



# Risikovurdering af forurenede grunde på Vadsbyvej i forhold til vandressourcen og Soderup Vandværk

Julie Chambon  
Nanna Isbak Thomsen  
Timo Kessler  
Bertel Nilsson  
Knud Erik Klint  
Philip Binning  
Poul L. Bjerg

DTU Miljø  
Februar 2011





# Risikovurdering af forurenede grunde på Vadsbyvej i forhold til vandressourcen og Soderup Vandværk

Et samarbejdsprojekt mellem  
DTU Miljø og Region Hovedstaden

Julie Chambon  
Nanna Isbak Thomsen  
Timo Kessler  
Bertel Nilsson  
Knud Erik Klint  
Philip Binning  
Poul L. Bjerg

DTU Miljø  
Februar 2011



# Forord

Rapporten er udarbejdet i et samarbejdsprojekt mellem DTU Miljø og Region Hovedstaden i perioden 1-5-2010 til 1-2-2011.

Der er indhentet materiale fra tidligere undersøgelser i området fra Region Hovedstaden. For Vadsbyvej 16A har der desuden været et tæt samarbejde med Orbicon, da der parallelt med denne undersøgelse er etableret yderligere borer som et led i det igangværende afværgeprojekt. Der er også foretaget yderligere undersøgelser af forureningskildens afgrænsning af Orbicon. Resultaterne fra disse undersøgelser og afværgeprojektet med termisk oprensning forelå ikke ved afslutningen af denne rapport.

En række personer har bidraget til projektet:

- Kemiske analyser for CFC-gasser er foretaget af Troels Laier, GEUS.
- Teknikere på DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet har stået for de kemiske analyser af chlorerede opløsningsmidler, BTEX'er og redoxparametre.
- Brøndborer Hestbech har udført borearbejdet.
- Lene Bagh, Høje Tåstrup Kommune har fremskaffet supplerende oplysninger ved vandindvinding ved Soderup Vandværk.
- Pernille Palstrøm, Katerina Tsitonaki, Thomas Larsen og Nina Tuxen, Orbicon har været behjælpelige med data fra tidligere og igangværende undersøgelser og faglig sparring.
- Henriette Kern-Jespersen, Region Hovedstaden har i hele projektet bidraget med supplerende oplysninger og faglig sparring.

Alle bidragydere takkes for samarbejdet.

## Indhold

1	BAGGRUND	3
2	FORURENINGSKILDER PÅ VADSBYVEJ 16, 16A OG 17	4
3	GEOLOGISK MODEL FOR OMRÅDET	6
3.1	Regional skala	6
3.2	Lokal geologisk model	10
4	HYDROGEOLOGI	12
4.1	Grundvandsstrømning på regional skala	12
4.2	Strømningen på lokal skala ved Vadsbyvej 16, 16A og 17.	13
4.3	Hydrauliske parametre	13
4.4	Hydraulisk samspil mellem sandmagasin, kalkmagasin og Vadsby Å	14
4.5	Indvindingsoplande for vandindvinding	16
4.6	Aldersdatering af grundvand	16
5	FORURENINGSKEMI PÅ VADSBYVEJ	19
5.1	Forureningskemi i kildeområdet for Vadsbyvej 16A	19
5.2	Forurening i sekundært sandmagasin	21
5.3	Forurening i kalkmagasin	25
5.4	Vadsby Å	25
6	SAMMENSTILLING AF FORURENINGSBILLEDET PÅ LOKAL SKALA	26
6.1	Beregning af forureningsflux	26
6.2	Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet	28
6.3	Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet	30
7	EFFEKT AF OPRENSNING	32
8	FORURENING AF SODERUP VANDVÆRK	33
8.1	Risikovurdering for Soderup Vandværk	33
9	KONKLUSION	35
10	REFERENCER	36

### Bilag

Bilag 1	Bore hole logs and geophysical logs
Bilag 2	Geological Characterization of the Vadsby area
Bilag 3	Description of the local geology at the Vadsby site
Bilag 4	Groundwater flow field
Bilag 5	Hydraulic conductivity data
Bilag 6	Capture zone calculations
Bilag 7	Vadsby forureningsundersøgelse alder og kemi af grundvand
Bilag 8	Conceptual model of the source distribution at Vadsbyvej
Bilag 9	Forureningskemi og redoxforhold 2007-2010
Bilag 10	Local leaching at the source scale

# 1 Baggrund

Region Hovedstaden udfører udvidede undersøgelser, V2 undersøgelse og planlægger oprensning af forurenede lokaliteter omkring Vadsbyvej (16, 16A og 17). På Vadsbyvej 16A er der ligeledes gennemført omfattende undersøgelser af de geologiske og hydrogeologiske og forureningskemiske forhold i området, som et led i forskningsprojektet REMTEC ledet af DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Region Hovedstaden ønsker et overblik over påvirkningen med chlorerede opløsningsmidler fra disse tre punktkilder i forhold til grundvandsressourcen i området. Dette er bl.a. affødt af fund af PCE på Soderup vandværk ca. 500 m vest for lokaliteterne. Der er i hele området betydelige vandforsyningsinteresser, som det bl.a. er beskrevet i kortlægningen af Nybølle Indsatsområde (Københavns Amt, 2005).

Formålet med projektet er at udføre en risikovurdering af de tre forureningskilder ved Vadsbyvej i forhold til kalkmagasinet og grundvandsinteresser i området. Der vil blive forsøgt at afklare følgende:

1. Hvordan er vandtransporten fra forureningskilderne ved Vadsbyvej mod kalkmagasinet?
2. Udgør forureningskilderne ved Vadsbyvej en trussel for grundvandsressourcen i området, herunder hvilken effekt vil oprensning af Vadsbyvej 16A have på grundvandskvaliteten i området?
3. Påvirker forureningskilderne ved Vadsbyvej Soderup Vandværk?

I forhold til den oprindelige formulering af projektet blev det ved undersøgelser under projektet af Vadsbyvej 17 afklaret, at forureningen her var af mindre omfang (Cowi, 2010). Tidligere undersøgelser har vist at Vadsbyvej 16 heller ikke har et omfang som Vadsbyvej 16A, så rapporteringen er i høj grad fokuseret omkring Vadsbyvej 16A.

Der var i den oprindelige projektformulering foreslået at opstille en 3 D stoftransportmodel for nærområdet. Da der kun i meget begrænset omfang blev gjort forureningsfund i kalkmagasin, og forureningen nedstrøms Vadsbyvej 16A var meget fokuseret blev det vurderet, at en sådan model ikke ville være egnet til at vurdere stofspredningen. Der blev i stedet lavet nye beregninger med en tidligere udviklet model for forureningsområdet (Chambon et al., 2009), som simulerer udvaskningen fra moræneleren til sandlaget. Denne blev suppleret med en ny model, som skulle vurdere stoftransporten mellem sandlag og kalkmagasin.

Det var foreslået at anvende partikelbanesimulering til at belyse stoftransporten mellem Vadsbyvej og Soderup Vandværk og Københavns Energis kildepladser nedstrøms, men den eksisterende DK-model for området var for grov i cellestørrelsen til at kunne belyse problemstillingen. Den oprindelige Københavns Amt Model (KAM) manglede opdateret information om oppumpninger i området og dækkede ikke området ved Københavns Energis kildepladser. Påvirkningen af vandværkerne er i stedet vurderet ved en analytisk løsning for indvindingsområder, samt en sammenstilling af den samlede viden om geologien, hydrogeologien, udsivningen fra forureningskilderne, forureningen i området og på Soderup Vandværk

## 2 Forureningskilder på Vadsbyvej 16, 16A og 17

I området ved Vadsby, som er genstand for denne risikovurdering er der tre V2 registrerede lokaliteter: Vadsbyvej 16A, Vadsbyvej 16 og Vadsbyvej 17. Beliggenheder af de 3 forurenede grunde kan ses på figur 1 sammen med de relevante vandindvindinger i området, herunder Soderup Vandværk ca. 500 m fra lokaliteten.

Vadsbyvej 16 A er den bedst undersøgte lokalitet og anses for hovedårsagen til grundvandsforureningen i området. Der vil stort set blive fokuseret på Vadsbyvej 16A i rapporten, men af hensyn til overblikket er alle lokaliteter kort beskrevet.

Vadsbyvej 16 2640 Hedehusene. Lokalitets nr. 169-00106

Der har på Vadsbyvej 16 været betonelement fabrik, landbrugsmaskineforretning, smedie- og maskinværksted, autoværksted og fra 1974- til i dag autoophug. Der er fundet forurening med chlorerede ethener (TCE) og chlorerede ethaner (1,1,1-TCA) i grundvandet (Carl Bro, 2002).

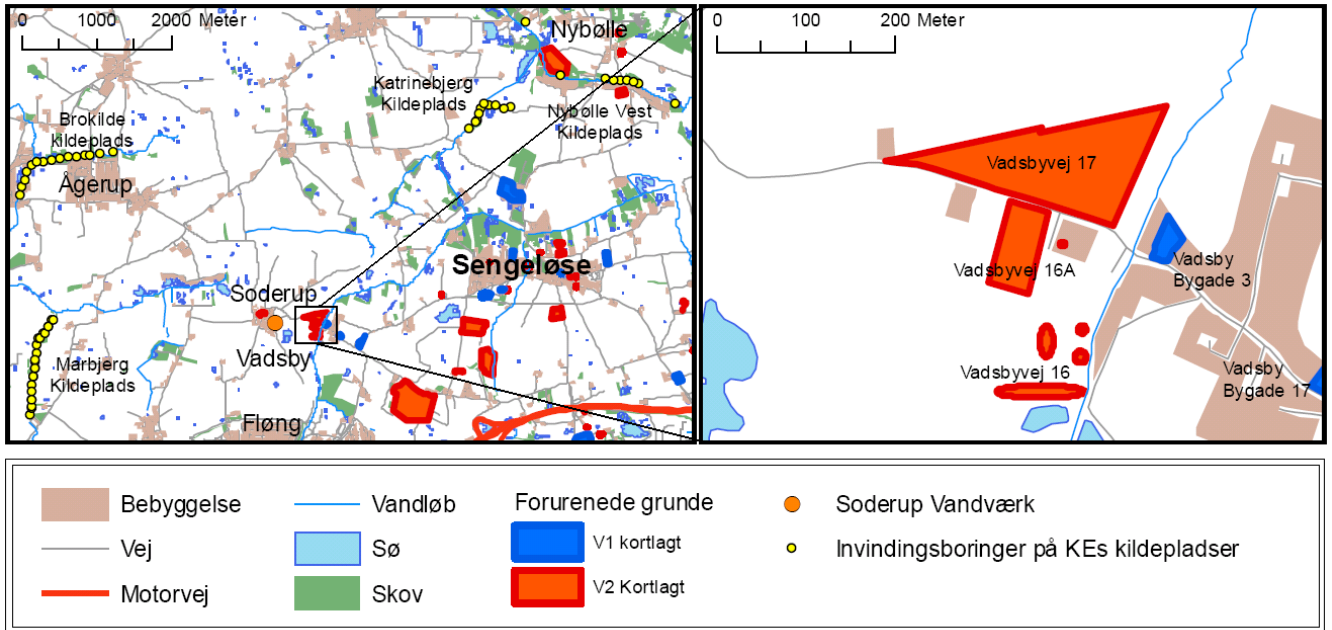
Vadsbyvej 16A 2640 Hedehusene. Lokalitets nr. 169-00253.

Der har været kemikaliefordelings central på grunden fra 1973-1976, og måske tidligere. Forureningen er en blandingsforurening, der er således fundet både chlorerede ethener (PCE og TCE), chlorerede ethaner (1,1,1-TCA), BTEX'er o.a. Forureningen med de chlorerede ethener og ethaner vurderes at udgøre den største risiko (Orbicon, 2007).

Vadsbyvej 17 2640 Hedehusene. Lokalitets nr. 169-05099

På denne ejendom har der været lædervare fabrik (før 1948- før 1964), Boterma Huse fabrik (før 1964-1964), muligvis maskinfabrik (før 1964-1975) og autoophug (før 1975-i dag). Grundvandsforureningen på denne lokalitet er en blandingsforurening bestående af total kulbrinter og chlorerede ethener (PCE). Det er ikke sikkert om PCE- kilden er erhvervsaktiviteter på Vadsbyvej 17, eller på nabogrunden Vadsbyvej 16A (COWI, 2010).

En samlet vurdering af de tre lokaliteter peger på, at selve forureningskilderne på Vadsbyvej 16 og 17 er langt mindre i omfang end Vadsbyvej 16A. Der er observeret forurening opstrøms Vadsbyvej 16A, som kan tilskrives Vadsbyvej 16, Ligeledes kan der ved forureningsfund nedstrøms Vadsbyvej 16A ikke skelnes, om det skulle stamme fra Vadsbyvej 16, Vadsbyvej 16A eller Vadsbyvej 17, da det er forureninger med de samme stofgrupper.



Figur 1: Beliggenhed af V2 registrerede lokaliteter i Vadsby, samt Soderup Vandværk og København Energis kildepladser i området

### 3 Geologisk model for området

Den regionale og lokale geologi i området er baseret på eksisterende geologiske kortmateriale og eksisterende boringer fra Jupiterdatabasen, samt 6 nye boringer til kalkmagasinet. Geologiske profiler for de 6 nye boringer, samt gammalogs er vedlagt i bilag 1. Desuden er den opnåede viden fra igangværende undersøgelser ved Kallerup Grusgrav inddraget. Det samlede materiale er beskrevet i bilag 2: Regional scale geology in the Vadsby area og bilag 3: Local scale geology at the Vadsby site.

Der er i undersøgelserne gennem tiden brugt forskellige typer af navngivning af undersøgelsesboringerne i rapporter. I dette projekt er der i de geologiske profiler og pejledata brugt boringsnavne, som svarer til de navne Orbicon eller DTU Miljø har brugt i journaler. Nye boringer udført af brøndborer er indberettet til GEUS og registreret i Jupiter databasen med DGU nummer. Tabel 1 viser sammenhængen mellem DGU numre og boringsnavne for relevante boringer.

#### 3.1 Regional skala

Der er konstrueret 3 regionale geologiske snit i området (figur 2). I figur 3 er der vist et overblik over den regionale geologi og i figur 4 er et vest-øst profil præsenteret.

Overordnet set er den regionale geologiske lagserie domineret af to øvre mænelersenheder afsat under de såkaldte Ungbaltiske isfremstød (Houmark-Nielsen & Kjær, 2003). Disse baltiske enheder overlejrer overvejende sandede enheder fra den såkaldte Hedelandsformation (Jakobsen, 1985) der er afsat som to smeltevandssletter med en morænelersbænk imellem, i forbindelse med hovedfremstødet fra NØ (Houmark-Nielsen & Kjær, 2003). Syd for Vadsbyområdet har Hedelandsformationen ofte en mægtighed på over 20 meter, men i Vadsbyområdet bliver Hedelandsformationen ganske tynd. Ved Vadsby udgøres den kun af tynde og sporadiske forekomster af smeltevandssand og en mulig overvejende stærkt sandet NØ-morænelersbænk under de to baltiske morænelersbænke.

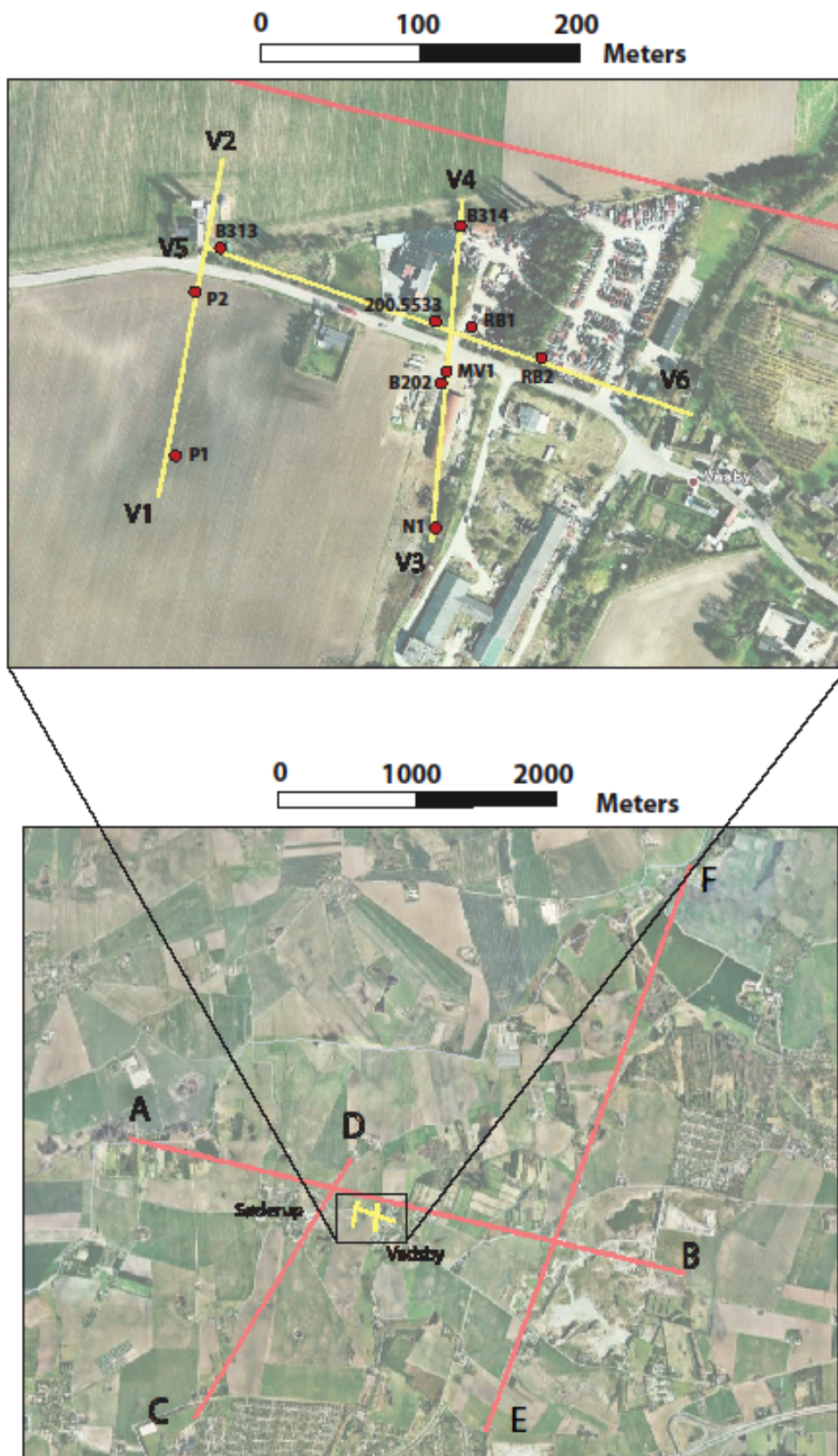
Landskabet udgøres overvejende af en udbredt let bølget moræneflade imod syd, hvorimod selve Vadsbyområdet samt området mod nord og vest er domineret af et mere klassisk dødisrelief med talrige små bakker og lavninger, der er opfyldt af nedskylsler og tørveaflejringer. Generelt har de glacialle aflejringer i det meste af området en mægtighed på 10-30 meter med den største mægtighed i dalstrøgene (ca. 20-23 meter i Vadsby). I dalområdet, der strækker sig vestpå mod og forbi Soderup, findes derudover større mægtigheder af smeltevandssand under moræneleren. Dette er generelt dårligt dokumenteret på grund af et sparsomt antal boringer, ikke mindst vest for Soderup.

De glacialle aflejringer hviler i hele området direkte på en prækvartær kalkoverflade, der består af kalksandskalk og bryozokalk. Kalken ligger omkring kote + 10 syd for Vadsbyområdet, men falder til ca. kote +1 til -3 ved Vadsby. Både nord-øst og vest for Vadsby falder kalkoverfladen 10 til 20 meter og udgør en markant dal, der strækker sig vestpå til Roskilde fjord. Dalen er måske en del af et mere regionalt udstrakt dalstrøg, der udgør Sønderødalen nord for Vadsbyområdet (figur 3). Det vides ikke med sikkerhed, om dalen er tektonisk dannet i forbindelse med dybtliggende forkastninger i undergrunden eller et resultat af glacial erosion. Men det er nærliggende at antage, at kalken i dalstrøget er kraftigere opsprækket end i de højereliggende områder

imod syd og dermed udgør en potentiel hydraulisk zone med højere hydraulisk ledningsevne end den omkringliggende kalk.

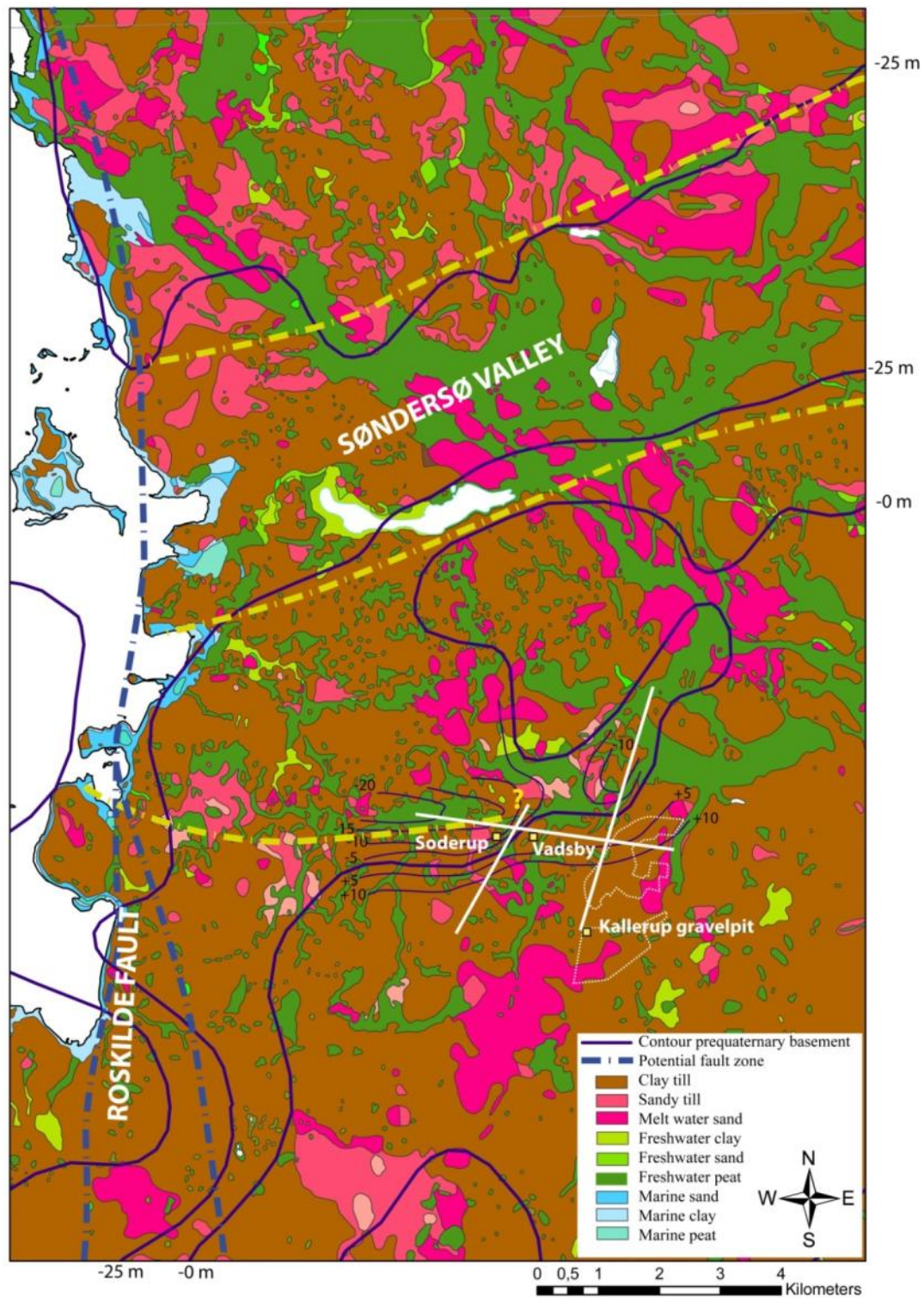
**Tabel 1: Navngivning af borer i geologiske profiler og tidligere rapporter. I optegninger af koncentrationsdata i afsnit 5.2 er der benyttet DGU numre. Placering af borer er angivet på bilag 4.**

Navn i rapporter	DGU nummer	Formation	Kommentarer
B313	200.6033	Kalk	Denne undersøgelse
B314-1	200.6034-1	Kalk	Denne undersøgelse
B314-2	200.6034-2	Sand	Denne undersøgelse
B315	200.6035	Kalk	Denne undersøgelse
B325-1	200.6036-1	Kalk	Denne undersøgelse
B325-2	200.6036-2	Sand	Denne undersøgelse
P1	200.5919	Sand	
P2	200.5920	Sand	
N1-N5	200.5918	N1 er placeret i kalk	Flere borer med filterplaceringer i sand og moræner
B1-1	200.5533-1	Kalk	
B1-2	200.5533-2	Sand	
RB1	200.5761	Sand	
RB2	200.5762	Sand	
RB3	200.5763	Sand	
B501	200.5764	Sand	
B104	200.5769	Moræner	
B106	200.5771	Sand	
B201	200.5772	Sand	
B202	200.5773	Sand	
B301	200.5765	Sand	
B501	200.5764	Sand	
"Geoteknik boring"	200.5830	Sand	Mointeringsboring som er reableret ved denne undersøgelse

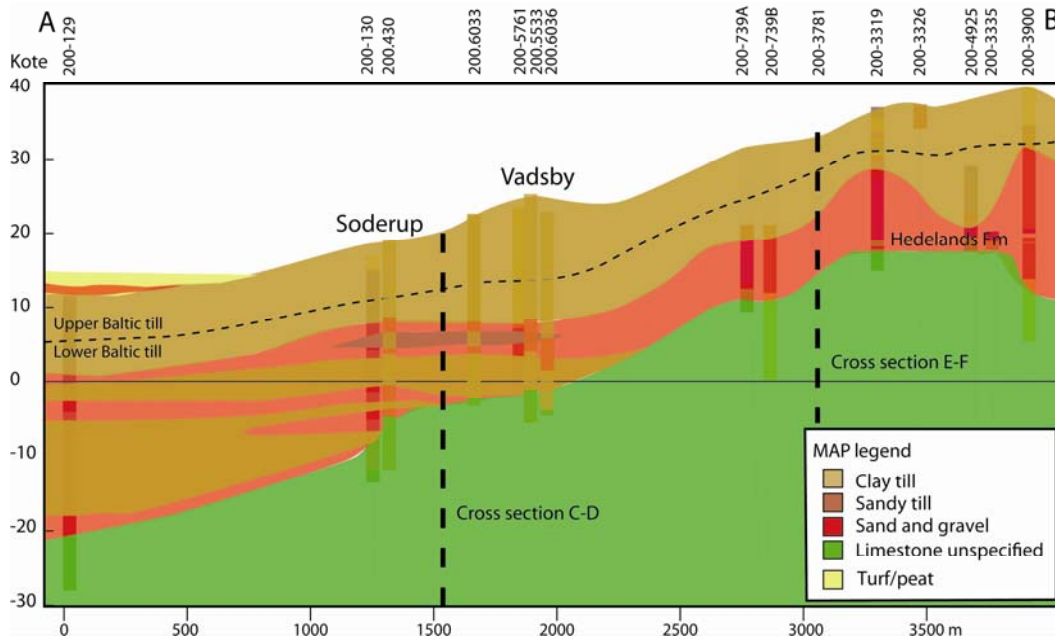


Figur 2: Placering af geologiske profiler på regional og lokal skala





Figur 3: Overblik over de regionale geologiske forhold i Vadsbyområdet med fordelingen af sedimenter og kalkoverfladens højdeforhold.



Figur 4: Regionalt geologisk snit vest-øst. Placeringen er vist på figur 2.

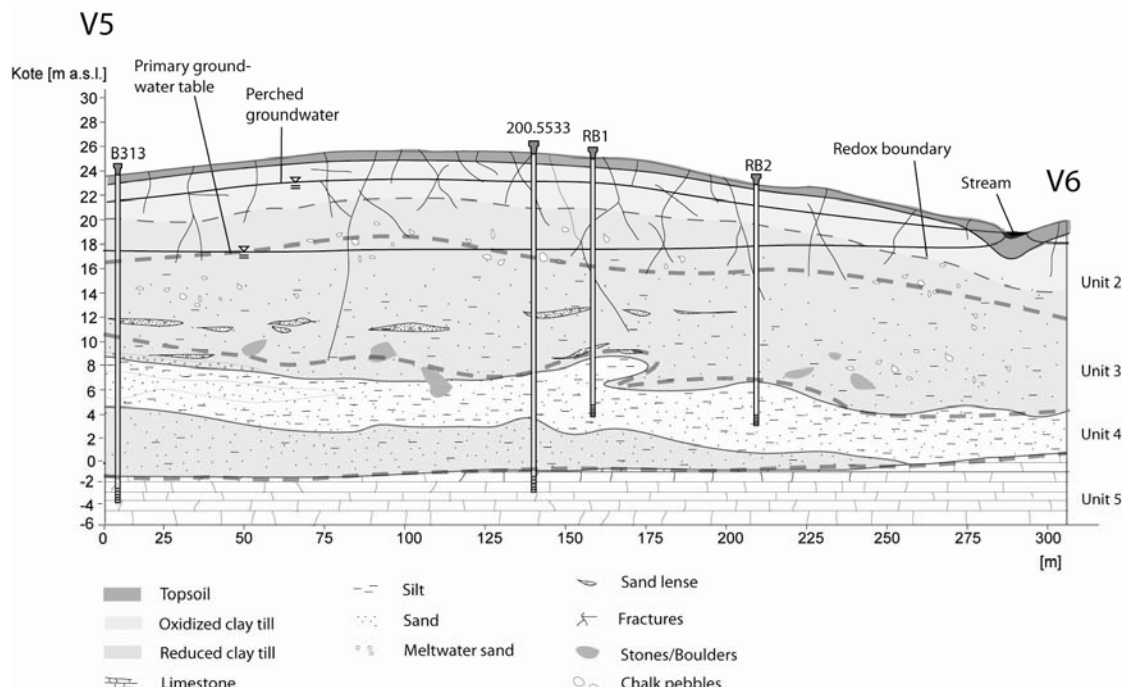
### 3.2 Lokal geologisk model

Der er optegnet tre lokale geologiske snit (Bilag 3, figur 2 og figur 5). De afspejler meget fint den overordnede geologiske model, men kan på grund af det store antal boringer i området meget mere præcist afgrænse lagfølgen.

Den overordnede lagfølge på Vadsbyvej kan således opdeles i 5 enheder:

1. Stedvise dødisaflejringer bestående af flydemoræne overlejret af nedskylser og tørveaflejringer i lavningerne.
2. Øvre baltiske till der består af leret bundmoræne. Denne enhed på Vadsbyvej lokaliteten er klassificeret som en såkaldt basal till overvejende type B (Klint et al., 2001), der er opsprækket i de øverste 3-5 meter. Denne enhed er ca. 6-8 meter tyk og afgrænses stedvist fra den underliggende enhed af sandlinser eller sten horisonter.
3. Nedre baltiske till der ligeledes består af leret bundmoræne. Denne enhed er lidt tykkere 5-10 meter tyk og klassificeret som en basal till type A (Klint et al., 2001). Den er kun sjældent opsprækket og optræder generelt blød.
4. Hedelandsformation. De nederste 3-10 meter glaciære aflejringer består af meget vekslende lag af moræneler, morænesand/silt og stedvise linser af smeltvandssand. Hele enheden tolkes kraftigt deformeret og med god hydraulisk kontakt til de underliggende kalkbjergarter. Tolkningen af forløbet er derfor behæftet med stor usikkerhed.
5. Bryozo/kalksandkalk. Kalkoverfladen optræder generelt kraftigt opsprækket i den øverste del.

Som det fremgår af profil V5-V6 på figur 5 varierer mægtigheden af de glaciale aflejringer fra ca. 18 meter over Vadsby Å til ca. 25 meter under det centrale højdedrag, hvoraf enhed 2-3 udgør de øverste 14-18 meter i det meste af området. Disse to enheder er generelt dårligt opsprækket, men især i den centrale del på højdedraget tolkes sprækkerne at nå dybere ned end i de lavereliggende områder.



Figur 5: Lokalt geologisk snit i øst vest. Placeringen af profilet kan ses på figur 2.

I den østlige del af profilet er dette lag i direkte kontakt med kalken i kote 0 m, mens der i den vestlige del er et mere siltet lag inden kalken nås. Dette mellemliggende lag genfindes også i de nord-sydgående profiler (bilag 3). Afgrænsningen af smeltevands-sand-silt og moræneler i horisonten under kote 14 m er vanskelig, så grænserne skal opfattes som glidende overgange. Der er en forholdsvis stor akkumulering af sprækker og sandlinser i den centrale del af profilet.

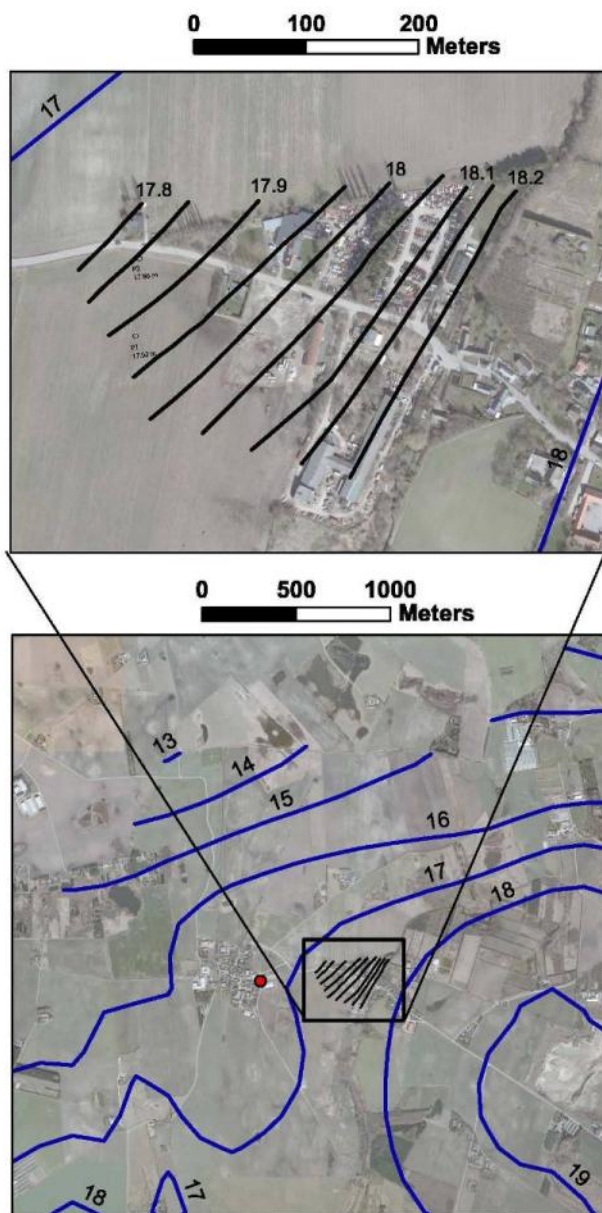
Kalkoverfladen hælder svagt mod vest og nord i overensstemmelse med den regionale kalkoverflade.



## 4 Hydrogeologi

### 4.1 Grundvandsstrømning på regional skala

Der er i 2009 rapporteret et potentialekort for Region Hovedstaden (Figur 6, nederst). Det vurderes, at det i øjeblikket giver den bedste vurdering af det regionale strømningssbillede i området. Desværre er potentialekortet ikke optegnet for området vest for Soderup, da det ikke ligger i Region Hovedstaden.



Figur 6: Sammenligning med regional strømning og lokal strømning i kalkmagasinet ved Vadsby-Soderup. Øverst: Lokalt potentialekort ved Vadsby fra November 2010. Nederst: Regionalt potentialekort (Orbicon, 2009).

Strømningen er mod nordvest. Det lokale billede er i god overensstemmelse med det regionale billede. Det forventes, at oppumpninger lokalt ved Soderup Vandværk og fra de Københavns Energis kildeplads ved Brokilde og Marbjerg kan påvirke strømningebilledet (se afsnit om indvindingszoner).

#### 4.2 Strømningen på lokal skala ved Vadsbyvej 16, 16A og 17.

Grundvandsstrømningen lokalt i kalkmagasinet og det sekundære magasin i moræneleren er nordvestlig baseret på undersøgelser i perioden 2007-2010 udført af Orbicon/DTU Miljø (Figur 8, bilag 4: Potentialebilleder for Vadsbyvej). Det er en justering i forhold til det tidligere potentialekort fra 2007. På det tidspunkt var der meget færre boringer, og specielt var der få boringer i vestlig og nordlig retning i forhold til Vadsbyvej 16A.

Samtidig har en analyse af strømningsforholdene i området vist, at sandmagasinet og kalken kan regnes for sammenhængende og med en meget lille potentialeforskel (se næste afsnit), således at det er muligt at inddrage både data fra sandlaget og kalklaget ved fortolkningen af strømningens retning. Omvendt betyder det, at der ikke kan optegnes separate kort for strømningsforholdene i sand og kalk.

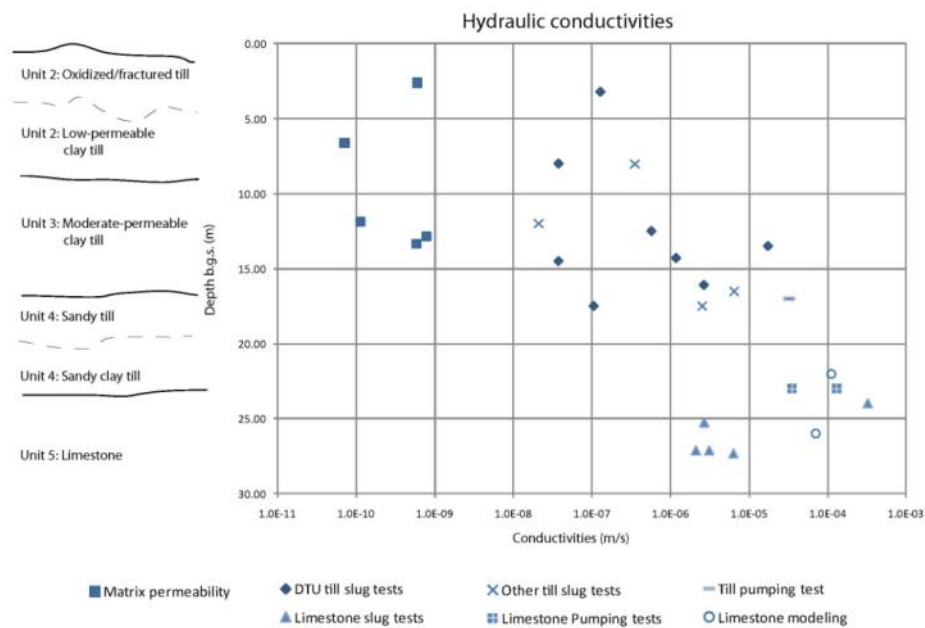
Der er ikke nogen entydig horisontal strømningens retning i den øvre del af moræneleren.

#### 4.3 Hydrauliske parametre

Der er udført hydrauliske test i en række boringer i området (Bilag 5: Hydraulisk ledningsevne). Typiske værdier for moræneleren, sand og kalk er opsummeret i figur 7. Der er en betydelig spredning i værdierne inden for de forskellige geologiske enheder, hvilket ikke er overraskende. Der er på baggrund af figuren valgt repræsentative værdier for de relevante geologiske enheder (afsnit 3.2):

- Moræneler, enhed 3,  $K_{\text{clay}} = 1,3 \cdot 10^{-8}$  m/s
- Sandlag, enhed 4 (sandy till),  $K_{\text{sand}} = 3,2 \cdot 10^{-5}$  m/s
- Silt, enhed 4 (sandy clay till),  $K_{\text{silt}} = 2,0 \cdot 10^{-6}$  m/s
- Kalk, enhed 5,  $K_{\text{kalk}} = 5 \cdot 10^{-4}$  m/s

Disse værdier er anvendt i de hydrauliske beregninger i de senere afsnit i rapporten, men ved vurdering af alle resultater er det vigtigt at huske de store variationer i den hydrauliske ledningsevne.

