og F40 blev brugbare.

Resultaterne giver dog ikke nogen indikation af stor variabilitet af sandets permeabilitet i vertikal retning. Der er derfor ikke grund til at tro, at dette er inhomogen permeabilitet er forklaringen på afvigelserne mellem passive SorbiCelle resultater og aktivt udtagne vandprøver.

Den vertikale fordeling af de chlorerede stoffer er belyst godt i DTU's MLS-boringer, se Figur 7.7. I de koter, hvor de testede filtre er placeret, varierer den totale koncentration af chlorerede stoffer i MLS-boringerne med op til en faktor 2, men ikke størrelsesordenen.

I de nævnte borer er prøverne udtaget ved aktiv pumpning og derfor kan store vertikale variationer i koncentrationen være "udvisket" ved opblanding, men denne effekt vurderes dog at være lille eller forsvindende pga. den begrænsede pumpevolumen og det meget lille "filterinterval" ved denne prøvemethode.

7.1.4 Tidsmæssig udvikling

Som det ses på Figur 7.3 og Figur 7.4 viser første prøve (27. okt. - 10. nov.) og anden prøve (27. nov. - 8. dec.) omtrent samme koncentrationsniveau i F25 og F35, både i øvre og nedre prøve. Der er kun begrænset tidsmæssig udvikling i koncentrationen i disse borer.

Det skal understreges, at man ikke vil forvente nogen væsentlig tidsmæssig udvikling i forureningsfanen inden for en måned. De påviste forskelle afspejler formentlig snarere effekten af den vandprøve, der er udtaget mellem de to SorbiCelle perioder.

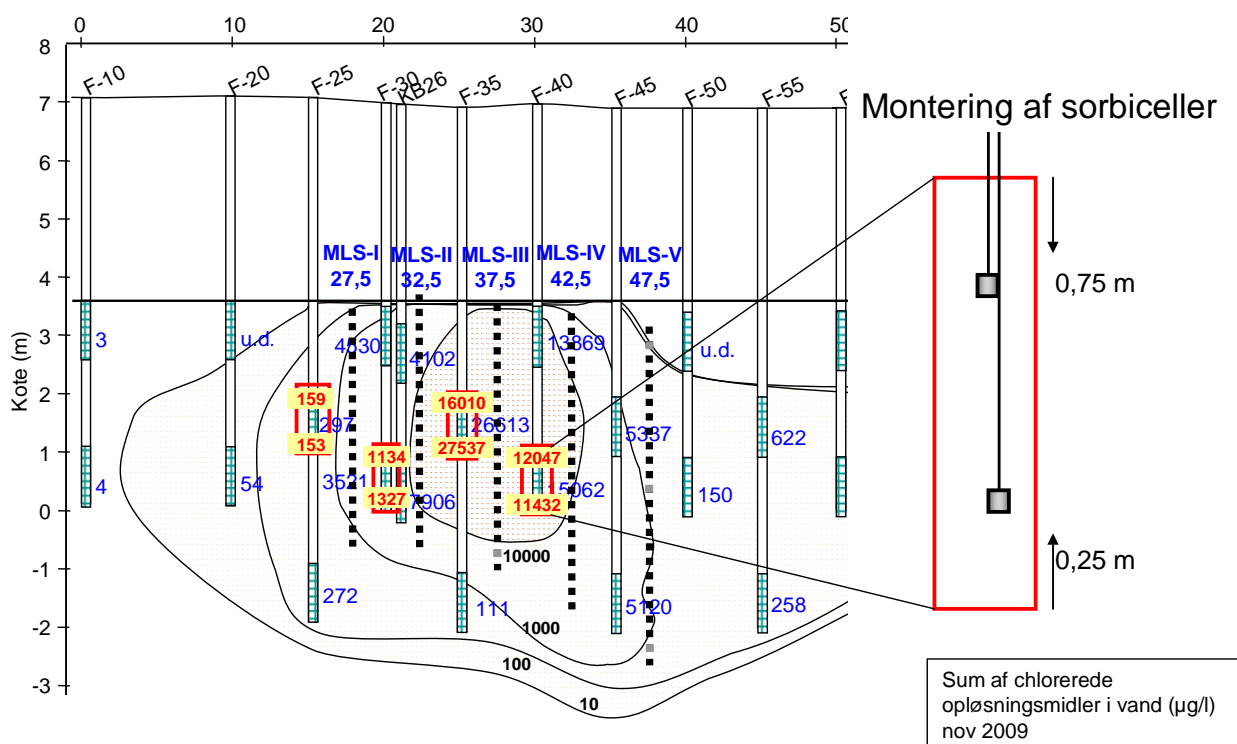
I F30 stiger den nederste SorbiCelle med en faktor 2 mens den øverste falder med en faktor 2, groft sagt. Ved første prøve var øverste og nederste prøve ret ens, mens den nederste er ca. 7 gange højere end den øverste ved anden prøve. Den nederste, anden prøve ligger på niveau med den aktivt udtagne vandprøve.

Stort set samme forhold gør sig gældende i F40, hvor den nederste er ca. 6 gange højere end den øverste ved anden prøve. Her er det gennemsnittet af de to nederste prøver, der ligger på niveau med den aktivt udtagne vandprøve.

7.2 Sammenligning med andre MLS prøver

Skuldelev lokaliteten er udvalgt, fordi der som nævnt ovenfor er etableret 5 stk. MLS borer i andet regi, benævnt MLS-I – MLS-V. I disse borer udtages der ved hjælp af aktiv pumpning niveaubestemte prøver i 16-17 forskellige niveauer. Der er tale om meget små "filtre", der sidder med 25 cm afstand ned til bund af boring, og da der pumpes meget små vandmængder, er metoden tilnærmelsesvis sammenlignelig med den passive multilevel sampler.

"F-transekt" af chlorerede stoffer 27.okt-10.nov-2009



Figur 7.5 Sammenligning med MLS resultater og vandprøvedata (data fra MLS og vandprøver i transektet stammer fra DTU Miljø).

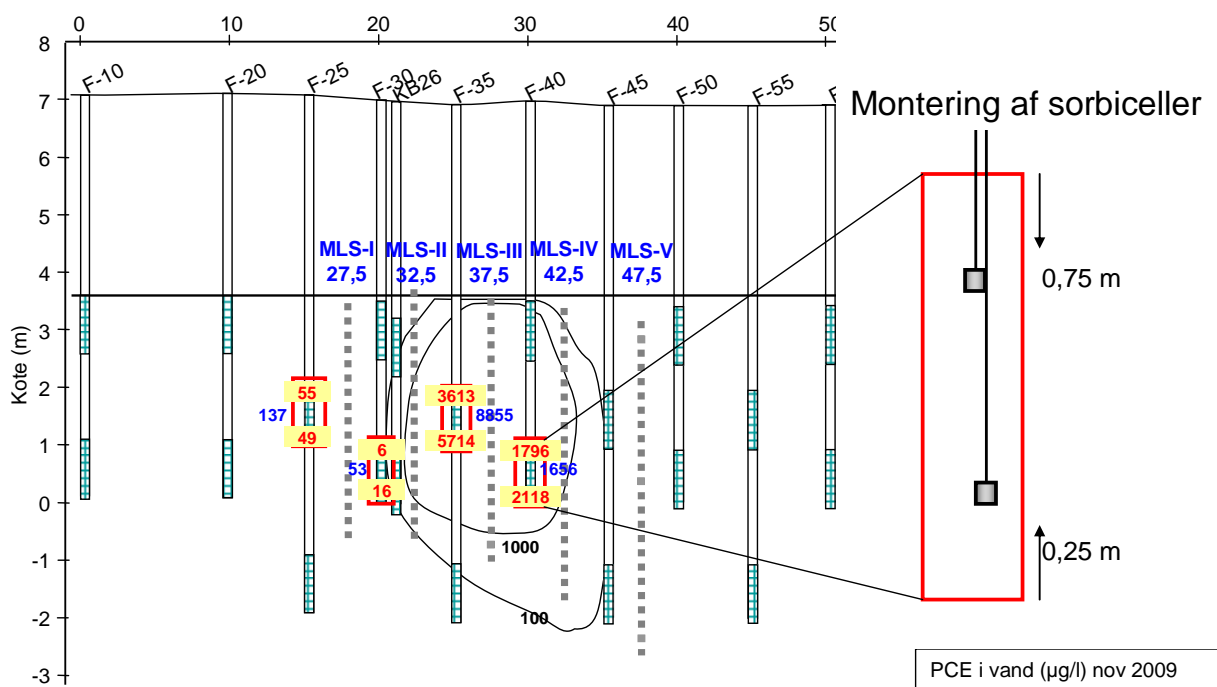
Boringerne er etableret af NIRAS/DTU Miljø som et led i et udviklingsprojekt for Region Hovedstaden. De er placeret på en linie på tværs af forureningsfanen med en indbyrdes afstand på ca. 5 m, og mellem disse MLS boringer står de boringer, hvor den passive MLS metode er afprøvet.

Ud fra en antagelse om, at der kan interpoleres horisontalt mellem MLS boringerne, kan man forsøge at sammenligne disse resultater med SorbiCell resultaterne. På grund af effekten af inhomogeniteter over selv små afstande holder denne antagelse ikke helt, men vurderes at gælde inden for størrelsesordener af koncentrationer.

På Figur 7.5 ses en grafisk afbildning på tværs af forureningsfanen, hvor SorbiCell resultaterne er vist sammen med resultater af almindelige vandprøver fra filtrene (vist med blå ved filterintervallerne). Konturerne er baseret på samtlige resultater, også MLS boringernes resultater, se også Figur 7.7.

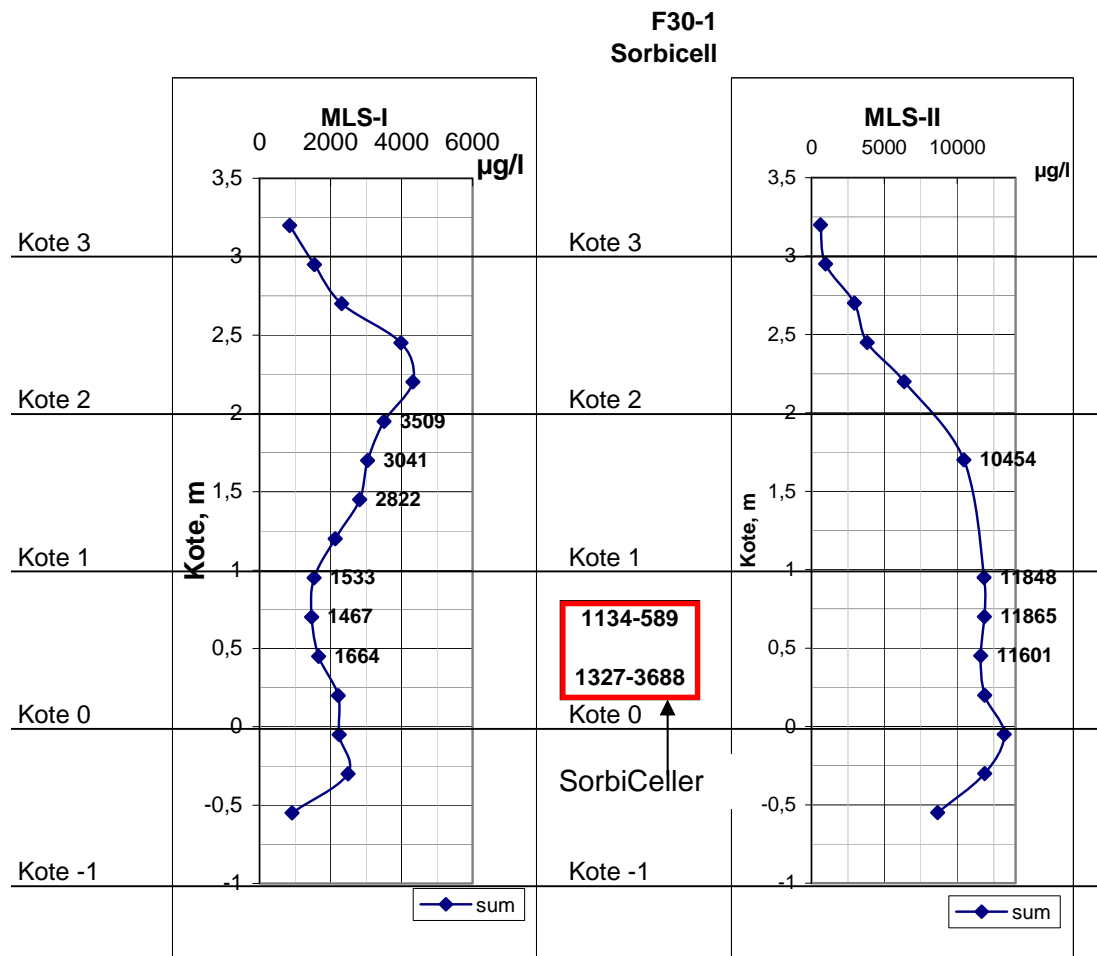
Figur 7.3 viser summen af chlorerede stoffer. For enkeltstofferne PCE, TCE, DCE og VC er der lavet tilsvarende figurer, både for periode 1 (27. okt. - 10. nov.) og periode 2 (27. nov. - 8. dec.), dog kun med vandprøveresultater fra de borer, hvor SorbiCellerne var placeret, se bilag 5. Eksempel for PCE i periode 1 er vist i Figur 7.6

"F-transekt" af PCE 27.okt-10.nov-2009



Figur 7.6 Tværsnit gennem PCE forureningsfane (data fra MLS og MLS i transektet stammer fra DTU Miljø).

På Figur 7.6 ses en konturering af PCE fanen i Skuldelev, baseret på de udtagne vandprøver, SorbiCellerne samt MLS borerne. SorbiCelle resultaterne er vist med rødt i top og bund af de testede filtersektioner, mens vandprøveresultaterne ses med blå. I bilag 5 ses tilsvarende figurer for periode 2 (samme konturering er anvendt) samt for de øvrige enkeltkomponenter.



Figur 7.7 Resultater af 2 x 2 SorbiCeller i filter F30-1 (ml. kote ca. 0 og +1) sammenlignet med to MLS-boringer. Alle resultater er fra nov. 2009 og i µg/l. (MLS data stammer fra DTU Miljø).