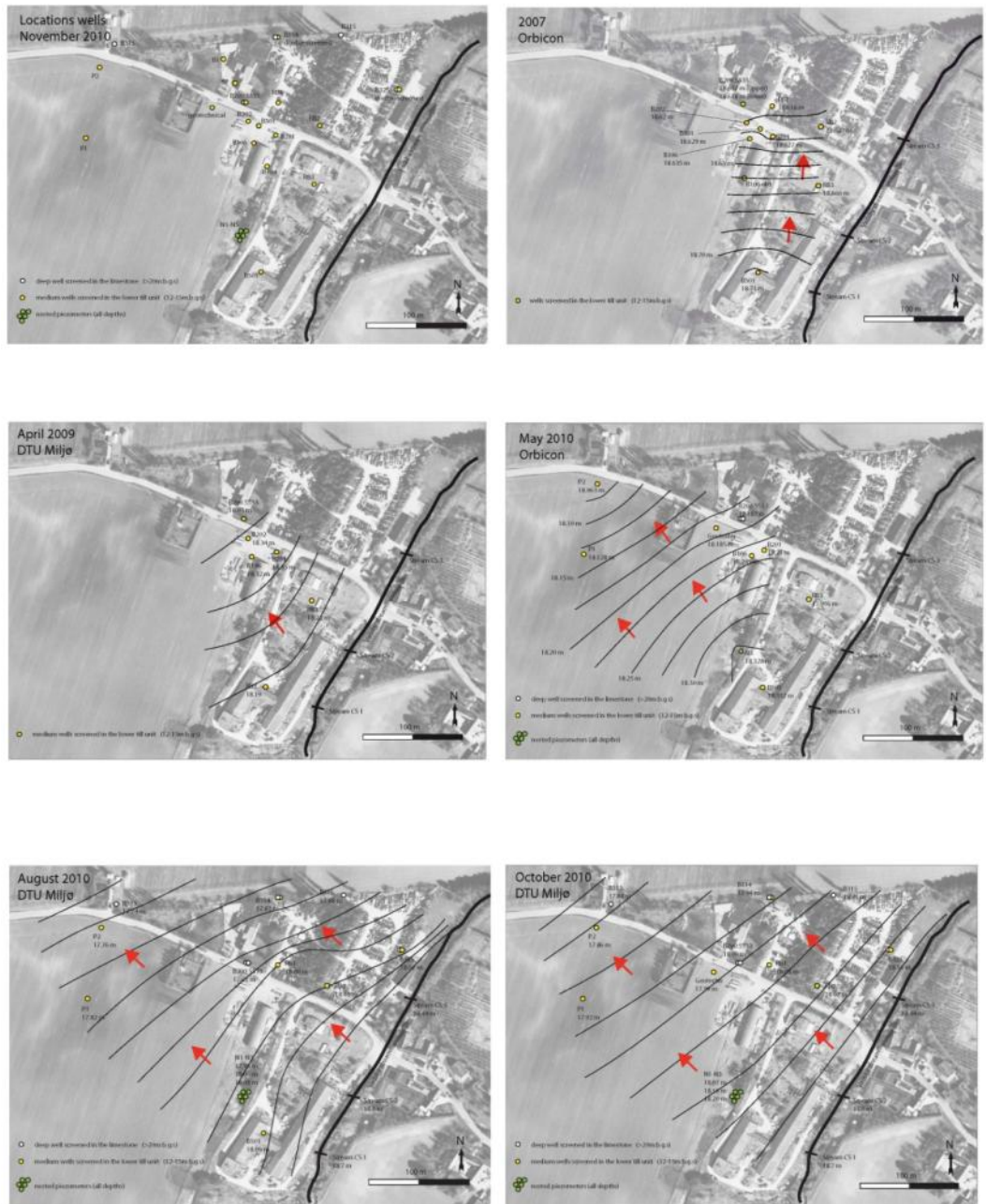


Figur 7: Hydrauliske ledningsevner for de forskellige geologiske enheder målt ved forskellige metoder.

#### 4.4 Hydraulisk samspil mellem sandmagasin, kalkmagasin og Vadsby Å

Samspillet mellem kalkmagasinet og det sekundære magasin i moræneleren er vurderet ved monitoring af vandspejlet med dataloggere i en række boringer i 2010 (Figur 9). Forskellen potentialet mellem de to magasiner er meget lille, hvilket er i overensstemmelse med resultater fra Orbicon (2007). Der er ikke en entydig vertikal retning på den hydrauliske gradient, og der ses både forskelle mellem boringer og over tiden.

Øst for forureningskilderne ligger Vadsby Å, som på baggrund af foreløbige undersøgelser ikke spiller nogen større rolle for de lokale strømningsforhold. Åen antages at være en hydraulisk barriere, da potentialet her er samstemmende med potentialet i sandlaget.



Figur 8: Potentialekort for kalkmagasinet ved Vadsby i perioden 2007-2010.

## 4.5 Indvindingsoplande for vandindvinding

Påvirkningen fra oppumpningen i kalkmagasinet er vurderet ved en analytisk model (bilag 6). Beregningen afhænger af den hydrauliske ledningsevne, den hydrauliske gradient, akvifertykkelsen, og den aktuelle indvinding i kalken. Alle parametre er vurderet på grundlag af de udførte undersøgelser af de hydrauliske forhold (Figur 7).

Beregningerne viser, at Vadsby lokaliteterne for de mest sandsynlige scenarier ikke ligger i indvindingszonen for Vadsby Soderup vandværk med den nuværende oppumpning (figur 10). Valget af de mest sandsynlige scenarier er foretaget på grundlag af en sammenligning med de lokale potentialeforhold ved Vadsbyvej.

Der er for kalkmagasinet ved de mest sandsynlige scenarier brugt en K-værdi, som repræsenterer en højtydende kalk. K-værdien svarer til resultater fra pumpetest i nærliggende områder (figur 7). Der er benyttet en tilsvarende K-værdi i DK-modellen for området. Værdien understøttes også af de geologiske vurderinger, hvor kalken beskrives som stærkt opsprækket. Samtidig viser simuleringer med lavere værdier, at der sker en ophobning af vand lokalt med realistiske nedbørmængder.

Vadsbyvej lokaliteterne ligger til gengæld inden for indvindingsoplandet for Brokilde og Marbjerg kildepladser (figur 3, bilag 6) med den nuværende indvinding på disse kildepladser. Beregningerne er dog stærkt afhængige af de konkrete parametre. Som det er beskrevet tidligere, er geologien vest for Soderup kompliceret og ikke særlig veldokumenteret, så disse resultater skal ikke overfortolkes.

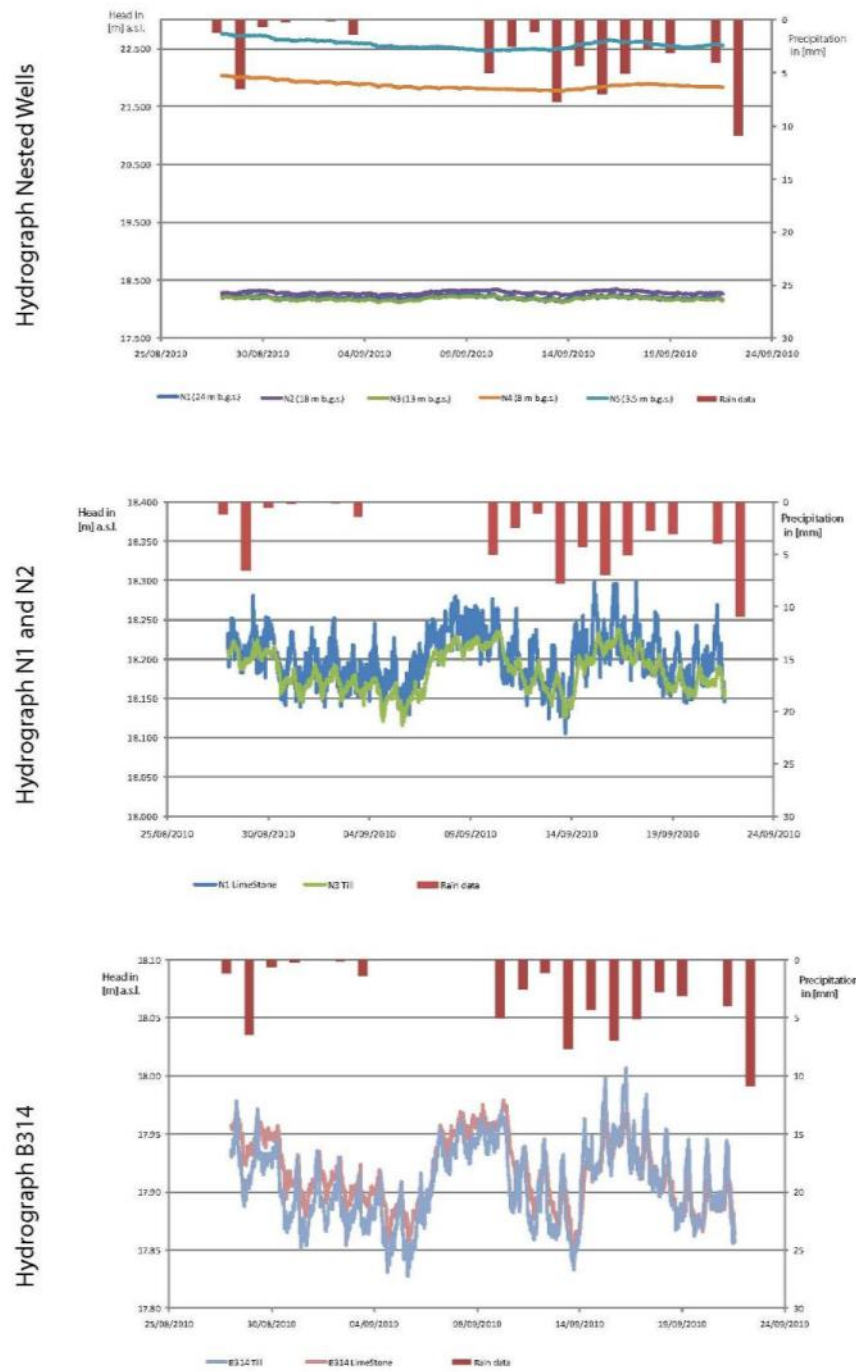
## 4.6 Aldersdatering af grundvand

Aldersbestemmelse af grundvandet ved Vadsby lokaliteten er blevet udført med CFC metoden, der kan anvendes for grundvand dannet efter 1940. Seks borer blev udvalgt for aldersbestemmelse ud fra kendskabet til vandkemien. Borer med et væsentlig methanindhold blev ikke medtaget, da methandannelse markerer stærkt reducerende forhold, hvorunder CFC forbindelser nedbrydes helt eller delvis, og CFC metoden derfor ikke anses for velegnet.

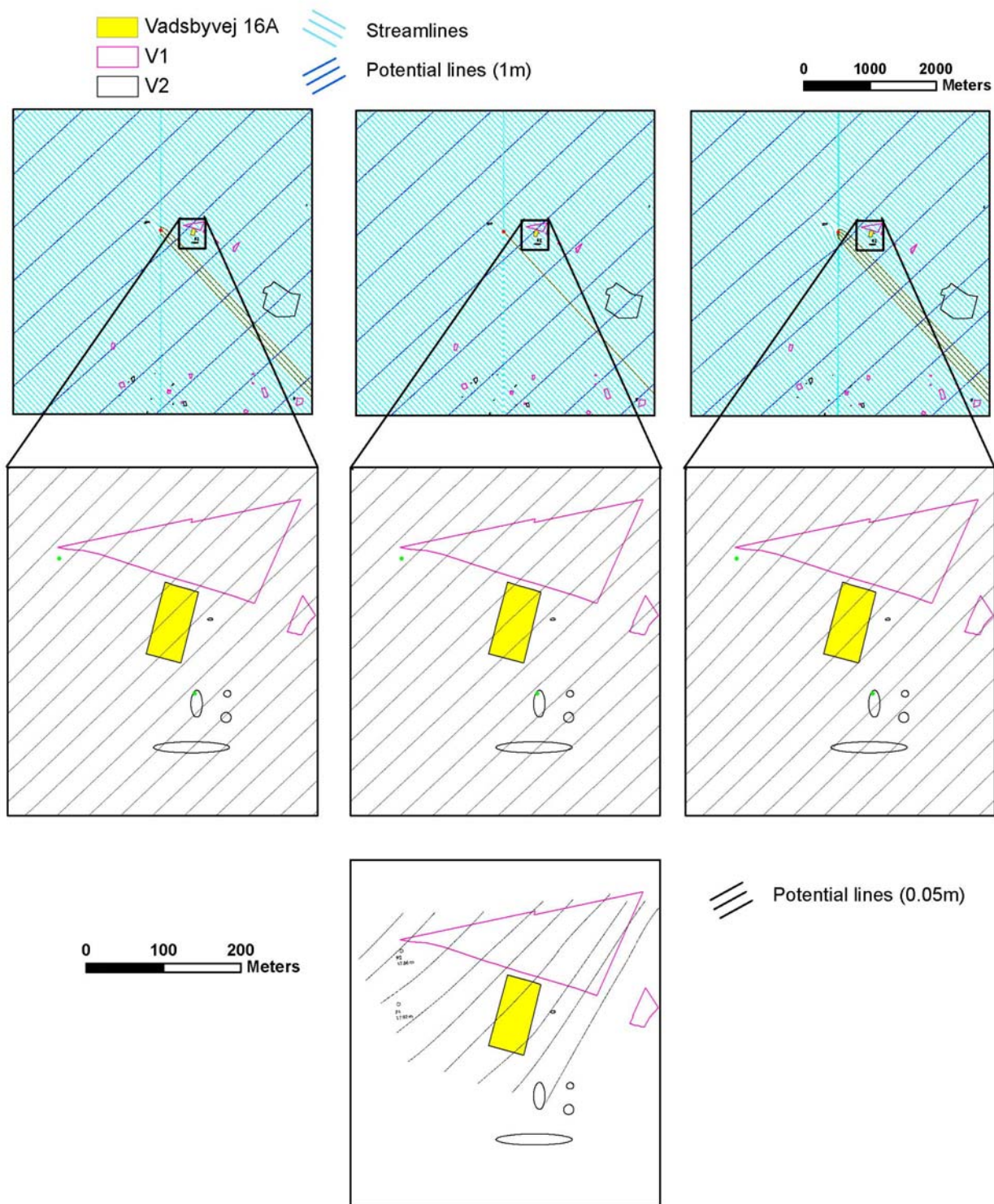
Forseglede prøver for CFC analyse blev udtaget 26.-27. oktober 2010 og analyseret i GEUS' CFC laboratorium. Den beregnede alder på basis af CFC koncentrationerne lå mellem 40 og 70 år (bilag 7). En enkelt boring viste en alder på mere end 70 år, hvilket var overraskende i betragtning af, at der i samme boring var fundet spor af forurening, der ikke kan dateres mere end 40 år tilbage. Den mulige forklaring på dette paradoks kan være grundvandets strømningsmønster i opsprækket jordlag, som det er diskuteret i bilag 7. Dette har dog ikke været muligt at verificere ved den aktuelle undersøgelse.

CFC-dataene har derfor desværre ikke kunne bruges til at beskrive stoftransporten mellem moræneleren og kalkmagasinet.





Figur 9: Potentialeforhold i sandlag og kalk for tre forskellige borer.



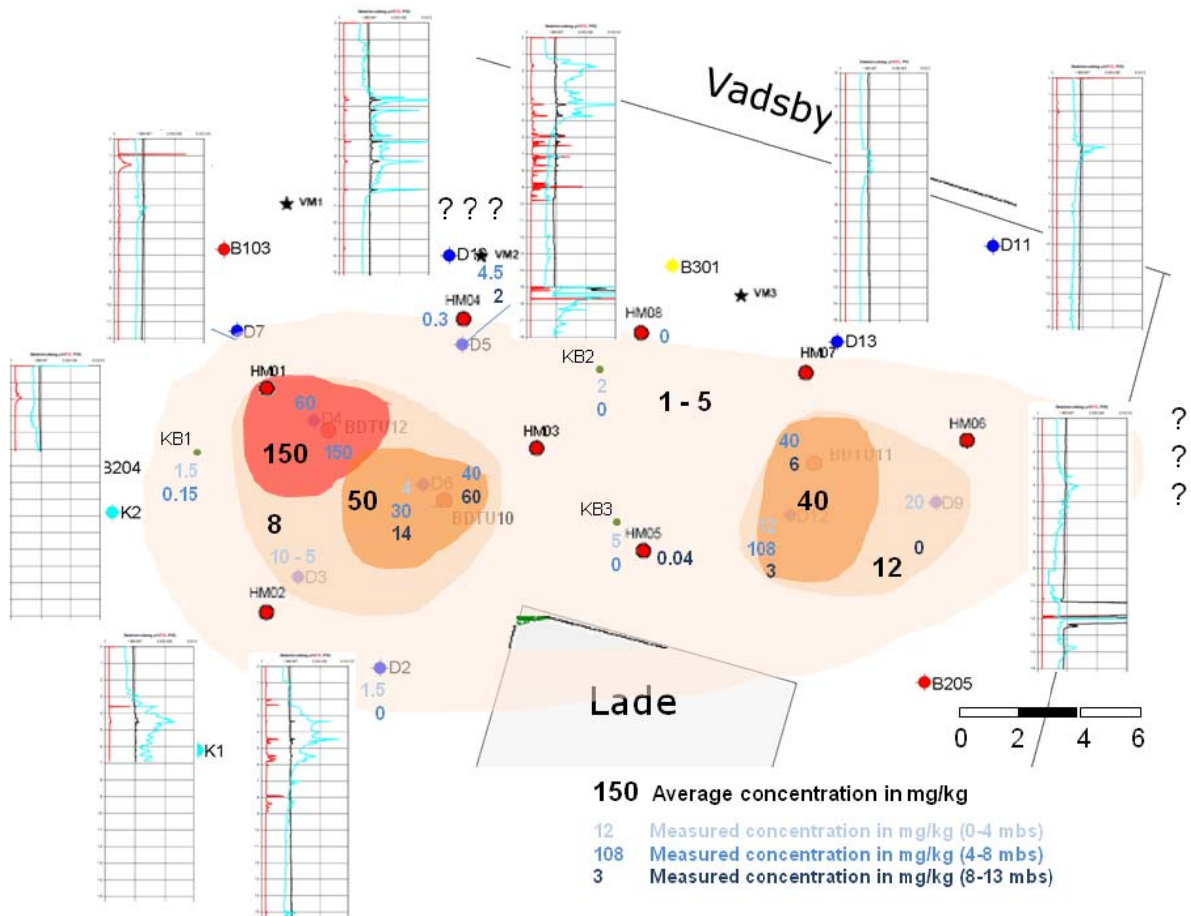
Figur 10: Indvindingsopland for Soderup Vandværk inklusiv sammenligning med det observerede potentialebillede lokalt ved Vadsby i efteråret 2010. De tre øverste figurer viser simuleringer med de mest sandsynlige parametre. Det fremgår, at Vadsby lokaliteterne ikke ligger i indvindingsoplandet for Soderup Vandværk. De tre midterste figurer er forstørrelser af de øverste figurer lokalt omkring Vadsbyvej lokaliteterne. Ved sammenligning med den nederste figur, som viser målte potentialer, fremgår det, at de simulerede potentialebilleder svarer godt med det observerede potentialebillede.

## 5 Forureningskemi på Vadsbyvej

### 5.1 Forureningskemi i kildeområdet for Vadsbyvej 16A

Der er lokalt på Vadsbyvej 16A et omfattende datasæt for forureningskemi i moræneleren. Undersøgelserne er rapporteret i tidligere undersøgelser (Region Hovedstaden 2007 og 2009a,b). Formålet med revurderingen i denne rapport er at skabe et overblik over forekomsten og især fordelingen af de chlorerede opløsningsmidler i kildeområdet, så den kan sammenholdes med forureningsens sammensætning nedstrøms.

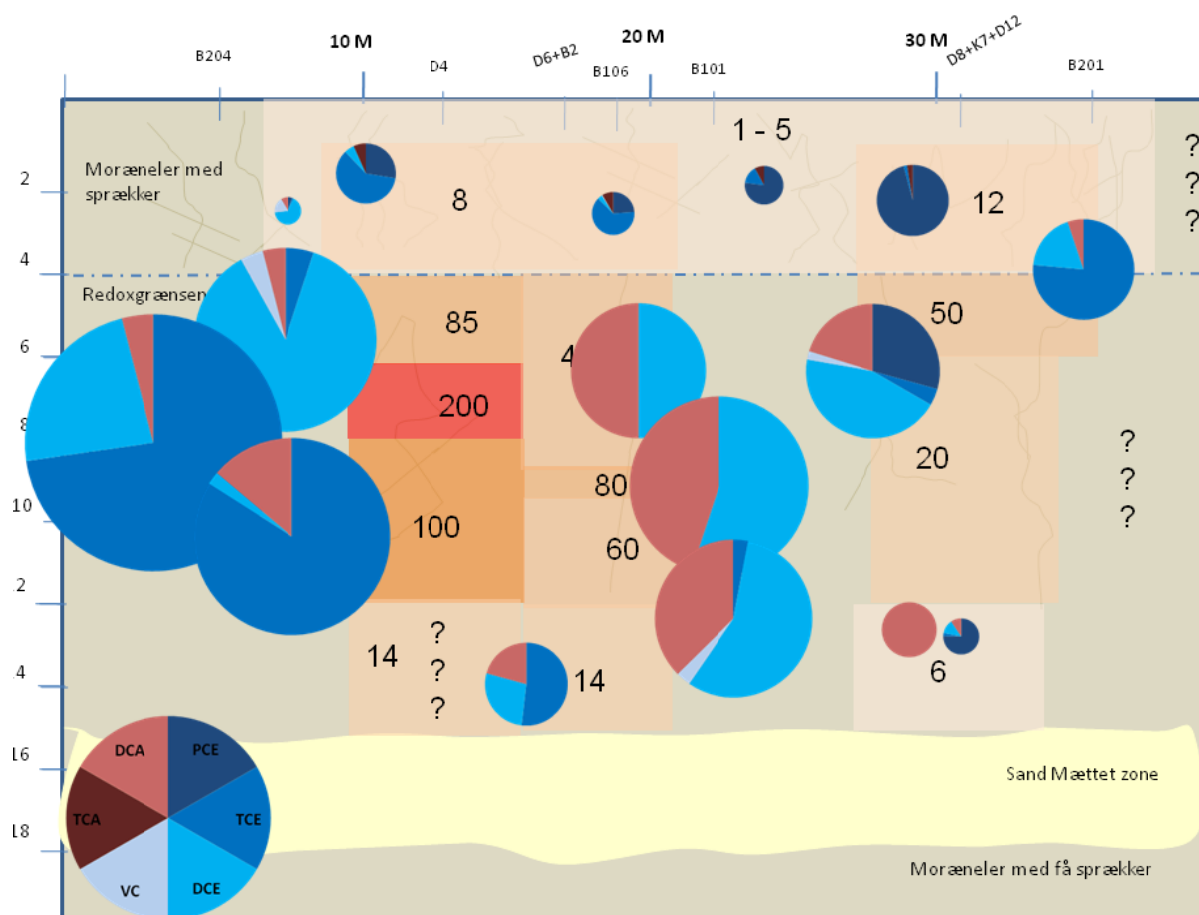
Der er foretaget en gennemgang af data, som også inddrager data fra DTU Miljøundersøgelser i kildeområdet (Bilag 7). De nye data understøtter tidligere data og giver ikke anledning til en væsentlig ændret opfattelse af forureningskilden (Figur 11). Forureningskilden er velafgrænset mod syd og vest. Der er lidt tvivl om afgrænsningen mod nord omkring D5 og D10 og mod øst, hvilket i forhold til den termiske oprensning kan have betydning. Orbicon udfører supplerende undersøgelser for at afklare dette.



Figur 11: Koncentrationer i forureningskilden og afgrænsning horisontalt på Vadsbyvej 16A.

Forureningskilden har en meget kompleks sammensætning med hensyn til chlorerede ethener og ethaner (Figur 12). Der er en meget stor lokal variation i både horisontal og vertikal retning. Over redoxgrænsen er koncentrationerne lave og domineres af moderprodukterne PCE og TCE. I det vestlige hot spot område under redoxgrænsen er TCE og cis-DCE dominerende, Der er en relativ mindre forekomst af DCA, men på grund af de meget høje koncentrationer er forekomsten dog stadig væsentlig.

I det østlige hot spot område er koncentrationerne lavere. PCE og nedbrydningsprodukter - DCA og cis-DCE - er dominerende under redoxgrænsen. Sammensætningen af det østlige hot spot er med de seneste undersøgelser blevet væsentlig mere kompliceret, da det tidligere blev antaget, at det østlige hot spot bestod mest af PCE (Orbicon 2007, 2009). Denne vurdering var primært baseret på boring D12. Vinylchlorid er fundet i begge hot spot områder, men koncentrationerne er lave. På grund af den højere mobilitet vil nedbrydningsprodukterne generelt være mere kritiske i forhold til det underliggende grundvand.



Figur 11: Sammensætning af forureningen (massefraktion) i kildeområdet på Vadsbyvej 16A. Tallene angiver summen af chlorerede ethener og ethaner i mg/kg i forskellige områder. Cirklerne viser fordelingen af chlorerede ethener og ethaner.

## 5.2 Forurening i sekundært sandmagasin

Eksisterende og nye data er sammenstillet i dette afsnit. Der er etableret en samlet database med data. Der er anvendt DGU-numre ved optegninger, hvis boringen har et DGU-nummer. Sammenhængen mellem DGU numre og navne fra tidligere rapporter fremgår af tabel 1.

Der er en tydelig forureningspåvirkning af det sekundære sandmagasin (Bilag 9). I figur 13 og 14 er de chlorerede ethener og ethaner optegnet for data fra efteråret 2010. Overordnet er data fra 2007 og 2009 bekræftet, men datasættet fra efteråret 2010 er det mest komplette.

Boring 200.5533-2 er den mest centrale boring nedstrøms kilden med de optegnede potentialekort for 2010 (Figur 8). Forekomsten af PCE er betragtelig i VM3 (990 µg/L), hvilket er lidt overraskende i betragtning af forureningskildens sammensætning. PCE findes også i større afstand fra forureningskilden i boring 200.6060, men ikke i de mellemliggende boringer (fx 200.5533-2). TCE er markant i alle VM boringer, og igen er koncentrationerne højest i VM3 (690 µg/L). cis-DCE afspejles i alle VM-boringer, men kun i meget begrænset omfang i større afstande. Vinylchlorid er den eneste af de chlorerede ethener, som kan genfindes i 200.5533-2 over 1 µg/l (og kun i 2007).

TCA findes kun i VM 3 og kan ikke tydeligt sammenkædes med forureningen i moræneleret i modsætning til DCA. TCA genfindes heller ikke i større afstand fra forureningskilden. DCA findes i alle VM boringer og i to nedstrømsboringer (200.5533-2; 200.5830). CA er observeret i lave koncentrationer nedstrøms kilden.

Strømningsretningen mod nordvest understøttes af målingerne i de 5 VM boringer. VM0 fanger forureningen fra det vestlige hotspot. Der er samlet set en meget markant forekomst af PCE, TCE og DCA i VM3, som kunne tyde på et østligt hotspot, som ikke er lokaliseret. Dette er under afklaring af Orbicon.

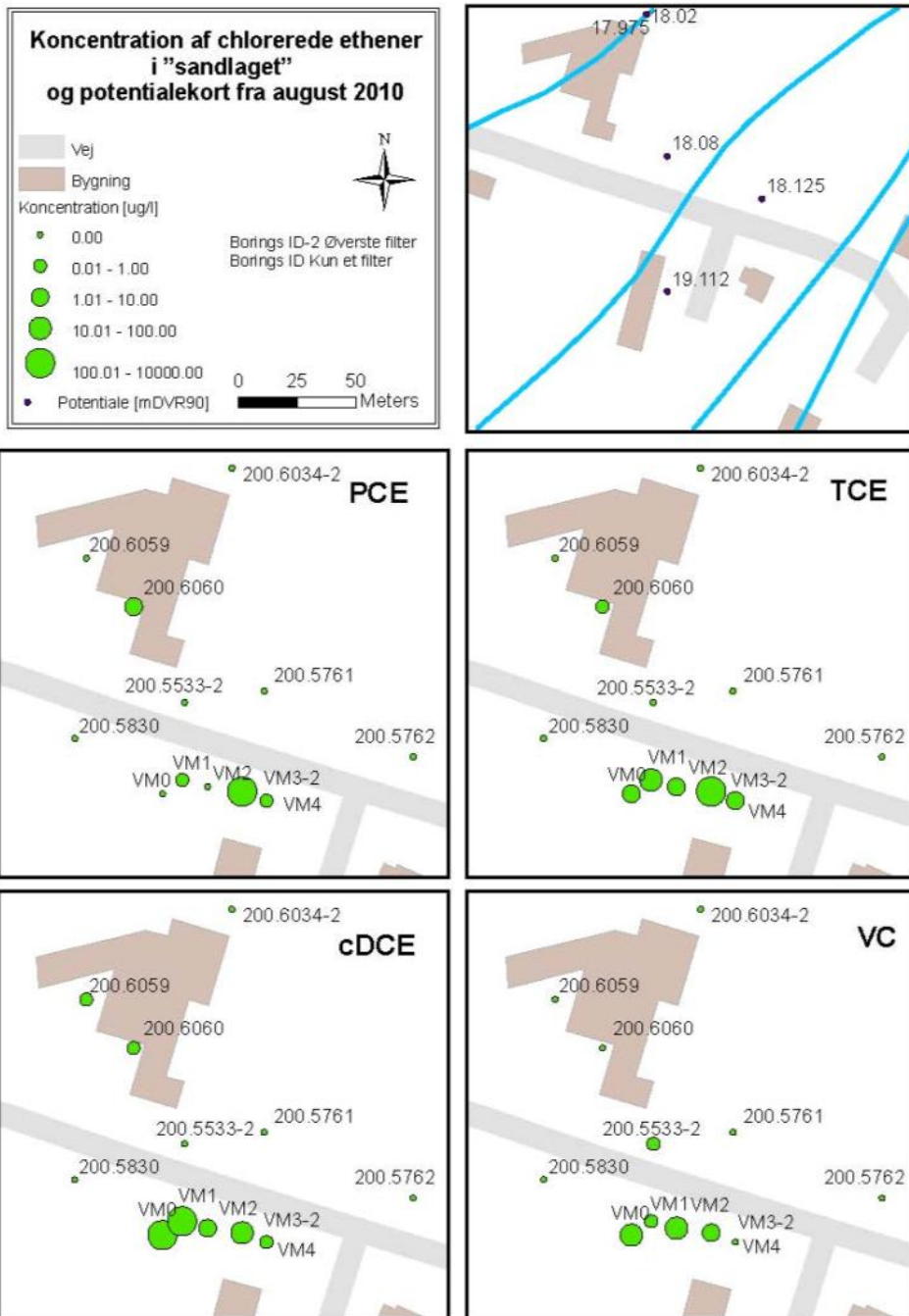
Der har ikke været foretaget monitoring på lokaliteten, så der er ikke tidsserier for de enkelte boringer. I boring 200.5533-2 er der udført 4 målerunder (figur 15 og 16), som viser meget varierende koncentrationer. Det er meget svært at fortolke disse variationer. Det mest bemærkelsesværdige er, at der er i 2007 er målt 20 µg VC/L, hvilket ikke er genfundet ved monitoring i 2009 og 2010. Det vurderes at skyldes reelle variationer i koncentrationerne.

Redoxforholdene i forureningskilden er vurderet. Der er jernreducerende forhold og tegn på sulfatreduktion i selve moræneleren. Der er sporadisk forekomst af methan, som også tyder på stærkt reducerede forhold. Generelt er der jernreducerende forhold i sandlaget. Sulfatkoncentrationerne i kalken er højere end i sandlaget. Methan er observeret i både sandlag og kalken i lave koncentrationer.

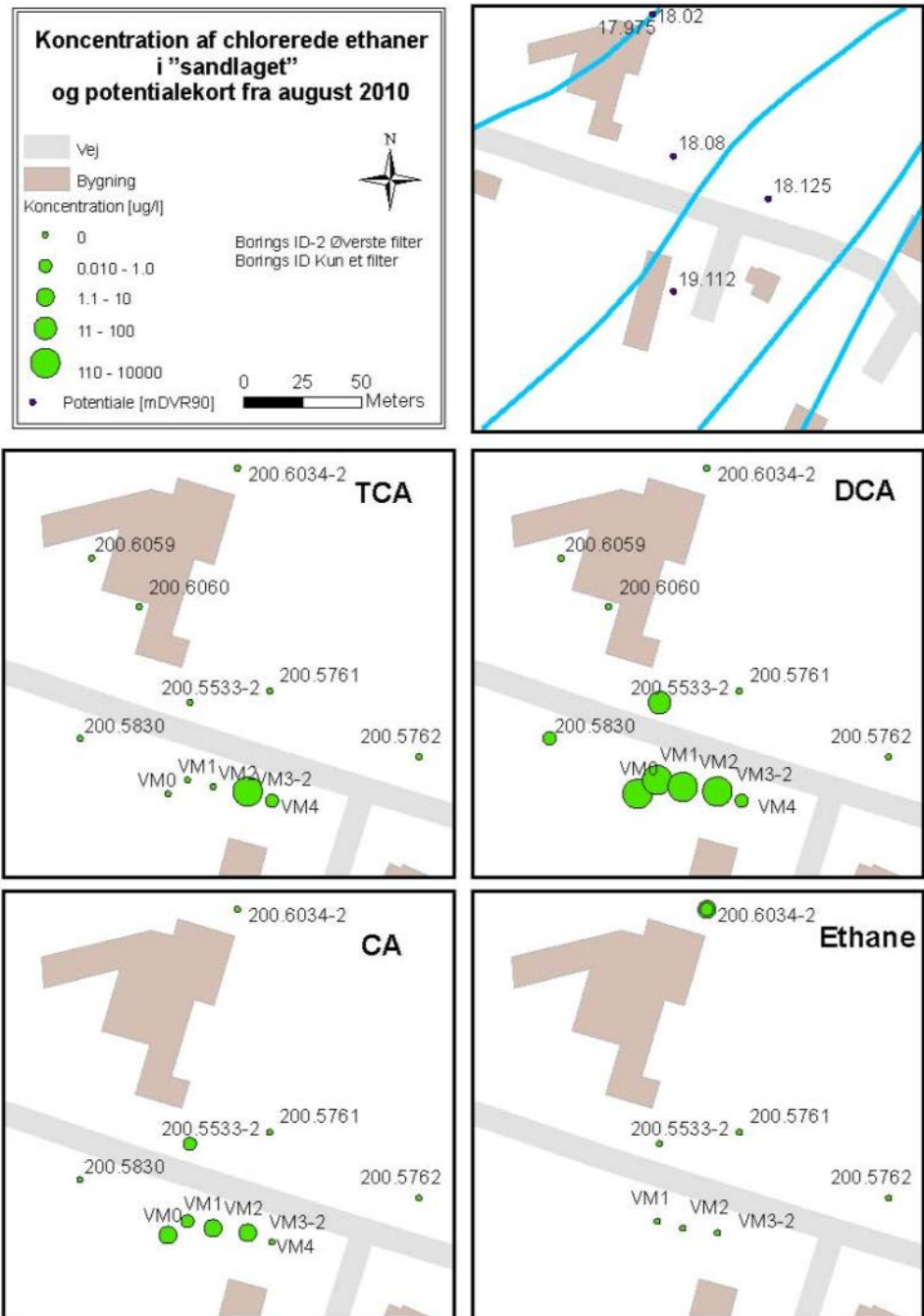
Der er fundet høje forekomster af vandblandbare organiske stoffer i moræneleren i kildeområdet både af Orbicon i 2007 og ved senere undersøgelser af DTU Miljø. Koncentrationerne er klart højest i det vestlige hot spot, hvilket også afspejles i større grad af dechlorering i dette hot spot. Disse forhold kan ikke umiddelbart relateres til redoxforholdene i sandlagene, hvor der heller ikke er fundet forhøjede koncentrationer af NVOC (Orbicon, 2007)

Nedbrydning af cis-DCE til VC og DCA til CA er sandsynlig i kildeområdet. Det kan være en forklaring på forekomsten af VC og CA. Modellering af spredningen fra moræneleren har vist, at VC efter dannelse vil spredes hurtigst.

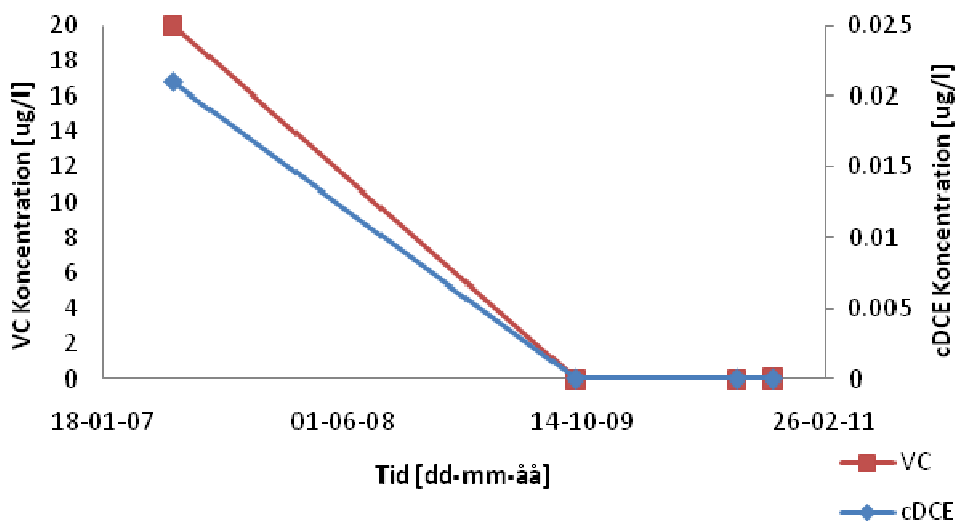




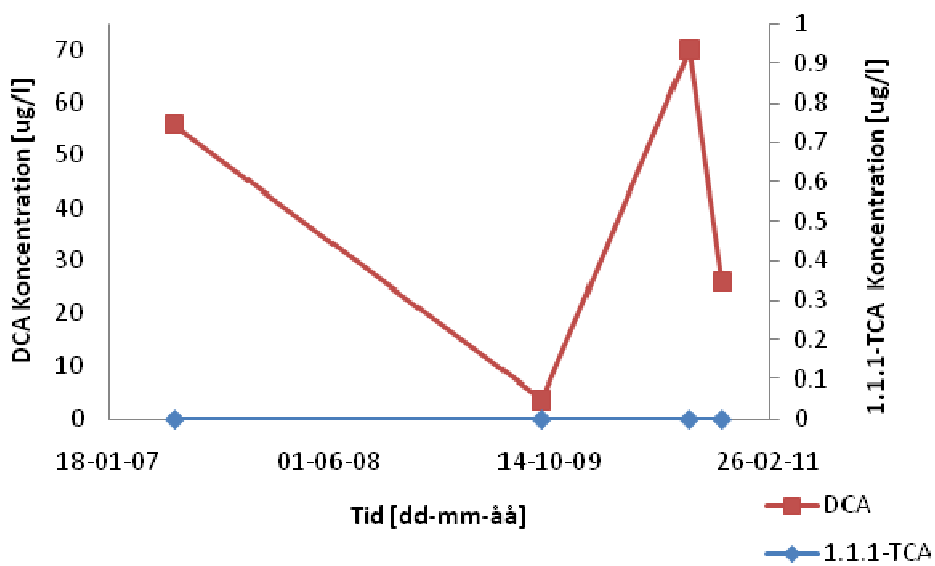
Figur 12: Chlorerede ethener i sandlag, august 2



Figur 13: Chlorerede ethaner i sandlag, august 2010



Figur 14: Tidsmæssig variation for cis-DCE og vinyl chlorid i sandmagasinet for boring 200.5533-2.



Figur 15: Tidsmæssig variation for 1,1,1-TCA og DCA i sandmagasinet for boring 200.5533-2.



### 5.3 Forurening i kalkmagasin

Der er ikke målt betydende forurening i kalkmagasinet ved lokaliteterne i området. Alle koncentrationerne er under eller lige over detektionsgrænserne (0,02 µg/L for akkrediterede analyser).

Der er observeret fund i boringer i nordvestlig retning, men niveauerne er så lave og fundene så spredte, at en fortolkning af strømningsretning ikke er mulig. Det er heller ikke sandsynliggjort, at der er en egentlig forureningsfane i kalken.

### 5.4 Vadsby Å

Målinger i Vadsby Å i sommeren 2010 viste ingen påvirkning af vandløbet med chlorerede opløsningsmidler.

## 6 Sammenstilling af forureningsbilledet på lokal skala

Forureningskemi og formodet stofspredning mod kalkmagasinet er sammenstillet for at vurdere spredningsveje. Forureningen i det sekundære sandmagasin vurderes primært at stamme fra kildeområdet på Vadsbyvej 16A. Der er store lokale forskelle i kildeområdet, så forureningsfane består af en række delfaner med forskellig sammensætning. Det gør en entydig fortolkning af spredningsveje meget vanskelig, når der samtidig er tale om et meget komplekst system rent strømningsmæssigt.

De mest betydende stoffer i forureningskilden er TCE, cis-DCE og DCA, som alle genfindes i sandlaget. På grund af dens højere mobilitet forekommer VC i lavere, men dog betydende koncentrationsniveauer. Det er til gengæld overraskende, at PCE findes i så høje koncentrationer i borerne tæt på forureningskilden (VM 3).

### 6.1 Beregning af forureningsflux

Orbicon har tidligere beregnet forureningsfluxen i sandlaget. Der blev benyttet to metoder:

- Niveauspecifik prøvetagning
- Volumenpumpning i boring 202

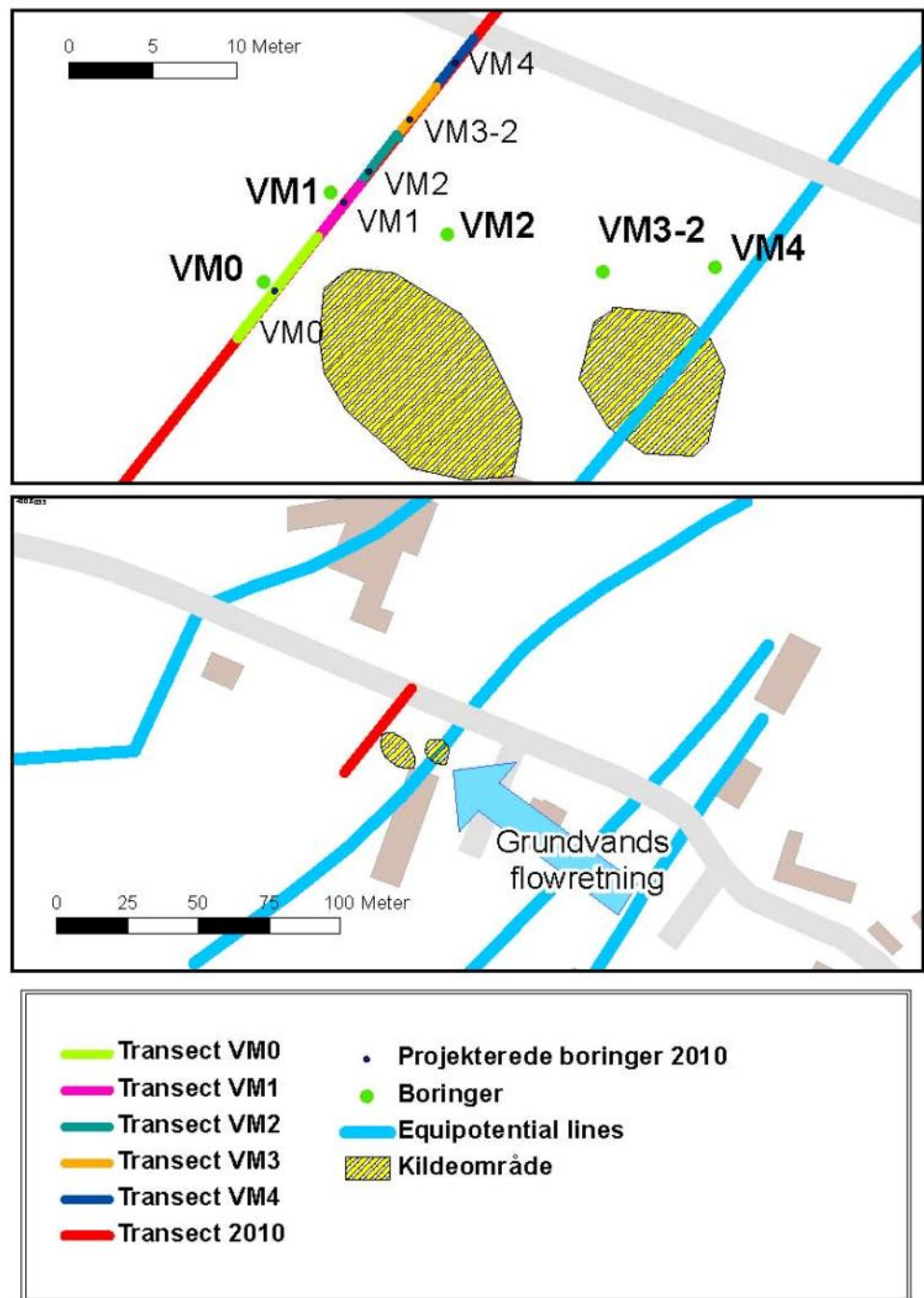
Resultaterne viste en samlet forureningsflux for chlorerede opløsningsmidler på ca. 8-20 g/år. Beregningerne kan forfines, da der nu er nye data fra borerne i sandmagasinet (VM 0-4). De nye borer er placeret med henblik for beregning af forureningsflux (omkransende kildeområdet). Ideelt set skal fluxen beregnes på et tværsnit vinkelret på strømningsretning. I 2007 var den antagede strømningsretning nordlig, mens den i 2010 er nordvestlig. Der er derfor valgt at udføre to beregninger (tabel 2, figur 16):

- En beregning med 2010 koncentrationer, som er identisk med beregningen fra 2007 (samme hydrauliske parametre, nordlig strømningsretning)
- En ny beregning med nordvestlig strømningsretning og opdaterede hydrauliske parametre.

**Tabel 2: Beregning af forureningsflux i sandlaget nedstrøms Vadsbyvej 16A.**

	Areal	C <sub>total</sub>	K	I	Forureningsflux
Enhed	m <sup>2</sup>	ug/l	m/s	-	g/år
Orbicon, 2007	52.4	2464	3,0 10 <sup>-5</sup>	0.0007	21
Orbicon opdateret 2010	42.3	4927	3,0 10 <sup>-5</sup>	0.0007	44
Fluxberegning 2010, Chlorerede totalt	32.3	4927	3,2 10 <sup>-5</sup>	0.0015	54
Fluxberegning 2010, Chlorerede ethener	32.3	2213	3,2 10 <sup>-5</sup>	0.0015	27
Fluxberegning 2010, Chlorerede ethaner	32.3	2715	3,2 10 <sup>-5</sup>	0.0015	27

C<sub>total</sub> angiver summen af chlorerede opløsningsmidler



Figur 16: Placering af borer og beregning af forureningsflux i sandlaget.

Resultaterne viser, at der ikke er markante forskel mellem de forskellige fluxberegninger. Den samlede flux er stærkt afhængig af den valgte hydrauliske ledningsevne. Der er i 2007 og 2010 valgt næsten samstemmende K-værdier.

Den samlede flux har på den baggrund en størrelsesorden på 20-50 g/år for summen af chlorerede opløsningsmidler. Der er nogenlunde en ligelig fordeling mellem chlorerede ethener og ethaner.

Den samlede flux for enkeltstoffer kan også beregnes. I forhold til senere vurderinger af forekomsten på Soderup Vandværk er det interessant at kende fluxen af PCE. Den er beregnet til ca. 12 g/år, og stammer udelukkende fra bidrag omkring boring VM3.

## 6.2 Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet

Der er tidligere foretaget en modellering af udsivningen fra kildeområdet til det underliggende sandlag (Chambon et al., 2009). Modelleringen blev kun foretaget for chlorerede ethener med en model, som tog højde for sprækketransport. Der var en række interessante konklusioner for udsivningen, hvis der ikke blev foretaget indgreb:

- Tidshorizonten for udsivningen var ca. 2000 år
- VC bliver udvasket hurtigst og klinger derefter af
- Den resulterende koncentration af VC i sandlaget ville være omkring 1 mg/L i en meget lang årrække

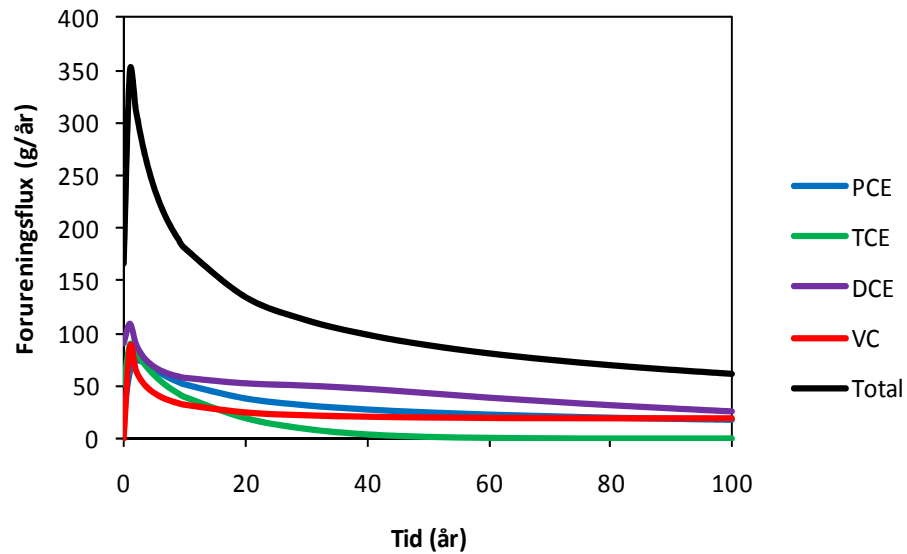
Der er i modellen brugt en forureningsmasse og -sammensætning baseret på Orbicon (2007, 2008). Den samlede masse af chlorerede ethener var estimeret til ca. 85 kg (uden forekomst af mobil fri fase og uden forurening over redoxgrænsen). Forureningen er opdelt i to hotspot med ca. 40 kg forurening i hvert hot spot. Forureningsmassen er lavere end tidligere estimater og lavere end den opsamlede mængde af chlorerede opløsningsmidler ved den termiske oprensning på lokaliteten (se bilag 8).

I modellen var det antaget, at der skete langsom nedbrydning i det vestlige hotspot, hvor nedbrydningsprodukter som DCE og VC var fundet, mens der ingen nedbrydning skete i det østlige hot spot. Der blev regnet med en nettonedbør på 80 mm.

Der blev i Chambon et al. (2009) kun angivet fluxberegninger for vinylchlorid, som var dimensionsgivende for en afværgeløsning med reduktiv dechlorering. Resultaterne fra Chambon et al. (2009) er her gengivet for alle chlorerede ethener (figur 17). Den nuværende forureningsflux er antaget at forekomme omkring 10-30 år på grafen. Beregningen viser omkring 150 g/år for summen af chlorerede ethener (PCE, TCE, DCE and VC). Det kan sammenholdes med den målte flux på ca. 25 g/år for chlorerede ethener.

Det er af samme størrelsesorden, og sammenholdt med den meget heterogene kilde, og de stærkt variable koncentrationer i VM borerne er det en tilfredsstillende sammenhæng.

Det kan på baggrund af disse beregninger ikke afgøres, om der er sket fuldt gennembrud fra forureningen i moræneleren ned i sandlaget. Der er tydeligvis sket gennembrud af forureningen i visse områder, men da forureningens masse og fordeling stadig er meget usikker, giver det ikke mening at forfine modellens fluxberegninger yderligere.



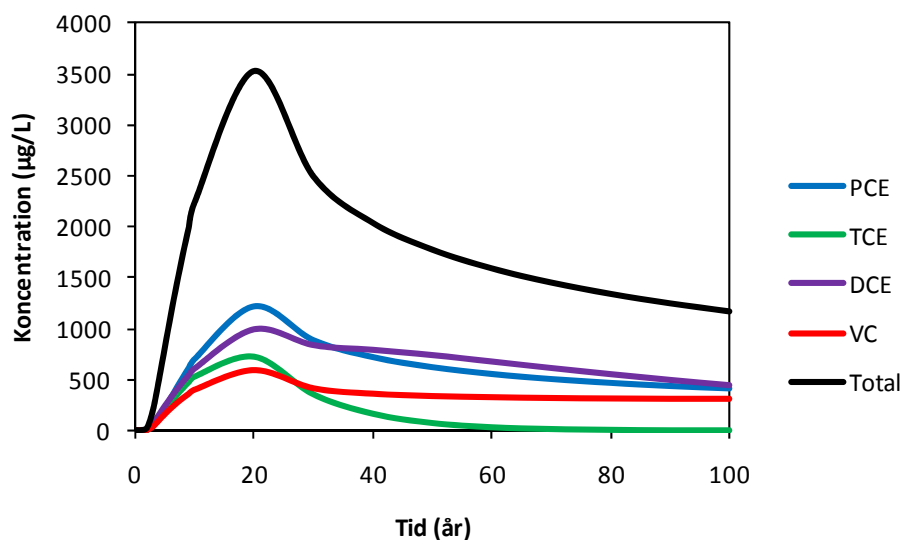
Figur 17: Forureningsfluxen fra moræneleren ned i sandlaget for de to kildeområder med en opdateret version af modellen fra Chambon et al. (2009).

En afgørende faktor for udvaskningens hastighed, og de resulterende koncentrationer i det underliggende sandlag er nettonedbøren, samt de hydrauliske parametre for sandlaget. Der er foretaget en opdatering af modellen med de nye værdier fra denne undersøgelse. Nettonedbøren er sat ned fra 80 til 50 mm (se afsnit 6.3), mens  $K_{\text{sand}} = 3.2 \cdot 10^{-5}$  m/s og den hydrauliske gradient = 1,5 ‰. I denne modelopsætning er det antaget, at der ikke er nogen flux fra sandlaget til kalken.

I Figur 18 er de resulterende koncentrationer i sandlaget optegnet. Den nuværende situation svarer igen til omkring 10-30 år, hvor der observeres fuldt gennembrud. Det er interessant, at de målte koncentrationer for PCE og TCE i VM3 er sammenlignelige med modelresultaterne (ca. 1 mg/l). De målte koncentrationer for cis-DCE og VC er markant lavere end de simulerede. Det er særlig markant for VC, hvor koncentrationerne i VM0-4 er en faktor 100 lavere end i modellens simuleringer. Og det er på trods af, at man ville forvente det hurtigste gennembrud for VC.

Der kan ikke laves en sammenligning for de chlorerede ethaner med modellens resultater. Den målte flux er tæt på at være identisk for chlorerede ethener og ethaner. De tidligere beregninger af forureningsmassen var lavere for chlorerede ethaner, så en evt. modelberegning af den samlede flux ville blive lavere. Lokalt er der dog fundet områder med betydelige koncentrationer af fx DCA. En beregning fra sådan et område ville sandsynligvis give niveauer for DCA, som de der er målt i VM 2 (1300 µg/L). Data fra 2007 for DCA (fx boring 301) er i samme koncentrationsniveau som data fra VM 1-3, mens de øvrige koncentrationer i 2007 var lavere.

I forhold til observationer for PCE, TCE og DCA er koncentrationsniveauet altså sammenligneligt i modelsimuleringerne og i nogle af VM borerne. Det kunne tyde på, at der reelt er sket et næsten fuldt gennembrud af chlorerede ethener og ethaner til sandlaget i visse områder. Det kan ikke forklares, hvorfor de målte VC koncentrationer ikke er højere. Noget tyder dog på, at den simulerede nedbrydning ved reaktiv dechlorering er overvurderet i modellen. Der er også indikationer på, at der tidligere har været højere niveauer af VC nedstrøms, hvilket understøtter modelresultaterne. I 2007 er der målt VC i boring 200.5533-2, som ikke genfindes siden. I boring 200.5773 er der også målt VC i samme niveau.



Figur 18: Koncentration i sandlaget under kildeområdet med modellen fra Chambon et al. (2009).

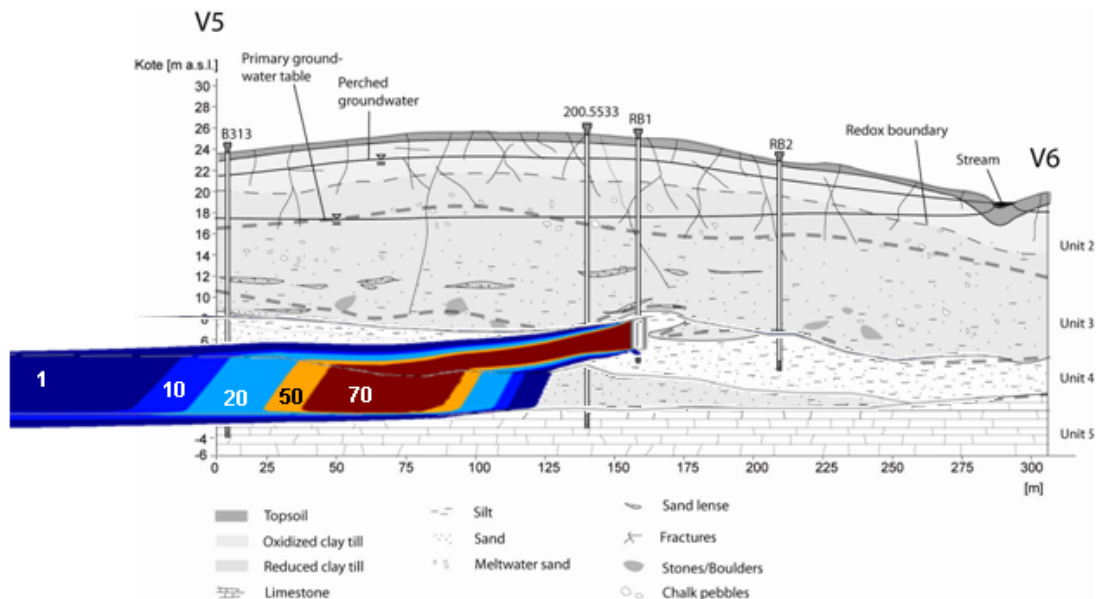
### 6.3 Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet

Vurderingen af transporten i sandmagasinet og videre til kalkmagasinet er foretaget ved at opstille en lokal model for stoftransporten i sandlaget, siltlaget og kalkmagasinet (Bilag 10). Geologien er baseret på figur 5. Et eksempel på en simulering er vist i figur 19, med de mest sandsynlige hydrauliske parametre:

- Netto nedbør 50 mm/år
- $K_{\text{sand}} 3.2 \cdot 10^{-5}$  m/s
- $K_{\text{silt}} 2 \cdot 10^{-6}$  m/s
- $K_{\text{kalk}} 5 \cdot 10^{-4}$  m/s
- Horisontal hydraulisk gradient 1.5‰

Beregningerne viser, at spredningen til kalkmagasinet er stærkt afhængigt af nettonedbør, som kontrollerer den vertikale transport i sand- og siltlager. Hurtigt gennembrud og høje koncentrationer i kalken vil ske ved høj nedbør (50-100 mm/år).

Der vil med de valgte hydrauliske parametre ske en fortynding af koncentrationerne i kalkmagasinet på en faktor 8-1000. Koncentrationerne i kalken vil dermed være ca. 1/8 til 1/1000 reduceret i forhold til koncentrationerne i sandet ved fuldt gennembrud. Tidspunktet for fuldt gennembrud varierer fra 10 år og opefter, så der er mange scenarier, hvor der ikke opnås gennembrud inden for en periode på 100 år. For det mest sandsynlige scenario (Figur 19), vil koncentrationerne i kalken være ca. 1/10 reduceret i forhold til koncentrationerne i sandet, og gennembrud til kalken vil ske efter ca. 25 år.



Figur 19: Stofspredning fra sandlaget mod det underliggende kalkmagasin (Koncentration i % af koncentrationen i sandlaget ved boring 200.5533).

Disse simuleringer kan ikke valideres, da der reelt set ikke er væsentlig fund af chlorerede opløsningsmidler i kalkmagasinet. Det kan hævdes, at det er en form for validering, at der ikke bliver fundet chlorerede opløsningsmidler i kalken, men omvendt er strømningsvejene så komplicerede, at det er en overfortolkning. Det er tydeligt, at strømningshastigheden i sandlaget er meget langsom for de fleste scenarier (typisk få m/år). Gennembruddet til kalken vil ske lige under kilden for de diffusionsdominerede scenarier, men der vil være en væsentlig horisontal transport i de advektionsdominerede scenarier. I eksemplet i figur 20 går der ca. 50 m, før stofferne når ned i kalkmagasinet. Placeringen af en kalkboring, som skal opfange et gennembrud, er derfor vanskelig. En placering for tæt på kan betyde, at de chlorerede ethener ikke er kommet ned i kalken. En placering i for stor afstand, øger risikoen for, at strømningsretningen fejlvurderes. Ikke mindst da der må forventes et kompliceret strømningsmønster i den opsprækkede kalk.

## 7 Effekt af oprensning

Der vil være en gunstig effekt af oprensningen på Vadsbyvej 16A, da der er en tydelig sammenhæng mellem forureningskilden ved Vadsbyvej 16A, og forureningen i sandlaget. Der kan ved oprensningen forventes en væsentlig reduktion af de nuværende koncentrationer i sandlaget, da koncentrationerne tæt ved forureningskilden for PCE, TCE og DCA afspejler koncentrationer, som er sammenlignelige med fuldt gennembrud fra selve kildeområdet i moræneleren til sandlaget.

Effekten af oprensningen vil ikke være umiddelbart synlig, da transporttiden fra forureningskilden til sandlaget er lang, så det vil tage ca. 20 år før den fulde effekt kan observeres.

Vadsbyvej 16 og 17 vurderes ikke at give et betydeligt bidrag til forureningen af det sekundære sandmagasin.



## 8 Forurening af Soderup Vandværk

### 8.1 Risikovurdering for Soderup Vandværk

Soderup Vandværk havde en årlig indvinding på 9.620 m<sup>3</sup> i 2009. Indvindingstilladelsen er på 16.500 m<sup>3</sup>. Vandværket har kun en boring i drift (DGU nr. 200.430).

Der er fundet chlorerede opløsningsmidler i boring 200.430 siden november 2004. Boringen er filtersat i kalken (figur 5) Koncentrationerne har varieret lidt, men det generelle niveau har været 1-2 µg/L PCE. TCE har systematisk været lavere (ca. 0,05 µg/L). Der er ikke observeret andre chlorerede ethener eller ethaner i betydelige koncentrationer.

I afgang fra vandværket er der specielt i 2009 og 2010 målt mange gange. Koncentrationerne er sammenlignelige med koncentrationerne i boring 200.430, så fjernelsen ved den normale vandbehandling er ganske begrænset. Koncentrationerne har været stigende indtil 2009, men i 2010 er de stort set konstante (1,5 µg PCE/L). Den højeste koncentration i afgang fra vandværket fandtes i 2009 til 2,8 µg PCE/L og 0,13 µg TCE/L, samt cis-DCE på 0,020 µg/L.

Der er etableret et beluftningsanlæg i december 2010 og efterfølgende målinger er under 0,1 g PCE/L.

Forureningsfluxen for PCE blev beregnet til 12 g/år. Ved en oppumpning på 9620 m<sup>3</sup> pr. år og under antagelsen af, at hele forureningsfluxen trækkes ind i boringen, giver det en resulterende koncentration på 1,25 µg PCE/L i boring 200.430. Dette er meget tæt på de observerede værdier for PCE i boringen. En tilsvarende beregning kan laves for TCE, hvor resultatet bliver 0,9 µg TCE/L, hvilket er markant højere end de målte koncentrationer. For DCA giver beregningen 2,6 µg DCA/L. Der er altså god overensstemmelse for PCE, men ikke for de andre stoffer.

På baggrund af undersøgelserne kan det konkluderes, at forureningen med PCE med stor sandsynlighed ikke stammer fra Vadsbyvej 16, 16A og 17. Det begrundes i:

1. De målte koncentrationer i sandlaget nedstrøms forureningskilden og i kalklaget af PCE i særdeleshed er så lave, at de ikke kan give anledning til en betydelig forurening af Soderup Vandværk på nuværende tidspunkt
2. Forureningsflux og målinger i boring 200.430 hænger kun sammen for PCE og ikke for TCE og DCA, som samlet er ansvarlig for 90 % af fluxen med chlorerede ethener og ethaner for Vadsbyvej 16A.
3. Med den nuværende oppumpning vil forureningen ved Vadsbyvej ikke pumpes op i indvindingsboringen ved Soderup Vandværk

Argument 1 er det stærkeste argument. Da der ikke kan observeres en forureningsfane ved forureningskilden, er det svært at føre bevis for, at forureningen ved Soderup Vandværk skyldes Vadsbyvej lokaliteterne.

Argument 2 understøttes af, at både TCE og DCA må forventes at have en højere mobilitet end PCE, så hvis enkelte stoffer skulle måles i højere koncentrationer ved vandværket burde det være DCA og TCE og ikke PCE. En mulig forklaring på, at TCE og DCA ikke forekommer, kunne være videre nedbrydning af disse to stoffer.

En sådan nedbrydning må forventes at ske ved reaktiv dechlorering. Hvis det er tilfældet ville man se forekomst af nedbrydningsprodukter, hvilket man ikke gør. Det kan evt. tilskrives en fuldstændig nedbrydning af de to stoffer til ethen og ethan. Hvorfor PCE ikke bliver nedbrudt på samme rute fra Vadsbyvej til Soderup er til gengæld så svært at forklare.

Argument 3 er baseret på en meget simpel modellering af strømningsforholdene i kal-ken, så det kan kun bruges som et supplerende argument.

Årsagen til forureningen må derfor søges i andre forureningskilder med PCE. På baggrund af det simulerede indvindingsområde for Soderup Vandværk forventes en evt. ukendt forureningskilde at være beliggende syd-vest for V2 lokaliteterne på Vadsbyvej.

Det skal bemærkes, at selvom forureningen på Vadsbyvej ikke i øjeblikket kan forklare forekomsten af PCE og TCE i boringen ved Soderup vandværk, forurener Vadsbyvej 16A stadig grundvandsressourcen i området. Forureningen kan også på et tidspunkt påvirke vandværket, hvis der ikke gribes ind med et afværgetiltag.

## 9 Opsamling

Der er foretaget en risikovurdering af forureningen ved Vadsbyvej 16A og tilgrænsende lokaliteter. Detaljerede vurderinger er indeholdt i de enkelte afsnit i rapporten

Undersøgelsen har omfattet opstilling af en regional og lokal geologisk model for området på baggrund af bl.a. 6 nye borer, som har forbedret vidensgrundlaget omkring Vadsbyvej 16A. Der har været særlig vægt på nedre del af moræneleren i området og kontakten med det underliggende kalkmagasin.

Grundvandets strømningsretning er undersøgt ved et omfattende net af dataloggere i området. Strømningsretningen i det nedre sand/silt lag er nordvestlig svarende til strømningsretningen i kalkmagasinen.

Forureningens udbredelse i moræneleret er revurderet med henblik på at vurdere spredningsvejene mod det underliggende kalkmagasin. Kompleksiteten med hensyn til rumlig udbredelse og forureningsstofferne fordeling er meget stor, hvilket komplicerer tydelige sammenhænge mellem forureningens udbredelse i moræneleret i sand/silt laget, som underlejrer moræneleret i hele kildeområdet.

Der er en meget markant forurening med en blanding af chlorerede ethener og ethaner i sand/silt laget i en række borer umiddelbart nedstrøms kildeområdet. Forureningen er kun fundet i borer i nordvestlig retning op til ca. 75 m fra kildeområdet. Der er ikke fundet betydende forurening i kalkmagasinet.

Forureningsfluxen for summen af chlorerede ethener er beregnet til 20-50 g/år. Modelsimuleringer viser en tilsvarende størrelsesorden for forureningsfluxen, hvilket tyder på, at forureningen i moræneleren visse steder er brudt igennem ned til sandlaget. Der er dog store usikkerheder på disse vurderinger, da der hersker usikkerhed om forureningsmassen, udbredelsen og sammensætningen.

Forureningspåvirkning af Soderup vandværk og KE's kildepladser vest for Soderup fra Vadsbyvej lokaliteterne er vurderet på baggrund af beregninger af strømningsforholdene i kalkmagasinet med en analytisk model. Disse resultater er sammenstillet med forureningsundersøgelserne, fluxberegninger og fund af forurening i Soderup Vandværk.

Resultaterne viser, at forureningen i Soderup vandværk af især PCE sandsynligvis ikke kan tilskrives Vadsbyvej lokaliteterne. Forureningen ved Vadsbyvej 16A forringer grundvandskvaliteten i området nedstrøms Vadsbyvej 16A og vil på sigt påvirke grundvandsressourcen i området nordvest for Vadsbyvej lokaliteterne.

## 10 Referencer

Carl Bro (2002). Hedehusene, Vadsbyvej 16, Overvågningsprogram for grundvand. Ej komplet.

Chambon, J., Lemming, G., Broholm, M.M., Binning, P.J. & Bjerg, P.L. (2009): Model assessment of reductive dechlorination as a remediation technology for contaminant sources in fractured clay. Case studies Delrapport III. Miljøprojekt 1296. Miljøstyrelsen.

COWI (2010). Indledende forureningsundersøgelse, Maskinfabrik og autoophug, Vadsbyvej 17, 2640 Hedehusene.

Houmark-Nielsen, M. & Kjær, K. H. (2003). Southwest Scandinavia 40-15 ka BP: Paleogeography and environmental change. *Journal of Quaternary Science* 18, pp. 769–786.

Jacobsen, E. M. (1985). En råstofgeologisk kortlægning omkring Roskilde. *Dansk Geologisk forening Årsskrift for 1984*, pp. 65–78.

Jørgensen, I.V., Broholm, M.M. & Bjerg, P.L. (2010). DNAPL i kildeområder - konceptuelle modeller, karakterisering og estimering af forureningsmasse.. Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet & Region Hovedstaden, Kgs. Lyngby.

Klint, K.E.S., Abildtrup, C.A., Gravesen, P., Jakobsen, P.R. & Vosgerau, H. (2001). Sprækkers oprindelse og udbredelse i moræner i Danmark. *Vand og Jord* 8, 3, 111-119.

Københavns Amt (2005). Nybølle Indsatsområde: Kortlægning af grundvandsressourcens sårbarhed og anbefalinger til indsatsstemaer.

Orbicon (2007). Vasbyvej 16A - supplerende undersøgelser, Orbicon A/S, Roskilde. Region Hovedstaden.

Orbicon (2008). Afværgeprogram, Vasbyvej 16 A, Taastrup, Orbicon A/S, Roskilde. Region Hovedstaden.

Orbicon (2009a). Etablering af undersøgelsesboringer - Vadsbyvej 16A, Orbicon A/S, Roskilde. Region Hovedstaden.

Orbicon (2009b). Tillæg til skitseprojekt, Vadsbyvej 16 A, Taastrup, Orbicon A/S, Roskilde. Region Hovedstaden.

**Bilag**

**Bore hole logs and geophysical logs**

**Bilag 1**

**BRØNDBORER-BORERAPPORT** DGU arkivnr: 200. 6033  
Lokal nr: B 313

**Rekvirent** : GEUS/DTU  
**Borested** : Vadsbyvej 17, Hedehusene  
**UTM-koord.** : 701082, 6174860, zone 32  
**Boringsdato** : 8/6 2010  
**Brøndborer** : Hestbech Ringe  
**BB-journr** :  
**Formål** : Forurening/miljø  
**Boremetode** : Tørboring/slagboring

**Dimension** : 168 mm til 26,2 m

**Udbygning** :

0-24,75 m: 75mm peh (4mm), Gevind  
24,75-25,75 m: 75mm peh (4mm), Gevind

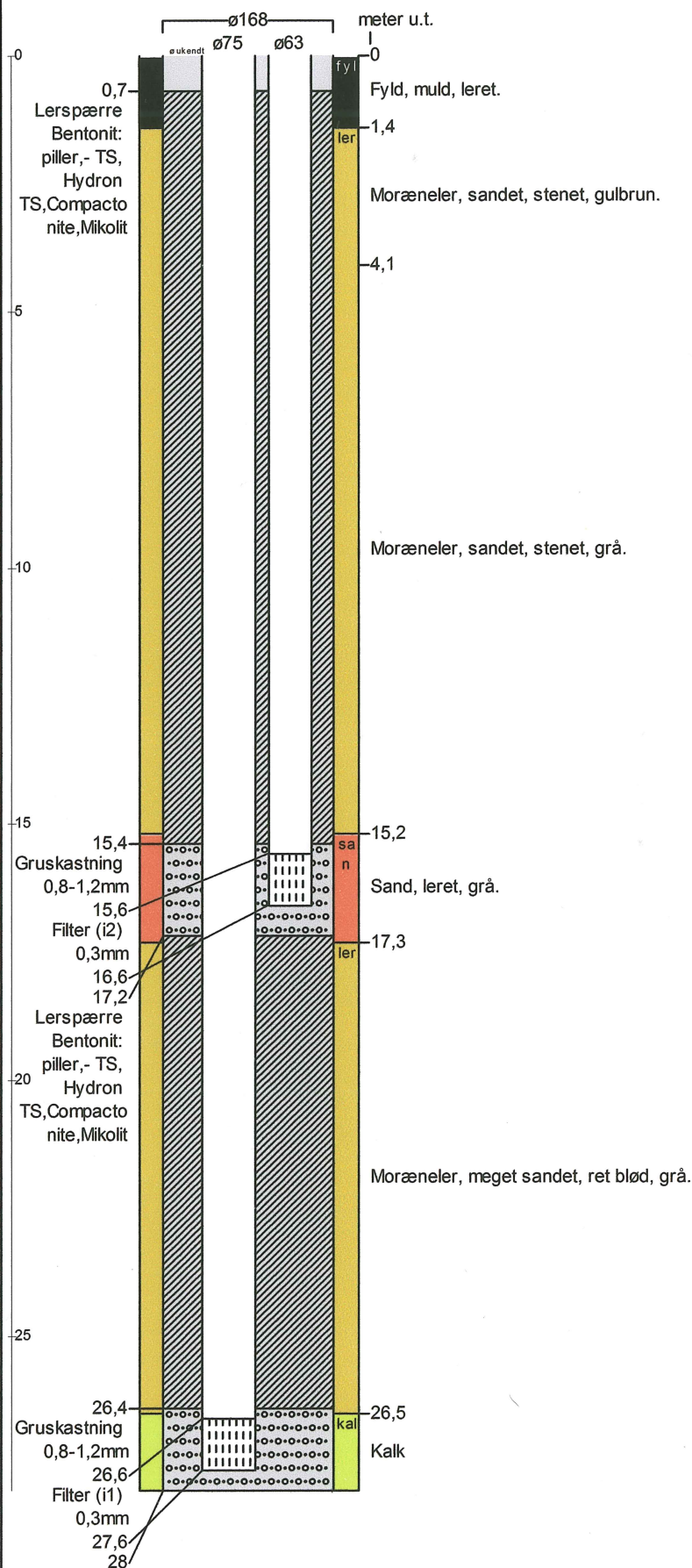
**Vandstand og Ydelse** :

Vandstand i ro 6,46 meter u.t.

**BB Firma** : E.Hestbech  
**Adresse** : Mellemager 26  
**Telefon** : 40338038  
**Fax** :  
**E-mail** : hestbech@midtfyn.net



GEUS

**BRONDBORER-BORERAPPORT** DGU arkivnr: 200. 6034  
Lokal nr: B 314

**Rekvirent** : GEUS / DTU  
**Borested** : Vadsbyvej 17, Hedehusene.  
**UTM-koord.** : 701223, 6174878, zone 32  
**Boringsdato** : 29/6 2010  
**Brøndborer** : Hestbech Ringe  
**BB-journr** :  
**Formål** : Forurening/miljø  
**Boremetode** : Tørboring/slagboring

**Dimension** : 168 mm til 28 m

**Stamme 2**

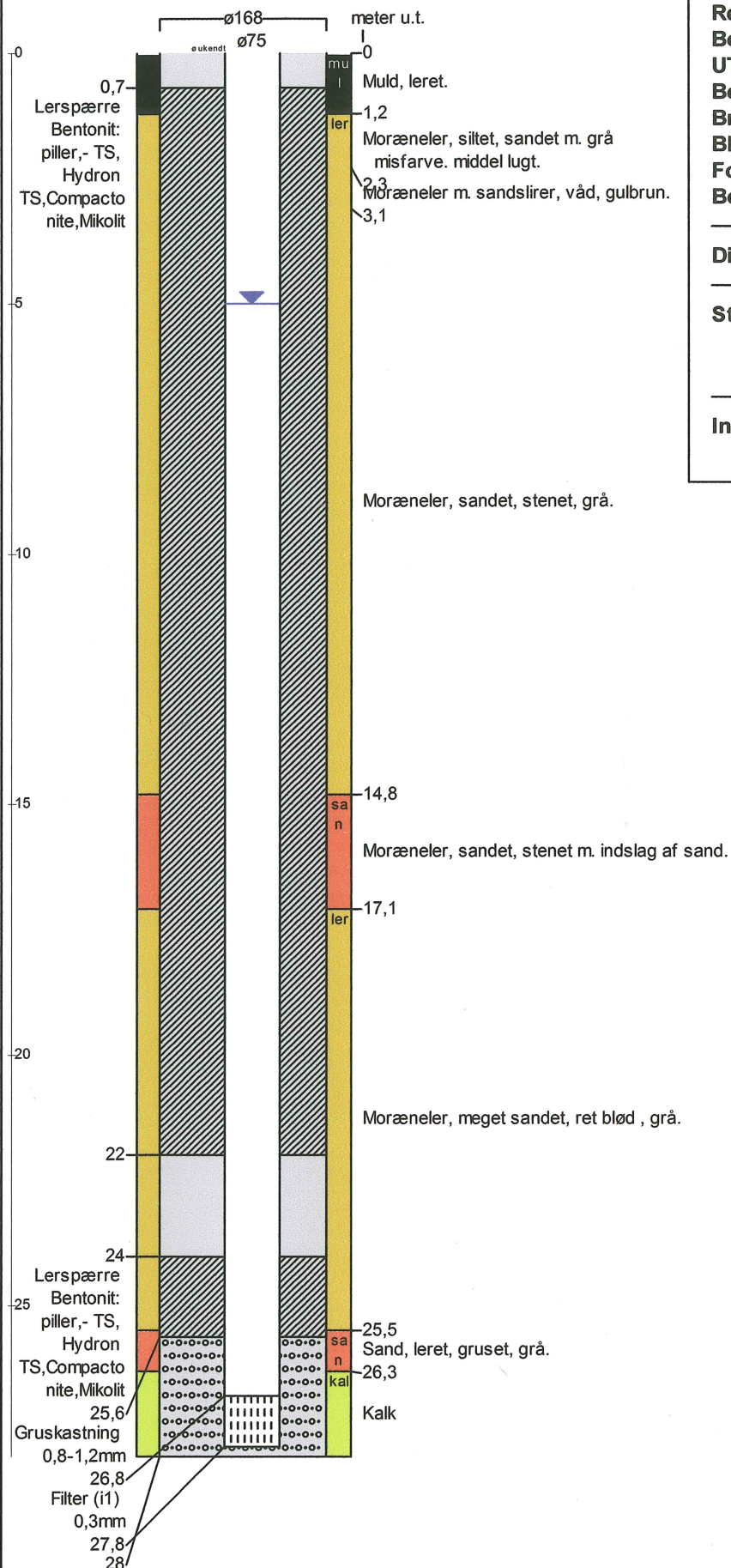
0-26,7 m: 75mm peh (4mm), Gevind  
26,6-27,6 m: 75mm peh (4mm), Gevind

**Stamme 3**

0-15,6 m: 63mm peh (4mm), Gevind  
15,6-16,6 m: 63mm peh (4mm), Gevind

**BB Firma** : E.Hestbech  
**Adresse** : Mellemager 26  
**Telefon** : 40338038  
**Fax** :  
**E-mail** : hestbech@midtfyn.net



**BRONDBORER-BORERAPPORT** DGU arkivnr: 200. 6035  
Lokal nr: B 315

**Rekvirent** : GEUS / DTU  
**Borested** : Vadsbyvej 17, Hedehusene  
**UTM-koord.** : 701306, 6174893, zone 32  
**Boringsdato** : 17/6 2010  
**Brøndborer** : Hestbech Ringe  
**BB-journr** :  
**Formål** : Forurening/miljø  
**Boremetode** : Tørborring/slagborring

**Dimension** : 168 mm til 28 m

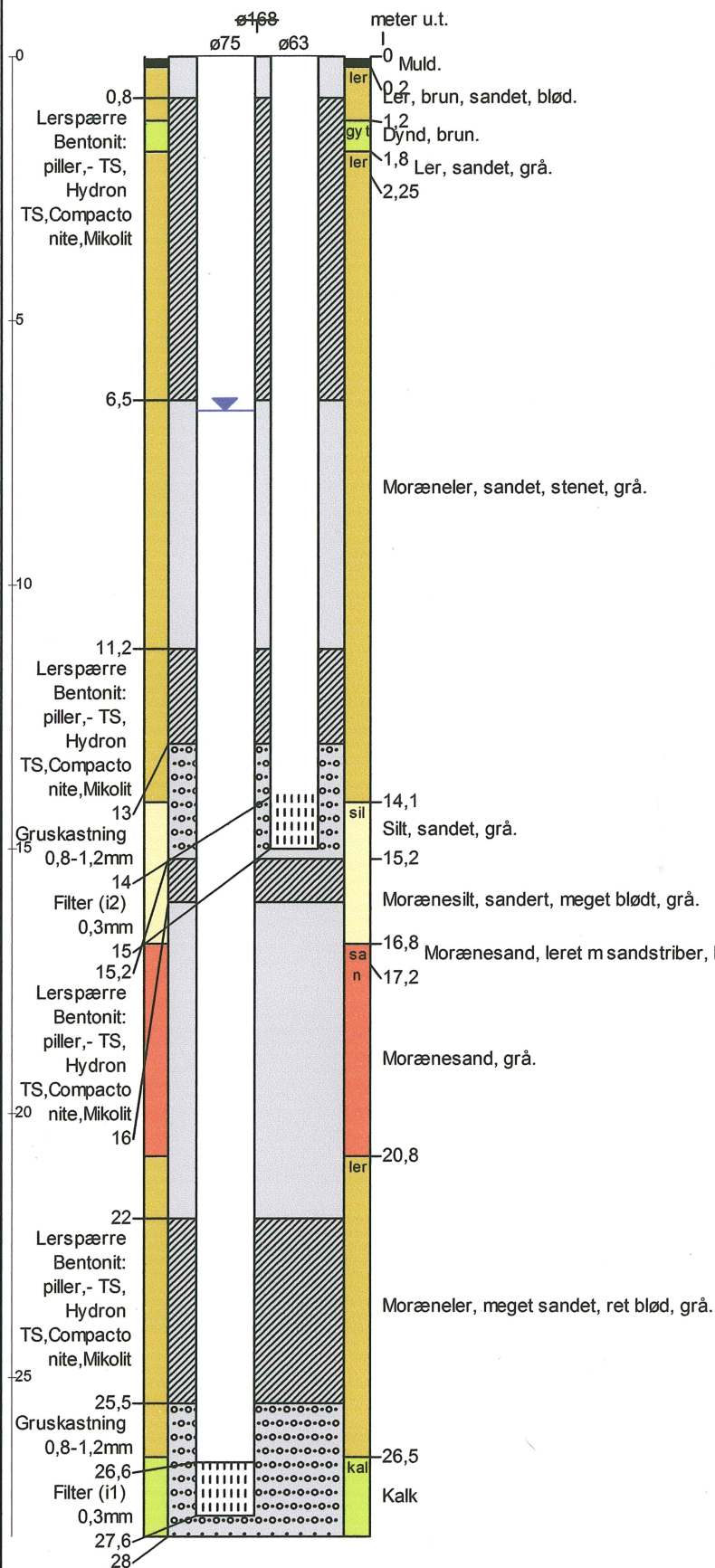
**Stamme 2**

0-26,8 m: 75mm peh (4mm), Gevind  
26,8-27,8 m: 75mm peh (4mm), Gevind

**Indtag 1**

Vandstand i ro 5 meter u.t.