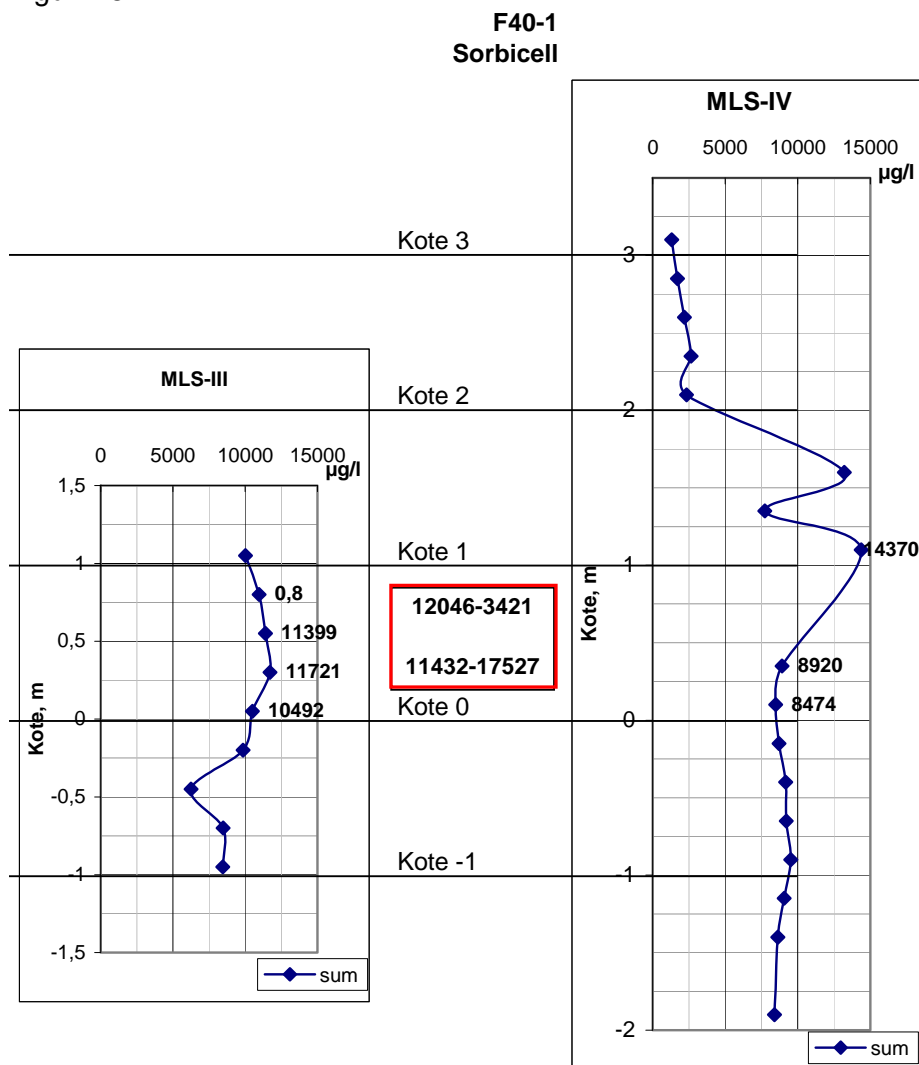
Som det ses, viser MLS boringerne, at forureningsfanen i MLS-I er kraftigst i kote +2-2,5 m mens den i MLS-II er kraftigst omkring kote 0-1 m, svarende til filterniveauet i boring F30, hvor SorbiCellerne sad.

MLS boringernes resultater på den ene og den anden side af F30 varierer fra ca. 1.500 µg/l til 12.000 µg/l. Den øverste SorbiCelle ligger under dette interval og den nederste ligger i den lave ende. Begge de første SorbiCelle resultater er lavere end de nævnte intervaller i MLS boringerne. Størrelsesordenen er dog den samme som i MLS resultaterne.

Det første sæt SorbiCeller vurderes at vise de mest "uforstyrrede" resultater og vurderes derfor at være mere retvisende end det andet sæt resultater, som er påvirket af forudgående pumpning i forbindelse med vandprøvetagning.

Det skal dog nævnes, at selve monteringen af Multilevel SorbiCellen medfører en påvirkning af vandsøjlen i boringen, idet den ringe plads omkring cellen og dens skiveformede pakkere giver en vis stempelvirkning, når udstyret sænkes ned i boringen. Af denne grund er heller ikke den første prøve fuldstændigt uforstyrret.

En tilsvarende sammenligning kan gøres for boring F40, hvor SorbiCeller blev placeret i det nederste filter, se placering på Figur 7.5. Den sammenlignende figur ses på Figur 7.8.



Figur 7.8 Resultater af 2 x 2 SorbiCeller i filter F40-1 (ml. kote ca. 0 og +1) sammenlignet med to MLS-boringer. Alle resultater er fra nov. 2009 og i µg/l. (MLS data stammer fra DTU Miljø).

MLS boringernes resultater på den ene og den anden side af F40 varierer fra ca. 11.000 µg/l til 9.000/14.000 µg/l. Begge SorbiCeller ligger på dette niveau i den første prøve, mens prøve nr. 2 viser et markant lavere resultat i den øverste prøve.

7.3 Konklusion på feltresultater

Der ses at være en generelt god overensstemmelse mellem de traditionelle vandprøver og SorbiCellerne. Der er en tendens til, at der i de lave koncentrationer fås en højere koncentration ved pumpning end ved passiv prøvetagning, og den dårligste overensstemmelse ses ved boring F30.

Grunden til at forureningen i den øverste prøve i flere tilfælde aftager efter udtagning af traditionel vandprøve, kan være, at der under pumpningen kommer mere vand fra filtergruset oven over den filtersatte strækning end der kommer ude fra formationen. De store koncentrationsgradienter på lokaliteten vurderes ligeledes at have stor indflydelse på, hvor god overensstemmelse der er mellem den passive og den aktive prøvetagningsmetode.

Vandet kommer naturligvis fra formationen i sidste ende, men måske i et vist omfang fra en filterstrækning, der når op i en svagere forurenede del af fanen. Bentonitafpropning skal forhindre dette, men den kan måske være etableret et stykke over filteret eller være ineffektiv.

Dette kunne også forklare, hvorfor der ikke ses et tilsvarende fald fra den ene til den anden af de nederste SorbiCeller, da det testede filter sidder i bund af boringen, og dermed i bunden af filtergruset, hvor vertikal opblanding vil være mindre udtalt.

Det nævnte forhold er ikke konsekvent, og er derfor blot en enkelt mulighed blandt flere tænkelige forklaringer. Der er dog næppe nogen tvivl om, at den aktive vandprøve i en kort periode skaber et ændret forureningsbillede over selve filterstrækningen, og at dette er mest udtalt i borer hvor der er store koncentrationsgradienter vertikalt eller horisontalt.

8 PERSPEKTIVERING AF MULTILEVEL SAMPLER

På forurenede lokaliteter, hvor der er en udbredt forureningsfane, vil det være relevant at overveje anvendelse af MultiLevel Sampleren i undersøgelsesfasen, og eventuelt i monitoringsfasen, hvis en sådan iværksættes.

MultiLevel Sampleren muliggør en differentieret beskrivelse af forureningens vertikale udbredelse. Det vurderes, at nytten af MultiLevel Sampleren er størst ved filterlængder på mindst 2 m, men det er demonstreret i Skuldelev projektet, at der kan være store koncentrationsgradienter og dermed stor forskel på koncentrationer i top og bund af selv et 1 m langt filter.

MultiLevel Sampleren bør overvejes allerede i planlægningen af en forureningsundersøgelse, eller senest forud for videregående undersøgelser, idet filterlængderne herved kan vælges således at der opnås mest mulig information om forureningsfanen. Til dette formål er filterlængder på 1 m ikke egnede, men ved anvendelse af 2 m eller 3 m lange filtre vil kombinationen af filterlængde og MultiLevel Sampleren give den bedste information om forureningens vertikale fordeling.

I perspektivering af MultiLevel Samplers anvendelse skal det også nævnes, at den vil kunne anvendes i andre sammenhænge end miljøtekniske borer. Eksempelvis i vandværkers indvindingsboringer og pejleboringer kan der være behov for at lokalisere horisonter med høje koncentrationer af naturlige eller miljøfremmede stoffer. Sådanne borer er typisk opbygget med lange filtre, hvor MultiLevel Sampler metoden vil kunne være nyttig, dog fortrinsvis i borer, hvor der ikke pumpes i måleperioden.

BILAG 1
LOGBOG OVER UDVIKLINGSARBEJDET

MultiLevel Sampler

Logbog over udviklingsarbejdet

Kommentar	Problem	Løsningsforslag	Overvejelser	Beslutning	GMCB bemærkning (sep. 2009)
Samling af gevindstænger: Gevind og mudder giver ofte problemer og tager tid.	Urenheder i gevind umuliggør samling eller forsinker installation.	System som hollænderbor.	Samlinger bør være glatte, så packeren kan forskydes forbi samlinger.	Til overvejelse til 2. generation. Spørg Rotek om alternativer.	Gevindmuffer bliver loddet på stænger i den ene ende, som hanstik, således at nabostang som hunstik kan skrues på. Sorbisense undersøger alternativ mulighed hos Rotek, hvor stænger samles ved hjælp af en snap kobling.
Samlinger af gevindstænger skal være "idiotsikker".	Samlingerne er løse og gevind har kun begrænset fat.	Gevindmuffe.	Gevind og mudder giver bøvl.	Vi fortsætter med gevindstænger + gevindmuffer. Der laves 4 stk ½ m, 4 stk 1 meter og 4 stk 2 meter stænger pr. prototype.	Selv om gevindmufferne nu er større og med mere gevind end den oprindelige løsning, kan de stadig give problemer med sand og mudder m.m. Sorbisense bekræfter, at der ikke er risiko for at to stænger ryger fra hinanden, fordi der ikke er "gevind nok" med risiko for at tabe multi-level sampleren ned i boringen.
Flaps sidder ikke ordentligt fast.	Flaps må ikke kunne forskydes når samleren pressen ned og trækkes op.	Flap laves i stål, så pylonskruen kan skrues bedre fast. Separat "skrue-ring" til erstatning af pylonskrue.	Håndtering af lille umbraco skrue i felten. For / imod flere dele? Gevind og mudder?	On hold! Pylonskruer bibeholdes. Størrelsen øges fra nuværende 4x12 mm til f.eks. 6x12 mm – bedre "greb" i plast samt lettere betjening.	Flap er nu en integreret del af rustfri stål muffe, dvs. der ikke er pylonskrue, som skal skrues i plastic. Flap består af 10 cm stål muffe, hvorpå der skrues stænger i begge ender. På stål muffen er der monteret en gummiflap.
Gevindstang som "Ståben" i bund.	Ståbenet må ikke forstyrre strømning og må ikke kunne tabes.	Gevind i bundprop.		Der skæres gevind i bundprop og isættes ½ meter gevindstang.	I GWS'en er der gevind i bundproppen, hvorpå der monteres en stålfod. Sorbisense bekræfter, at foden ikke påvirker grundvandets strømning anderledes end normalt ved GWS'en.
Lille tolerance mellem packer og filterrør.	Packer kiler sig fast hvis der falder grus/sand ned i boringen. Det er vanskeligt for vandet at passere packeren når den sænkes ned og hives op.	Lave packeren mindre og gummiflappen større.	Der skal være plads til slangegennemføringer, gevindstænger etc.	On hold! Packeren laves mindst mulig.	På packeren er der nu mere gummiflap i forhold til packerens centrum af metal og gummi er mere fleksibel.

Gummiflapper slutter ikke helt tæt.		Større diameter. Stivere gummi.	Må ikke gøre det for svært at sænke sample- ren ned og hive den op. Gummi bør ikke være for stiv af samme årsag.	Gummiflap laves 1-2 mm større end filterrør.	På packeren er der nu mere gummiflap i forhold til packerens centrum af metal og gummi er mere fleksibelt. Sorbisense bekræfter, at gummiflapper udstanses, så de er præcis runde. Dette kan have stor betydning for reproducerbarheden af målingerne.
Er plastproppen i top af reservoir solid nok til gevindstænger.	Stålstænger i plastgevind + sand og grus. Holder det?		Kommer an på en prøve Stålprop er udelukket.	Ændres hvis der opstår reelt problem.	Sorbisense bekræfter at det er den, men for en sikkerheds skyld bundmonteres en sikkerhedssnor i bunden af GWS'en, som den også kan hives op med.
Behøver packeren at være fer/not?	Overdesignet del?	Packeren udføres som to simple skiver. Gummi-flappen kan dermed udføres som én del.	Pris?	On hold! Nej! Ligegyldig – nyt design (integreret del af gevindmuffe).	Dette er løst med nyt design.
Cellerne skal fastgøres sikkert til gevindstængerne.	Cellerne skal sidde nøjagtigt hvor de skal og må ikke kunne falde af.	Cellerne fæstnes til gevindstangen vha. en rørbærer eller lignende.	Blokken skal kunne åbnes, så de kan monteres uden at skulle skille gevindstængerne af.	Rotek laver PE clips. Se skitse.	Der bruges nu clips.
Systemet skal sikres mod der tabes noget ned i boringen!	Det er nærmest umuligt at fiske noget op af en boring igen.	Dims til at låse gevindstængerne under montering, så systemet ikke tabes ned i boringen.	Måske noget der ligner en slangeklemme?	Der skal laves en krave der passer til ø63 rør, med en mekaniske, der sikrer mod ML systemet tabes (f.eks. som fugepistol?).	Dette vurderes ikke som problem, så afventer med mindre det bliver et krav.
Bøvlet at montere slanger og SorbiCeller.	Ferule + fingerskrue er bøvlet og tager tid.	Snapkobling.	Samlinger SKAL være tætte – hver gang!	Præfabrikerede fittings. Snapkoblinger overvejes til 2. generation.	a) Slangemontage på GWS'en sker nu let c) SorbiCeller fastgøres med snap-klemme på stænger.
SorbiCeller på én slange.	Bøvl og tidsforbrug forbundet med flere slanger.	Alle cellerne kobles på samme slange v.h.a. "Y" Alternativ. Gummislange + kanyle?	Risiko for "backsplash" til underliggende celle?	On hold. Overvejes til 2. generation.	Ikke umiddelbart relevant.
Re-design af packer..	Skal kunne "klikkes" på i stedet for at skulle trækkes ned over gevindstang.	U-udskæring i packer + slidset gummipakning.	Udføre packeren helt i stål. Hvordan fastgøres packeren til gevindstængerne?	On hold! Model "Tophat" I stedet testes alterantiv design (integreret del af gevindmuffe).	Er udført i henhold til ovenstående.
Re-design af packer	Bøvlet og tidskrævende at trække slanger gennem packeren.	Udskære 4 mm hulleri packeren til luftslangerne overfor U-udskæringen.	Gummiflap skal slidses således de slutter rimeligt tæt omkring slangerne.	On hold! Se nedenfor.	Er udført i henhold til ovenstående.