**BB Firma** : E.Hestbech  
**Adresse** : Mellemager 26  
**Telefon** : 40338038  
**Fax** :  
**E-mail** : hestbech@midtfyn.net

**BRØNDBORER-BORERAPPORT** DGU arkivnr: 200. 6036  
Lokal nr: B 325

**Rekvirent** : GEUS / DTU  
**Borested** : Vadsbyvej 17, Hedehusene.  
**UTM-koord.** : 701341, 6174837, zone 32  
**Boringsdato** : 14/6 2010  
**Brøndborer** : Hestbech Ringe  
**BB-journr** :  
**Formål** : Forurening/miljø  
**Boremetode** : Tørboring/slagboring

**Dimension** : ? mm til 28 m  
168 mm til 28 m

**Udbygning : Stamme 1**  
0-26,6 m: 75mm peh (4mm), Gevind  
26,6-27,6 m: 75mm peh (4mm), Gevind  
**Stamme 2**  
0-14 m: 63mm peh (4mm), Gevind  
14-15 m: 63mm peh (4mm), Gevind

**Vandstand og Ydelse : Indtag 1**  
Vandstand i ro 6,7 meter u.t.

**BB Firma** : E. Hestbech  
**Adresse** : Mellemager 26  
**Telefon** : 40338038  
**Fax** :  
**E-mail** : hestbech@midtfyn.net

# BORERAPPORT

DGU arkivnr: 200. 5533

**Borested** : Vadsbyvej 16A, Soderup  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 8/6 2007

**Boringsdybde** : 29.5 meter

**Terrænkote** : 25.1 meter o. DNN

**Brøndborer** : GEO

**MOB-nr** :  
**BB-journr** : 30189  
**BB-bornr** : B1

**Prøver**

 - modtaget :  
- beskrevet : 6/7 2007 af : A  
- antal gemt : 0

**Formål** : Forurening/miljø

**Kortblad** : 1513 ISV

**Datum** : EUREF89

**Anvendelse** :

**UTM-zone** : 32

**Koordinatkilde** : Brøndborer

**Boremethode** : Pneumatisk/DTH/odex

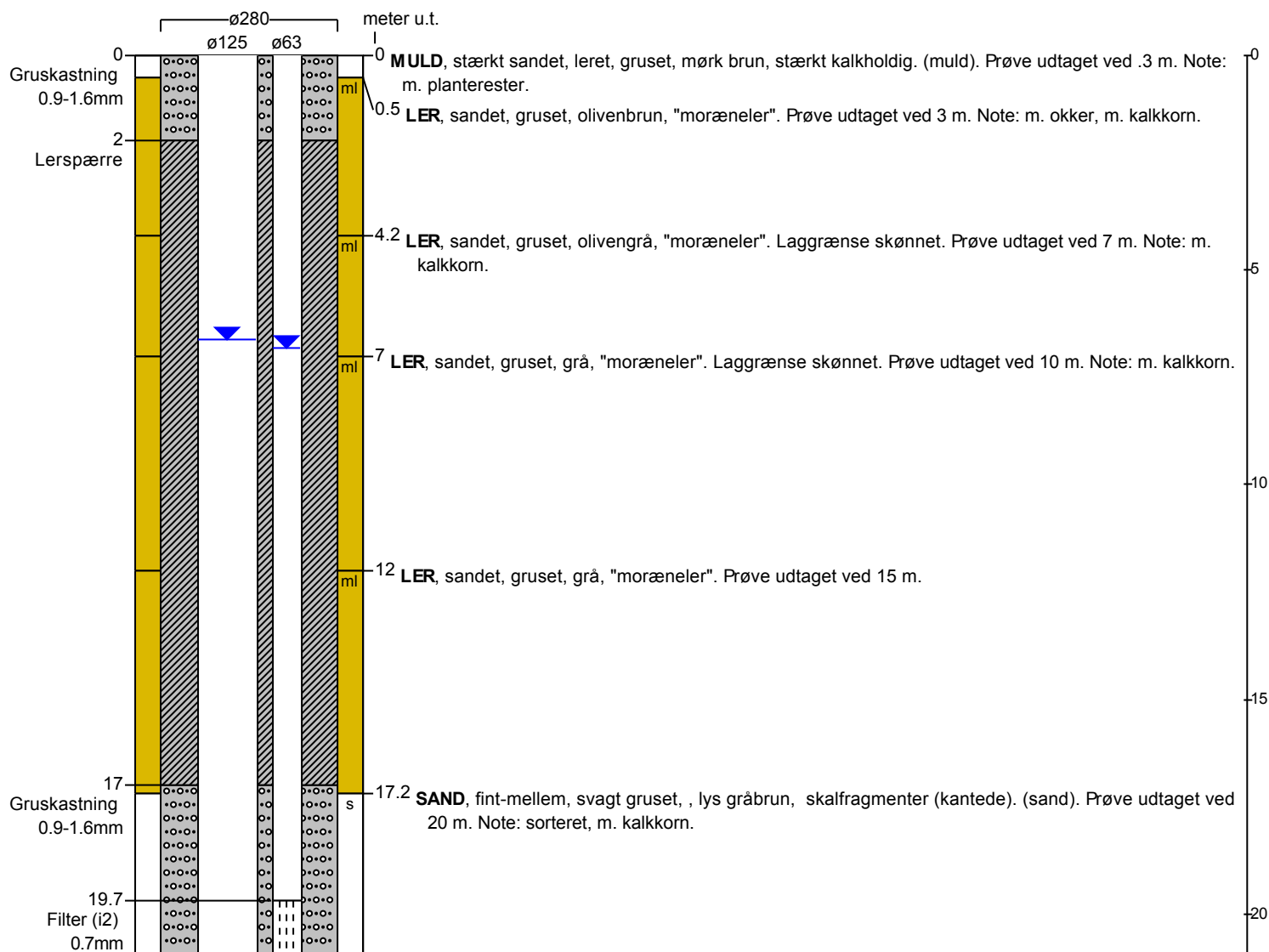
**UTM-koord.** : 701211, 6174816

**Koordinatmetode** : KMS digitale kort

	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
<b>Indtag 1</b> (seneste)	6.62 meter u.t.	11/6 2007	4.2 m <sup>3</sup> /t	0.52 meter	1 time(r)
<b>Indtag 2</b> (seneste)	6.82 meter u.t.	11/6 2007	0.8 m <sup>3</sup> /t	4.13 meter	1 time(r)

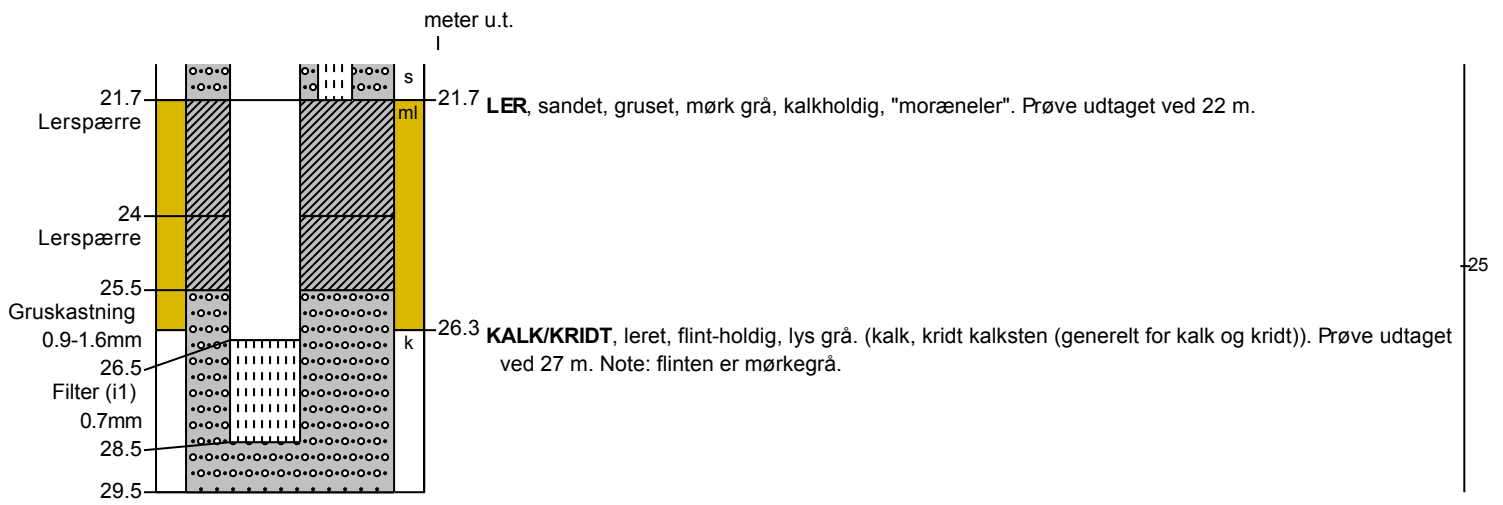
## Tilbagepejling

**Indtag 1** Tid: 1min Vsp: 6.62m

**Indtag 2** Tid: 1min Vsp: 6.62m Tid: 1min Vsp: 6.82m


# BORERAPPORT

DGU arkivnr: 200. 5533



25

**BORERAPPORT**
**DGU arkivnr: 200. 5919**
**Borested** : Vadsbyvej 16A  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 21/10 2009

**Boringsdybde** : 14 meter

**Terrænkote** : 19.37 meter o. DNN

**Brøndborer** : Hestbech Ringe

**MOB-nr** :

**BB-journr** :

**BB-bornr** : P1

**Prøver**

- modtaget :

- beskrevet :

- antal gemt : 0

**Formål** : Forurening/miljø

**Kortblad** : 1513 ISV

**Datum** : EUREF89

**Anvendelse** :

**UTM-zone** : 32

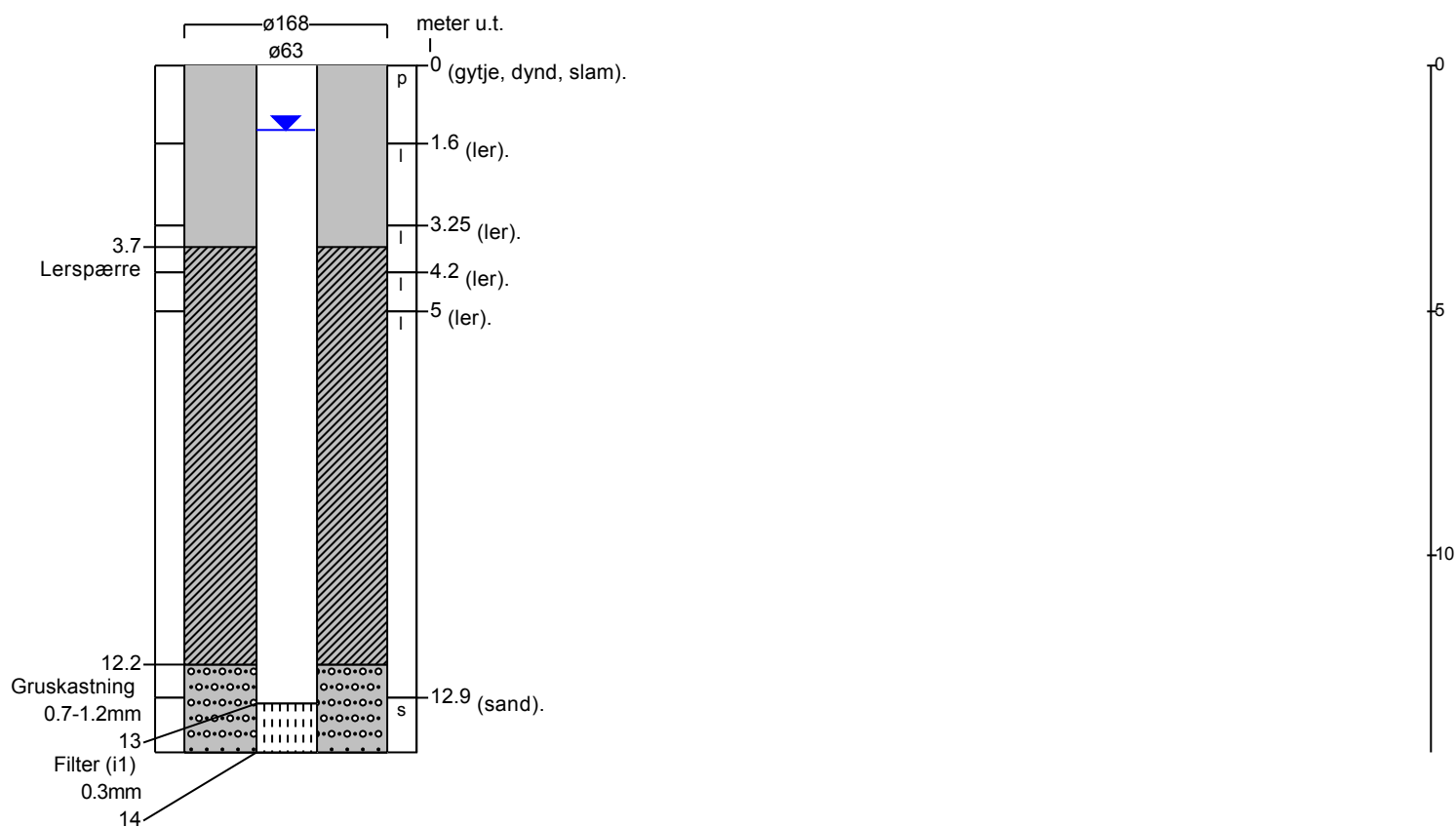
**Koordinatkilde** : Brøndborer

**Boremethode** : Tørboring/slagboring

**UTM-koord.** : 701062, 6174764

**Koordinatmetode** :

Indtag 1	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
(seneste)	1.33 meter u.t.	21/10 2009			





**BORERAPPORT**
**DGU arkivnr: 200. 5920**
**Borested** : Vadsbyvej 16A  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 21/10 2009

**Boringsdybde** : 15.1 meter

**Terrænkote** : 22.8 meter o. DNN

**Brøndborer** : Hestbech Ringe

**MOB-nr** :

**BB-journr** :

**BB-bornr** : P2

**Prøver**

- modtaget :

- beskrevet :

- antal gemt : 0

**Formål** : Forurening/miljø

**Kortblad** : 1513 ISV

**Datum** : EUREF89

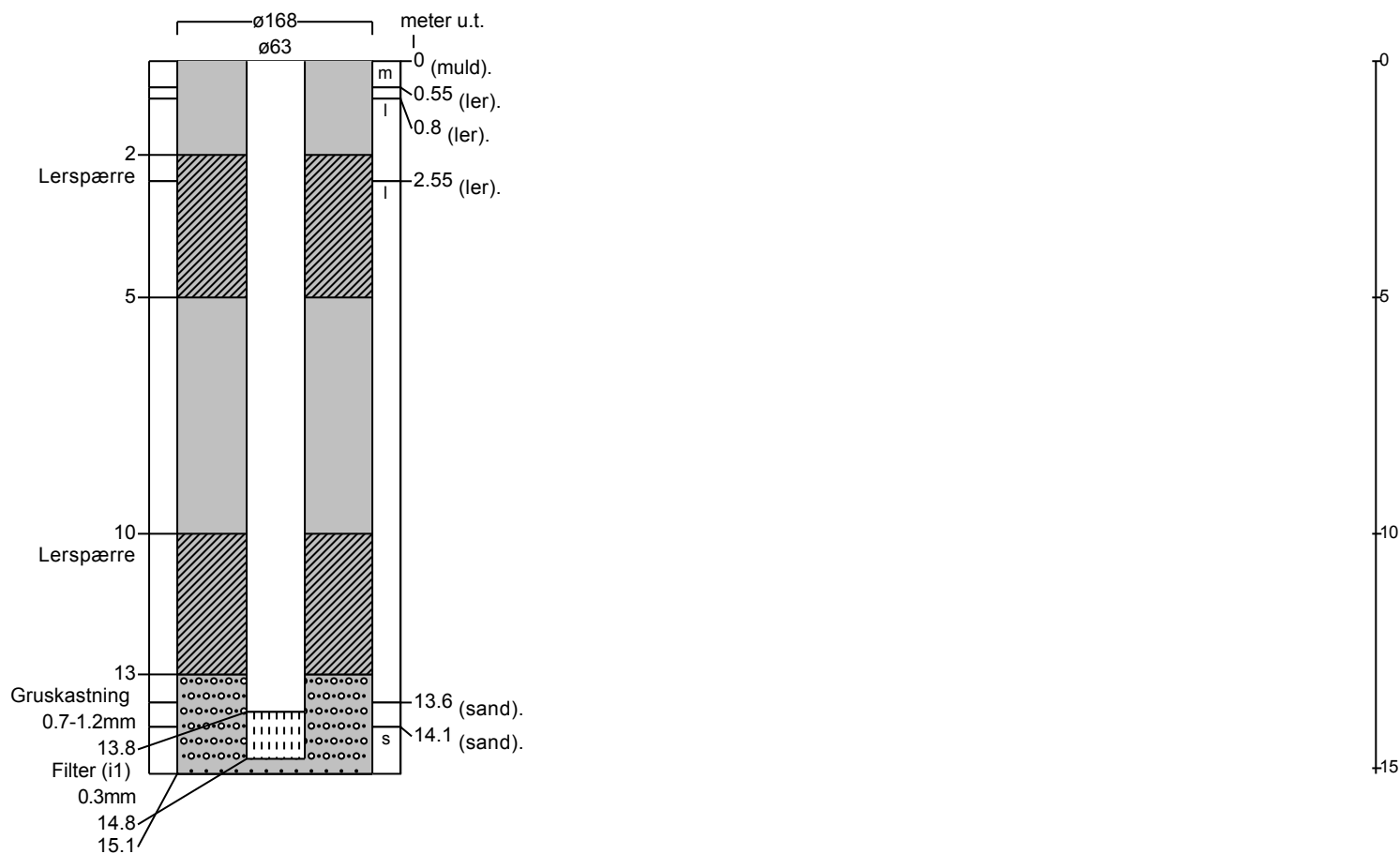
**Anvendelse** :

**UTM-zone** : 32

**Koordinatkilde** : GEUS

**Boremethode** : Tørboring/slagboring

**UTM-koord.** : 701066, 6174832

**Koordinatmetode** : GPS


# BORERAPPORT

DGU arkivnr: 200. 5761

**Borested** : Vadsbyvej 16a  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 5/7 2007

**Boringsdybde** : 20 meter

**Terrænkote** : 21.41 meter o. DNN

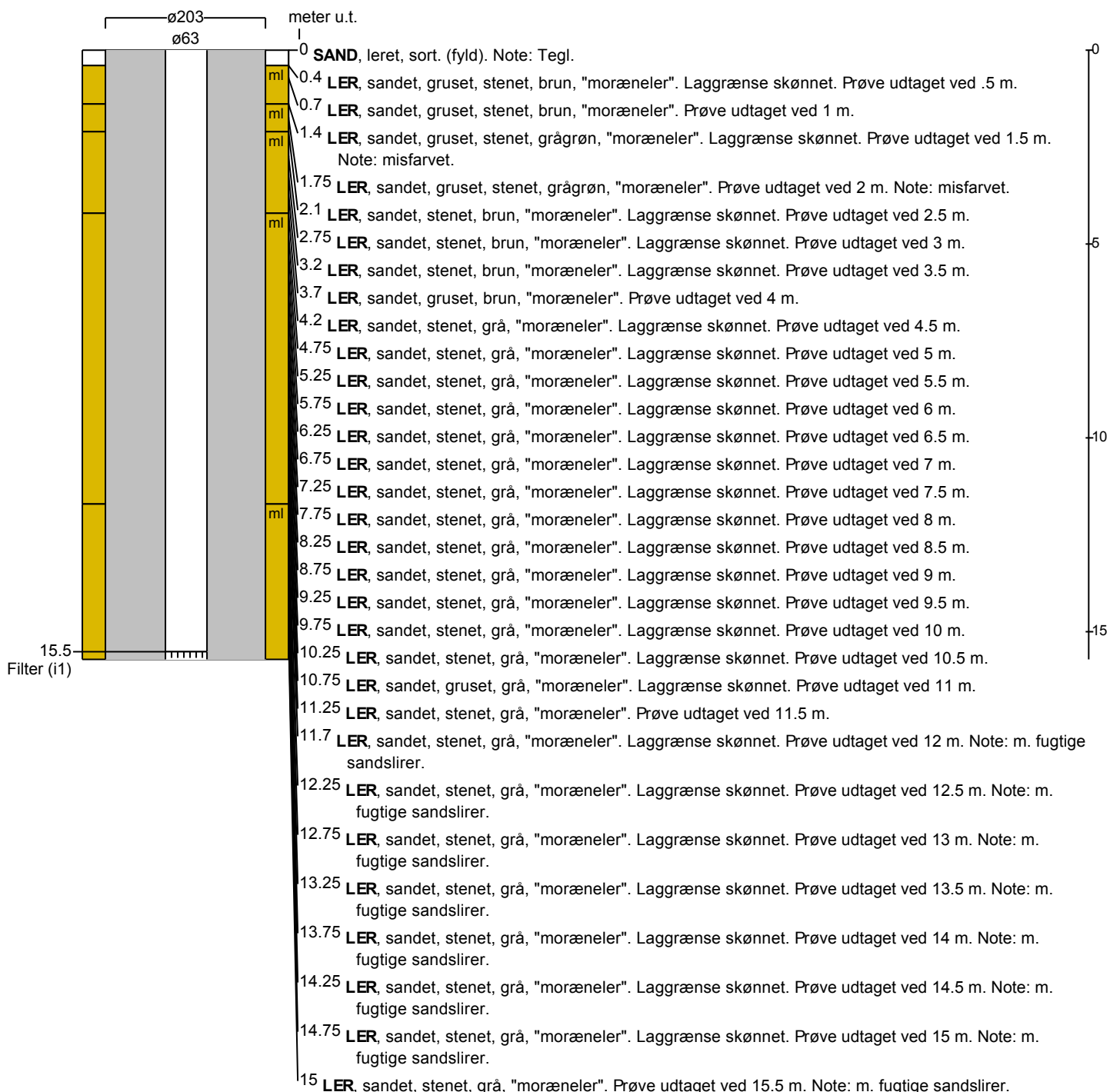
**Brøndborer** : Glibstrup as  
**MOB-nr** :  
**BB-journr** : 364.07044  
**BB-bornr** : RB1

**Prøver**  
- **modtaget** :  
- **beskrevet** : 7/5 2007 af : A  
- **antal gemt** : 0

**Formål** : Forurening/miljø  
**Anvendelse** : Forurening/miljø  
**Boremethode** : Snegleboring

**Kortblad** : 1513 ISV  
**UTM-zone** : 32  
**UTM-koord.** : 701237, 6174816

**Datum** : EUREF89  
**Koordinatkilde** : Rådg. firma  
**Koordinatmethode** :



# BORERAPPORT

DGU arkivnr: 200. 5761





**BORERAPPORT**
**DGU arkivnr: 200. 5762**
**Borested** : Vadsbyvej 16a  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 5/7 2007

**Boringsdybde** : 20 meter

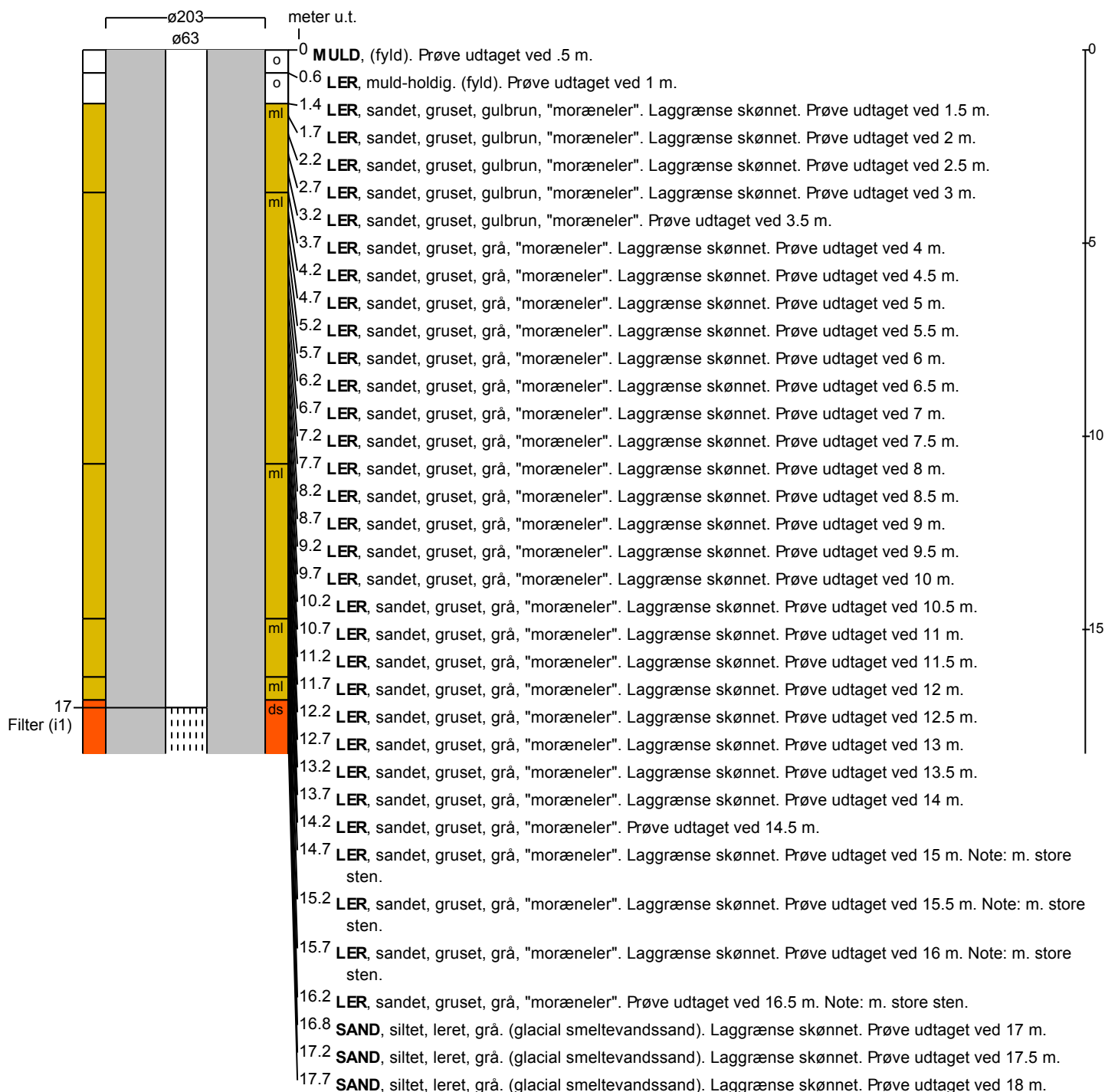
**Terrænkote** : 21.74 meter o. DNN

**Brøndbore** : Glibstrup as  
**MOB-nr** :  
**BB-journr** : 364.07044  
**BB-bornr** : RB2

**Prøver**  
- **modtaget** :  
- **beskrevet** : 8/5 2007 af : A  
- **antal gemt** : 0

**Formål** : Forurening/miljø  
**Anvendelse** : Forurening/miljø  
**Boremethode** : Snegleboring

**Kortblad** : 1513 ISV  
**UTM-zone** : 32  
**UTM-koord.** : 701281, 6174796

**Datum** : EUREF89  
**Koordinatkilde** : Rådg. firma  
**Koordinatmetode** :


## BORERAPPORT

DGU arkivnr: 200. 5762



**BORERAPPORT**
**DGU arkivnr: 200. 5773**
**Borested** : Vadsbyvej 16a  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 14/9 2005

**Boringsdybde** : 19.1 meter

**Terrænkote** : 24.5 meter o. DNN

**Brøndborer** : Carl Bro A/S  
**MOB-nr** :  
**BB-journr** : 30.5158.01  
**BB-bornr** : B202

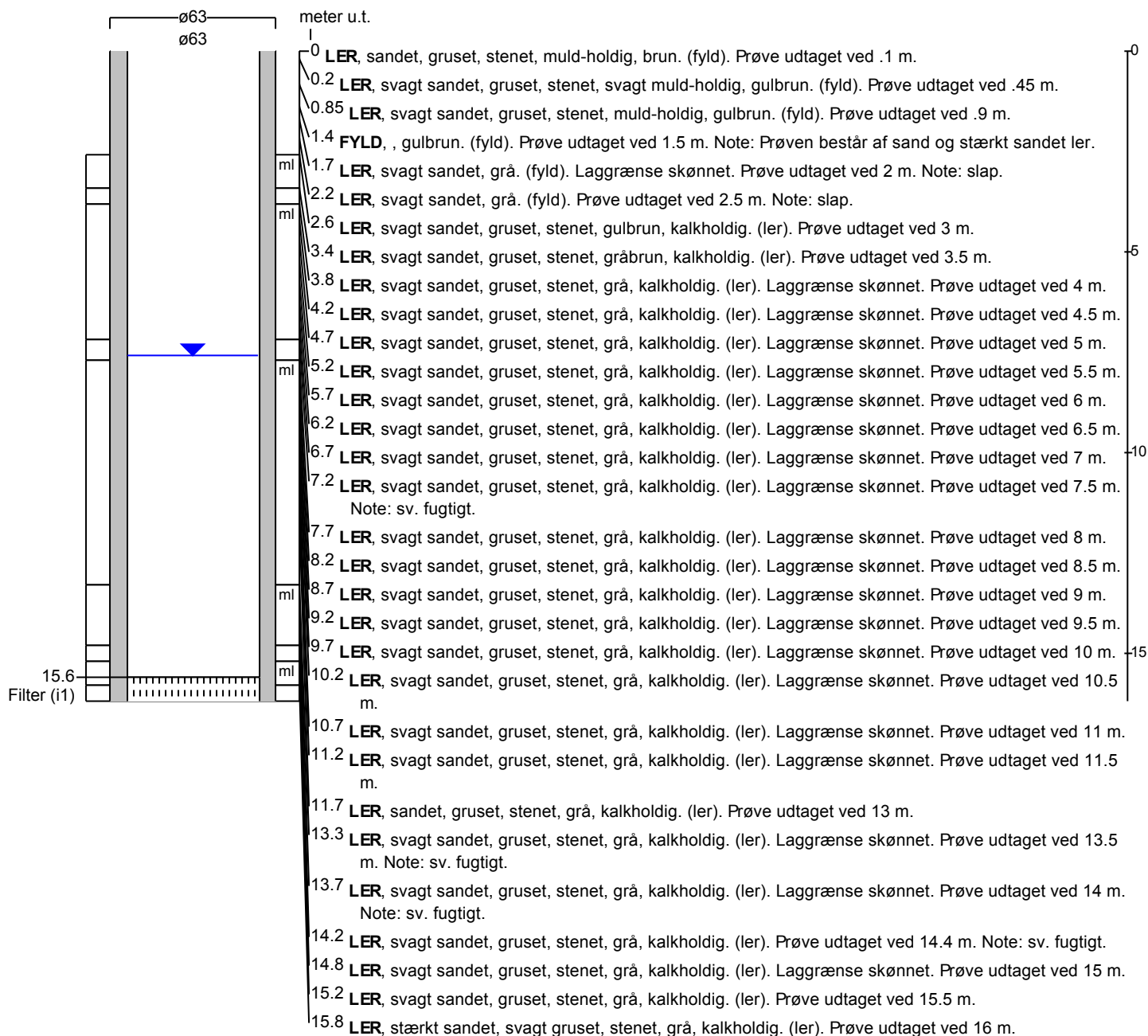
**Prøver**  
- **modtaget** :  
- **beskrevet** : 14/9 2005 af : A  
- **antal gemt** : 0

**Formål** : Forurening/miljø  
**Anvendelse** : Forurening/miljø  
**Boremethode** :

**Kortblad** : 1513 ISV  
**UTM-zone** : 32  
**UTM-koord.** : 701218, 6174791

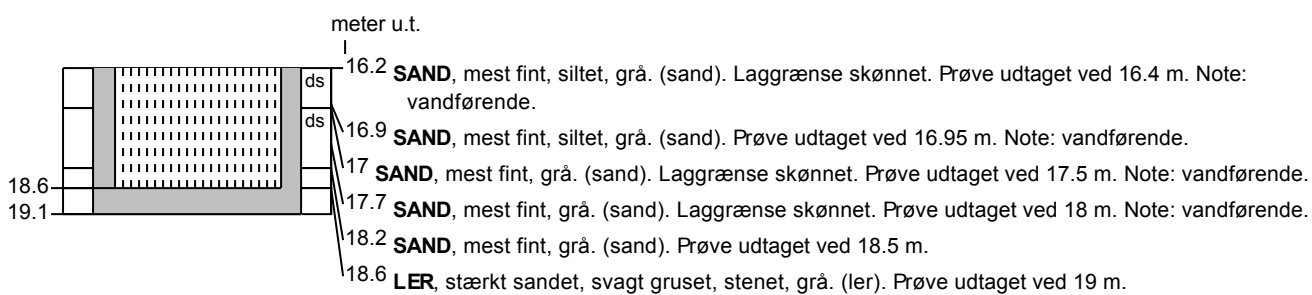
**Datum** : EUREF89  
**Koordinatkilde** : Rådg. firma  
**Koordinatmetode** :

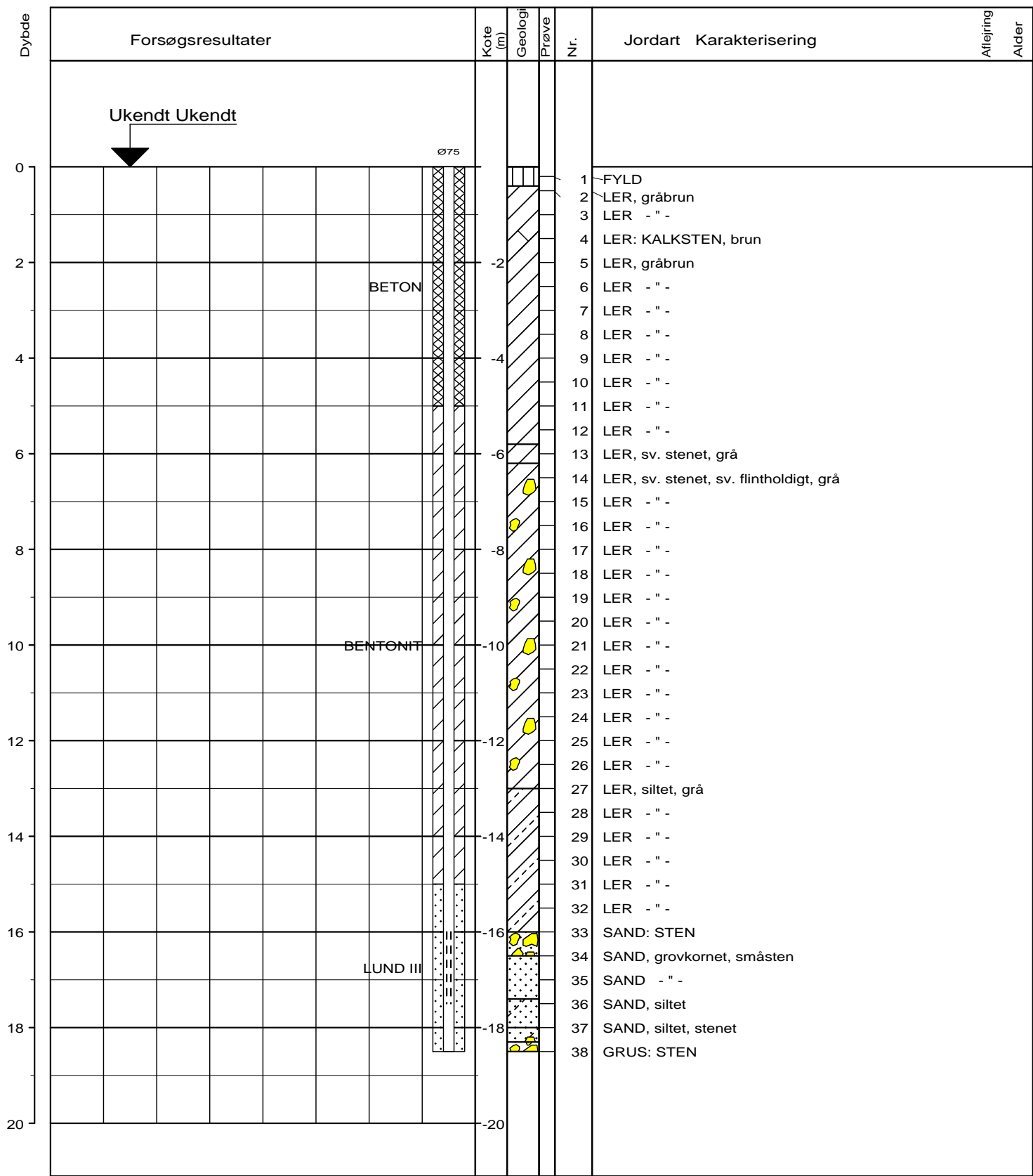
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	7.6 meter u.m.	14/9 2005			



# BORERAPPORT

DGU arkivnr: 200. 5773





8" snegleboring. Sandspand fra 14 m.  
 Ø75 Filterrør  
 Boremethode : snegleboring  
 Plan :

BRegister - PST/GDK 2.0 - 29/06/2010 13:53:39

Sag : 249910 Vadsbyvej 16A  
 Strækning : Boret af : ARKIL Dato : 20100517 DGU-nr.: Boring : MV1  
 Udarb. af : Kontrol : Godkendt : Dato : Bilag : s. 1 / 1



Boreprofil

# BORERAPPORT

**DGU arkivnr: 200. 6059**
**Borested** : Vadsbyvej 17  
 2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 27/1 2010

**Boringsdybde** : 18 meter

**Terrænkote** : 24.3 meter o. DNN

**Brøndbore** : Geo- og Miljøboringer, Kristian Schmidt

**MOB-nr** :

**BB-journr** :

**BB-bornr** : B1

**Prøver**

- modtaget :

- beskrevet :

- antal gemt :

**Formål** : Forurening/miljø

**Anvendelse** : Forurening/miljø

**Boremethode** : Snegleboring

**Kortblad** : 1513 ISV

**UTM-zone** : 32

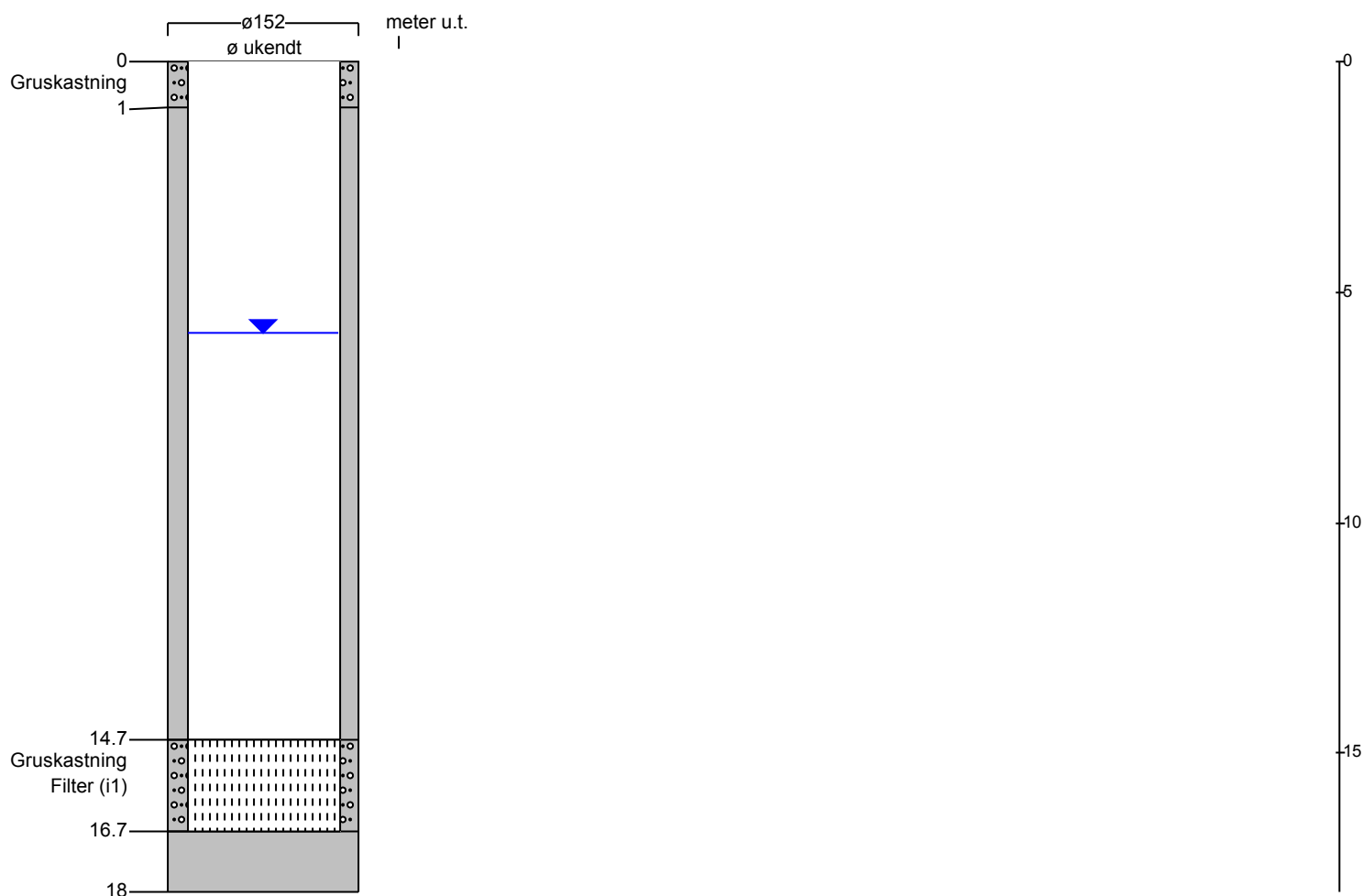
**UTM-koord.** : 701185, 6174852

**Datum** : EUREF89

**Koordinatkilde** : Rådg. firma

**Koordinatmetode** : KMS digitale kort

Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	5.9 meter u.t.	16/3 2010			



# BORERAPPORT

**DGU arkivnr: 200. 6060**
**Borested** : Vadsbyvej 17  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 28/1 2010

**Boringsdybde** : 17 meter

**Terrænkote** : 24.9 meter o. DNN

**Brøndborer** : Geo- og Miljøboringer, Kristian Schmidt

**MOB-nr** :

**BB-journr** :

**BB-bornr** : B2

**Prøver**

- modtaget :