Re-design af packer.	Kompliceret design.	Udføre packer helt i gummi med huller til slanger etc. Og muffe til fastgørelse.	Mere simpelt design. Tidsbesparelse.	Udføres som integreret del af gevindmuffe til samling af stænger. Se skitse.	Er udført i henhold til ovenstående.
Erstat gevindstænger med wire.	Gevindstængerne fylder og bøvlede at betjene.	Integreret packer, der kan hænge i wire eller snor ("pearls on a string").	Gevindstængerne er valgt for at kunne presse packerne ned. Alternativ skal der bruges noget mere vægt.	On hold!	Gået bort fra.
Sikre tilstrækkeligt vandvolumen gennem alle celler på samme tid.	Detektionsgrænser og målesikkerhed på resultaterne.		Skal reservoiret være større?	Det testes i forbindelse med test af 3 prototyper.	Tre SorbiCeller skal nu "deles" om det samme volumen i én GWS i forhold til normalt med én SorbiCelle pr. én GWS. Detektionsgrænsen på én SorbiCelle er 0,2 µg. Hvis flow på 200 ml (0,2 µg pr. 200 ml) giver det en detektionsgrænse på 1 µg. pr. liter.
Anden boring.	Der manglede filtersætninger i boringen.	Leder videre ☺			Finder tre "gode" boringer i Skuldelev, hvori der er et langt filter samt hvor forurening og hydrogeologi er nøje beskrevet.

MANUAL, KOMPONENTER OG MONTAGE

BILAG 2

MultiLevel sampling $\varnothing 63\text{mm}$ filtersætning

(Fyld venligst data ind på tomme linier)

Måleperiode: _____

Antal gentagelser/gentag indtil dag: _____

GVS:

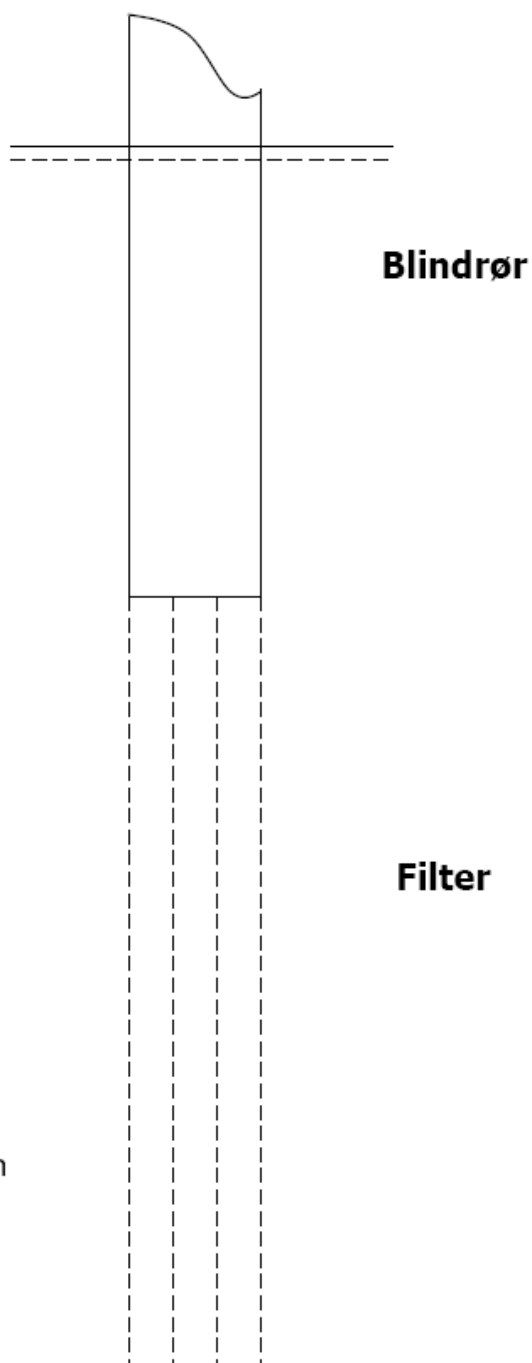
_____ meter fra toppen af blindrør

Top af filter:

_____ meter fra toppen af blindrør

Bund af filter:

_____ meter under toppen af blindrør



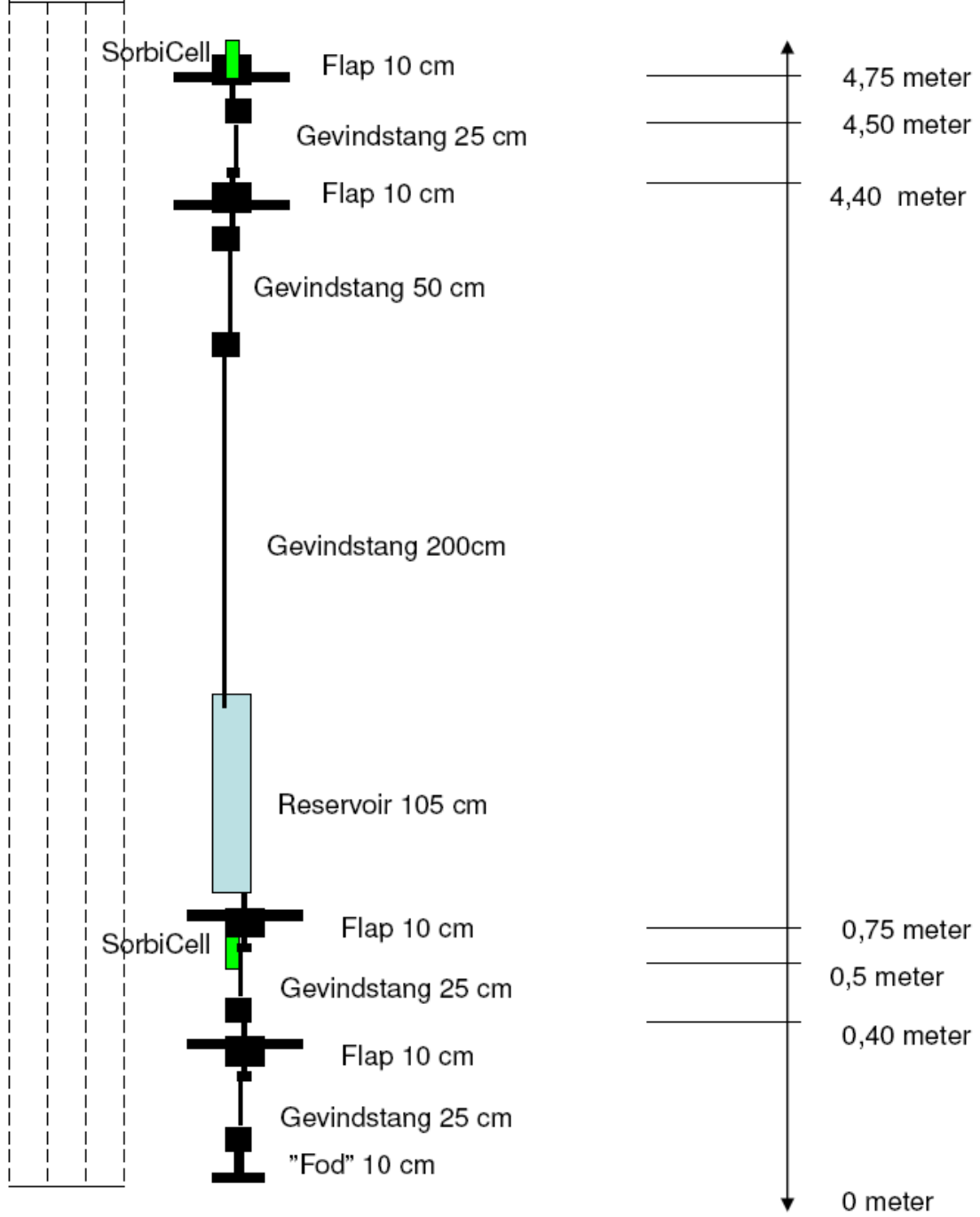
Eksempel på montage for måling 0,5 og 4,5 meter fra bund i et 5 meter filter

Pejlinger: (Evt. kote for top af blindrør DVR90: _____)

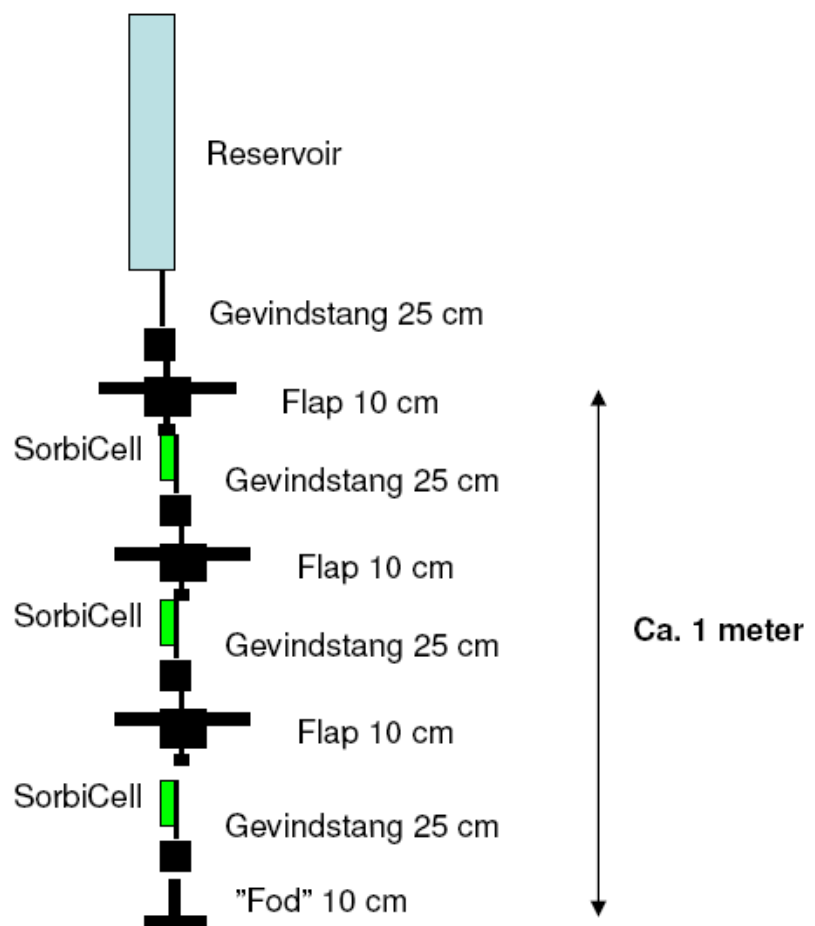
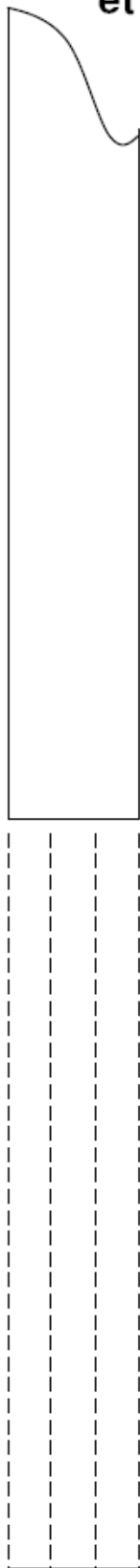
- Top af blindrør til GrundVansSpejl: _____ m Dato: _____
- Top af blindrør til bund af filter: _____ m Sign: _____

Skitse til hjælp ved samling:

Mål kontrolleret til:



Eksempel på montage for måling for hver 25 cm i et 1 meter filter (kræver reservoir "vendes på hovedet")



"Fod"

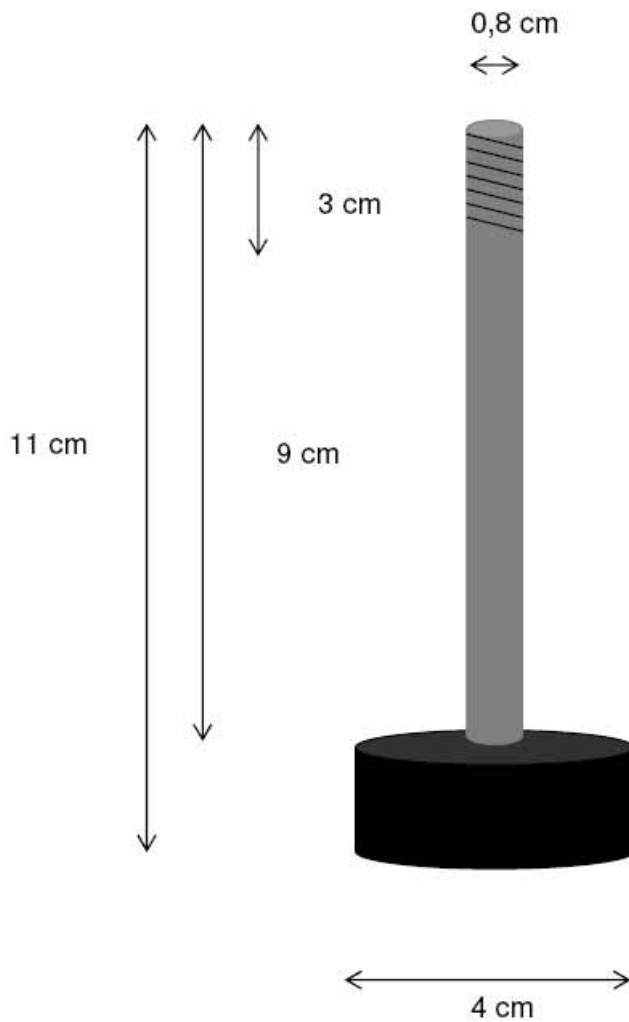
Materialer: Rustfri Syrefast Stål.

Længde: ca. 11 cm

Diameter 4 / 0,8 cm

Vægt: ca. 225 g

Gevind: M8



"Flap"

Materialer: Rustfri Syrefast Stål og gummi/silicone.