- beskrevet :

- antal gemt :

**Formål** : Forurening/miljø

**Anvendelse** : Forurening/miljø

**Boremethode** : Snegleboring

**Kortblad** : 1513 ISV

**UTM-zone** : 32

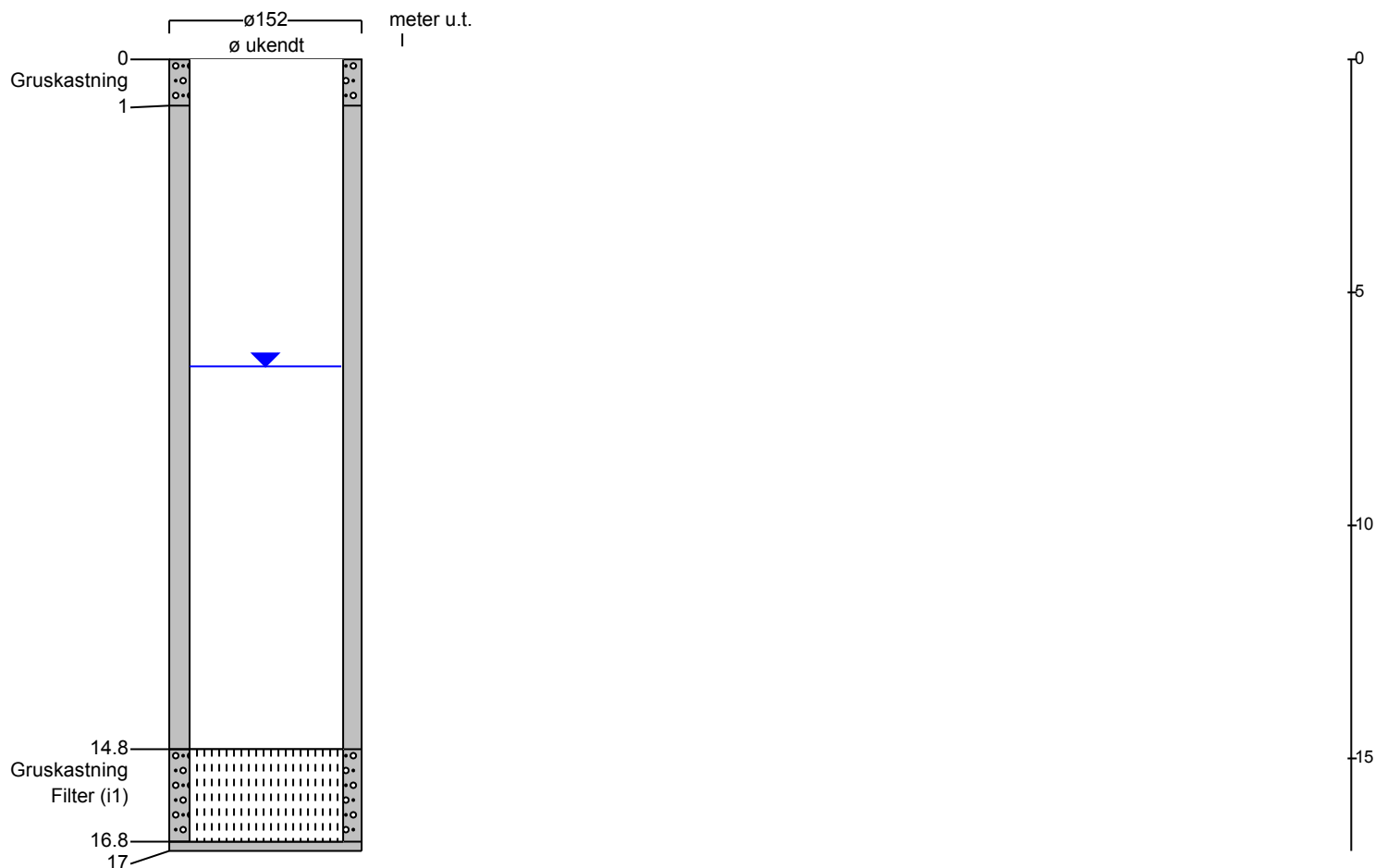
**UTM-koord.** : 701198, 6174839

**Datum** : EUREF89

**Koordinatkilde** : Rådg. firma

**Koordinatmetode** : KMS digitale kort

Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	6.6 meter u.t.	16/3 2010			



**BORERAPPORT**
**DGU arkivnr: 200. 5918**
**Borested** : Vadsbyvej 16A  
2640 Hedehusene

**Kommune** : Høje-Taastrup  
**Region** : Hovedstaden

**Boringsdato** : 10/6 2009

**Boringsdybde** : 24.2 meter

**Terrænkote** : 24.18 meter o. DNN

**Brøndborer** : Hestbech Ringe

**MOB-nr** :

**BB-journr** :

**BB-bornr** : N1

**Prøver**

- modtaget :

- beskrevet :

- antal gemt : 0

**Formål** : Forurening/miljø

**Kortblad** : 1513 ISV

**Datum** : EUREF89

**Anvendelse** :

**UTM-zone** : 32

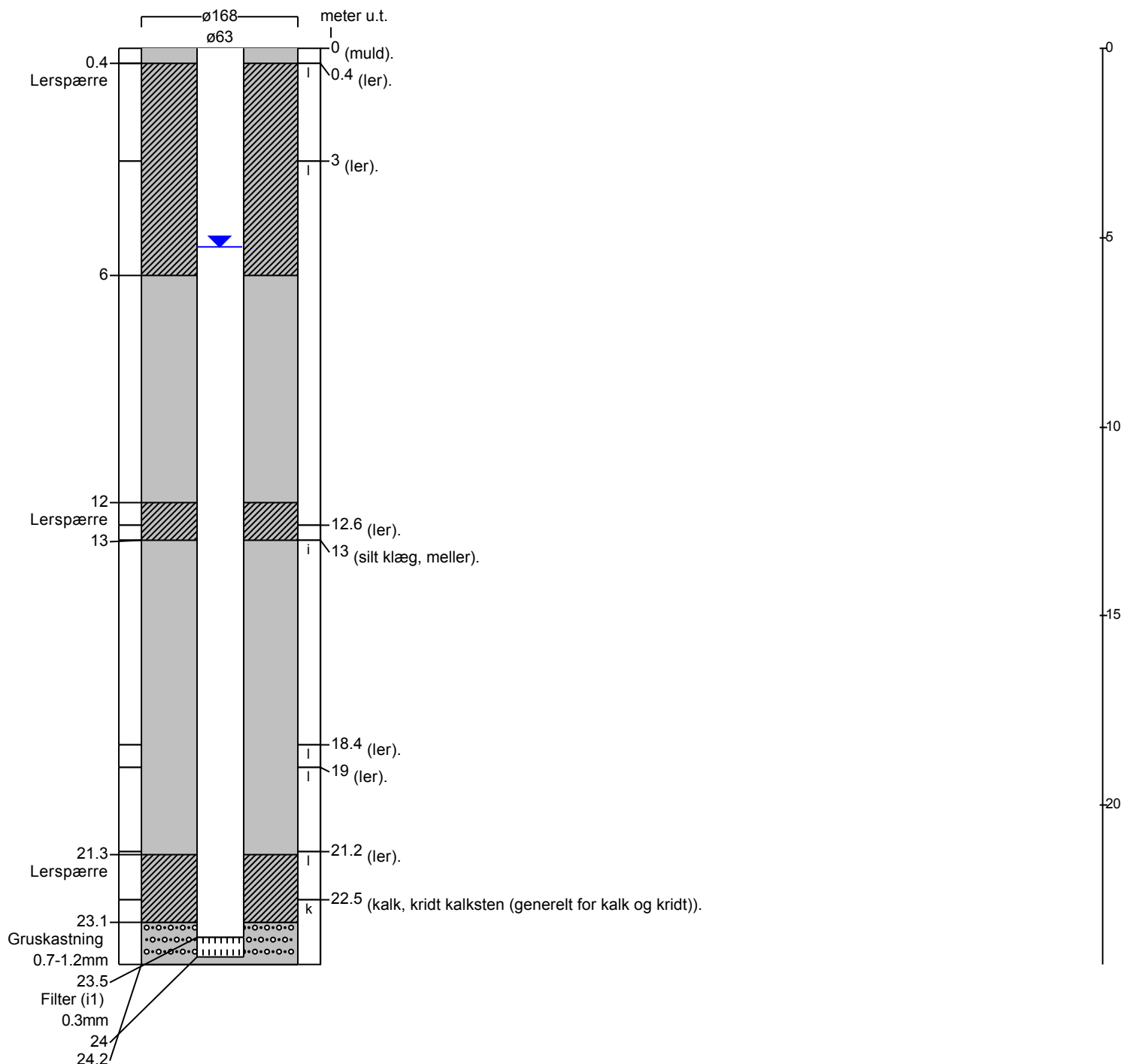
**Koordinatkilde** : GEUS

**Boremethode** : Tørboring/slagboring

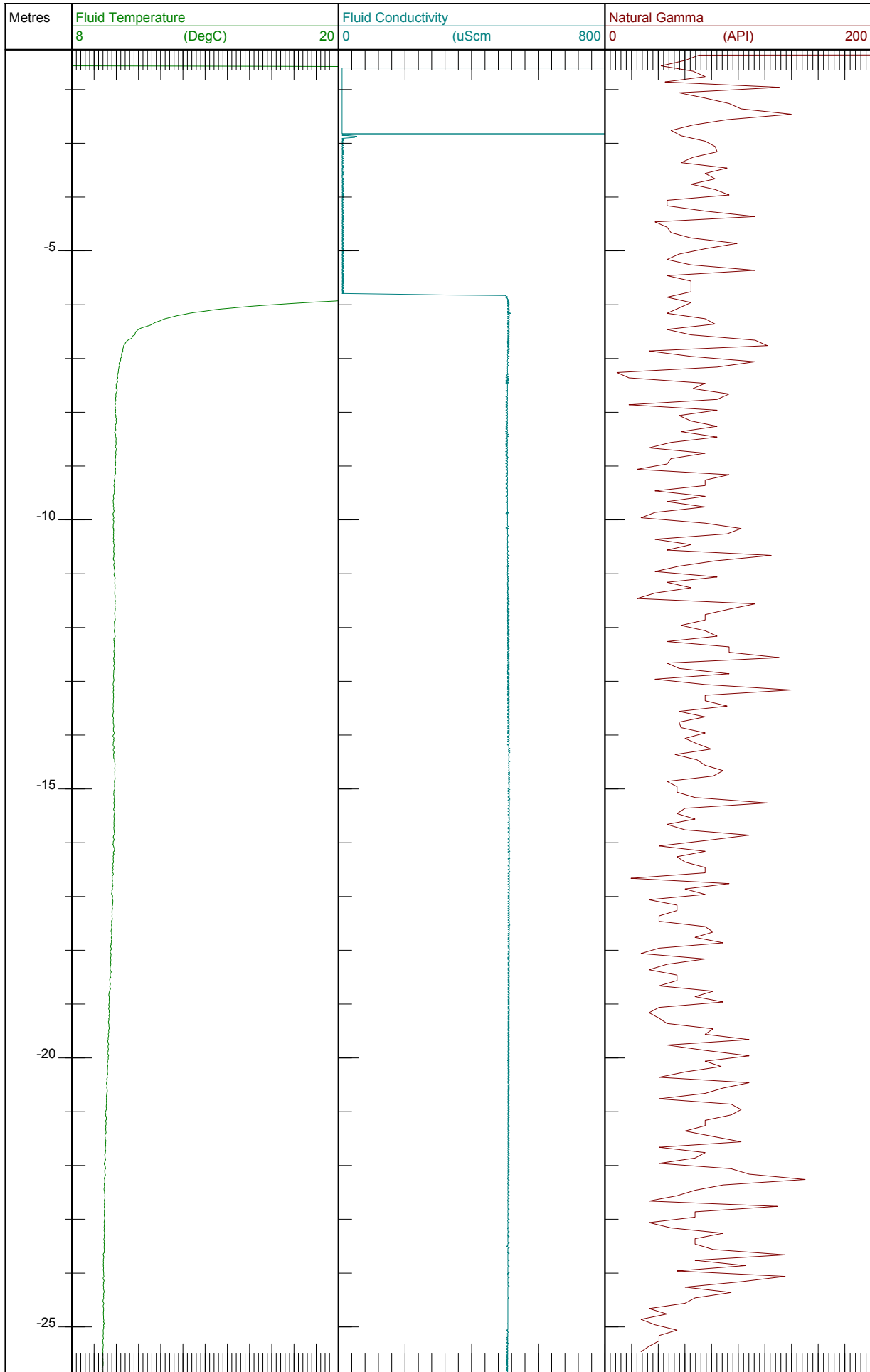
**UTM-koord.** : 701217, 6174689

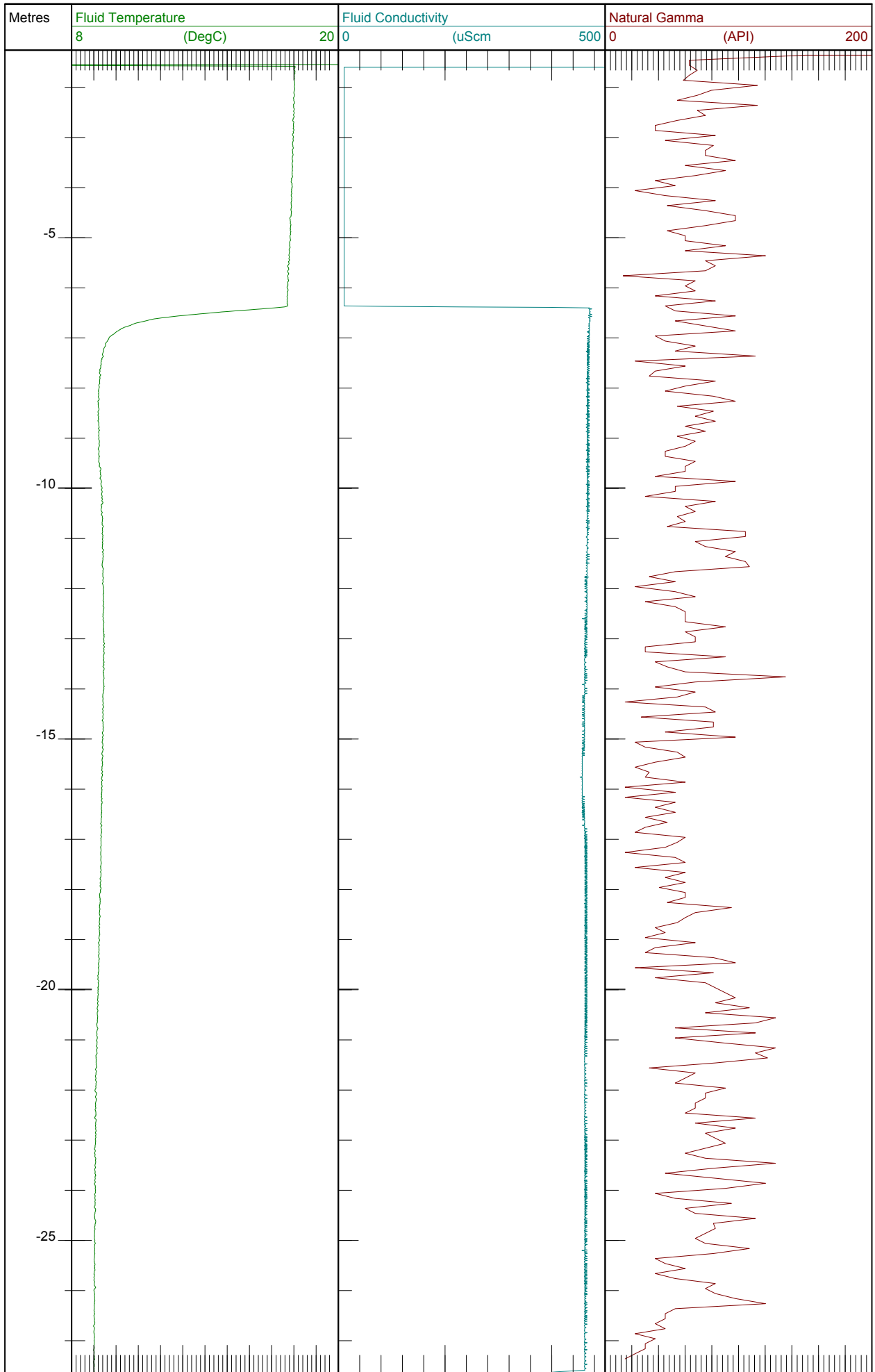
**Koordinatmetode** : GPS

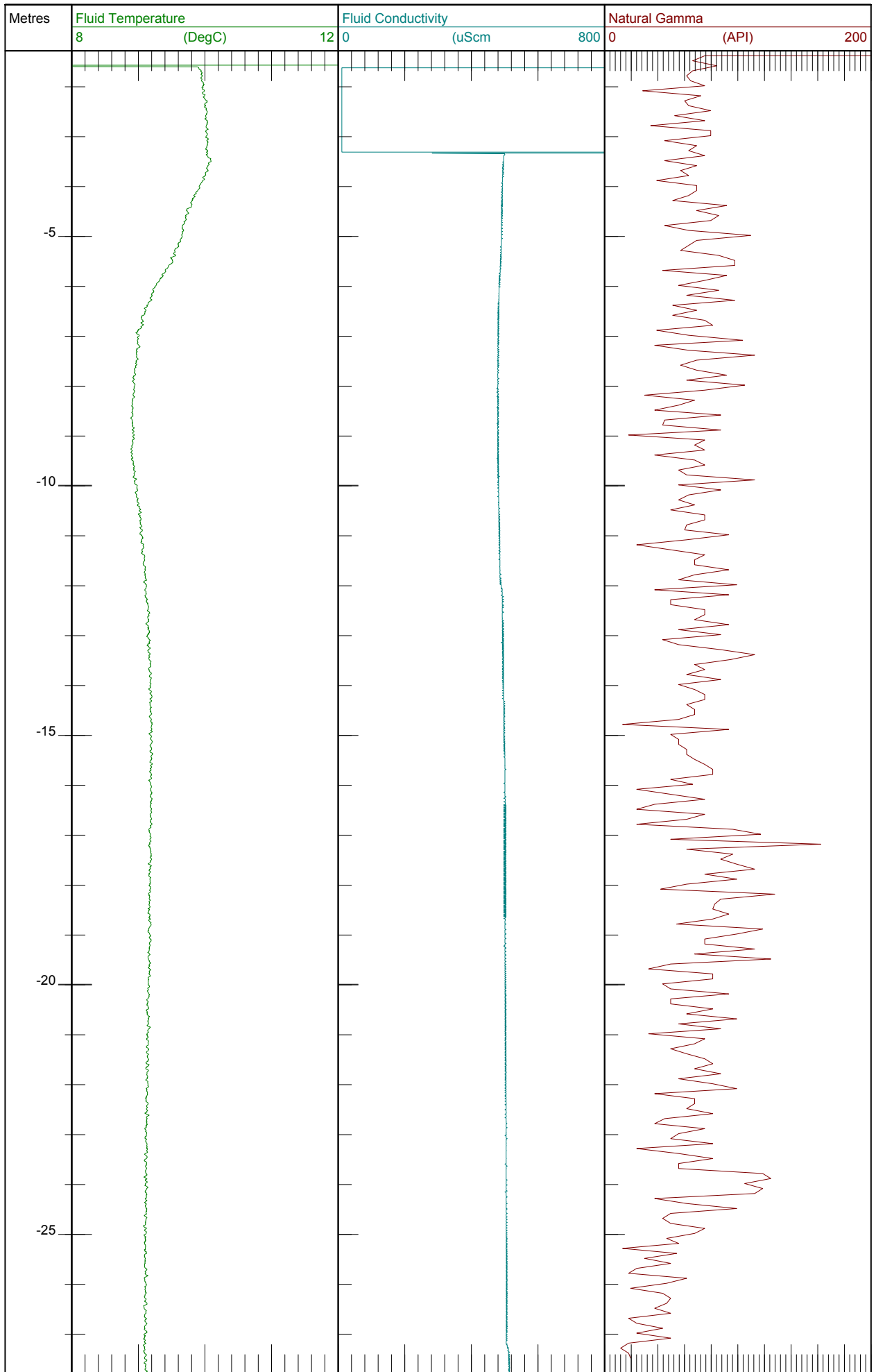
Indtag 1	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
(seneste)	5.25 meter u.t.	10/10 2009	1.5 m <sup>3</sup> /t	1.35 meter	

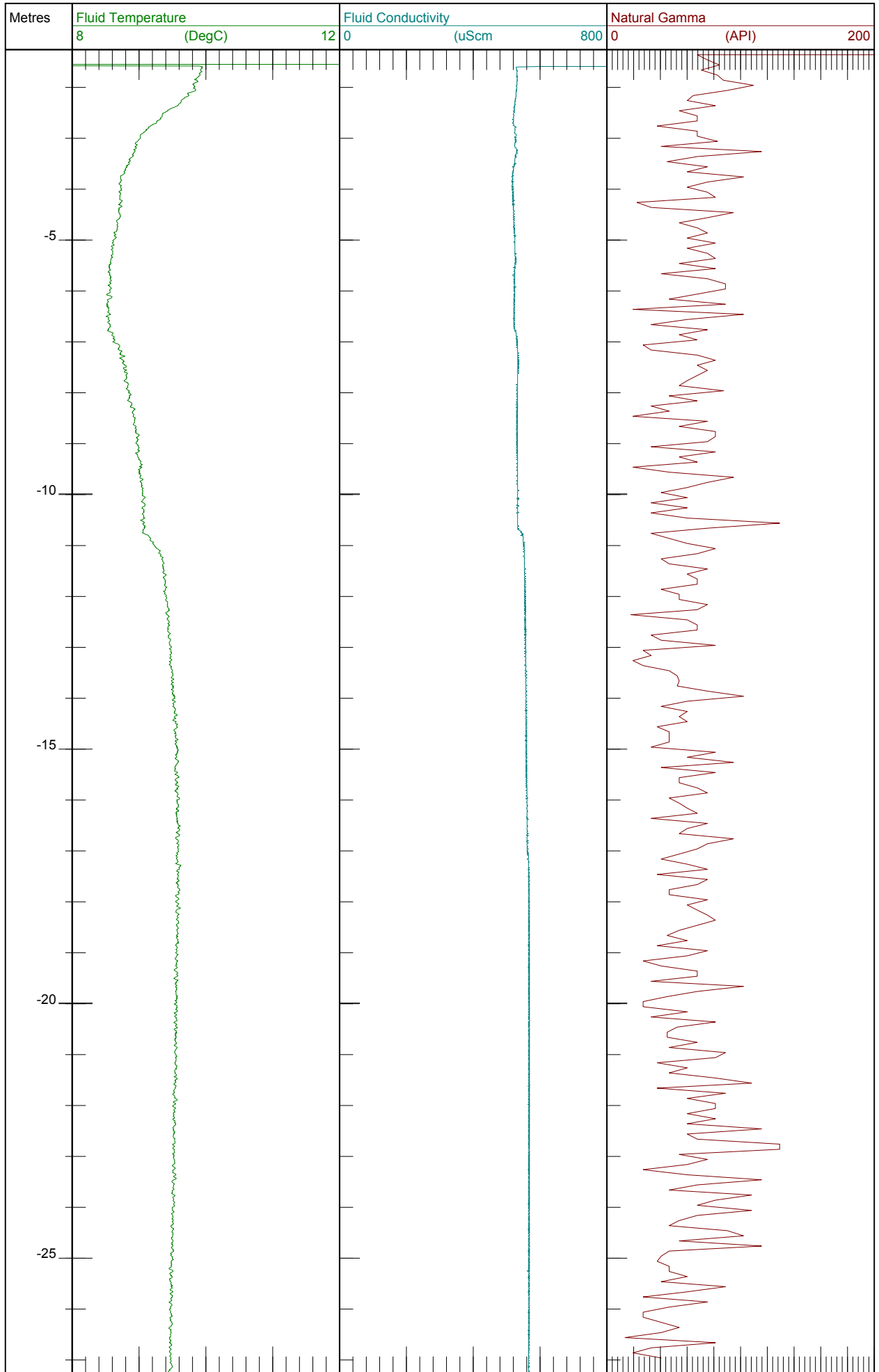








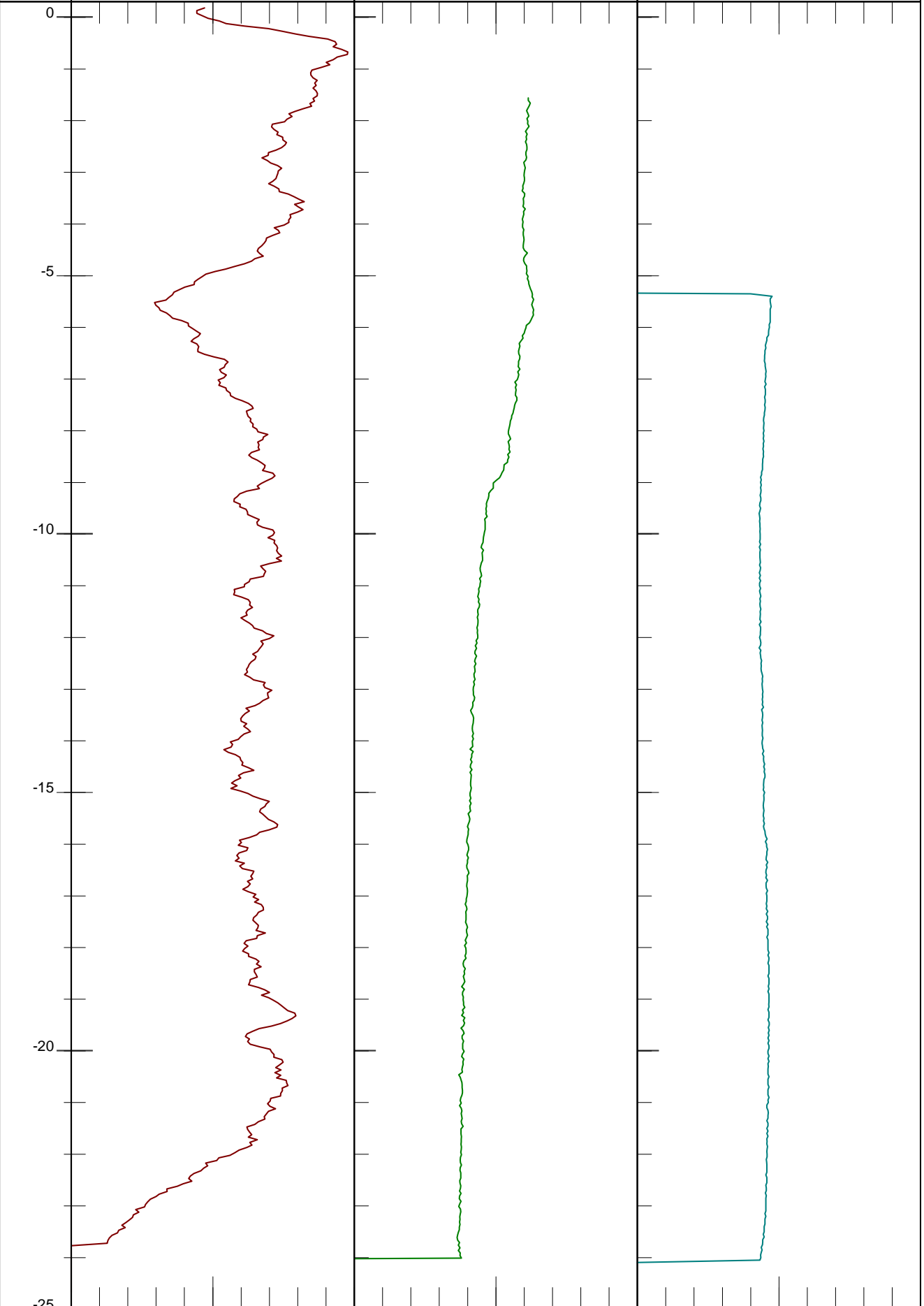




Well Name: N-1  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør

Borehulslogging udført 29.10.2009 af GEUS v/Per Jensen

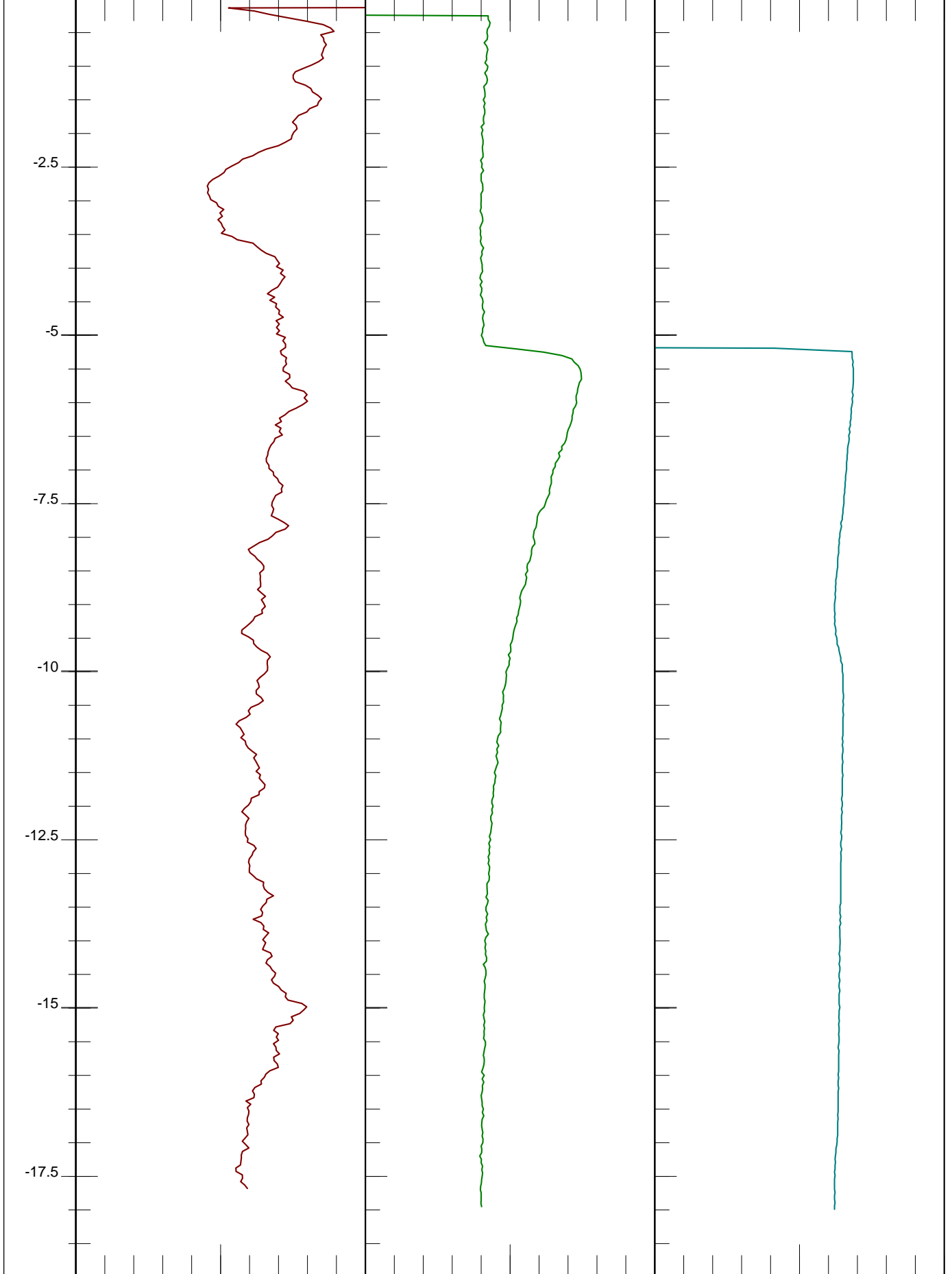
Metres	Natural Gamma2-3	Fluid Temperature	Fluid Conductivity
	0 100	8 (DegC) 12	400 (uScm) 600



Well Name: N-2  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør

Borehulslogging udført 29.10.2009 af GEUS v/Per Jensen

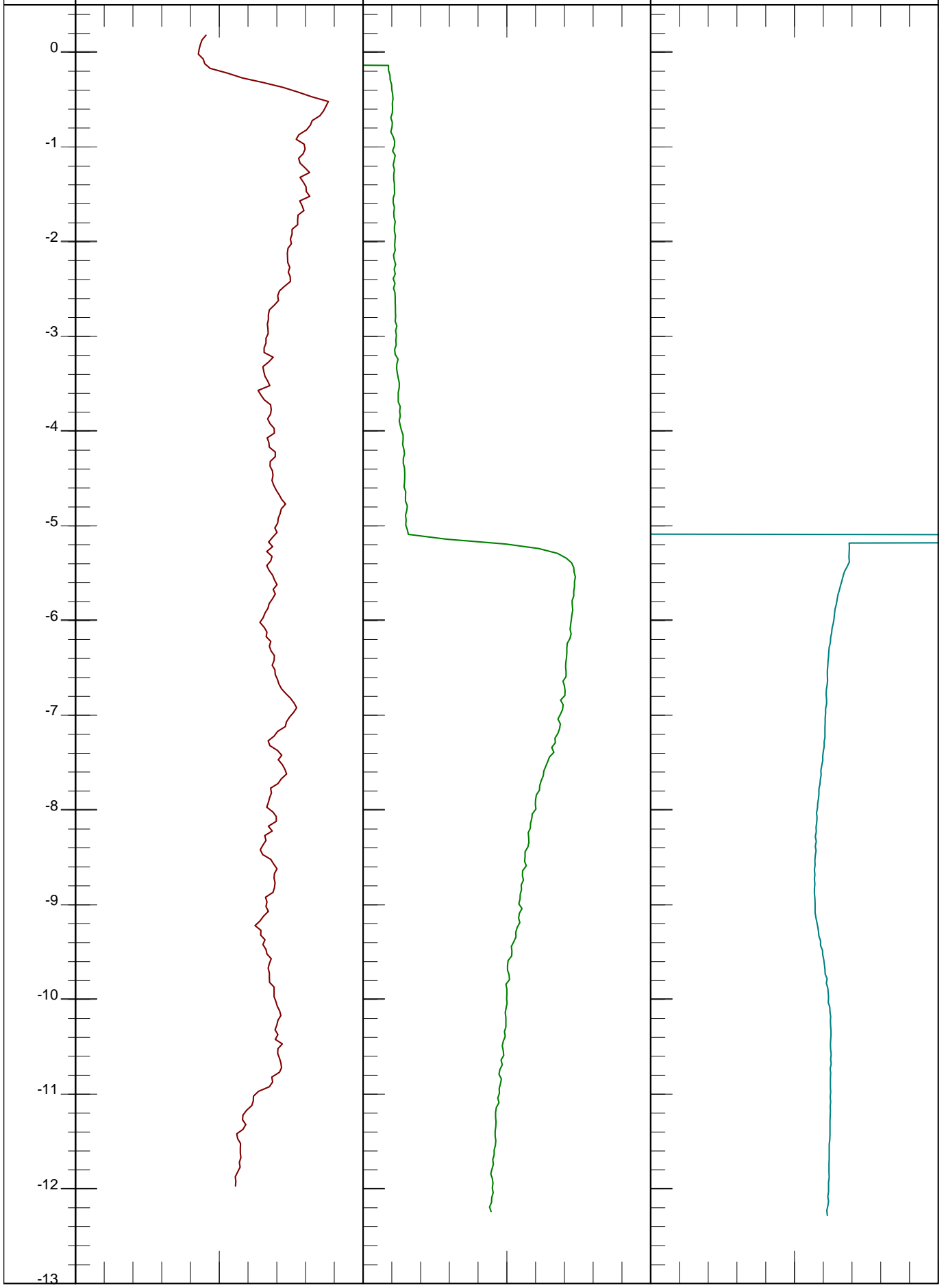
Dybde (m)	Natural Gamma	Fluid Temperature	Fluid Conductivity
	(API)	(DegC)	(uScm)



Well Name: N-3  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør

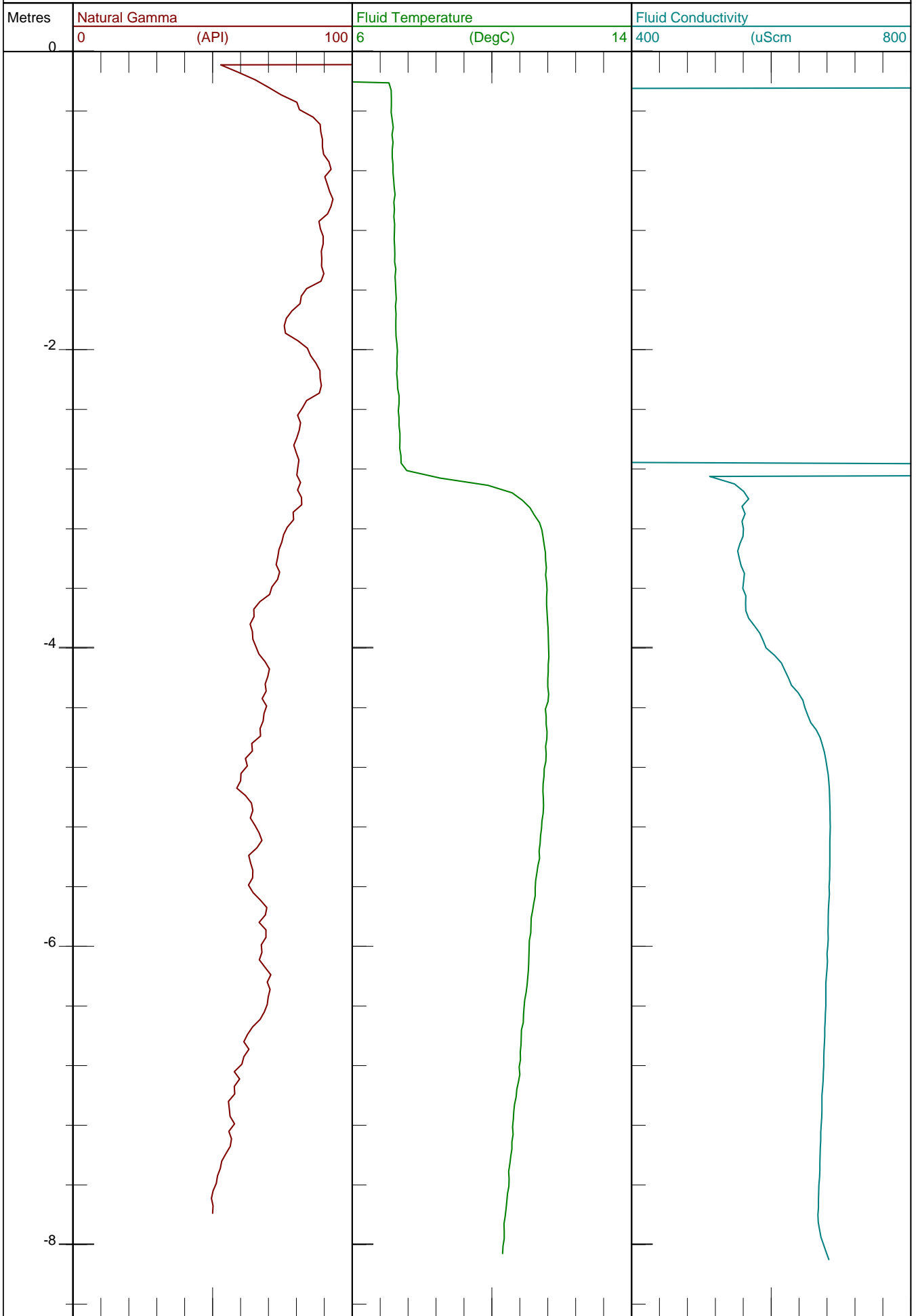
Borehulslogging udført 29.10.2009 af GEUS v/Per Jensen

Metres	Natural Gamma	Fluid Temperature	Fluid Conductivity
	(API)	(DegC)	(uScm)



Well Name: N-4  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør

Borehulslogging udført 29.10.2009 af GEUS v/Per Jensen

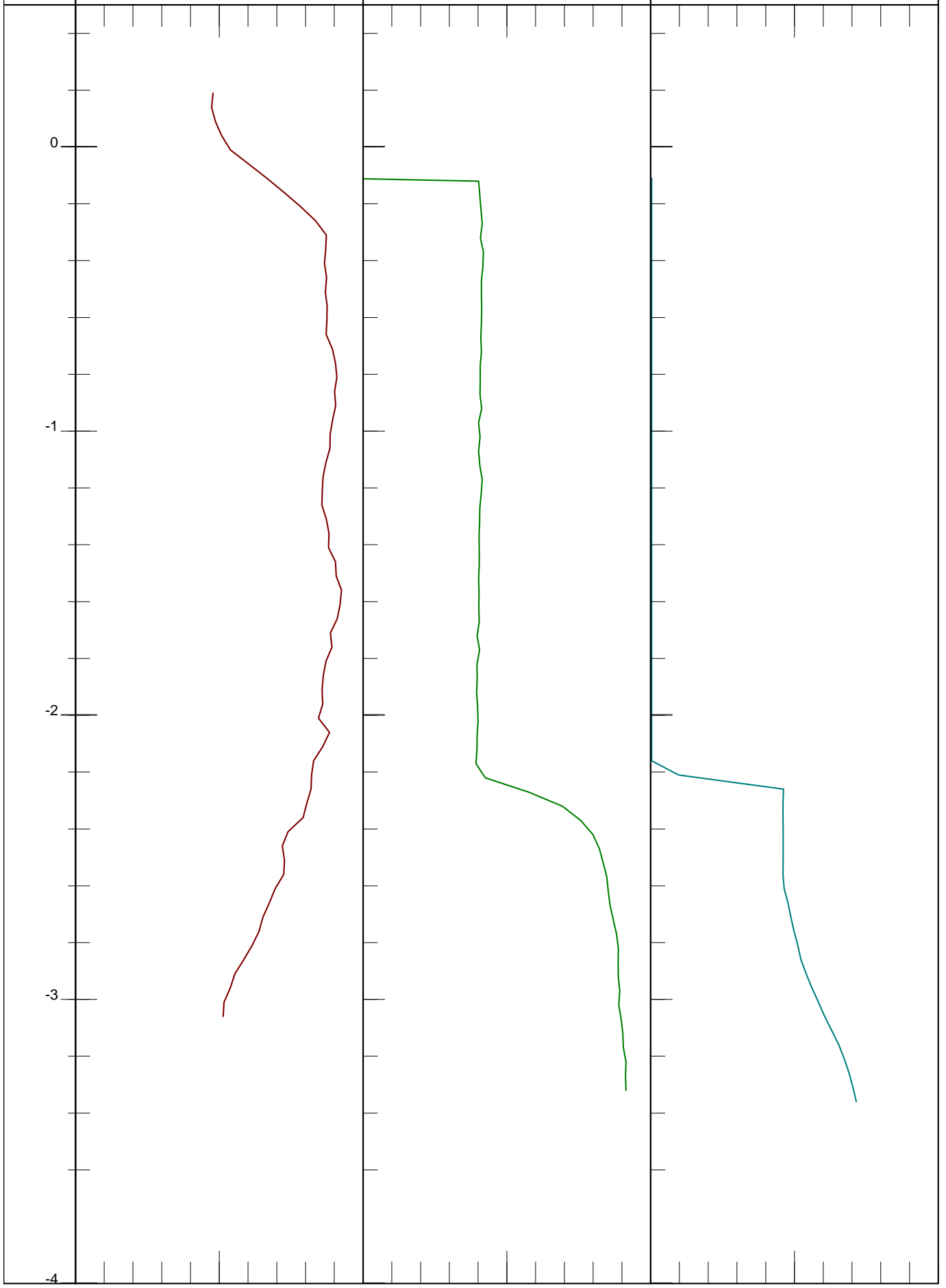




Well Name: N-5  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør

Borehulslogging udført 29.10.2009 af GEUS v/Per Jensen

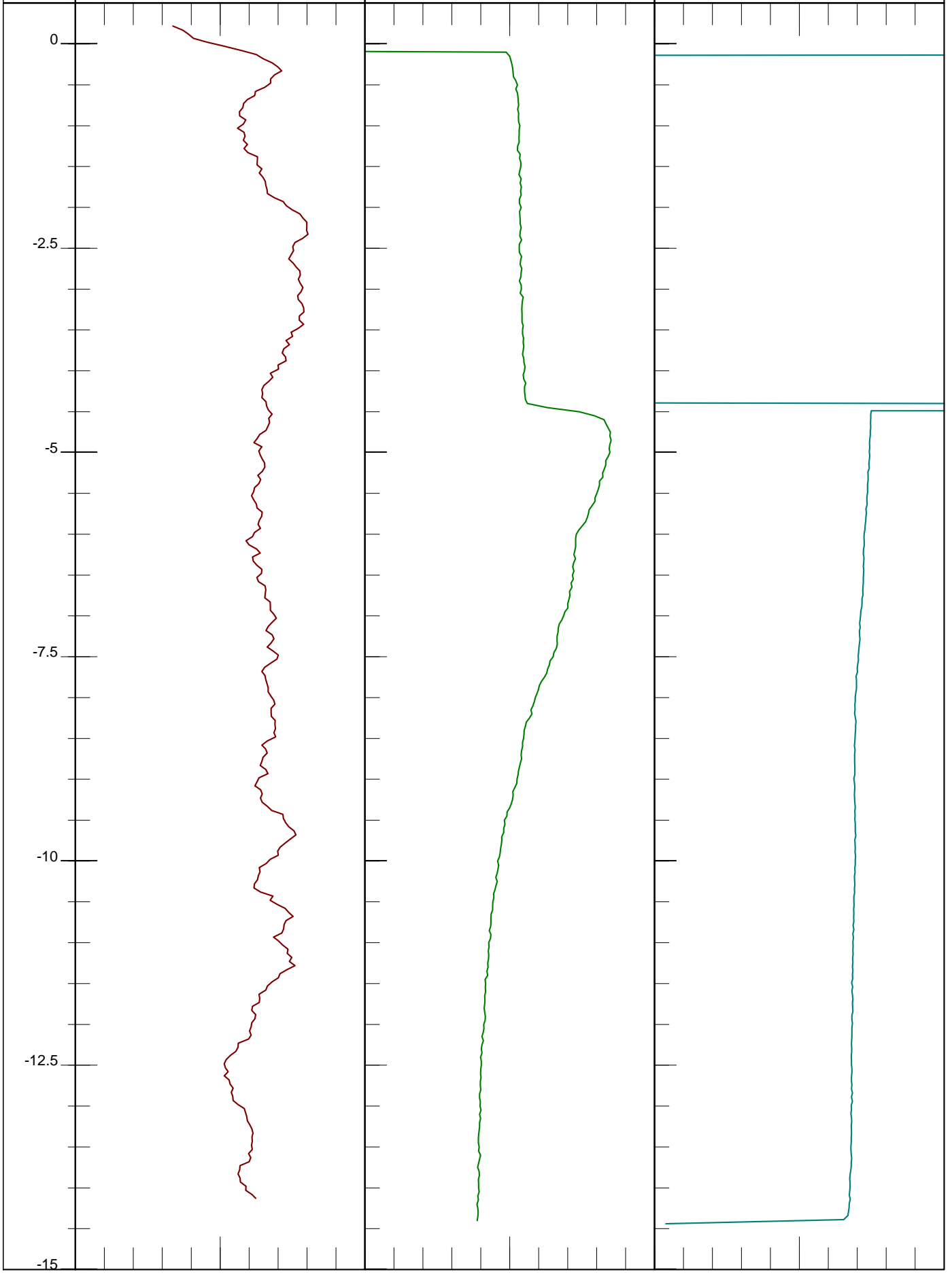
Metres	Natural Gamma	Fluid Temperature	Fluid Conductivity
	(API)	(DegC)	(uScm)



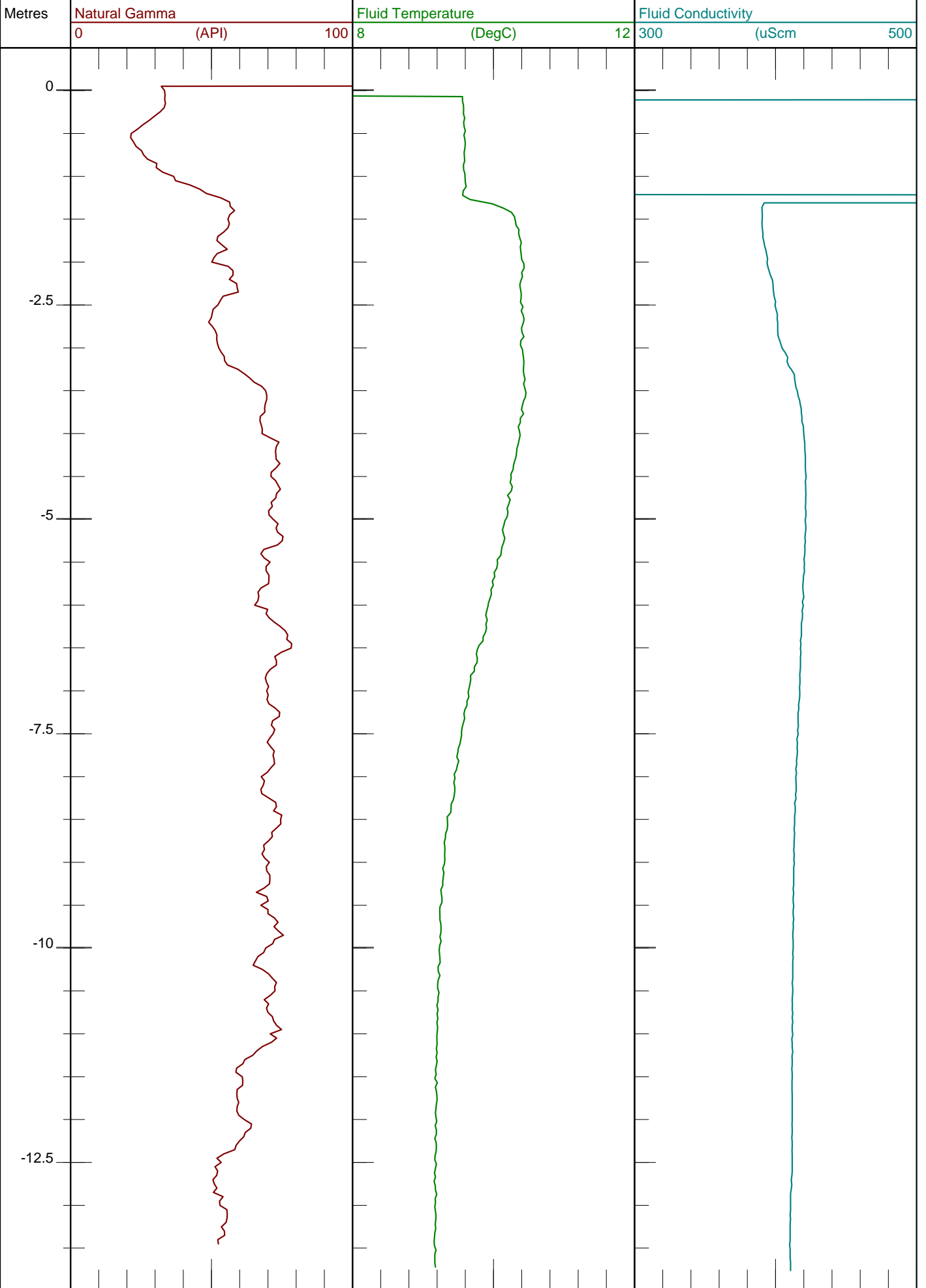
Well Name: P-1  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør

Borehulslogging udført 29.10.2009 af GEUS v/Per Jensen

Metres	Natural Gamma	Fluid Temperature	Fluid Conductivity
	(API)	(DegC)	(uScm)



Well Name: P-2  
Location: Vasbygade  
Reference: Top rør







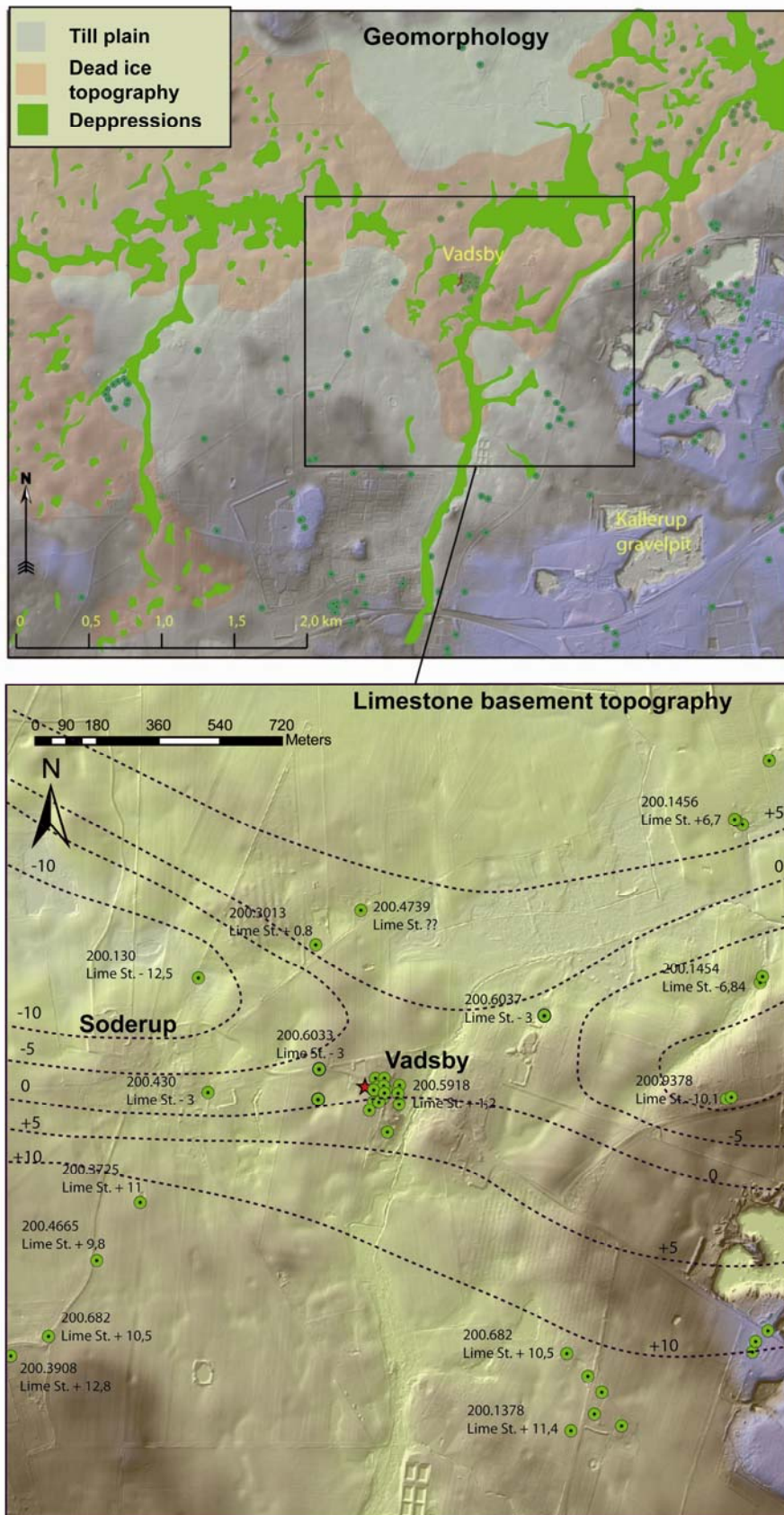


Fig. 2 Geomorfologic map of the regional area and topography of the limestone basement.

The till plain is overlaying a wide spread sandur plain in the southern part of the area. This sandur plain comprises the Hedeland Fm which covers an area of approximately 150 km<sup>2</sup> in the Høje Tåstrup/Roskilde /Lejre area (Jacobsen, 1985). The till plain is gradually dipping towards east and especially in the southeastern part, the Hedeland Fm is exploited in a number of large gravel pits.

Kallerup gravel pit is one of those gravel pits and detailed investigations conducted during fieldwork shows that the till plain consists of two basal tills deposited during the Baltic Ice advances in Late Weichsel (Houmark-Nielsen and Kjaer, 2003). In Kallerup gravel pit the two basal tills are overlaying a sandy deformed flow till with numerous sand lenses imbedded. The tills are overlying melt-water gravel and sand from the Upper headland Fm, which is situated directly on the limestone basement.

The stratigraphy from the Kallerup Gravel pit may be correlated directly to the Vadsby Site with the exception of the clayey flow-till in the uppermost part at the Vadsby site and the clay till directly overlaying the limestone basement. The till units have similar clast fabric orientations, but quite different fracture distribution and thickness. The Hedeland Fm is accordingly missing or very thin in the Vadsby region.

On Fig. 2 and Fig. 3 the topography of the limestone is outlined, and the figure shows that the limestone surface is situated approximately at kote +10 in the southernmost area and drops almost 20 meter to kote -10 around Soderup and furthermore to kote - 20 meter further west and north (Fig. 4, 5 and 6). At the Vadsby site the limestone basement is situated at approximately kote +1 to -3 and from Vadsby to Soderup the limestone basement topography drops almost 10 meters. This combined with increased appearance of melt water sand and gravel towards Soderup, this may indicate the presence of a buried melt water valley. Vadsby is apparently situated on a small high on a valley that follows a general east west going trend. The groundwater potential seems affected by the subsurface topography and the flow direction in the primary aquifer at the Vadsby is thus directed in a NE direction towards Soderup and the wells 200.130 and 200.430 Fig. 2 and Fig.4. The distribution of the lowermost clay till unit directly overlaying the limestone basement at the Vadsby site is poorly documented, but since the groundwater table in the limestone basement and the central sandy horizon coincide it is likely that they may be connected in some areas. The Valley may be part of the Sønder sø Valley system, which is situated further north (Fig. 3). This is a major E-W trending valley that cross cut a major north-south trending fault system outlining the eastern part of the Roskilde Fjord Rift Zone to the west. The Sønder sø Valley system may have a tectonic origin and may accordingly control the groundwater flow to certain extent. It is still a question whether the Sønder sø Valley is eroded into the Limestone basement or if the Limestone is either folded or faulted. Clearly the glacial melt water valley systems seems to follow the structures in the basement.

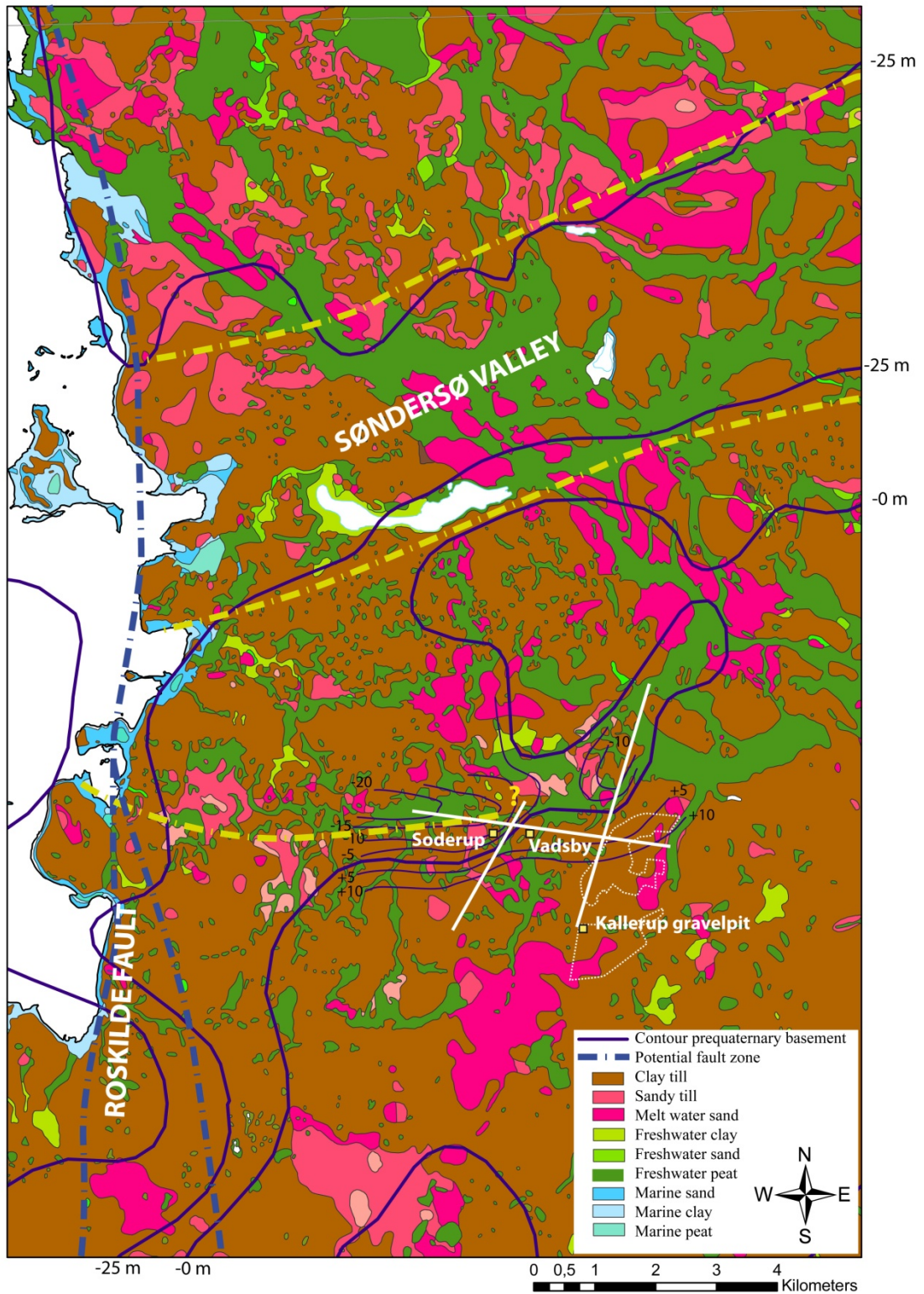


Fig. 3 The regional geological map of the Vadsby area with major basement structures outlined.



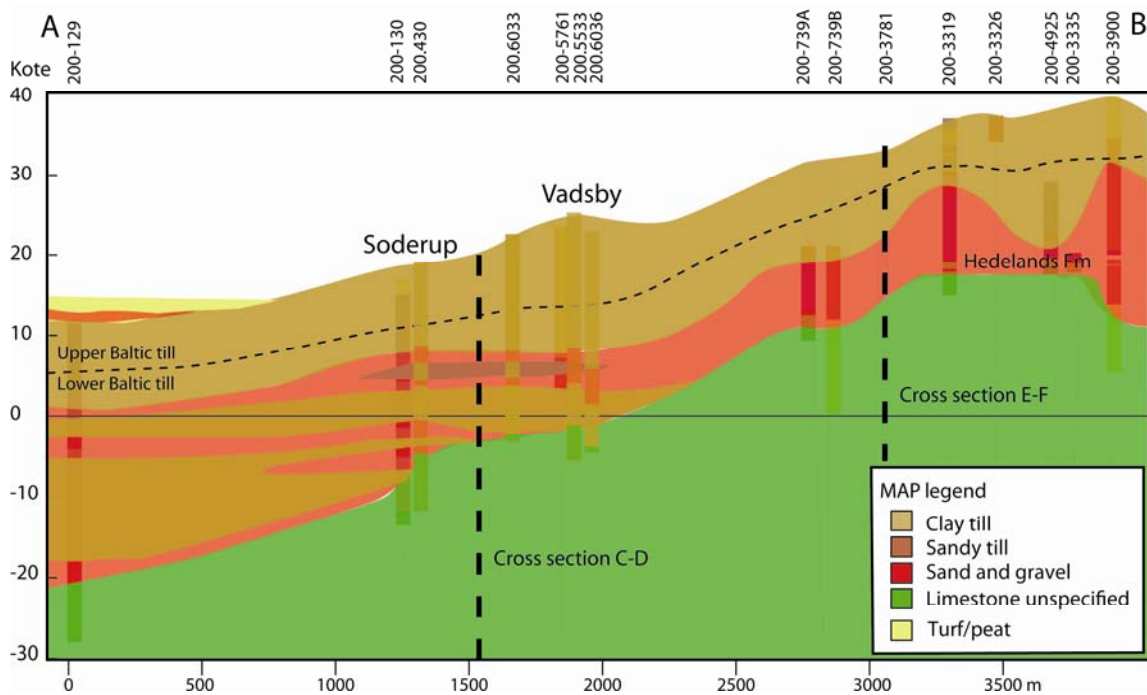


Fig. 4 Profile A-B (see fig. 2 for location of cross sections).

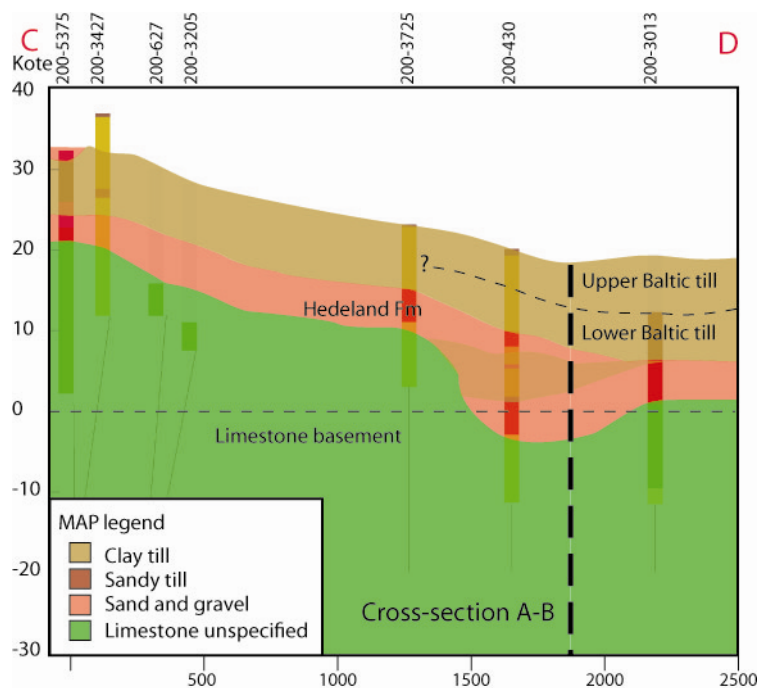


Fig. 5 Profile C-D (see fig. 2 for location of cross sections).



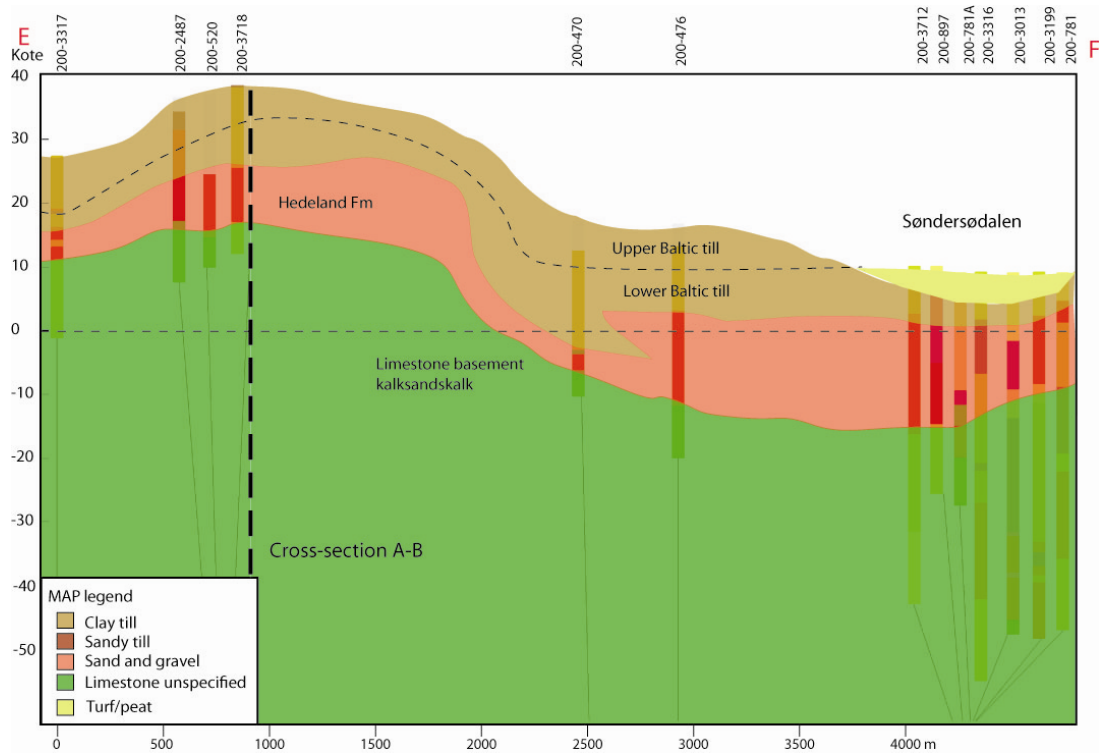


Fig. 6 Profile E-F (see fig. 2 for location of cross sections).

## Referencer

Houmark-Nielsen, M. and Kjaer, K.H. (2003). Southwest Scandinavia, 40-15 kyr BP: palaeogeography and environmental change. *Journal of Quaternary Science*, 18 (8), p. 769-786.

Jacobsen, E.M. (1985). En råstofgeologisk kortlægning omkring Roskilde. *Dansk geologisk Foren., Årsskrift for 1984*, p. 65-78

## Description of the local geology at the Vadsby site

## Bilag 3

In Figure 1 the location of the geological profiles are shown. The profiles at regional scale are colored in red and the site scale profiles are yellow. Note that the site scale profiles are based only on logs of the wells indicated in Figure 1.

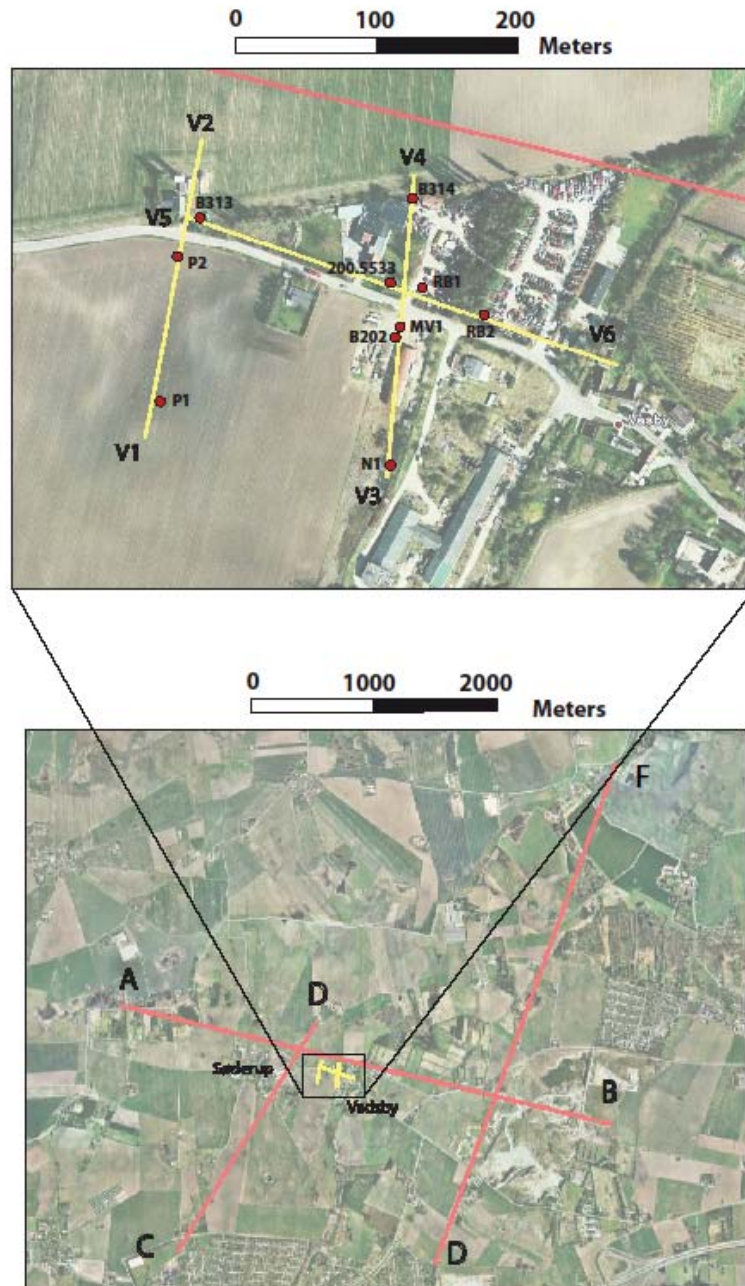


Figure 1: Location of geological profiles, both at regional and at site scale

## Geological profiles

The geological profile in Figure 3 shows a cross-section in East-western direction some 20 m north of the source zone. The profile shows a thick layer of glacial sediments consisting of overlying till units. The uppermost till unit between 24 – 16 m a.s.l. is a consolidated layer of firm clay till. It is very low permeable and creates confined conditions for the aquifer underneath. The upper part is oxidized and densely fractured. In the reduced horizon only a small number of fractures reach to greater depths. This till unit is also called a type B till.

Beneath is a second till unit of type A that is thicker than the one above. It is less fractured, but shows a number of sand lenses and horizontal sand sheets. The lower part of the unit appears as a till transition zone. The silt content in the matrix is higher leading to a softer packing of the till, but still showing low hydraulic permeability. Also boulders and sand lenses occur in higher density.

At 8 m a.s.l. and below is a large unit consisting of sandy materials. It resembles a very soft and sandy till, but has significant portions of fine sand and silt. It is difficult to draw a clear interface around this sandy layer as the till units above and below also have high silt contents creating a smooth transition between these units.

The third till unit between the sandy layer and the limestone is quite permeable and has also large proportions of silt and sand. Its thickness varies and in places disappears entirely creating a direct connection between the limestone and the sandy layer.

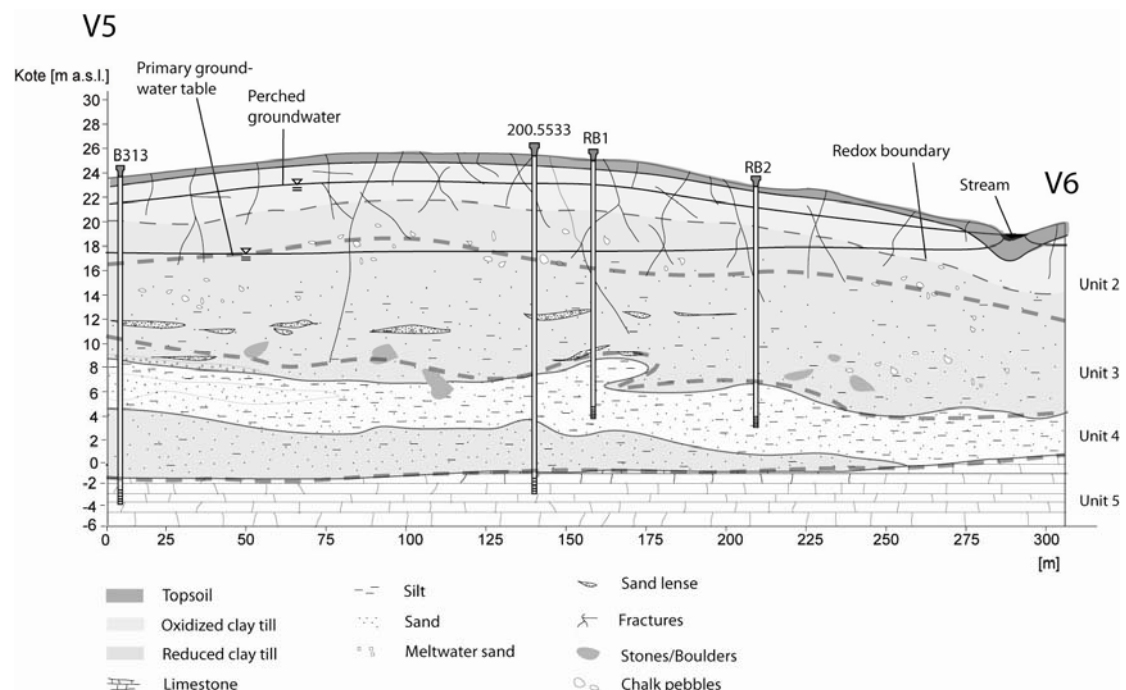


Figure 2: Geological profile V5-V6

The profile in Figure 3 shows a cross-section in North-South direction passing through the source zone. The geological setting is naturally very similar to the profile above. However, the thickness of the sandy layer varies a lot more and is not connected directly to the limestone. The transition to the surrounding till is also less distinct compared to the profile WE.

Another important characteristic is the accumulation of fractures and sand sheets in the centre of the profile. This area represents the source zone of the site and is therefore important for vertical transport of contaminant. Some large fractures may connect to some of the sand sheets below, that again enable horizontal transport.

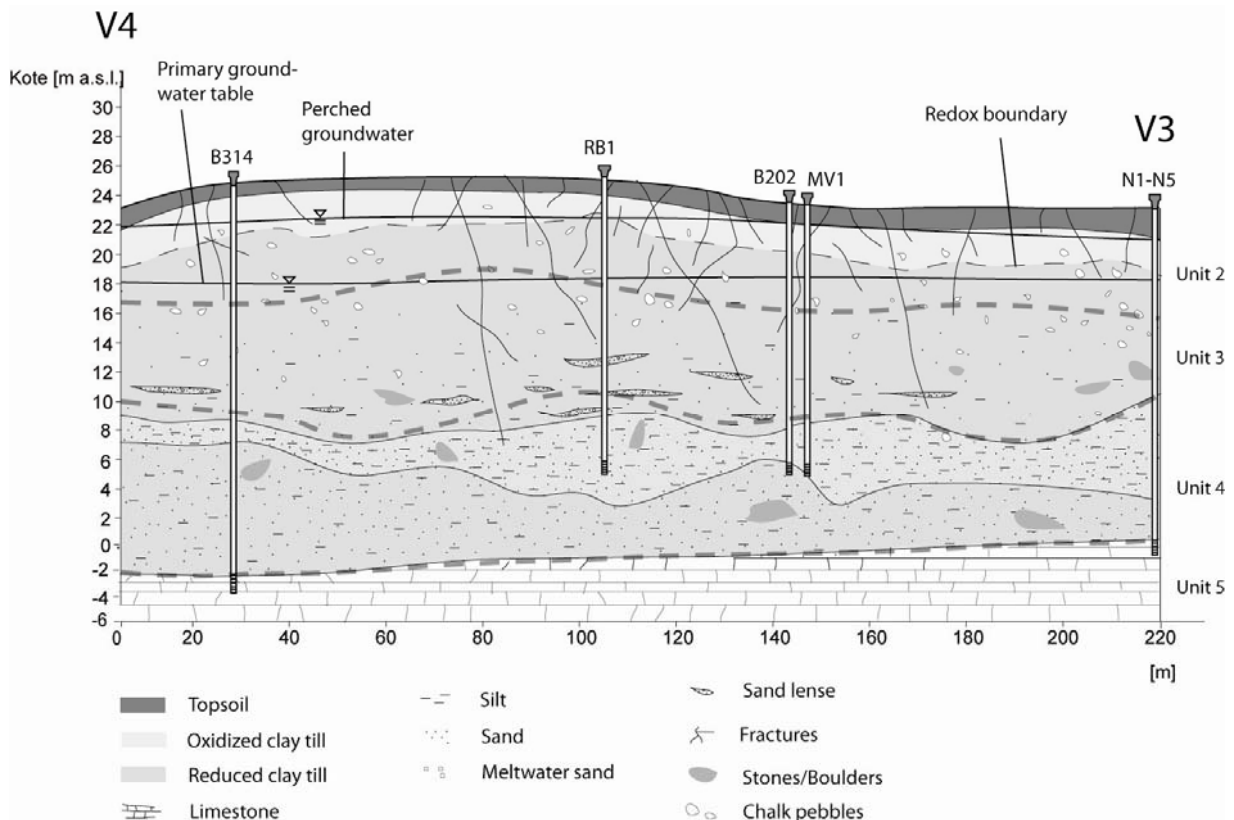


Figure 3: Geological profile V4-V3

Finally, Figure 4 shows a profile in North-South direction some 200 m further west from the previous profile. The till setting is very similar to the previous profile. In southern direction we observe a little depression where silt deposits overlay the till and a significant peat layer builds a cover on top of the sediments. The till is quite deformed showing an irregular pattern of the sandy layer. Minor meltwater deposits were observed lying on top of the sandy layer.