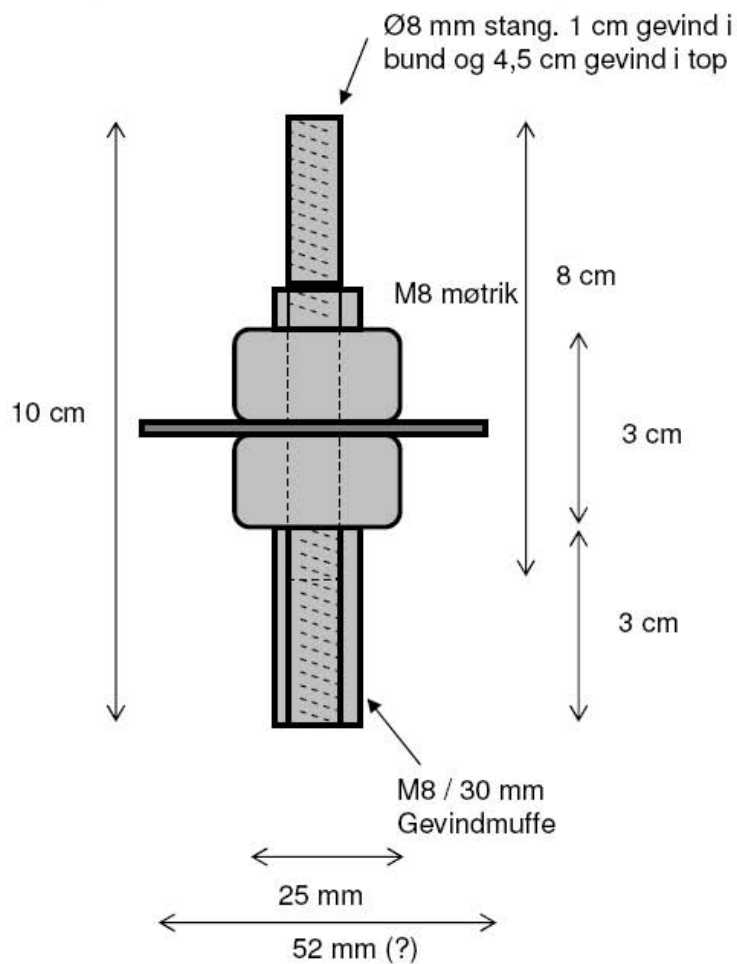
Længde: ca. 10 cm

Diameter: 52mm / 18 mm flap, 2,5 mm tyk, med 3 stk ø 4 mm huller

Ø25 mm stålmuffe med udfræsning til flap ø 18 mm.

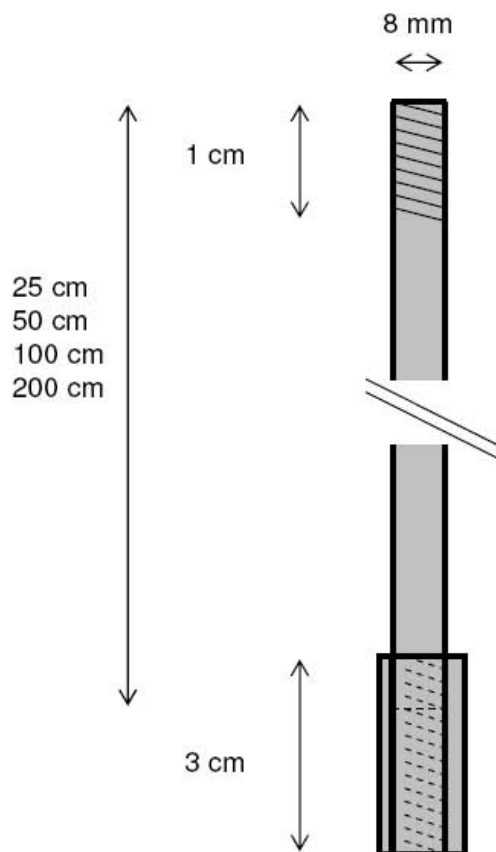
Vægt: ca. 180 g

Gevind: M8



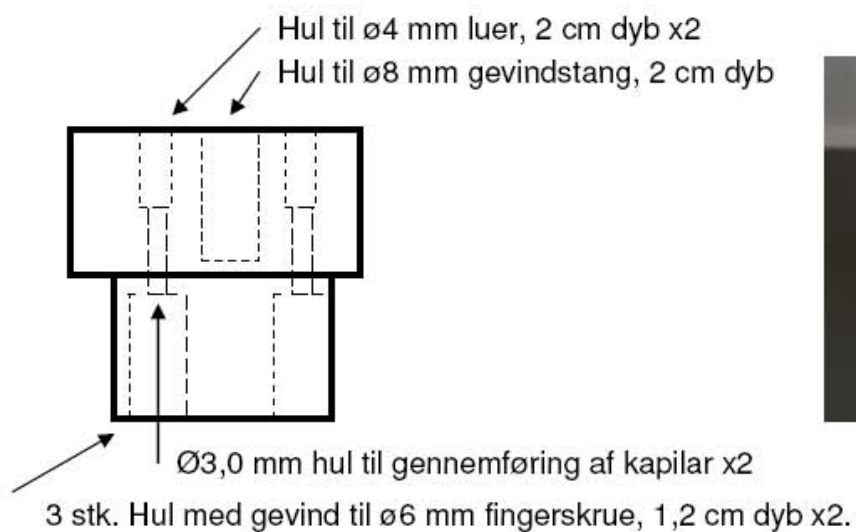
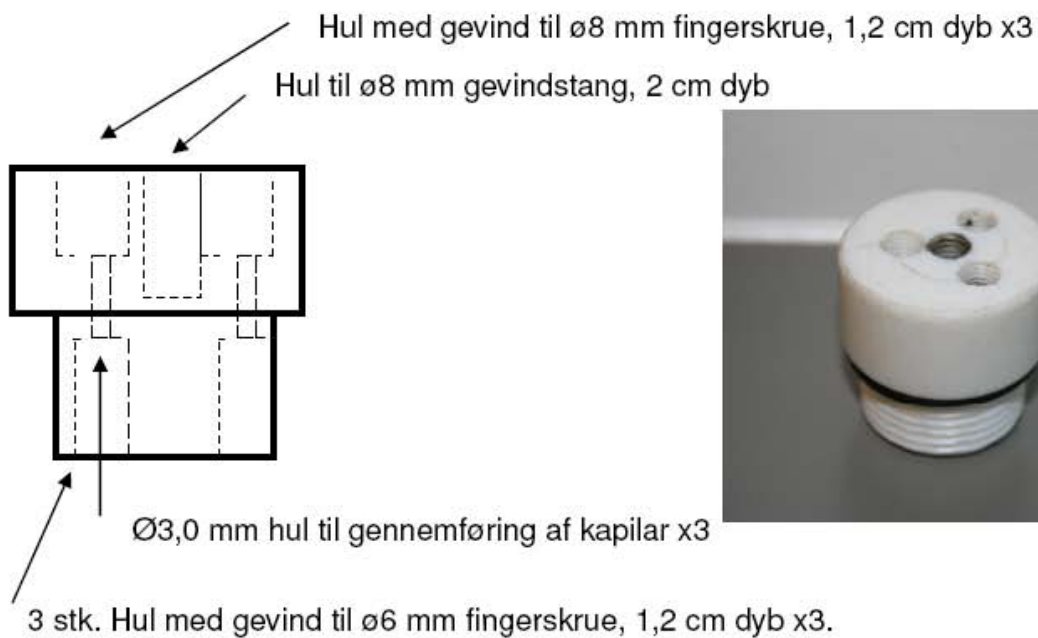
Gevinstænger

Materialer: Rustfri Syrefast Stål.
Længde: 25 / 50 / 100 / 200 cm
(4 stk af hver)
Diameter: 8 mm
Vægt: ca. 400 g/meter
Gevind: M8, 30 mm gevindmuffe



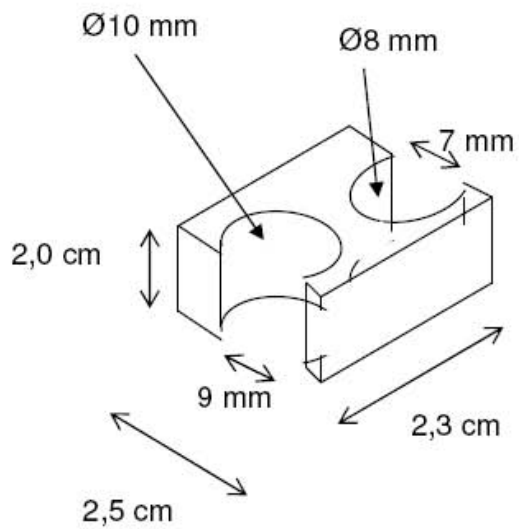
Propper

Materialer: PE (?) Teflon (?)
Længde: 4 cm
Diameter: 40 mm
Gevind: M8 / $\varnothing 8$ & $\varnothing 6$ fingerskruer



CelleClips

Materialer: PE / Teflon (?).
Dimensioner: 2,3 / 2,5 / 2,0 lxbxh
Udfræsninger: 8 / 10 mm



PE slange 2/4 mm.
100 m/rulle



Fingerskrue 8mm.
m/ ferrule til 2/4 mm PE
slange



Værktøj til 8 mm
fingerskrue



Slangestuts "han – han"
4 mm luer" til 2/4 mm
PE slange



Slangestuts "han – hun"
til 4 mm luer" til 2/4 mm
PE slange



Fingerskrue 6 mm m/
ferrule til kapilar



Værktøj til 6 mm
fingerskrue

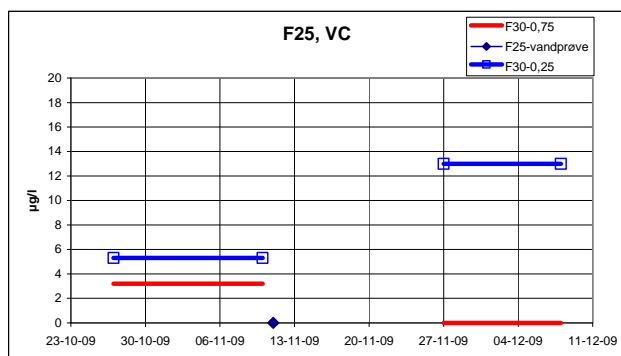
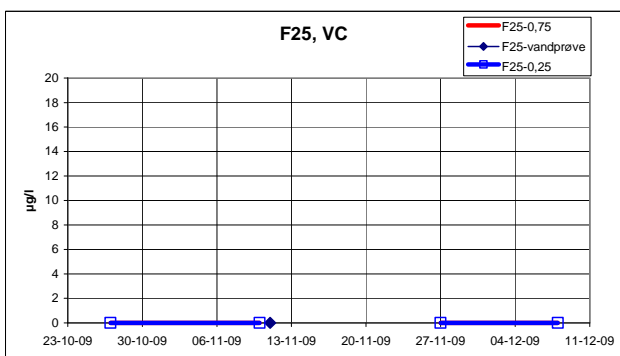
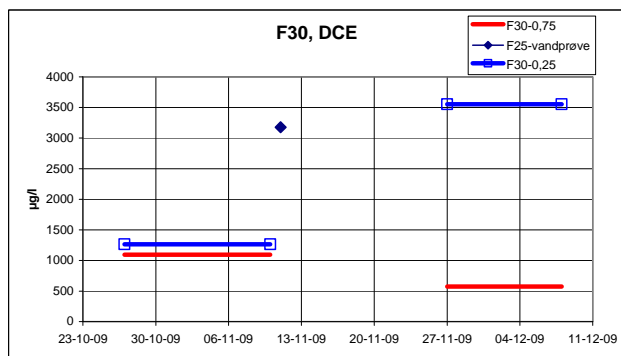
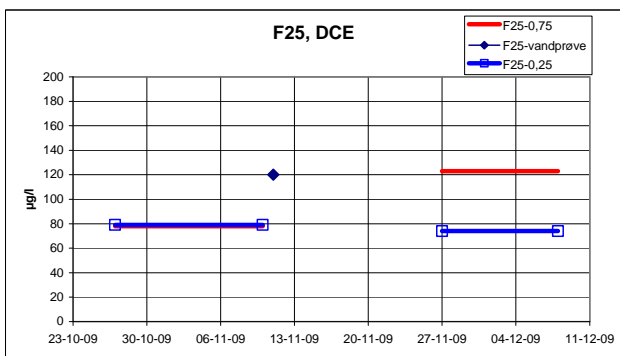
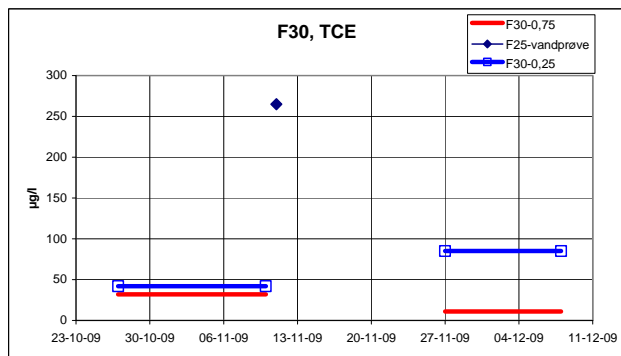
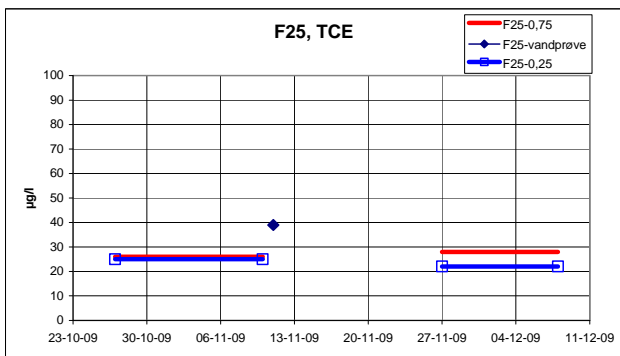
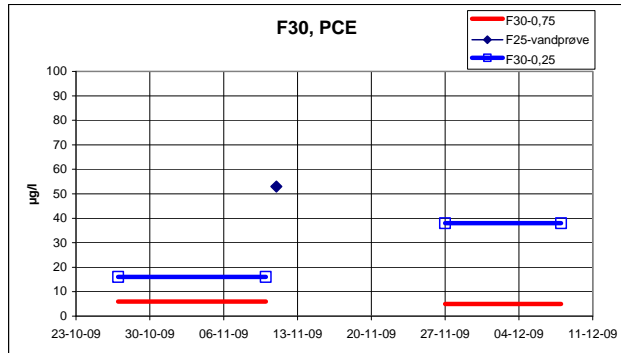
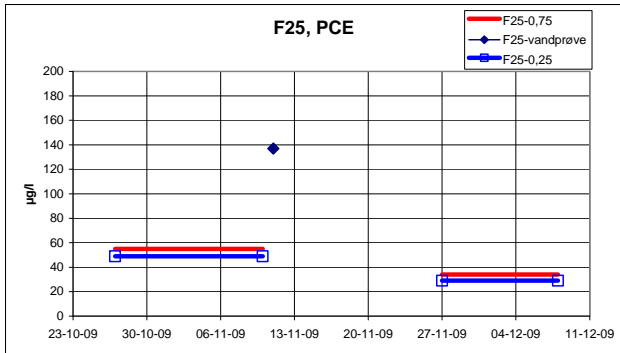


Luerprop til 4 mm
luerhul



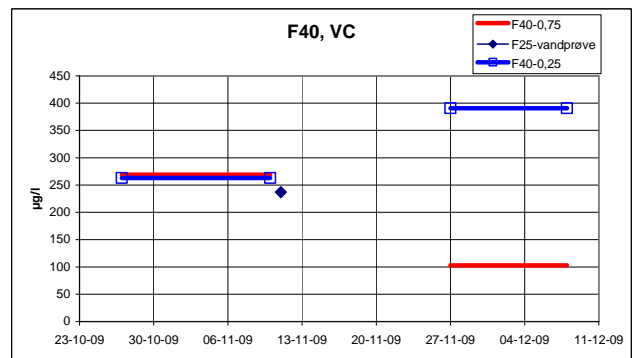
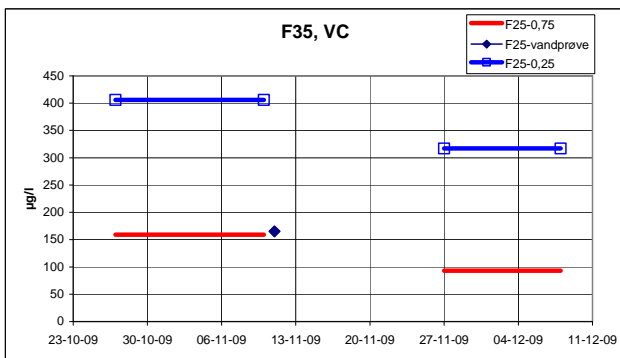
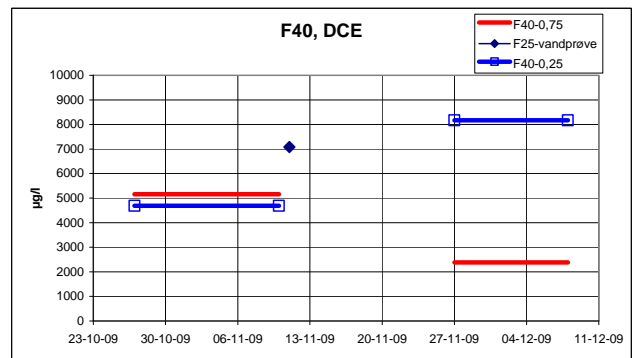
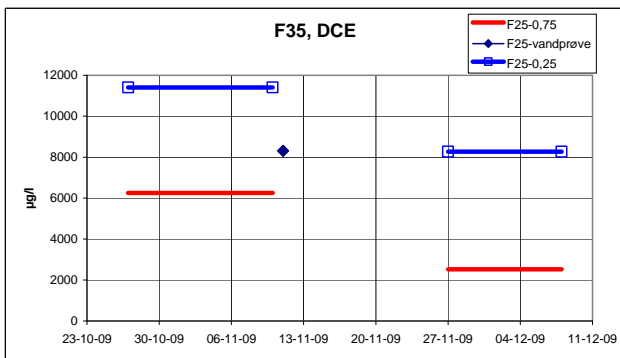
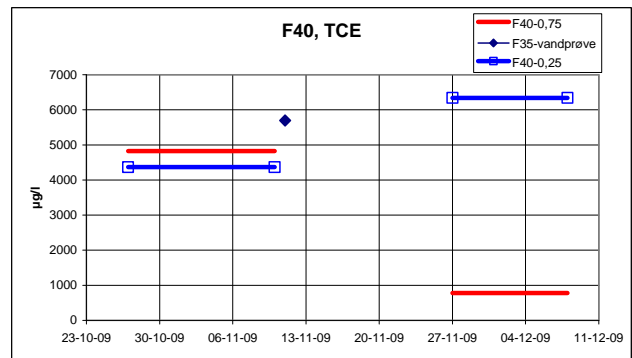
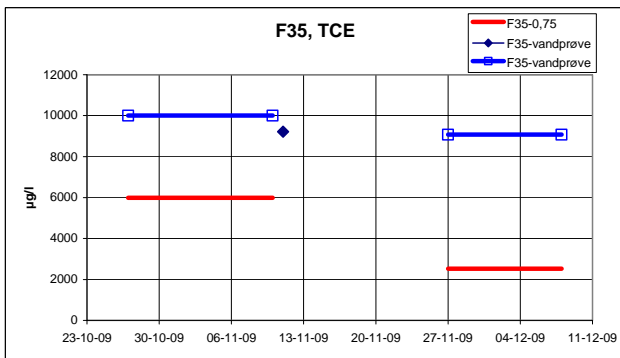
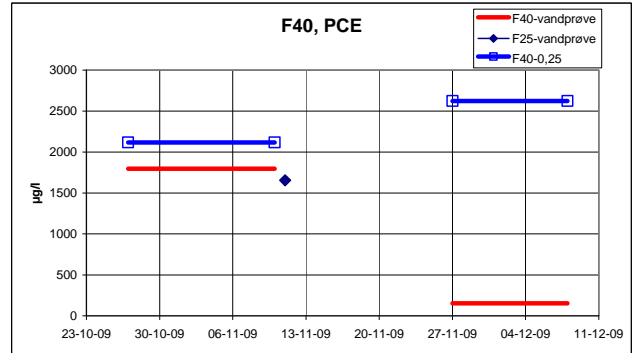
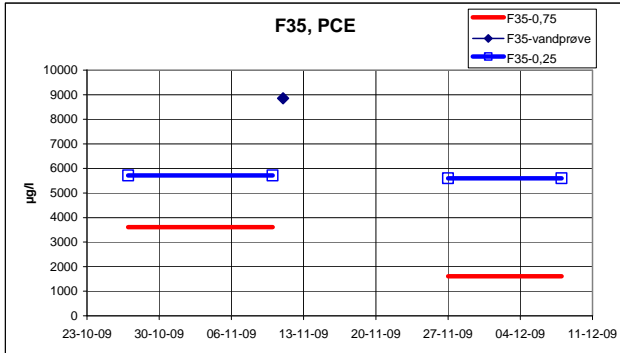
BILAG 3
GRAFISK AFBILDNING AF SORBICELL RESULTATER

Skuldelev, sammenligning af vandprøver og Sorbiceller



Boring F25 og F30

Skuldelev, sammenligning af vandprøver og Sorbiceller



Boring F35 og F40

BILAG 4
GEUS RAPPORT – FLOWLOG



Hydrologisk Afdeling
J.nr. GEUS 0742-008
Ref. PR

31. maj 2010

Grontmij Carl Bro
Att.: Steffen Damgaard Nielsen
Granskoven 8
2600 Glostrup

Resultater fra udførelse af flow-logs i 4 boringer ved Skuldelev nær Frederikssund.

Grontmij Carl Bro havde udvalgt 7 boringer beliggende på lokalitet i Skuldelev nær Frederikssund til undersøgelse af indstrømningsfordeling ved brug af diskrete flowlog-målinger. Boringerne er korte, 5 og 7 m dybe, med korte filter, 1 – 2 m lange, og med en indre diameter på 51 mm. De udvalgte boringer har følgende nummerering: F25 øvre, F30 nedre, F35 øvre, F40 nedre, KB141 nedre, KB142 nedre og KB143 nedre.

Ved diskrete flowmålinger placeres flowsonden stationært i den ønskede dybde og der foretages en kontinuert registrering af flowloggens rotationstal, der måles i det såkaldte "time mode". Pumpeydelsen forsøges holdt konstant ved hyppige målinger af den oppumpede vandmængde ved hjælp af målekar og løbende justering af pumpeydelse via neddrølingshane. Der blev anvendt en 12V Whale pumpe med slange monteret under pumpekammer. Der blev målt 1 – 4 minutter pr. dybdeniveau, hvilket viste sig tilstrækkeligt til at opnå konstant rotationstal og pumpeydelse.

Der blev udført en diskret flowmåling for hver 20 cm i filterrøret. Første måling blev foretaget 10 - 20 cm over bund af filter, og derefter blev der foretaget målinger for hver 20 cm op gennem filteret. I blindrøret blev udført 1 – 2 kalibreringsmålinger i forskellig dybde afhængig af den aktuelle vandspejlsænkning.

Den beskrevne flowlog-metode forudsætter at tilstrømningen til boringen er så stor at der opnås en strømningshastighed for det oppumpede vand op gennem boringen på mindst 1 m/min, som er flowsondens ned-

GEUS
De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K

Tlf. 38 14 20 00
Fax 38 14 20 50

CVR-nr. 55 14 50 16
EAN-nr. 5798000866003

geus@geus.dk
www.geus.dk

*GEUS er en forsknings- og
rådgivningsinstitution
i Klima- og
Energiministeriet*

re måleområde. Dette svarer til en ydelse på ca. 120 liter/time for en boring med en indre diameter på 51 mm.

Samtidig forudsætter metoden at der er en så stor tilstrømning til boringen at der kan opnås et konstant flow i boringen uden at vandspejlet afsænkes mere end at der er mindst 50 - 100 cm vandsøjle over top af filter under hele måleperioden.

Den beskrevne metode vil vise hvor stor en del af den samlede indstrømning som finder sted fra bunden af boringen og op til den dybde hvor flowlog-sonden er placeret ved den givne diskrete flowmåling.

Den 17. maj 2010 blev der foretaget en kort pumpetest af de udvalgte 7 boringer. Det viste sig at 3 af boringerne, F25 øvre, F35 øvre og KB143 nedre gav så stor en af sænkning ved en beskeden pumpeydelse på 277 liter/time, at det blev opgivet at udføre flowlogs i disse boringer. Data fra undersøgelserne den 17. maj fremgår af Bilag 1.

I 4 boringer, F30 nedre, F40 nedre, KB141 nedre og KB142 nedre, blev der den 27. maj 2010 foretaget diskrete flow-målinger. Resultaterne fremgår af Bilag 2 og Bilag 3. Der blev ikke foretaget pejlinger af grundvandsstanden under flowlog-målingerne. Dette var ikke mulig med et almindeligt pejleapparat pga. flowlog-sonde og Whale pumpe i boringen. Men pejling af vandstanden kunne måles med fx. en Diver tryktransducer.

I Bilag 2 ses de aktuelle måledybder, flowlog-målingerne i rotationer pr. minut (rpm), den akkumulerede indstrømning beregnet i forhold til at strømmingen i forerøret er 100 %, samt den aktuelle pumpeydelse. Der er med en farveskala angivet en tolkning af 1) hvor der sker en indstrømning (mørk blå), 2) hvor der muligvis sker en indstrømning, men som i givet fald er lavere en det er muligt at detektere med den anvendte flowlog-sonde (lys blå), og 3) hvor der er blindrør/forerør og/eller ingen indstrømning finder sted (grå farve).

I Bilag 3 ses de faktisk målte rotationer med flowlog-sonden for hver af de 4 undersøgte boringer som funktion af den tid der er målt i time-mode. Peaks mod 0-værdi i rpm vil normalt, men ikke altid, vise hvor flow-sonden er flyttet 20 cm opad.

Metoden viste sig brugbar i de 4 af 7 udvalgte boringer for pumpeydeler ned til ca. 300 liter/time og hvor afsenkningen af vandspejlet var begrænset, således at der som minimum var ca. 1 meter vandsøjle over top af filter ved pumpning i op til ca. 20 minutter. Flow-målingerne viste sig stabile meget hurtigt efter flytning af flow-sonde 20 cm opad i boringen, 1 – 1½ minuts målinger i hvert dybdeniveau synes på denne baggrund tilstrækkelig til at dokumentere et stabilt måleresultat.