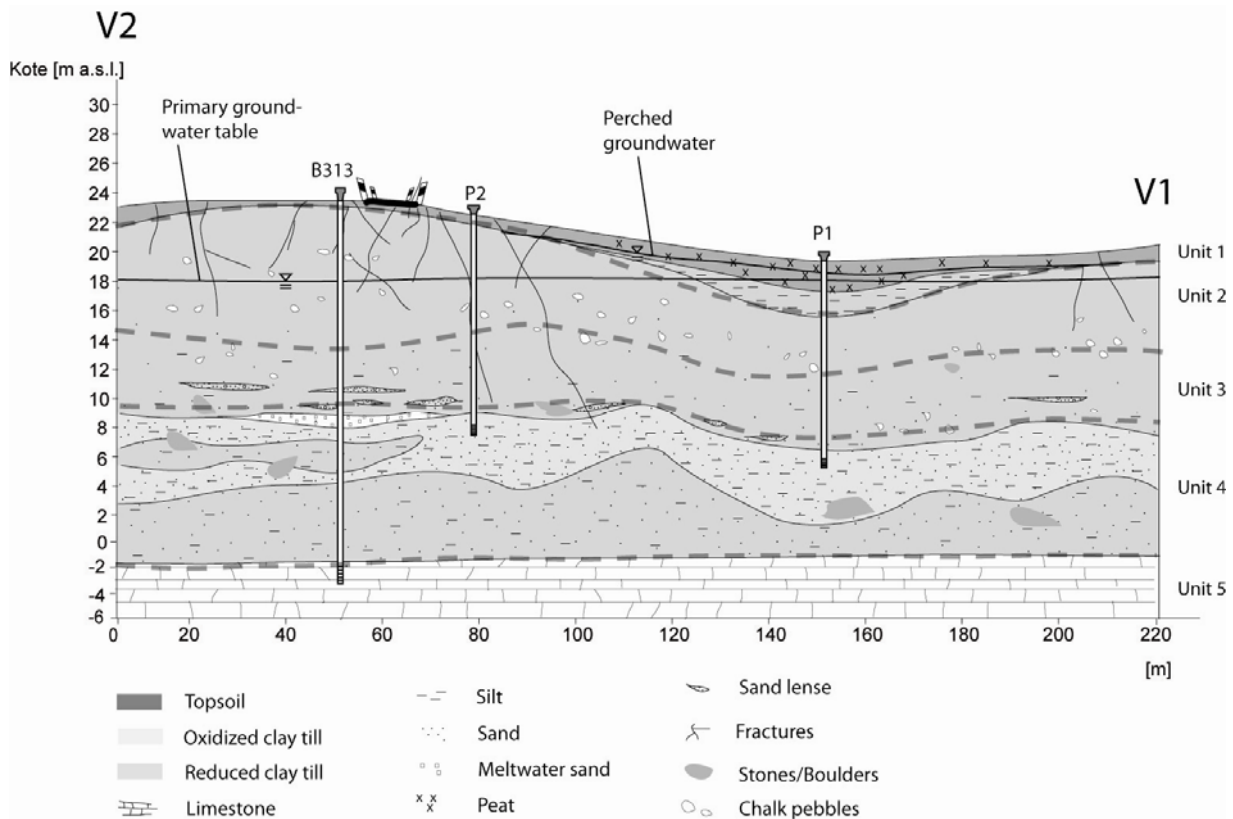


Figure 4: Geological profile V2-V1

**Groundwater flow field**

**Bilag 4**



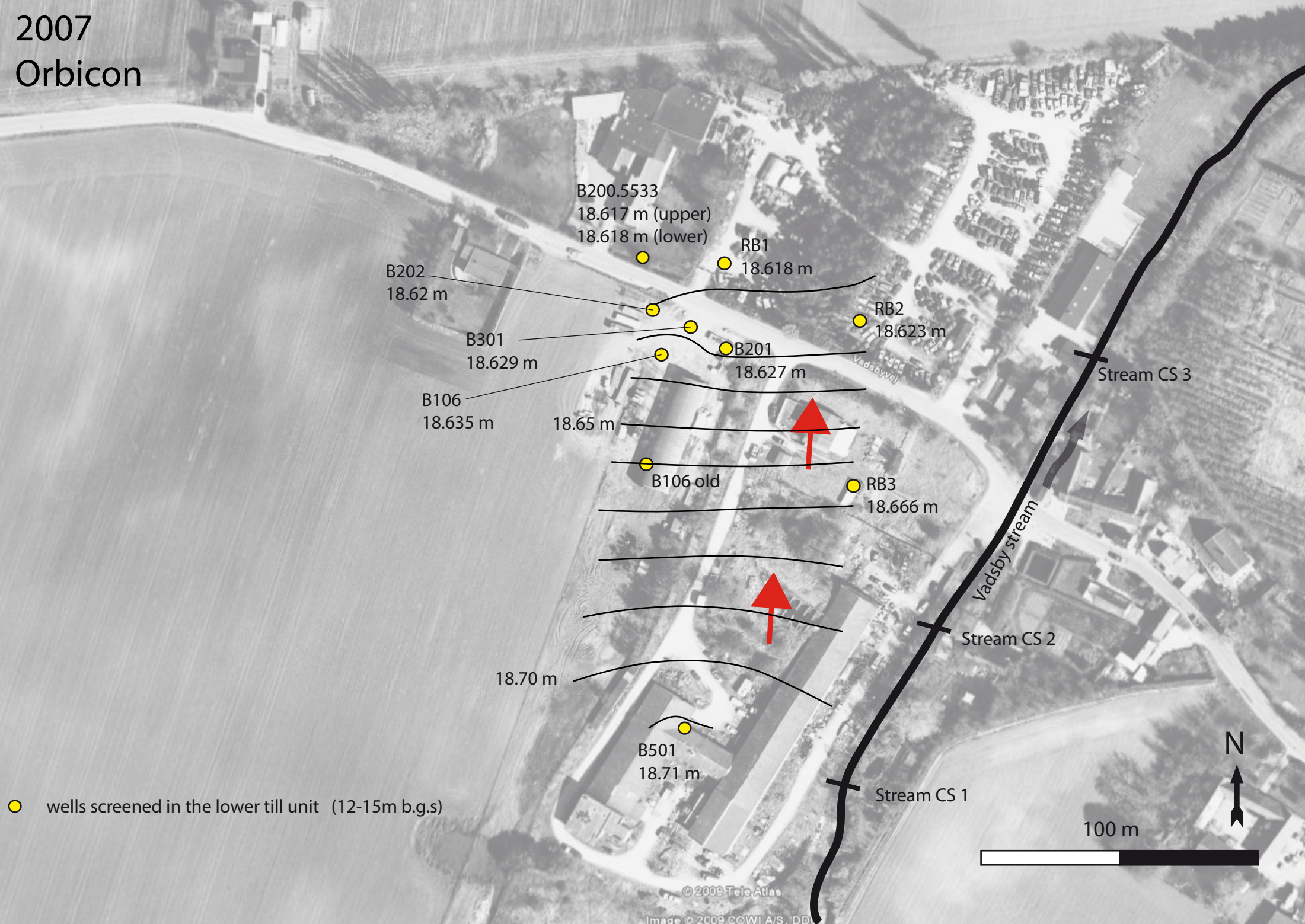
# Locations wells November 2010



- deep well screened in the limestone (>20m b.g.s)
- medium wells screened in the lower till unit (12-15m b.g.s)
- nested piezometers (all depths)

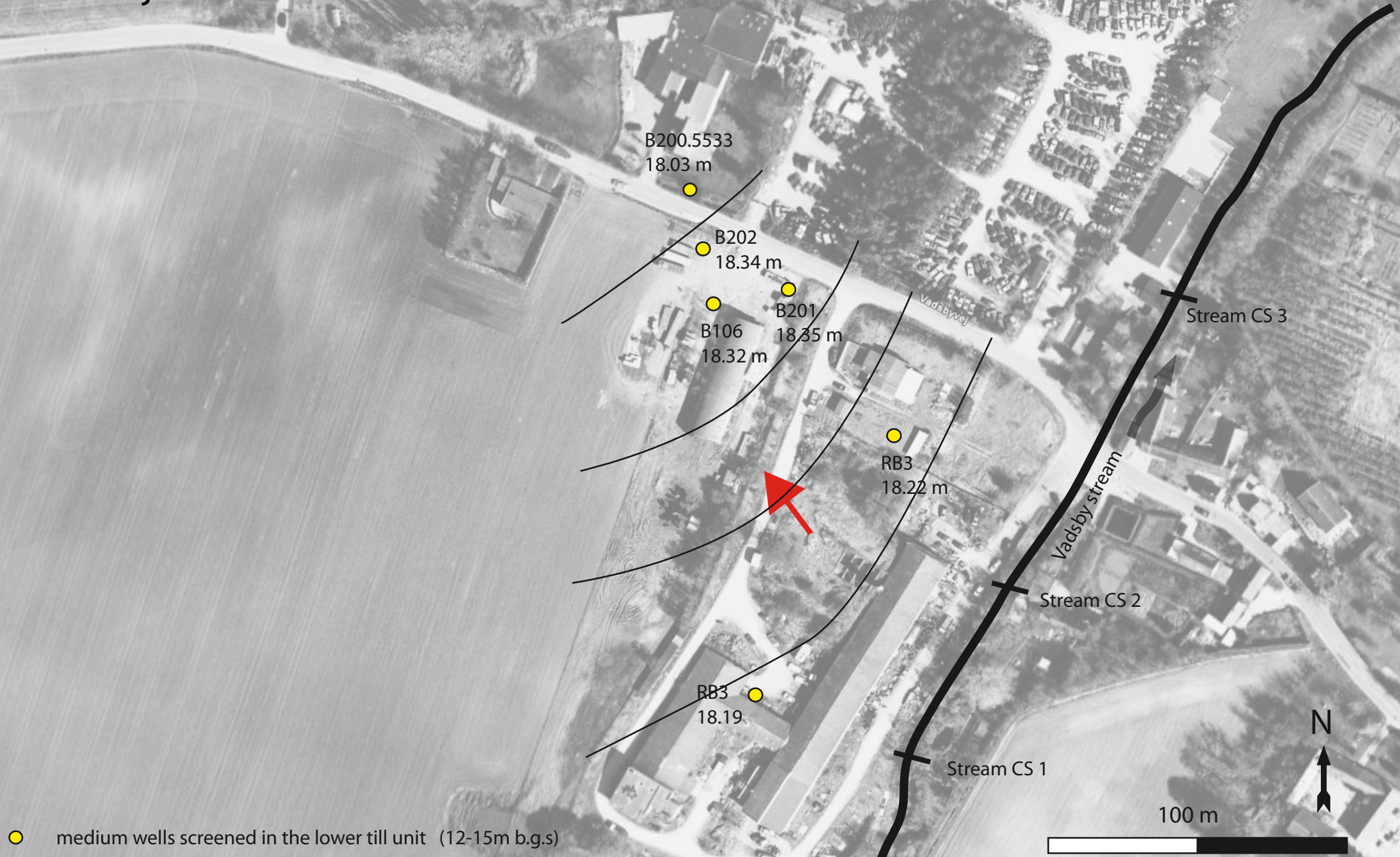


# 2007 Orbicon





April 2009  
DTU Miljø





# May 2010 Orbicon





# May 2010 Orbicon

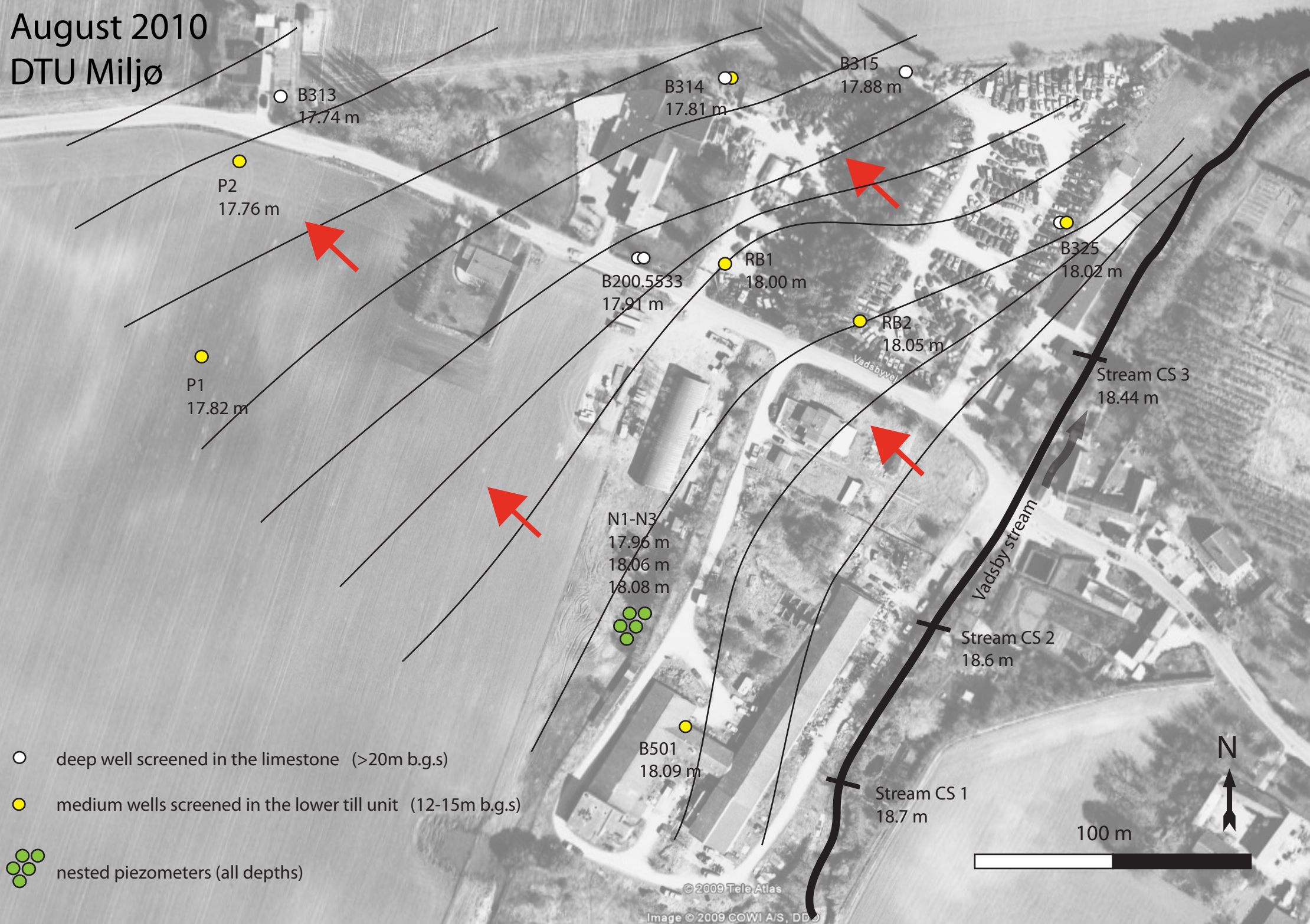


© 2009 Tele Atlas

Image © 2009 COWI A/S, DDU

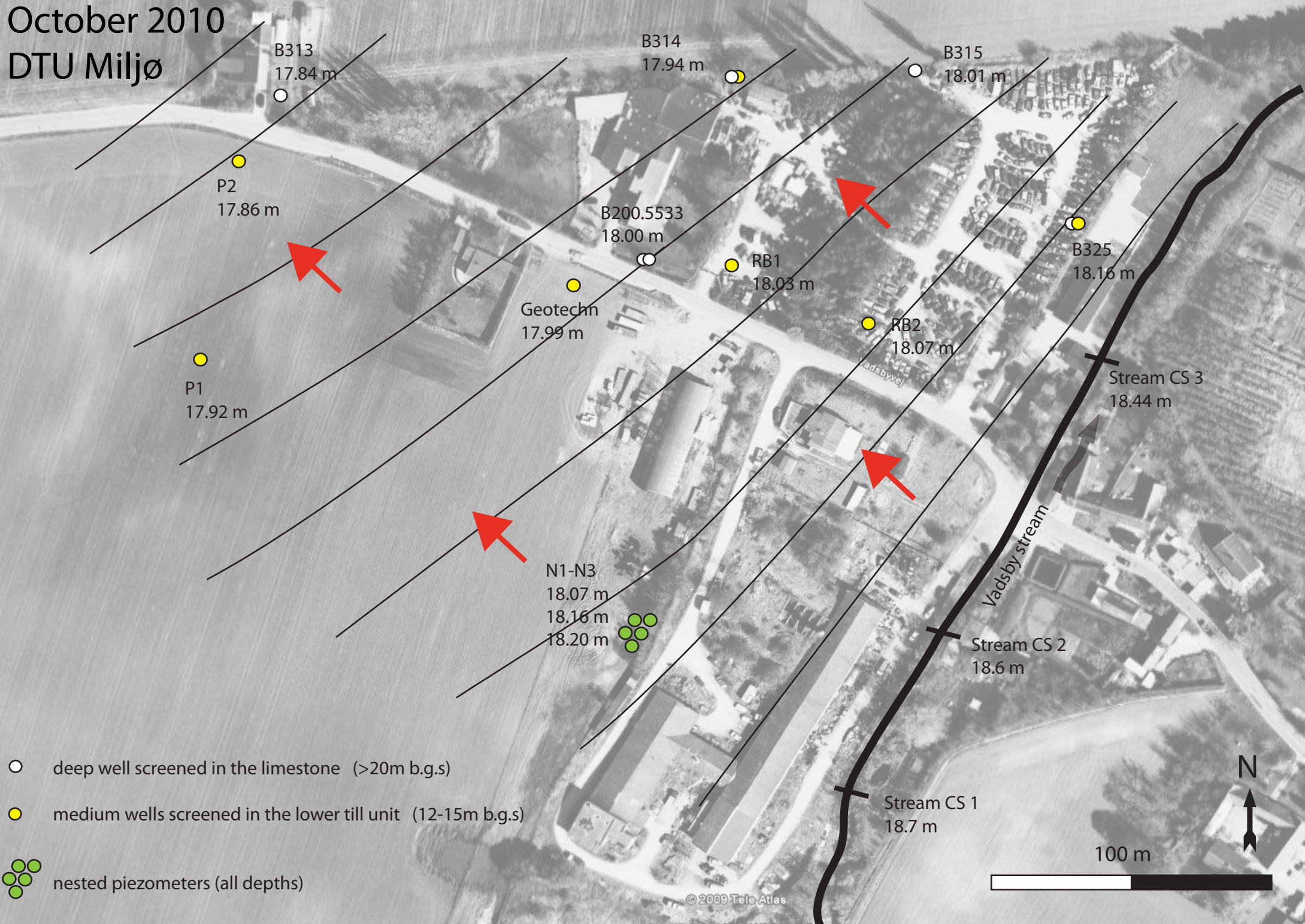


# August 2010 DTU Miljø





# October 2010 DTU Miljø



**Hydraulic conductivity data**

**Bilag 5**

Well name	DGU Nr	Screen depth	Geology	Method	Date	Conductivity K [m2/s]	Std Error K
N4	200.5918	7.8-8.3	Upper till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	3.79E-08	1.12E-10
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	3.79E-08	1.20E-10
N5	200.5918	3.0-3.5	Upper till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	1.29E-07	4.84E-11
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	1.09E-07	4.07E-11
RB1	200.5761	15,5-17,5	Sandy till	Bouwer Rice/Hvorslev	2007 - Orbicon	6.50E-06	na
RB2	200.5762	17.0-20.0	Sandy till	Bouwer Rice/Hvorslev	2007 - Orbicon	2.50E-06	na
B202	200.5773	15.0-18.0	Sandy till	Pumping Test	2007 - Orbicon	3.20E-05	na
N2	200.5918	17.0-18.0	Sandy till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	1.06E-07	2.82E-10
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	9.59E-08	2.55E-10
N3	200.5918	12.0-13.0	Sandy till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	5.75E-07	1.60E-10
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	4.95E-07	1.38E-10
P1	200.5919	13.0-14.0	Sandy till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	1.75E-05	1.56E-07
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	1.57E-05	1.40E-07
P2	200.592	13.8-14.8	Sandy till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	1.18E-06	5.79E-09
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	1.07E-06	5.22E-09
B314Till	200.6034	15.6-16.6	Sandy till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	2.68E-06	5.51E-09
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	2.38E-06	4.90E-09
B325Till	200.6036	14.0-15.0	Sandy till	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	3.79E-08	2.10E-11
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	3.79E-08	6.84E-11
B313	200.6033	24.75-25.75	Limestone	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	2.68E-06	3.65E-09
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	2.74E-06	3.73E-09
B314LS	200.6034	26.6-27.6	Limestone	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	3.10E-06	2.32E-09
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	2.95E-06	2.21E-09
B315	200.6035	26.8-27.8	Limestone	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	6.31E-06	2.62E-09
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	6.48E-06	2.69E-09
B325LS	200.6036	26.6-27.6	Limestone	Hvorslev	July 2010 - DTU Miljø	2.11E-06	9.58E-10
				Bouwer Rice	July 2010 - DTU Miljø	2.18E-06	9.91E-10
Risby	na	19.0-20.0	Limestone	Pumping Test	na	3.50E-05	na
Risby	na	19.0-20.0	Limestone	Pumping Test	na	1.30E-04	na
DK model	na	na	Limestone	DK model	na	7.00E-05	na
Other site	na	na	Limestone	Slug Test	2007 - Orbicon	3.20E-04	na

### Method

The capture zone of the waterworks are calculated with analytical solution from (Christ and Goltz 2002).

The potential lines  $\Phi$  (dark blue in Figure 1) and the streamlines  $\Psi$  (light blue in Figure 1) are given by the formula:

$$\Phi = -K \cdot i (x \cos \alpha + y \sin \alpha) + \frac{Q}{4\pi B} \ln \left[ (x - x_{well})^2 + (y - y_{well})^2 \right]$$

$$\Psi = K \cdot i (x \sin \alpha - y \cos \alpha) + \frac{Q}{4\pi B} \tan^{-1} \left[ \frac{y - y_{well}}{x - x_{well}} \right]$$

The extend of the capture zone depends on:

- Hydraulic conductivity ( $K$ )
- Hydraulic gradient ( $i$ )
- Aquifer thickness ( $B$ )
- Pumping rate ( $Q$ )

$\alpha$  is the angle between the direction of regional flow and the x-axis and  $x_{well}$  and  $y_{well}$  are the coordinates of the pumping well.

### Soderup Waterworks

The hydraulic gradient  $i$  is taken from the regional potential in the chalk aquifer (1.7 ‰), the yearly pumping rate  $Q$  for Soderup was 9620 m<sup>3</sup> in 2009 and the maximum allowed is 16500 m<sup>3</sup> (GEUS - De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland 2010), the regional hydraulic conductivity  $K$  has been measured in the chalk between 10<sup>-5</sup> to 5\*10<sup>-4</sup> m.s<sup>-1</sup>, and the aquifer thickness  $B$  is estimated between 3 and 10 meters (corresponding to the top part of the chalk aquifer, which is heavily fractured). Nine scenarios have been modeled to investigate the uncertainty of the capture zone.

The potential lines simulated with the nine scenarios are compared at the local scale (around Vadsbyvej 16A) with the measurements results from October 2010 (Figure 2). It can be seen that the most realistic scenarios are 7, 8 and 9, where a hydraulic conductivity of 5\*10<sup>-4</sup> m.s<sup>-1</sup> was assumed. The potential lines simulated with the other scenarios are too close compared to the measured heads. This means that the capture zone of Soderup waterworks is most probably best represented by the bottom graphs in Figure 1.

The Vasby sites are not within the catchment area of Soderup waterworks, given the assumptions of homogeneous geology and the selected hydraulic properties of the regional chalk aquifer.



Table 1 – Scenarios for capture zone calculations

Q in $\text{m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ B in m K in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Q=9620 and B=3 Q=16500 and B=5 Q=33000 and B=10	Q=9620 and B=6 Q=16500 and B=10 Q=33000 and B=20	Q=9620 and B=1.5 Q=16500 and B=2.5 Q=33000 and B=5
K= $10^{-5}$	1	2	3
K= $7 \cdot 10^{-5}$	4	5	6
K= $5 \cdot 10^{-4}$	7	8	9

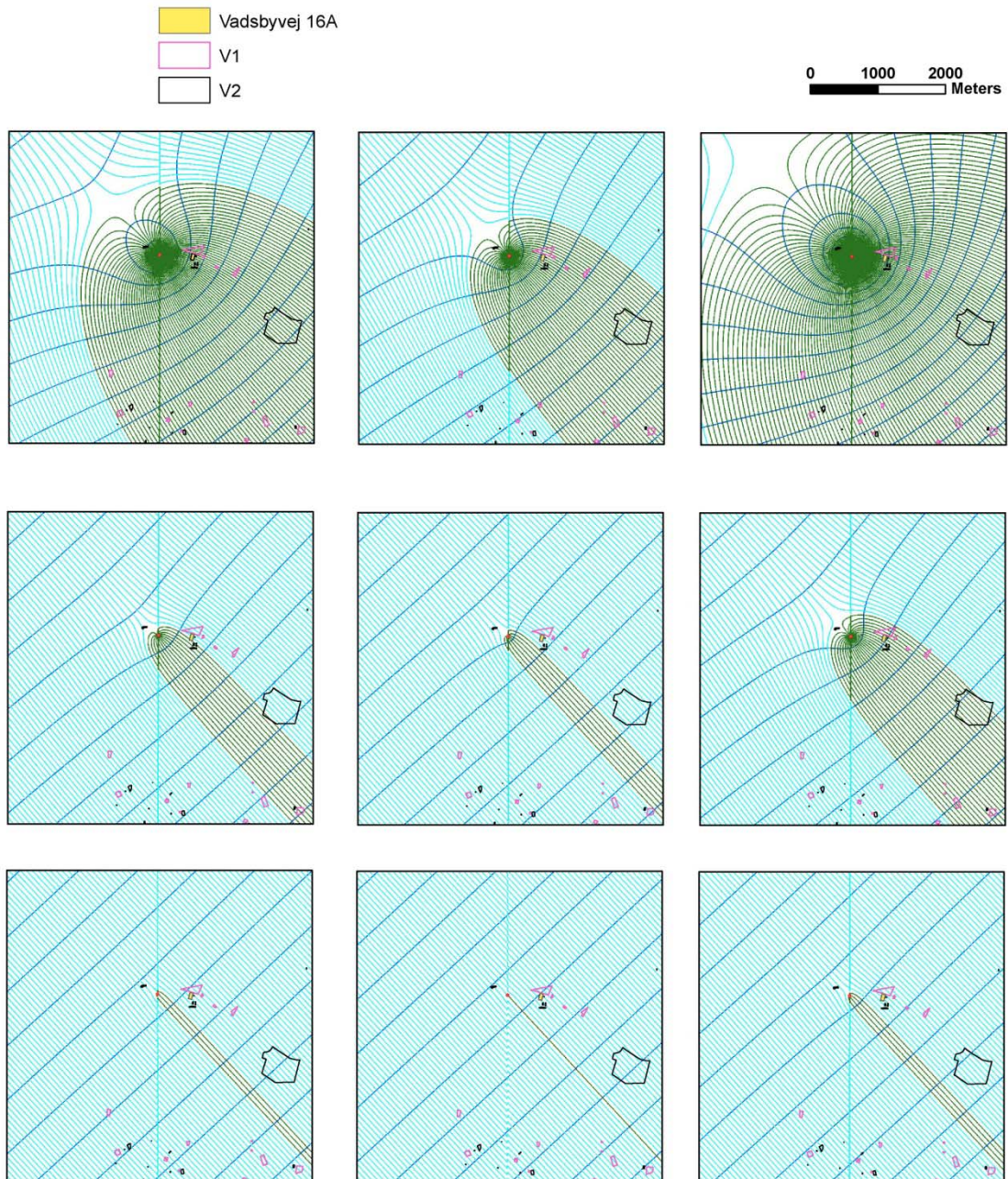


Figure 1 – Soderup waterworks capture zone for the nine scenarios (see Table 1). The capture zone is shown in green, the streamlines in light blue and the potential lines in dark blue (1m between two lines). Soderup well is shown in red.



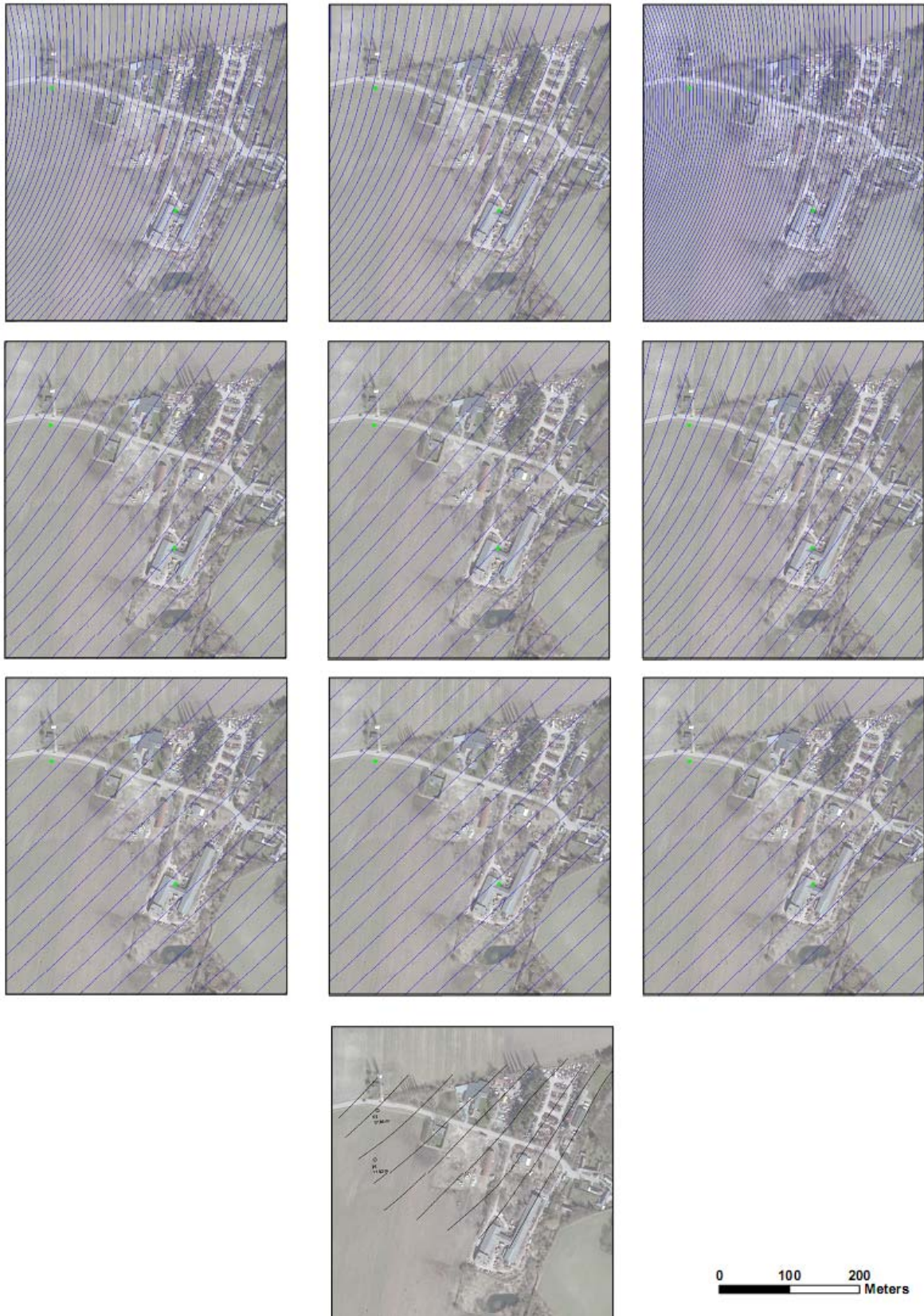


Figure 2 – Potential line at the local scale for the nine scenarios, and from measurements in October 2010 (bottom). The potential lines are separated by 0.05 m in all figures.



### Capture zone of Brokilde and Marbjerg wellfield

These two well fields are located around 3 km from Vadsbyvej 16A, and the pumping volume is 2,000,000 and 600,000 m<sup>3</sup> per year respectively. Given the most probable scenario (scenario 7 in Table 1), the capture zone of these well fields is calculated. Each of the well field has 15 wells, but they are here represented with three wells only, pumping at an equal rate. As shown in Figure 3, the Vadsby sites are located in the capture zone based on the assumed hydraulic parameters.

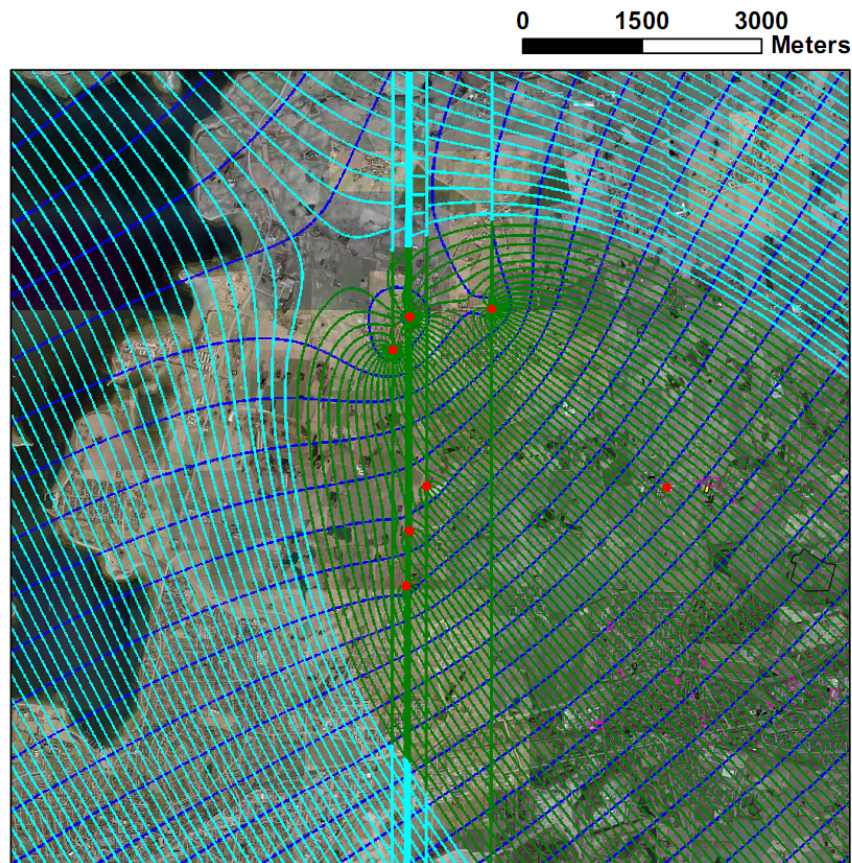


Figure 3 – Brokilde and Marbjerg wellfield capture zone for the scenario 7 (see Table 1). The capture zone is shown in green, the streamlines in light blue and the potential lines in dark blue (1m between two lines). The pumping wells are shown in red.

Christ, J.A. and Goltz, M.N., 2002, *Hydraulic containment: analytical and semi-analytical models for capture zone curve delineation*, Journal of Hydrology 262[1-4], 224-244.

GEUS - De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland. 2010. *Jupiter - Denmark's geological and hydrogeological database*. <http://www.geus.dk/jupiter/index-dk.htm>

**Vadsby forureningsundersøgelse - alder og kemi af grundvand Bilag 7**

**Til:** DTU Miljø - Institut for Vand og Miljøteknologi, Poul. L. Bjerg

**Fra:** GEUS, T. Laier

Kopi til: B. Nilsson, K.E. Klint & P. Rosenberg

Fortroligt: **Nej**

Dato: 14. december 2010

GEUS-NOTAT nr.: [05-VA-10-05](#)

J.nr. GEUS: 217-00001

**Emne:** Vadsby forureningsundersøgelse - alder og kemi af grundvand

---

## **Vadsby forureningsundersøgelse - alder og kemi af grundvand.**

Aldersbestemmelse af grundvand i forbindelse med undersøgelserne i Vadsby, nær Hedehusene, var ønskelig som led i bedømmelsen af den mulige spredning af en konstateret forurening med klorerede opløsningsmidler. Datering ved hjælp CFC metoden, der kan anvendes for grundvand dannet efter 1940, blev foreslået, og 6 boringer blev valgt ud på grundlag af de foreliggende kemi-analyser, tabel 1. Boringer med et væsentlig methanindhold blev ikke medtaget, da methandannelse markerer stærkt reducerende forhold, hvorunder CFC forbindelser nedbrydes helt eller delvis, og CFC metoden derfor ikke kan anses for velegnet.

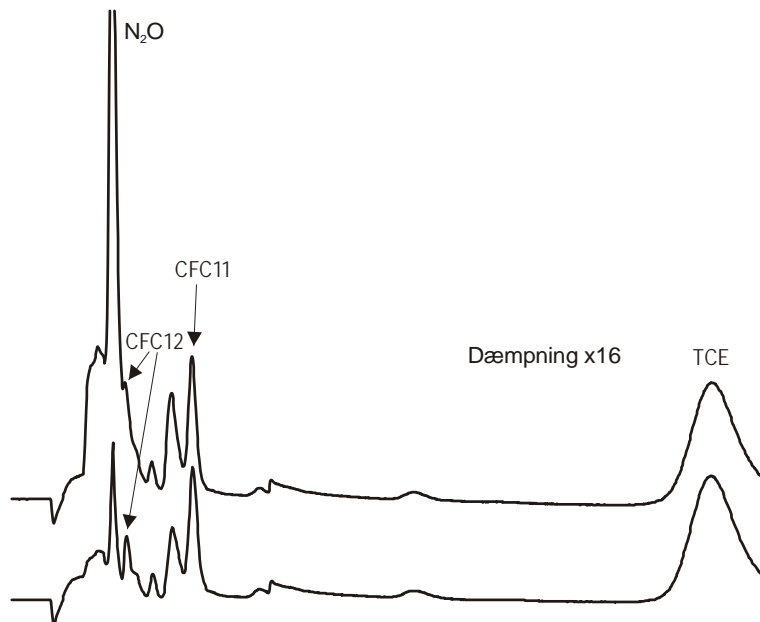
Prøver for CFC analyse blev udtaget 26. – 27. oktober i år og den beregnede alder på basis af CFC koncentrationerne, primært CFC-12, lå mellem 40 og 70 år. En enkelt boring viste en alder på mere end 70 år, se tabel 2. En alder af grundvandet på 70 år eller mere var overraskende i betragtning af, at der i samme boring var fundet spor af forureningen, der næppe strækker sig mere 40 år tilbage. En mere udtømmende tolkning af CFC resultaterne, end blot CFC alderen, ville derfor være ønskelig.

Nedenstående redegørelse er udarbejdet for at forklare det tilsyneladende paradoks: Fund af en yngre forurening i ældre vand. Forklaringen, der inddrager den uorganiske grundvandskemi, kan også give end bedre forståelse for, hvordan en forurening kan spredes i den type geologi, der karakteriserer området omkring Vadsby.

### Lattergas (N<sub>2</sub>O) viser opblanding af forskellige vandtyper

Lattergas blev sporet i alle Vadsby vandprøverne, ikke som en del af det planlagte analyseprogram, men som et spin-off af CFC analysemetoden som forklaret i det følgende. ECD (electron

capture detector), der anvendes i GEUS' CFC laboratorium, er overordentlig følsom overfor halogen, oxygen og svovlforbindelser, og målingerne registrerer derfor alle sådanne forbindelser, hvis de er flygtige og fanges på fælden i det "purge&trap" system, der opsamler de almindeligste CFC forbindelser. De hyppigste stoffer der registreres i grundvand foruden CFC er: N<sub>2</sub>O, CCl<sub>4</sub>, CHCl<sub>3</sub> og TCE. PCE ses normalt ikke pga. den afkortede analysetid. Lattergas toppen viser sig lige før CFC-12 i kromatogrammet, og "skygger" af og til for denne, se figur 1. For at minimere opsamlingen af lattergas er temperaturen i kuldefælden i "purge&trap" systemet sat på en temperatur (±30 °C), der fanger al CFC, men tillader delvis passage af lattergas. For de fleste vandprøver er det et passende kompromis, men for prøver af grundvand fra zonen med nitrat reduktion, er lattergasindholdet så højt, at kuldefælden må "spules" et par minutter mere for fjerne lattergas så CFC-12 toppen ses tydelig, se figur 1.



Figur 1. CFC kromatogrammer af vandprøver fra boring 313, nederst: Det meste N<sub>2</sub>O fjernet ved ekstra flush af kuldefælde.

Ekstra spuling (flush) af kuldefælden var nødvendig for alle Vadsbyprøverne pga. af deres lave CFC-12 indhold og relativt høje N<sub>2</sub>O indhold, se tabel 2. Det relativt høje lattergasindhold er overraskende i betragtning af at prøverne ikke indeholder nitrat (i det mindste ikke i målelige koncentrationer) tabel 3, da lattergas dannes som mellemprodukt ved denitrifikation, og dermed forudsætter tilstedeværelse af nitrat. Vandanalyser fra de forskellige undersøgelsesboringer i Vadsby viste alle et betydeligt indhold af opløst jern (II), tabel 1, altså reducerende forhold, hvilket under naturlige forhold udelukker tilstedeværelse af nitrat. Den mest sandsynlige forklaring på tilstedeværelse af lattergas i prøverne er opblanding to forskellige vandtyper som følge af pumpningen. Om opblanding af jern(II)holdigt og nitratholdigt vand, og dermed en begyndende denitrifikation, er sket i jordlagene eller i selve boringen, kan ikke afgøres med sikkerhed. Opblandingen af de to vandtyper

skyldes strømning af vand i et dobbeltporøst medium, det være sig opsprækket moræneler eller kalk, der udgør en væsentlig del af undergrunden i Vadsby området.

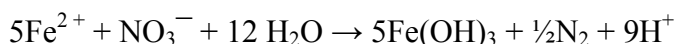
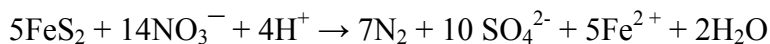
### Yngre ”forurening” i ældre vand skyldes opblanding

Forklaringen på at dele af den forurening i Vadsby, der går højst fyre år tilbage, kan spores i 70 år gammelt vand er sandsynligvis opblanding af yngre og ældre vand. Aldersbestemmelse af grundvand i jordlag, der er kendetegnet ved strømning i sprækker kan kun vise et middel af de forskellige bidrag der indgår i blandingen. Og som vi skal se i det efterfølgende tyder grundvandskemien på bidrag fra flere forskellige vandtyper end de to, der allerede er nævnt. Grundvandskemien i vandprøver fra forskellige indtag afspejler forskellige geokemiske reaktioner, der til en vis grad kan ordnes i en dybde/tids ramme og dermed bidrage til at give en bedre forståelse af strømningsmønstret i undergrunden.