Med venlig hilsen

Per Rasmussen

Civilingeniør

E-mail: pr@geus.dk

Tlf.: 3814 2796 / Mob.: 2714 5528

Skuldelev

Måling af afsenkning i 7 udvalgte boringer

Målinger udført 17. maj 2010 af GEUS v/ Per Jensen

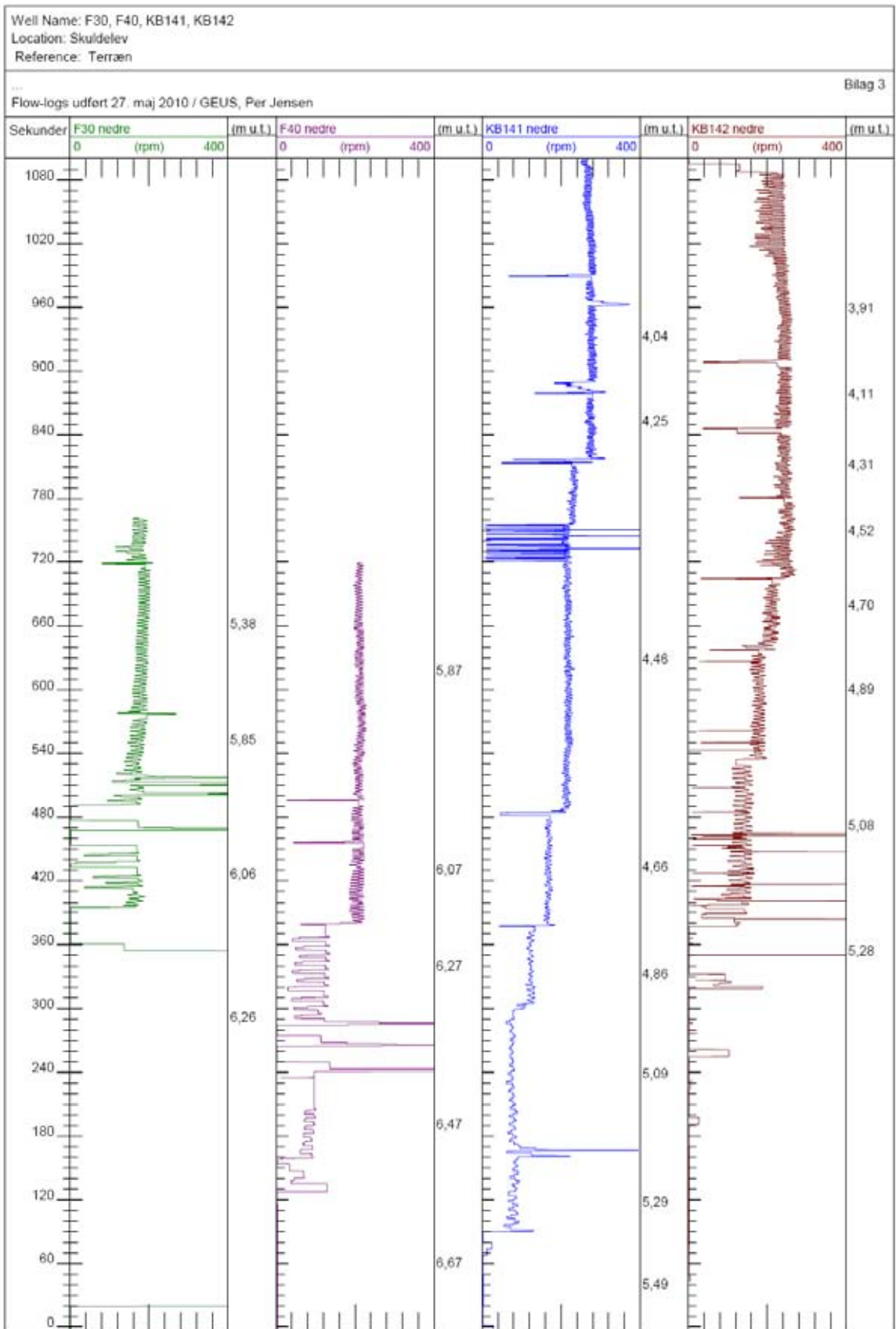
Boring	Filter	Filtertop (m u.t.)	Dybde (m u.t.)	Filter længde (m)	ro VSP (m u.t.)	Q (l/t)	Sænkning (m)	Pumpe tid (sek)	Vandsøjle over filter v. pumpn. (m)	Egnet til flowlog test
F25	øvre	4,8	5,8	1,0	3,17	277	0,68	300	0,95	nej
F30	nedre	6,0	7,0	1,0	3,05	257	0,67	300	2,28	JA
F35	øvre	5,0	6,0	1,0	3,03	277	0,82	300	1,15	nej
F40	nedre	6,0	7,0	1,0	3,06	277	0,19	300	2,75	JA
KB141	nedre	4,3	6,3	2,0	0,88	277	0,10	300	3,32	JA
KB142	nedre	4,0	6,0	2,0	0,91	277	0,44	300	2,65	JA
KB143	nedre	3,5	5,0	1,5	1,58	277	3,42	165	-1,50	nej

Skuldelev

Måling af indstrømningsfordeling med stationær flow-log sonde

Målinger udført 27. maj 2010 af GEUS v/ Per Jensen

Boring	Måledybde (m u. top rør)	Måledybde (m u. terræn)	Flowlog (rpm)	Akkumuleret indstrømning (%)		Q (l/time)	Bemærkninger
F30 nedre	5,20	5,38	170	100		293	Forerør/ej indstrømn.
	5,67	5,85	170	100			Forerør/ej indstrømn.
	5,88	6,06	170	100			Indstrømning
	6,08	6,26	0	(<40)			Indstrømning ???
	6,26	6,44	0	(<40)			Indstrømning ???
	6,47	6,65	0	(<40)			Indstrømning ???
	6,66	6,84	0	(<40)			Indstrømning ???
F40 nedre	5,49	5,67	200	100		288	Forerør/ej indstrømn.
	5,69	5,87	200	100			Forerør/ej indstrømn.
	5,89	6,07	200	100			Indstrømning
	6,09	6,27	120	60			Indstrømning
	6,29	6,47	100	50			Indstrømning
	6,49	6,67	0	(<42)			Indstrømning ???
	6,68	6,86	0	(<42)			Indstrømning ???
KB141 nedre	3,87	4,04	280	100		371	Forerør/ej indstrømn.
	4,08	4,25	280	100			Indstrømning
	4,29	4,46	210	75			Indstrømning
	4,49	4,66	180	64			Indstrømning
	4,69	4,86	120	43			Indstrømning
	4,92	5,09	80	29			Indstrømning
	5,12	5,29	80	29			Indstrømning
	5,32	5,49	0	(<29)			Indstrømning ???
	5,52	5,69	0	(<29)			Indstrømning ???
	5,72	5,89	0	(<29)			Indstrømning ???
	5,92	6,09	0	(<29)			Indstrømning ???
	6,14	6,31	0	(<29)			Indstrømning ???
	KB142 nedre	3,80	3,91	245			100
4,00		4,11	245	100	Forerør/ej indstrømn.		
4,20		4,31	245	100	Forerør/ej indstrømn.		
4,41		4,52	245	100	Indstrømning		
4,59		4,70	210	86	Indstrømning		
4,78		4,89	190	78	Indstrømning		
4,97		5,08	140	57	Indstrømning		
5,17		5,28	0	(<35)	Indstrømning ???		
5,36		5,47	0	(<35)	Indstrømning ???		
5,57		5,68	0	(<35)	Indstrømning ???		
5,76		5,87	0	(<35)	Indstrømning ???		
5,96		6,07	0	(<35)	Indstrømning ???		
6,17		6,28	0	(<35)	Indstrømning ???		



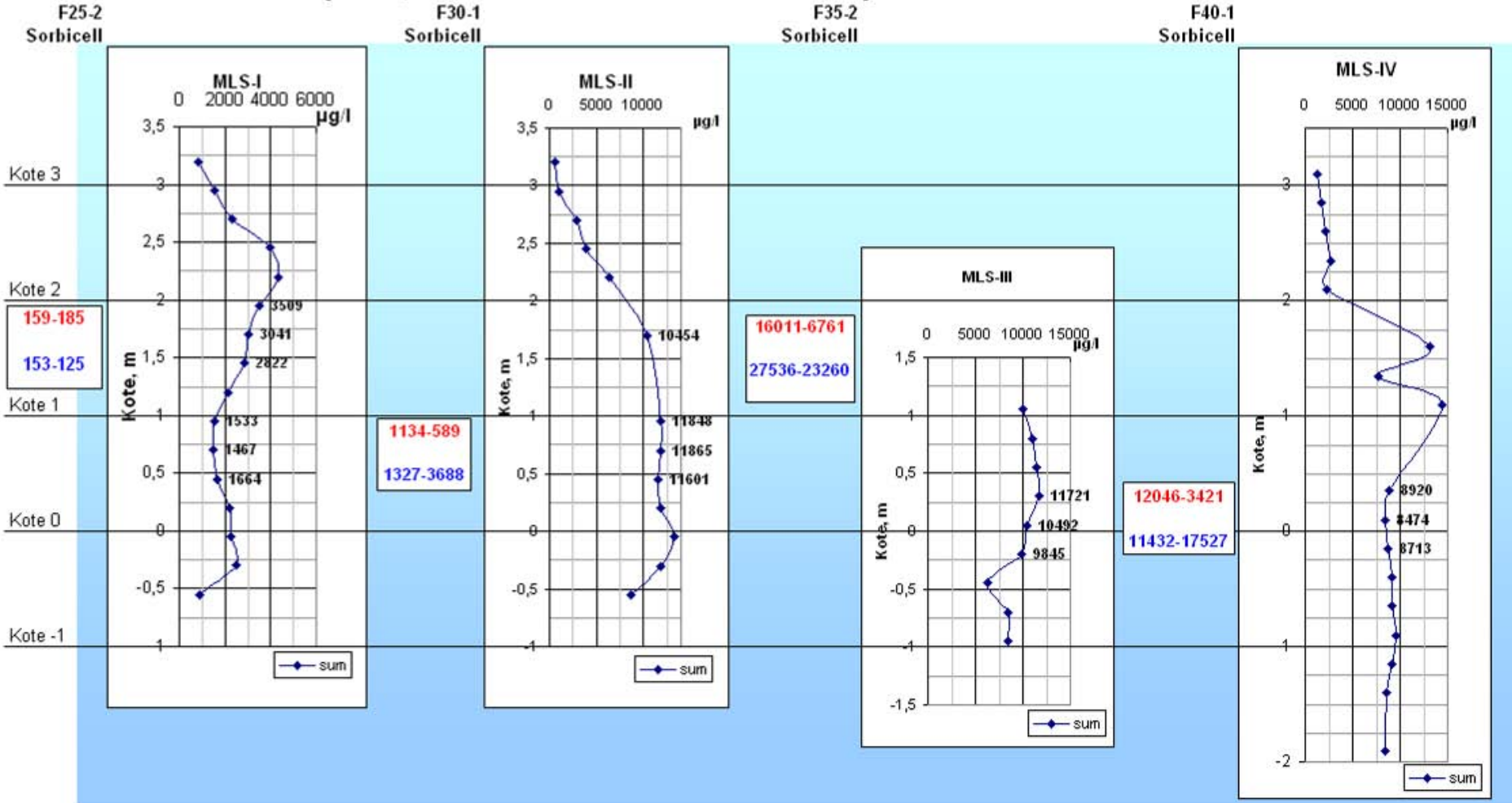
Boring F35 og F40

BILAG 5
TVÆRSNIT AF FORURENINGSFANE
PCE, TCE, DCE, VC

F-transekt, hvor MLS borer (diagrammer) og filterboringernes filtre (kasser) er vist i korrekt niveau (koter).

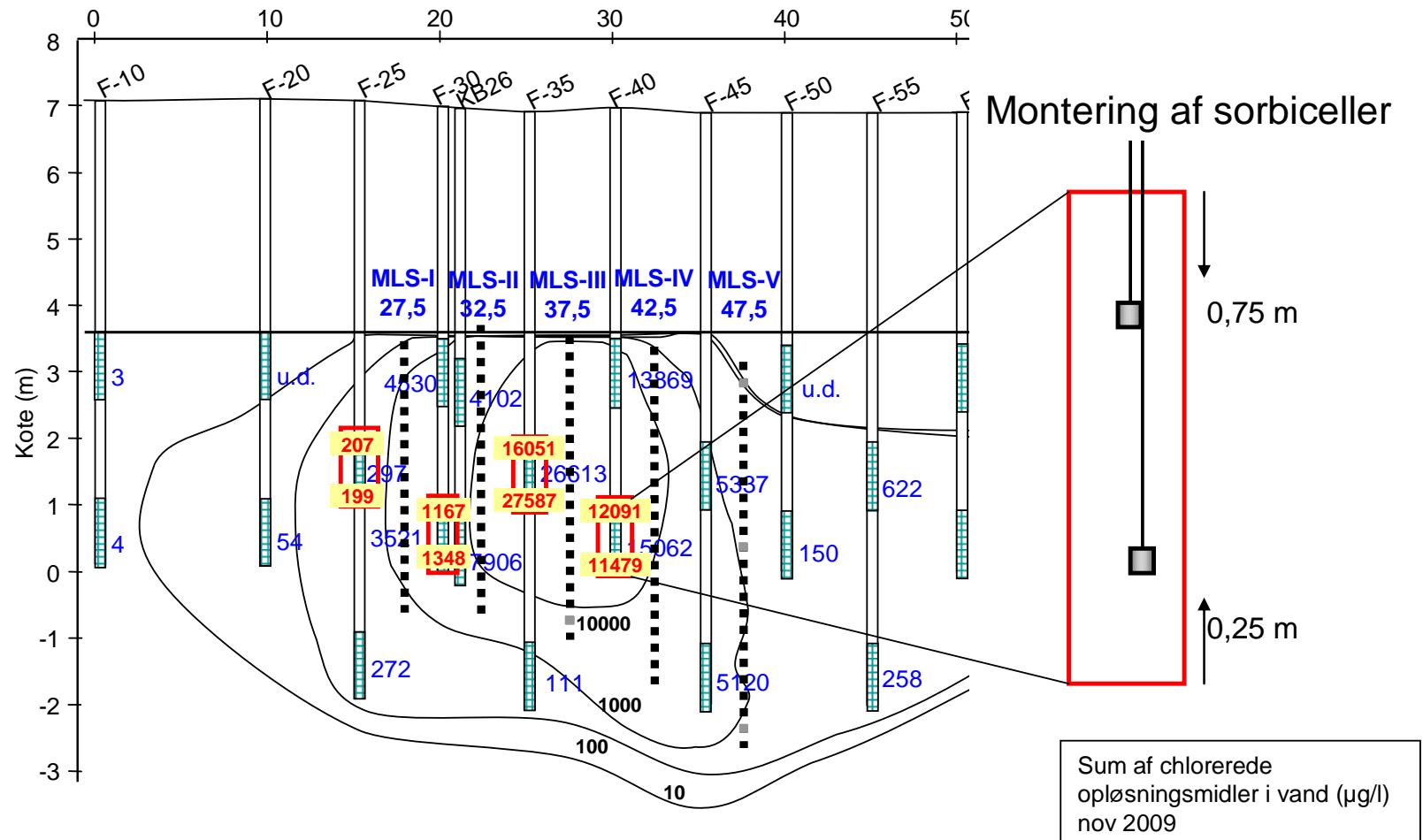
Skuldelev, november 2009
SUM af chlorerede stoffer

Værdier i kasserne: Sorbicelle øverst i filter, og Sorbicelle nederst i filter
Boringerne F30, F35, F40 med sorbiceller står ca. midt mellem MLS-boringerne.



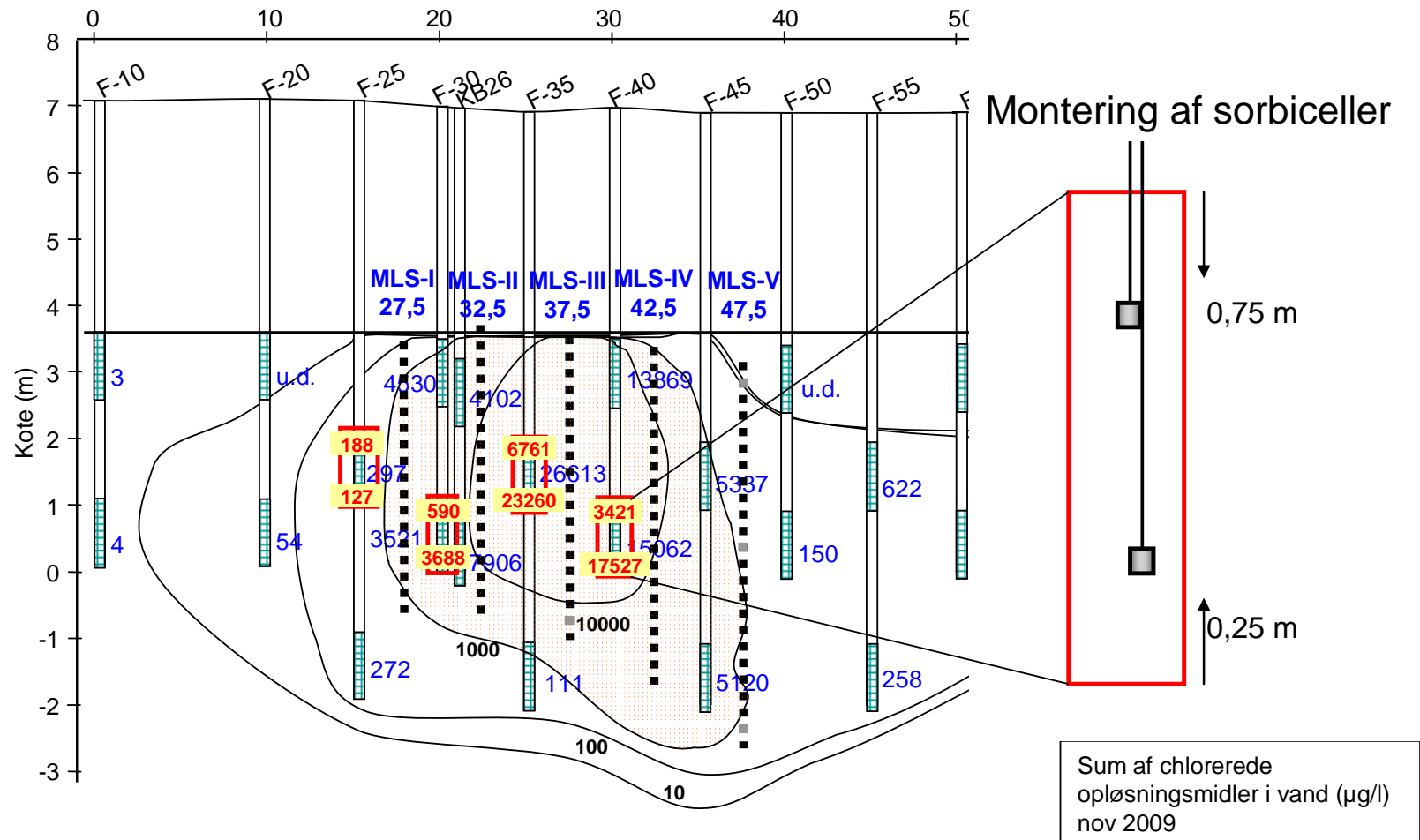
"F-transekt" af chlorerede stoffer

27.okt-10.nov-2009

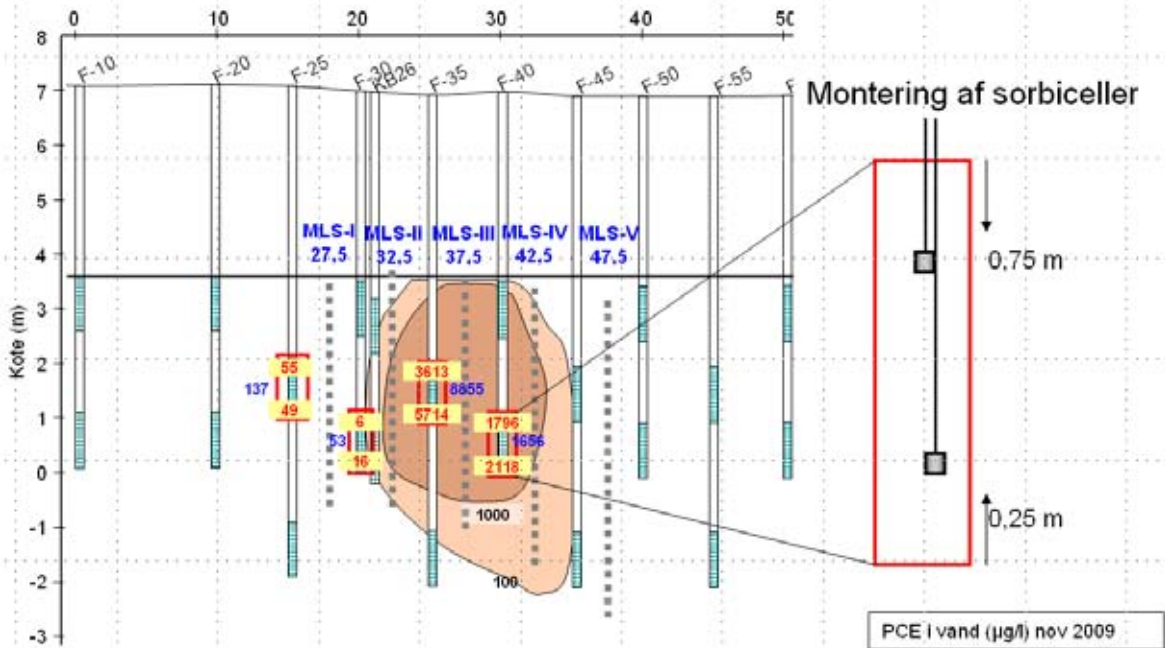


"F-transekt" af chlorerede stoffer

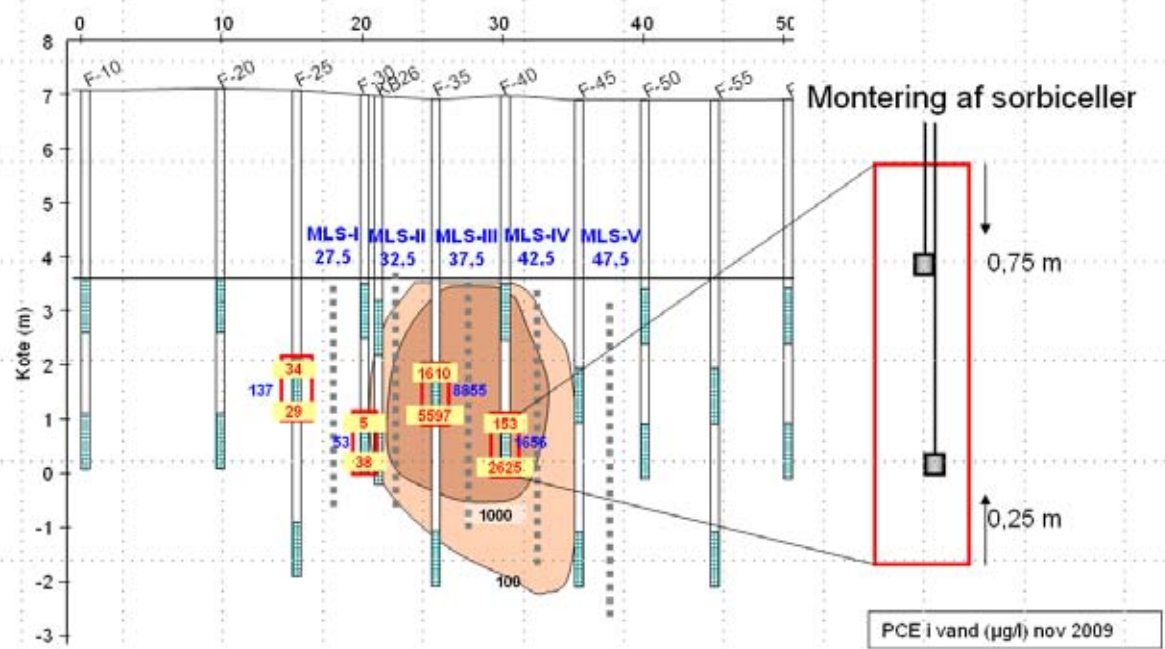
27.nov-8.dec. 2009



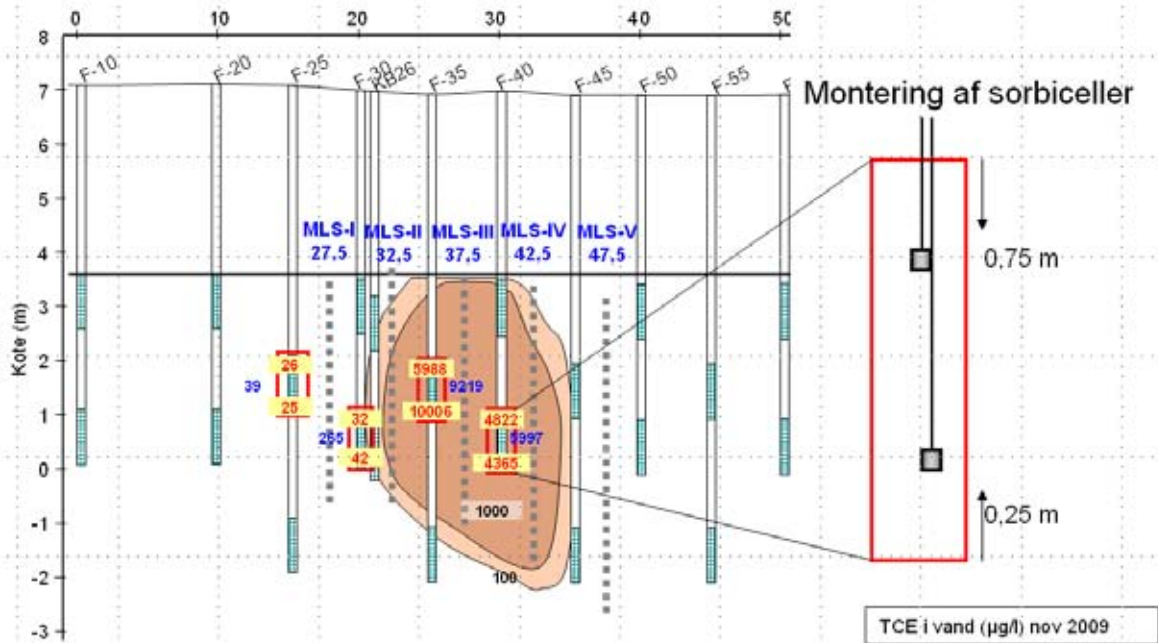
"F-transekt" af PCE 27.okt-10.nov-2009



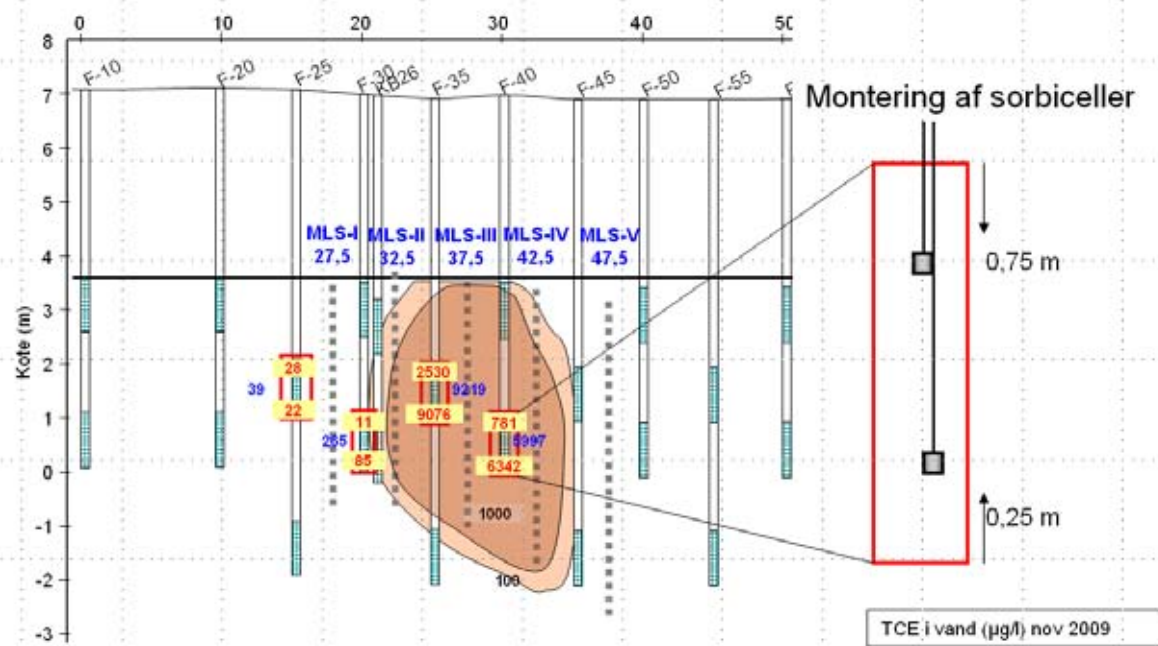
"F-transekt" af PCE 27.nov-8.dec. 2009



"F-transekt" af TCE 27.okt-10.nov-2009

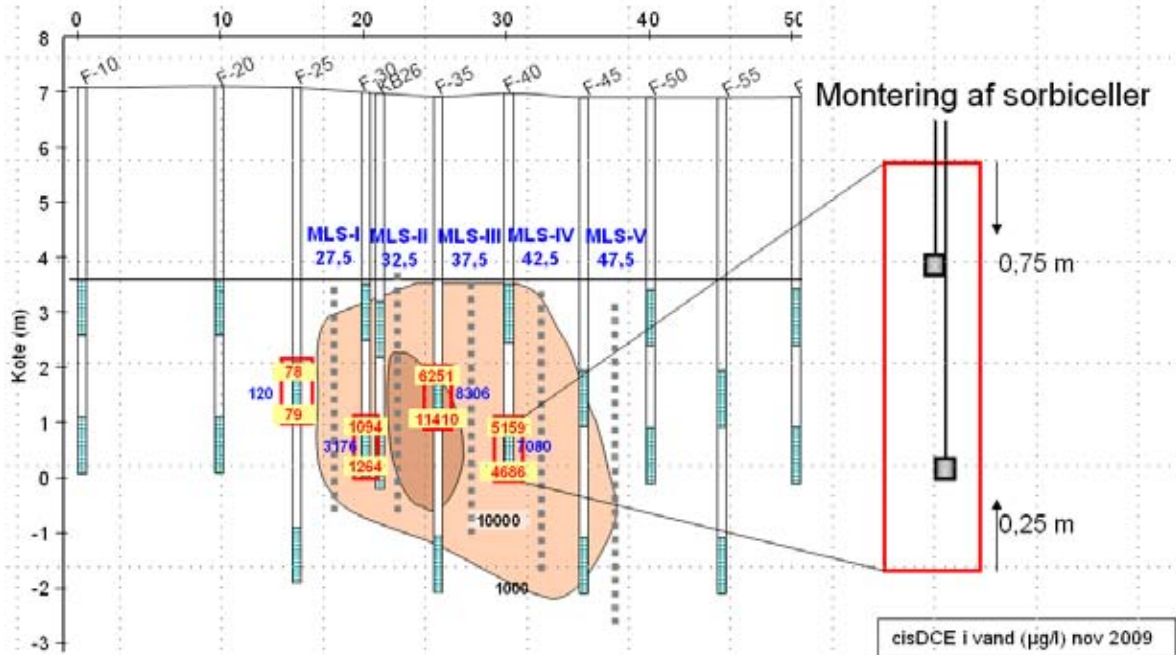


"F-transekt" af TCE 27.nov-8.dec. 2009



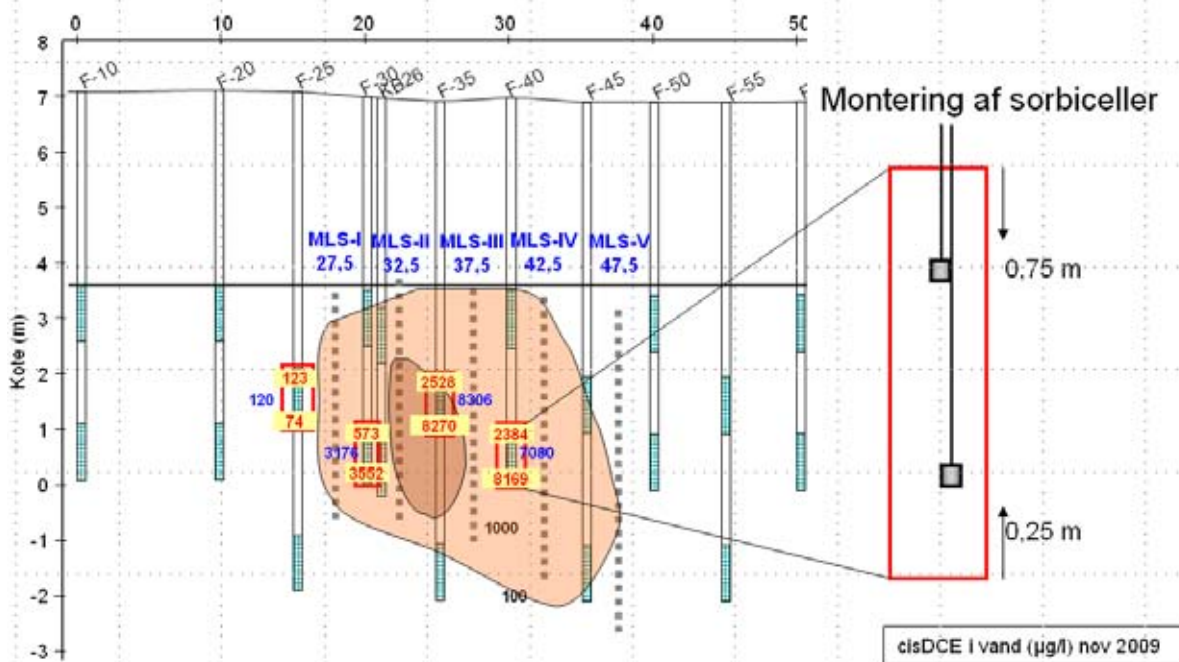
"F-transekt" af cisDCE

27.okt-10.nov-2009

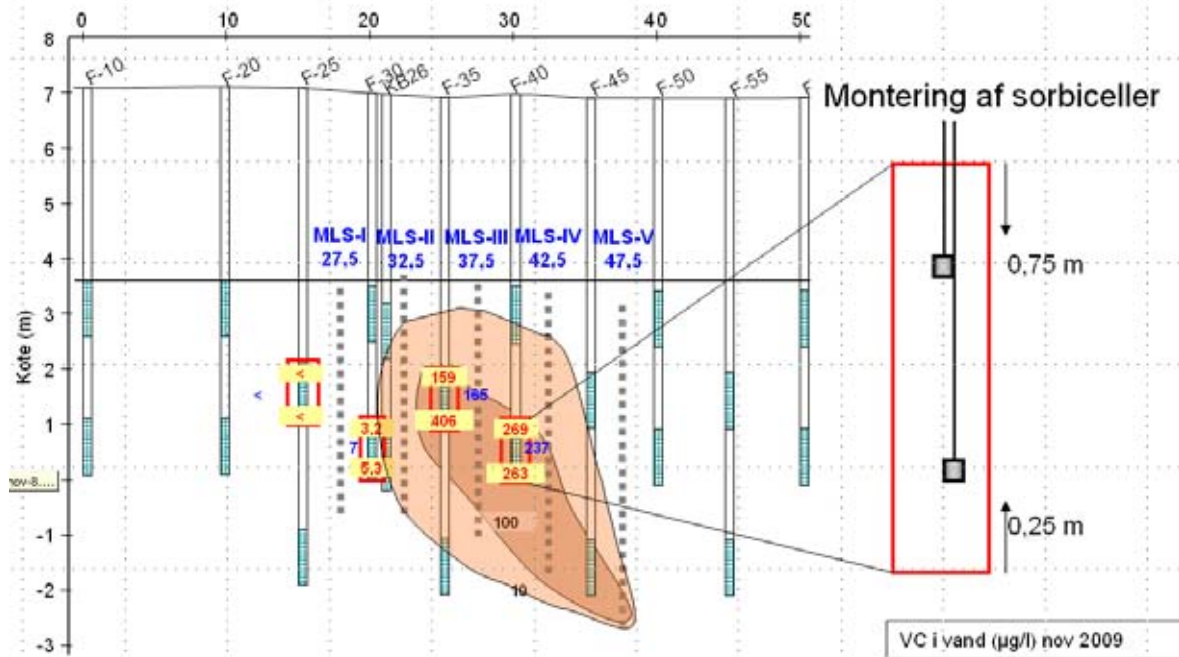


"F-transekt" af cisDCE

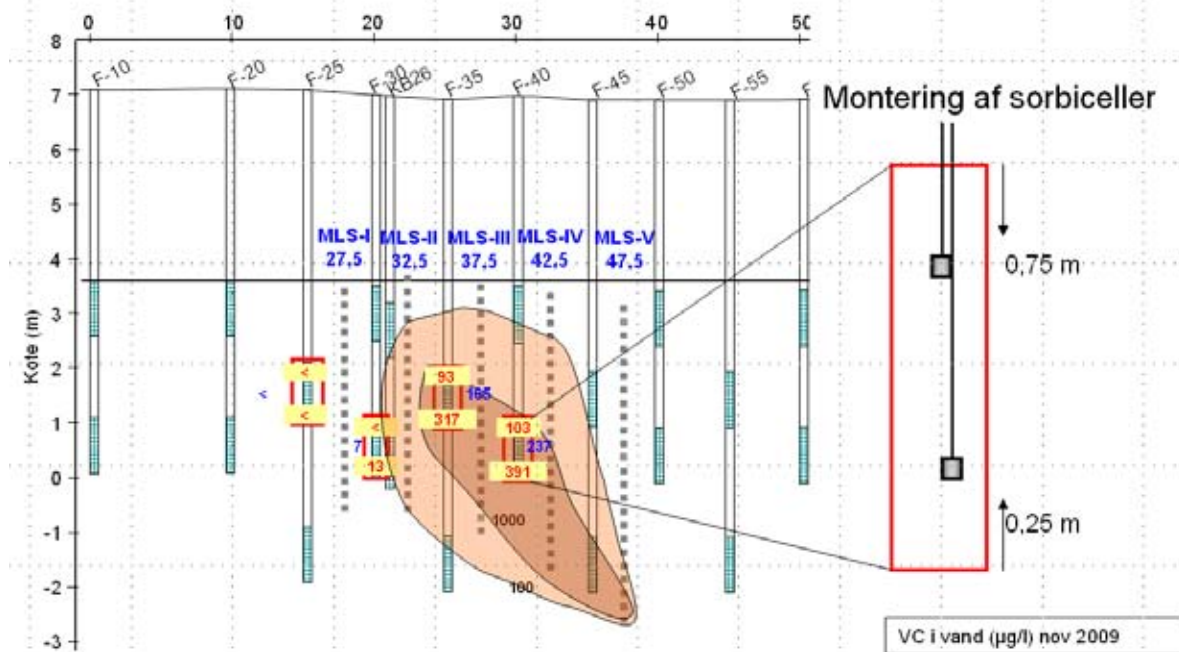
27.nov-8.dec. 2009



"F-transekt" af VC 27.okt-10.nov-2009



"F-transekt" af VC 27.nov-8.dec. 2009



BILAG 6
TABEL OVER SAMTLIGE SORBICELL ANALYSERESULTATER

Prøvningsrapport

Kunde: Grøntmij Carl Bro
 Kunde reference: Steffen Damgaard
 Projekt: ML_Skuldelev
 Projektnummer: 30.8030.01
 Rapport nr: 091124_GMCB
 Dato rapport: 07-12-2010

		27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.
Sample ID 2		F-25 0,75 m	F-25 0,75 m	F-25 0,25m	F-25 0,25m	F-30 0,75m	F-30 0,75m	F-30 0,25m	F-30 0,25m
Sporsalt analyse (ICP)	Enhed								
Calcium	mg	84	93	86,9	82,4	75,7	44,3	59,7	45,4
Sample volume	L	0,124	0,080	0,122	0,130	0,177	0,340	0,267	0,340
vinylklorid	ug/L	< <1,6095861729 <	<2,6	< <1,6405840333 <	<1,5	3,2	< <0,6	5,3	13,0
cis-1,2-dichlorethylen	ug/L	78	123	79	74	1094	573	1264	3552
trichlorethylen	ug/L	26	28	25	22	32	11	42	85
tetrachloroethylen	ug/L	55	34	49	29	6	5	16	38
Sum		159	185	153	125	1134	589	1327	3688

		27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.
Sample ID 2		F35 0,75m	F35 0,75m	F35 0,25m	F35 0,25m	F40 0,75m	F40 0,75m	F40 0,25m	F40 0,25m
Sporsalt analyse (ICP)	Enhed								
Calcium	mg	83,8	68,7	90,6	76,4	83,2	82,7	82,9	61,4
Sample volume	L	0,135	0,200	0,100	0,170	0,136	0,140	0,132	0,250
vinylklorid	ug/L	* 159	93	406	317	269	103	263	391
cis-1,2-dichlorethylen	ug/L	* 6251	2528	11410	8270	5159	2384	4686	8169
trichlorethylen	ug/L	* 5988	2530	10006	9076	4822	781	4365	6342
tetrachloroethylen	ug/L	* 3613	1610	5714	5597	1796	153	2118	2625
Sum		16010	6761	27537	23260	12047	3421	11432	17527

0,25 m og 0,75 m angiver højde over filtersætningens bund

Beregning af afvigelser ift. vandprøver (Til diagrammer i rapportens Figur 7.1 og Figur 7.2)
Prøvningsrapport

Kunde: Grontmij Carl Bro
 Kunde reference: Steffen Damgaard
 Projekt: ML_Skuldelev
 Projektnummer: 30.8030.01
 Rapport nr: 091124_GMGB
 Dato rapport: 07-12-2010

		27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	ML	DTU	RSD
Sample ID 2		F-25 0,75 m	F-25 0,75 m	F-25 0,25m	F-25 0,25m	F-25 middelv.		
Sporsalt analyse (ICP)	Enhed							
Calcium	mg	84	93	86,9	82,4			
Sample volume	L	0,124	0,080	0,122	0,130			
vinylklorid	ug/L	<1,6	< 2,6	< 1,6	< 1,5	1,0	<DL	
cis-1,2-dichlorethylen	ug/L	78	123	79	74	88,6	120,0	21%
trichlorethylen	ug/L	26	28	25	22	25,2	39,0	30%
tetrachloroethylen	ug/L	55	34	49	29	41,8	137,0	75%
sum:	ug/L					156,6	296,0	
Middelværdi:								42%

		27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	ML	DTU	RSD
Sample ID 2		F-30 0,75m	F-30 0,75m	F-30 0,25m	F-30 0,25m	F-30 middelv.		
Sporsalt analyse (ICP)	Enhed							
Calcium	mg	75,7	44,3	59,7	45,4			
Sample volume	L	0,177	0,340	0,267	0,340			
vinylklorid	ug/L	3,2	< 0,6	5,3	13,0	5,5	7,0	17%
cis-1,2-dichlorethylen	ug/L	1094	573	1264	3552	1620,6	3176,0	46%
trichlorethylen	ug/L	32	11	42	85	42,4	265,0	102%
tetrachloroethylen	ug/L	6	5	16	38	16,3	53,0	75%
sum:	ug/L					1684,8	3501,0	
Middelværdi:								74%

		27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	ML	DTU	RSD
Sample ID 2		F35 0,75m	F35 0,75m	F35 0,25m	F35 0,25m	F-35 middelv.		
Sporsalt analyse (ICP)	Enhed							
Calcium	mg	83,8	68,7	90,6	76,4			
Sample volume	L	0,135	0,200	0,100	0,170			
vinylklorid	ug/L	159	93	406	317	243,8	165,0	27%
cis-1,2-dichlorethylen	ug/L	6251	2528	11410	8270	7114,6	8306,0	11%
trichlorethylen	ug/L	5988	2530	10006	9076	6900,0	9219,0	20%
tetrachloroethylen	ug/L	3613	1610	5714	5597	4133,5	8855,0	51%
sum:	ug/L					18392,0	26545,0	
Middelværdi:								28%

		27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	27.okt.-10.nov.	27.nov.-8.dec.	ML	DTU	RSD
Sample ID 2		F40 0,75m	F40 0,75m	F40 0,25m	F40 0,25m	F-40 middelv.		
Sporsalt analyse (ICP)	Enhed							
Calcium	mg	83,2	82,7	82,9	61,4			
Sample volume	L	0,136	0,140	0,132	0,250			
vinylklorid	ug/L	269	103	263	391	256,5	237,0	6%
cis-1,2-dichlorethylen	ug/L	5159	2384	4686	8169	5099,5	7080,0	23%
trichlorethylen	ug/L	4822	781	4365	6342	4077,6	5997,0	27%
tetrachloroethylen	ug/L	1796	153	2118	2625	1673,2	1656,0	1%
sum:	ug/L					11106,8	14970,0	
Middelværdi:								17%

Diagrammer i lineær afbildning svarende til rapportens Figur 7.1 og Figur 7.2.