### Vandtyper

Yderpunkterne med hensyn grundvandstyper på basis af vandkemien udgøres af henholdsvis autentisk, dvs. ikke antropogent påvirket, grundvand og stærkt landbrugspåvirket grundvand. Førstnævnte vandtype er i Vadsbyområdet kendetegnet ved et lavt klorid og sulfatindhold, typisk under 20 mg/L (tabel 1, boring B314), og i tilfælde af sulfatreducerende forhold en endnu lavere sulfatkoncentration, f.eks. under 5 mg/L (tabel 1, RB2 og P2). Et højt nitratindhold, der karakteristisk for landbrugspåvirket grundvand, er ikke fundet i nogen af undersøgelsesboringerne, tabel 1 og 3. Årsagen er, at borerne er filtersat i reducerende jordlag, jævnfør boreprøvebeskrivelserne, og at nitrat derfor er fuldstændig eller næsten fuldstændig omsat i de pågældende dybder.

Nitratreduktionen er sket i forbindelse med forvitring af pyrit, der medfører frigivelse af betydelige mængder sulfat, jfr. nedenstående kemiske reaktionsligning. En del af det ved reaktionen frigivne jern(II) reagerer med nitrat under udfældning af jern(III)oxider.



Landbrugspåvirket vand viser sig derfor først og fremmest ved et forhøjet sulfat indhold (tabel 3, N4), men også kloridindholdet øges ved intensiv landbrugsaktivitet, om end knap så markant som

sulfat. Da intensiveringen inden for landbruget er sket inden for de seneste 50-60 år kan det stigende sulfatindhold bruges som en aldersindikator for grundvandet, jo højere sulfat desto yngre vand.

### Advektiv versus diffusiv transport

De fleste simple illustrationer af grundvandsstrømning antyder, at der er en enkel sammenhæng mellem længden af given afstand og alderen af det grundvand der har tilbagelagt denne afstand. Denne simple sammenhæng gælder dog kun for advektiv transport i et homogent medium, eksempelvis et sandmagasin, men ikke for vand, der bevæger sig gennem en sprækket undergrund, hvad enten der er tale om moræneler eller kalk. I moræneler og kalk foregår der en udveksling mellem vand i sprækkerne og vand i matrix. Udvekslingen sker ved diffusion og omfatter såvel vandmolekyler som de i vandet opløste stoffer. Graden af udveksling bestemmes af diffusionshastigheden, der varierer fra stof til stof. Vandet i matrix udgør langt størstedelen af det samlede vandindhold og kan derfor ikke negligeres når man skal vurdere stoftransporten i ler og kalk.

Transport af ilt fra atmosfæren har med tiden ført til oxidation af jern(II) i de øverste lerlag og grænsen mellem oxideret og reduceret jern ses både i udgravninger og borekerner som en tydelig overgang fra rødler til blåler. Denne grænse har givet inspiration til en inddeling af undergrunden i en række redox zoner, der kan forklare grundvandets udvikling fra oxideret til stadig mere reducerede grundvandstyper med stigende dybde. Visualiseringen af redox zoner, som en række mere eller mindre horisontalt afgrænsede lag er dog næppe realistisk, og slet ikke i områder hvor der foregår vandindvinding. Man må snarere forestille sig en redox-zonering omkring sprækkerne i undergrunden, hvor den mest reducerede zone, med det mindst påvirkede vand, befinder sig længst væk fra sprækken. Mindst påvirket vand relaterer sig til såvel intensiv landbrugsdrift, som til ændringerne i atmosfæren mht. øget indhold af CFC gasser. Set i det lys er det forståeligt at ældre og mindre påvirket vand ikke nødvendigvis befinder på større dybde end yngre og mere påvirket vand.

### Giver øget pumpning mere repræsentative prøver?

Vandprøverne udtaget for CFC datering blev også analyseret mht. makroioner, og analyseresultaterne er vist i tabel 3 sammen med de tidligere analyser (DTU) af uorganiske parametre. Sulfatindholdet er markant højere i GEUS prøverne end i de tidligere DTU prøver, og kloridindholdet lidt højere, for de fleste af borerne. Forklaringen på stigningen i sulfat og til dels klorid er sandsynligvis et højere indhold af yngre landbrugspåvirket vand i de af GEUS udtagne prøver. Årsagen hertil er sandsynligvis at pumpningen har betydet øget tilstrømning til de pågældende dybder, med ændring af vandkemien til følge. Dette forhold bør man være opmærksom på ved tolkning af stoftransporten gennem lagene. Øget pumpning giver ikke nødvendigvis mere repræsentative prøver af grundvandet i alle dybder, snarere tværtom. For CFC datering kræves et minimum af renpumpning



før udtagning af prøver for at undgå kontaminering af prøverne med atmosfærisk luft, men det er ikke dermed givet, at forklaringen på forskelle i vandkemi mellem det første og det andet sæt prøver, tabel 3, alene skyldes renpumpning i forbindelse med CFC prøvetagningen. Ændringen i vandkemi observeret for de forskellige indtag over tid kan meget vel være et resultat af summen af flere på hinanden følgende pumpninger.

### Anbefalinger

Som nævnt ovenfor antyder de uorganiske analyser, at der kan være vanskeligheder med at opnå kendskab til kemien af in-situ porevandet i moræneleret inden området påvirkes af forureningsundersøgelserne. Analyse af porevand ekstraheret fra borekerner, f.eks. ved udpresning, kunne måske være en hjælp til at opnå kendskab til porevandskemien før den eventuelt påvirkes af pumpning. Og kan i heldigste fald også give oplysninger om forureningens udbredelse, hvis mængden af det ekstraherede vand tillader analyse af forureningskomponenterne. Planlægning og udtagning af borekerner bør i så fald tilrettelægges med henblik på sådanne porevandsundersøgelser.

### **Udvalgt litteratur om datering af grundvand i opsprækket undergrund**

- Bethke, C.M. and Johnson T.M. (2002) Paradox of groundwater age: Correction. *Geology* **30**, 385–388.
- Bockgaard, N., Rodhe, A. and Olsson, K. A. (2004) Accuracy of CFC groundwater dating in a crystalline bedrock aquifer: Data from a site in southern Sweden. *Hydrogeology Journal* **12**, 171–183 DOI 10.1007/s10040-004-0319-3
- Burton, W.C., Plummer, L.N., Busenberg, E., Bruce D. Lindsey, B.D. and Gburek, W.J. (2005) Influence of Fracture Anisotropy on Ground Water Ages and Chemistry, Valley and Ridge Province, Pennsylvania. *Ground Water* **40**, 242-257 Article first published online: 13 DEC 2005 DOI: 10.1111/j.1745-6584.2002.tb02652
- Troldborg, L., Refsgaard, J.C., Jensen, K.H. and Engesgaard, P. (2007) The importance of alternative conceptual models for simulation of concentrations in a multi-aquifer system. *Hydrogeology Journal* **15**, 843–860.

Tabel 1. Vandkemi analyser Vadsby

Nr	Borehole ID	Screen ID	Oxygen [mg/l]	pH	EC [uS/cm]	Cl [mg/l]	B [mg/l]	NO <sub>3</sub> [mg/l]	Mn(II) [ug/l]	Fe(II) [ug/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]	HS- [mg/l]	CH <sub>4</sub> [ug/l]	DGU Nr.
14	B313	1	0.1	7.3	589	27	0.0	0.0	53.1	1918.2	36.7		12.2	200.6033
2	B314	1-Deep	0.1	7.4	505	13	0.0	0.0	68.2	2081.9	14.2		163.1	200.6034
10	B315	1	0.2	7.3	551	22	0.0	0.0	34.3	1755.0	34.2		29.2	200.6035
1	B325	1-Deep	0.1	7.1	623	21	0.0	0.5	184.8	5669.4	39.0	<0.01	36.5	200.6036
16	200.6037	1	0.1	7.2	594	31	0.0	0.0	71.7	4428.8	44.0		9.9	200.6037
6	200.5533	1-Deep	0.1	7.2	550	26	0.0	0.4	16.9	240.1	40.5		8.5	200.5533
3	N1	1-Deep	0.1	7.0	508	17	0.0	0.0	38.0	439.6	26.4		7.6	200.5918
9	B314	2-Upper	0.19	7.7	658	19	0.0	0.0	134.9	898.9	14.8		377.5	200.6034
11	B325	2-Upper	0.19	8.0	642	16	0.0	0.0	86.3	904.0	18.6		41.0	200.6036
5	200.5533	2-Upper	0.18	7.3	435	20	0.0	0.0	131.5	578.9	4.6	<0.01	555.8	200.5533
8	RB1	1	0.38	7.3	438	142	0.0	0.0	118.5	2710.6	4.2	<0.01	356.8	200.5761
7	RB2	1	0.10	7.4	440	15	0.0	0.0	112.0	1964.5	4.4	<0.01	29.8	200.5762
15	P1 (200.5919)	1	Bulls			28	0.0	0.0	139.0	1517.1	12.4		201.4	200.5919
4	P2 (200.5920)	1	0.1	7.1	450	15	0.0	0.3	106.8	1759.0	3.4		79.0	200.5920
12	N2	2-Upper	2.2	7.8	1333	27	0.0	0.0	117.1	187.4	116.3		666.1	200.5918
13	N3	3-Upper m	0.3	7.3	653	52	0.0	0.0	149.7	2414.9	34.5		268.2	200.5918

Tabel 2

## Alder af grundvand bestemt ved CFC-metoden, Vadsby

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse  
19-11-10

DGU nr. Boring	Dybde meter	Flaske Nr.	Udtaget Dato	Tid	Koncentration i vand			Beregnet partialtryk i atmosfæren, pptv			Beregnet CFC-årstal for grundvandsdannelse			Bemærkninger	Skønnet	
					pg/kg CFC-11	pg/kg CFC-12	pg/kg CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113		CFC-årstal	alder
200.5918	24	1	26-10-10	11:10	6.1	7.3	2.3	1.9	10.0	1.7	1952.5	1951.5	1961.0			
N1	do	2	26-10-10	11:15	1.1	0.0	0.4	0.4	0.0	0.3	1949.0	skjult	<1959,5	N2O		
do	do	3	26-10-10	11:20	1.0	0.0	4.3	0.3	0.0	3.2	1948.5	skjult	1965.5	N2O	1950	60
200.6033	25,8	1	26-10-10	13:20	84.2	17.1	0.0	26.1	23.5	0.0	1964.5	1957.0	<1959,5	N2O		
B313	do	2	26-10-10	13:25	87.8	90.6	0.0	27.2	124.4	0.0	1965.0	1969.5	<1959,5	3 min flush	1970	40
200.5920	14,5	1	26-10-10	15:10	8.7	0.0	2.1	2.7	0.0	1.5	1954.0	skjult	1960.0	N2O		
P2	do	2	26-10-10	15:15	12.9	0.4	2.0	4.0	0.6	1.5	1955.0	1941.5	1960.0	3 min flush	1940	70
200.5830	16,70	1	27-10-10	10:10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<1945	skjult	<1959,5	N2O		
Geotech	do	2	27-10-10	10:15	9.5	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	1954.0	<1940	<1959,5	3 min flush	før 1940	>70
200.5918	12,88	1	27-10-10	10:35	96.1	0.0	104.6	29.8	0.0	77.0	1965.5	skjult	1990.0	N2O		
N3	do	2	27-10-10	10:40	84.7	47.1	105.8	26.2	64.7	77.8	1964.5	1964.5	1990.0	3 min flush	1965	45
200.5918	8,19	1	27-10-10	10:55	60.0	0.0	0.0	18.6	0.0	0.0	1963.0	skjult	<1959,5	N2O		
N4	do	2	27-10-10	11:00	126.2	25.8	0.0	39.1	35.4	0.0	1967.0	1960.0	<1959,5	3 min flush	1960	50

Koncentrationerne i vand viser de målte CFC-koncentrationer

Beregnet partialtryk viser CFC-niveauet i den atmosfære vandet sidst har været i kontakt med

Beregnet CFC årstal for grundvandsdannelse viser hvornår atmosfæren havde det pågældende CFC-niveau

Under bemærkninger anføres bla andre stoffer som kromatogrammet registrerer

Ekstra "flush" tid er nødvendig, hvis prøven indeholder høj N2O koncentration, da N2O "skygger" for CFC-12

The interpretation of the source distribution at Vadsbyvej is based on the 14 soil samples analyzed in 2007 (Region Hovedstaden 2007), 17 soil samples analyzed in 2009 (Region Hovedstaden 2009a) and the discrete sampling performed in three cores in 2009 (DTU Miljø, 2010). The MIP data performed in 2007 (Region Hovedstaden 2007) are used in a second phase, in order to check the delineation of the source.

The horizontal spreading is shown in the figure below. The new data confirmed the previous source distribution made in (Region Hovedstaden 2009b), with the presence of two distinct hotspots and a diffuse contamination in between in the top of the clay till only. However the data from the MIP in D5 and D10 indicates that the source is not well delineated on this side, this is also the case for D9 on the East side.

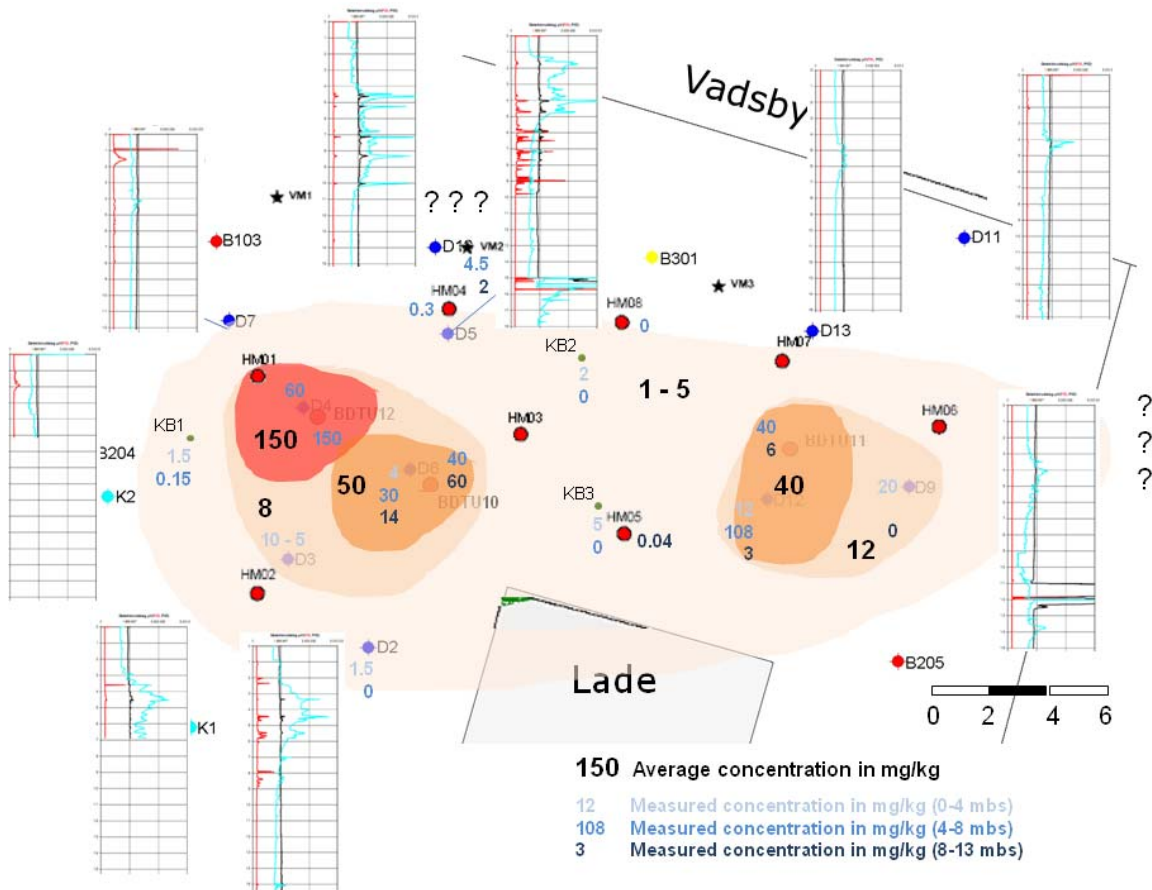


Figure 1 – Horizontal spreading with the measured concentrations used to delineate the source. The MIP performed at the edge of the source are also shown. The source is not well delimited on the East and the North-West sides.

The vertical distribution is shown in the figure below in cross-section along the two hotspots.

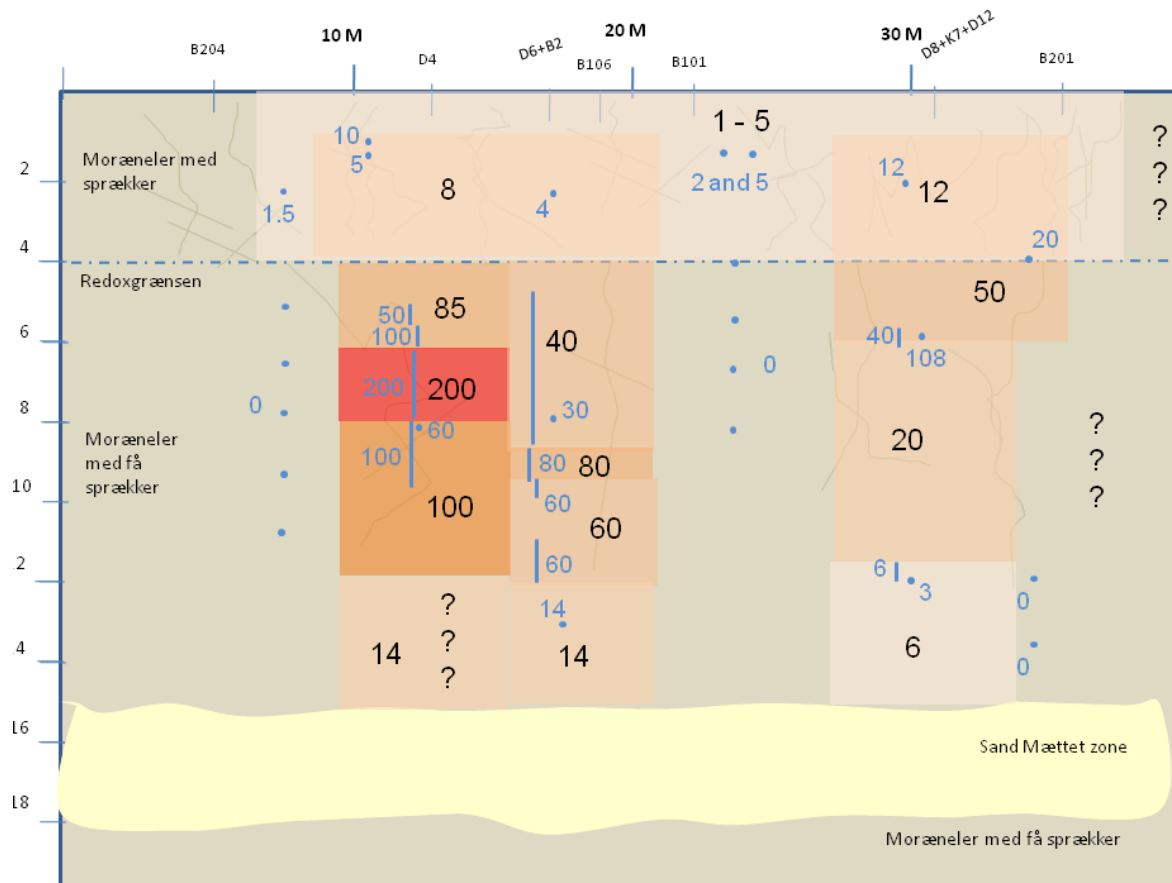


Figure 2 – Vertical distribution of the source zone. Concentrations in black are the average zone concentrations in mg/kg. Measured concentrations are shown in blue (· soil samples and | discrete core samples, in mg/kg).

The high concentration zones are found to be located above 10 mbs, in contrast to the previous interpretation, which was mainly based on the MIP data. The MIP data are shown together with the source distribution in the figure below. The high MIP signals were interpreted as presence of DNAPL phase (Region Hovedstaden 2007, Region Hovedstaden 2009b), however DNAPL was not found during coring. Furthermore in clay tills, matrix diffusion can result in complete dissolution of DNAPL over few years, resulting in high concentrations (and high MIP signal) without the presence of DNAPL (DTU Miljø & Region Hovedstaden 2010). Currently, Orbicon investigates the source area in order to refine the delineation of the source area.

With the present conceptual model (and without DNAPL), the total mass is estimated around 80 kg (15 kg PCE, 30 kg TCE, 20 kg DCE, 1 kg VC, 1kg TCA and 13 kg DCA). Previously, the total mass in the source has been overestimated assuming that DNAPL represented 88% of the estimated mass. A total mass of 950 kg was obtained, whereof 830 kg could be ascribed to DNAPL (Region Hovedstaden 2008).

Preliminary results from the thermal remediation (In situ thermal desorption, ISTD) at the site carried out in autumn 2010 showed that the removed mass was around 150-200 kg (Larsen, 2011). The main part was PCE (80 %), while the remaining was 10 % TCE and 10 % DCE (small amounts of VC and chlorinated ethanes were removed as well). In addition in situ destruction can take place during the heating, however, the amounts of converted mass are normally assumed to be small.

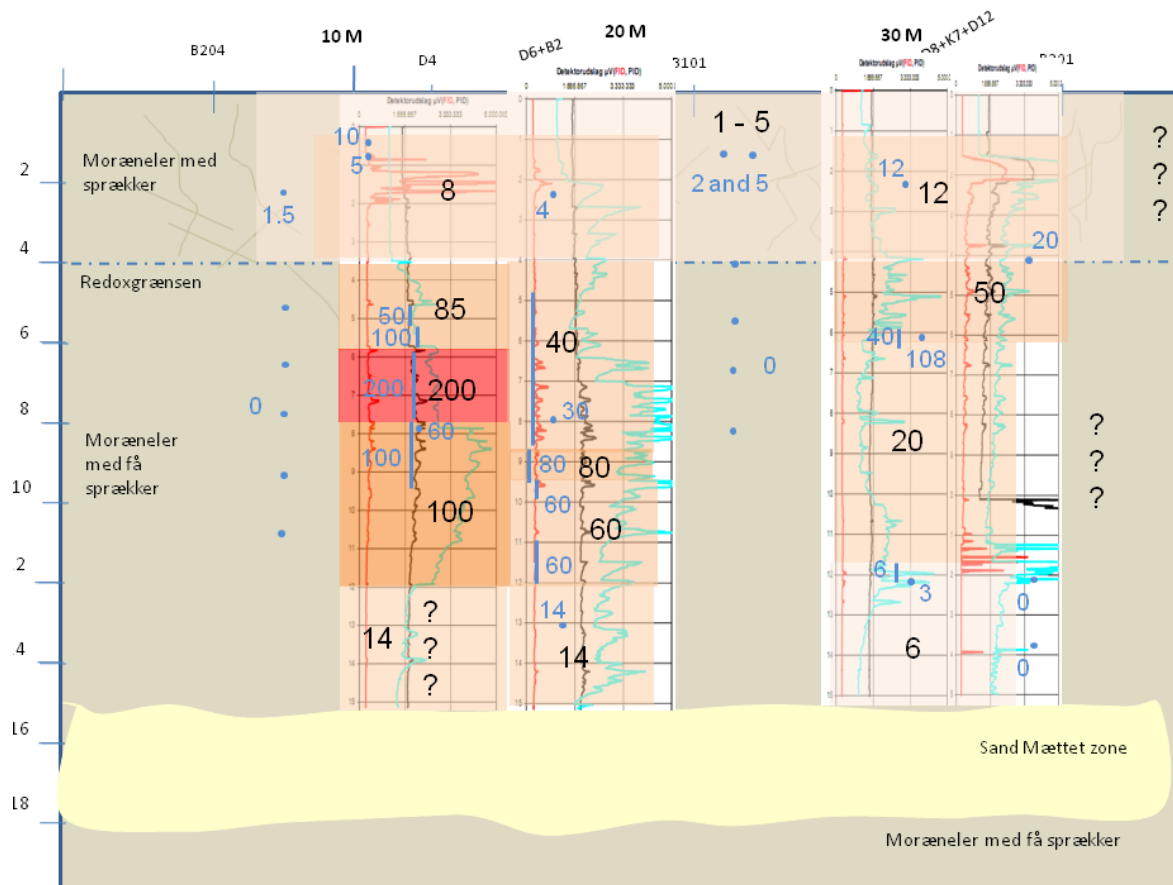


Figure 3 – Source distribution together with MIP data.

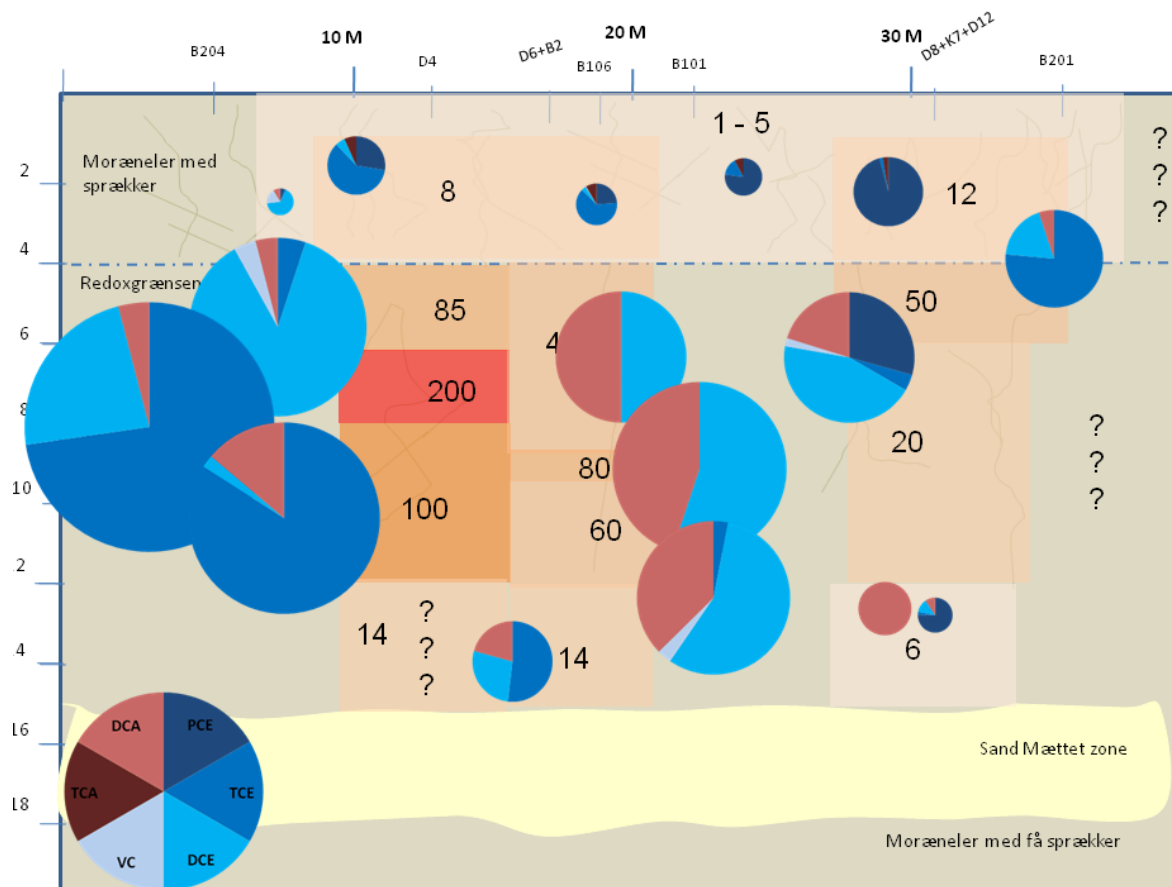


Figure 4 – Vertical distribution and weight fraction in the different zones. The circles represent distribution chlorinated ethenes and ethanes.

Larsen, Thomas (2011). Foreløbige oplysninger om fjernede mængde af chlorerede opløsningsmidler på Vadsbyvej. E-mail dateret 4-3-2011 fra Thomas Larsen, Orbicon.

DTU Miljø & Region Hovedstaden, 2010, DNAPL i kildeområder - konceptuelle modeller, karakterisering og estimering af forureningsmasse,

Region Hovedstaden, 2007, Vasbyvej 16A - supplerende undersøgelser, Orbicon A/S, Roskilde.

Region Hovedstaden, 2009a, Etablering af undersøgelsesboringer - Vadsbyvej 16, Orbicon A/S, Roskilde.

Region Hovedstaden, 2009b, Tillæg til skitseprojekt, Vadsbyvej 16 A, Taastrup, Orbicon A/S, Roskilde.

Region Hovedstaden, 2008, Afværgeprogram, Vasbyvej 16 A, Taastrup, Orbicon A/S, Roskilde.





# Koncentration af chlorerede ethener i "sandlaget" og potentialekort fra august 2010

■ Vej

■ Bygning

Koncentration [ $\mu\text{g/l}$ ]

● 0.00

● 0.01 - 1.00

● 1.01 - 10.00

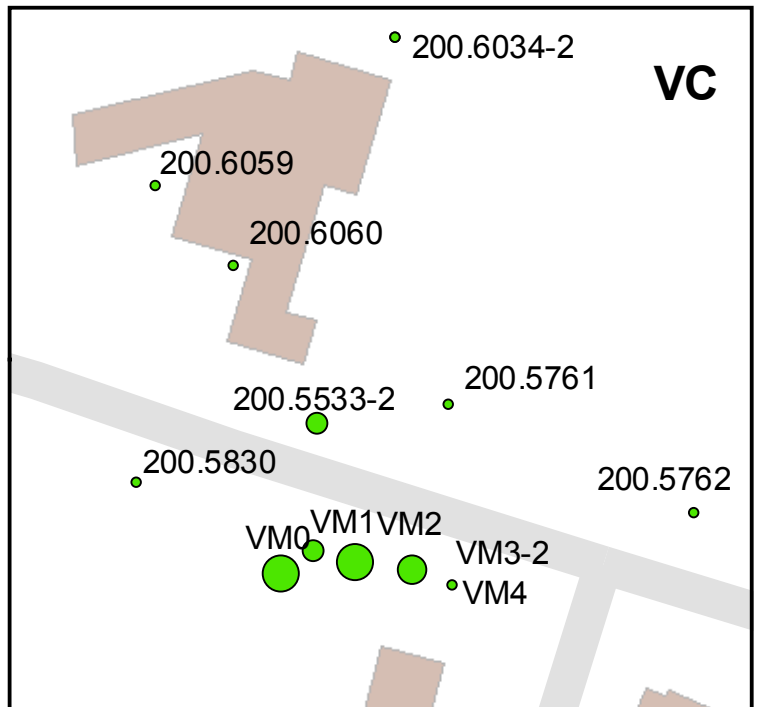
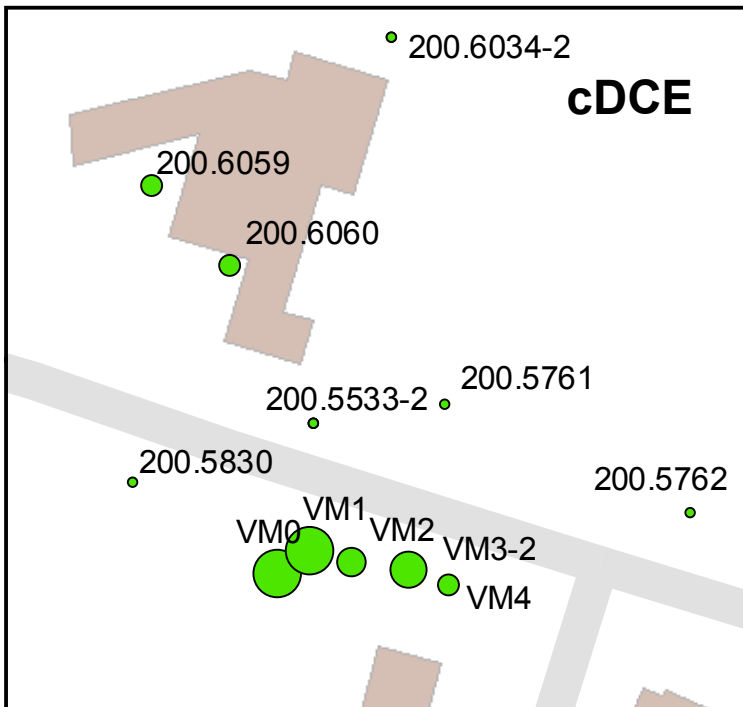
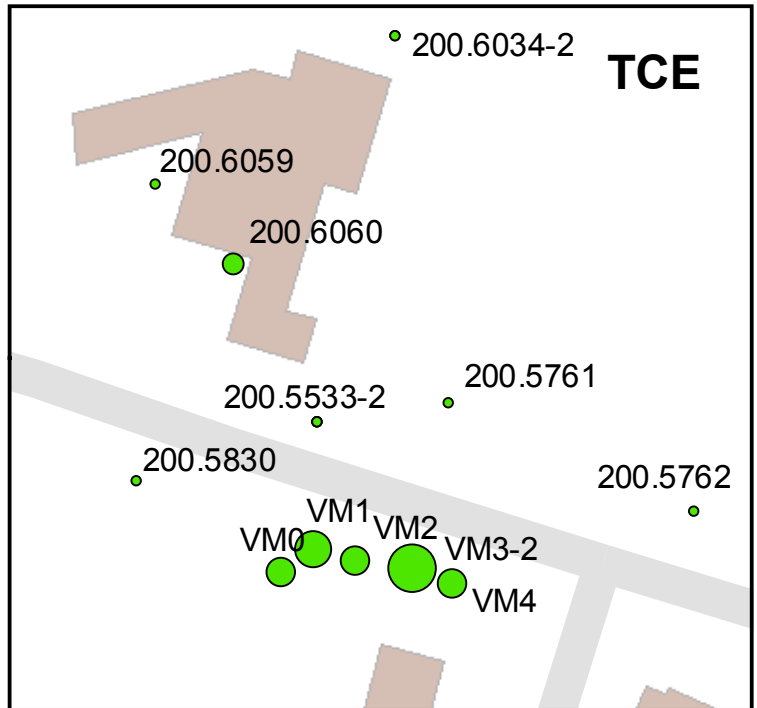
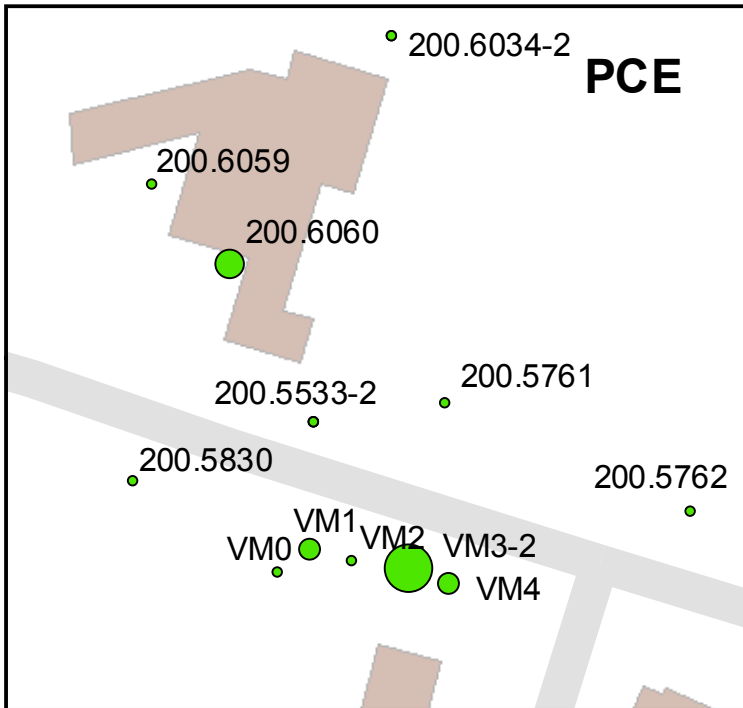
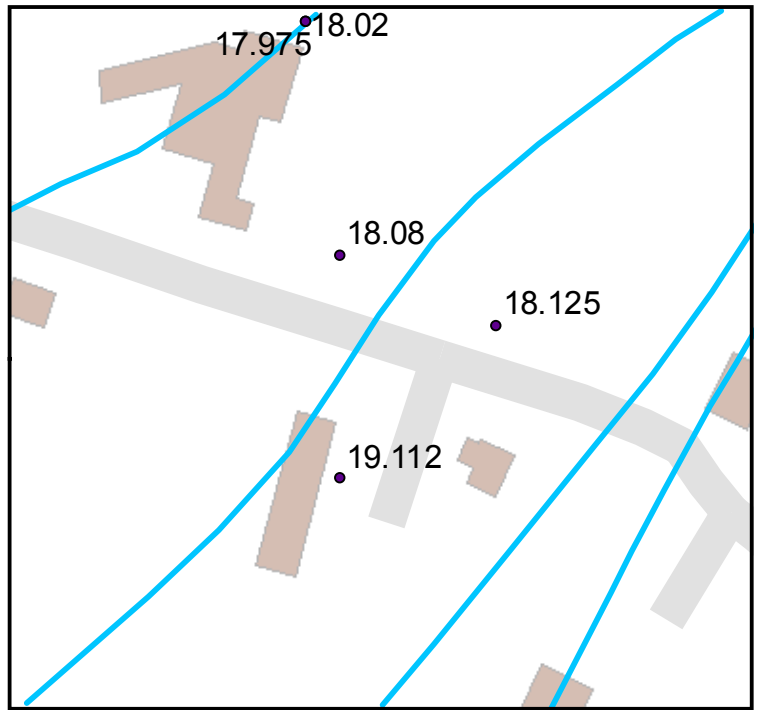
● 10.01 - 100.00

● 100.01 - 10000.00

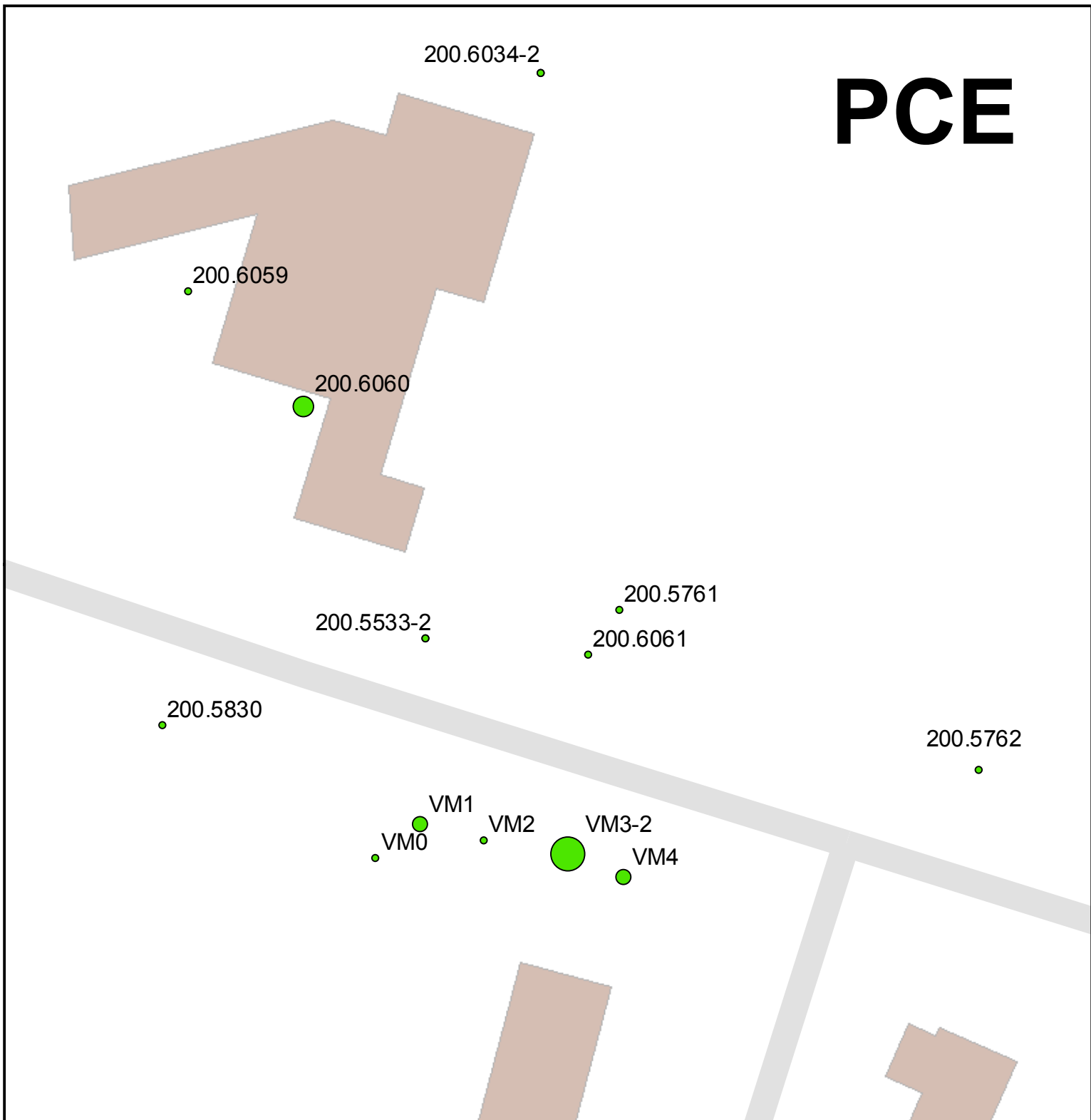
● Potentiale [mDVR90]

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

0 25 50  
Meters



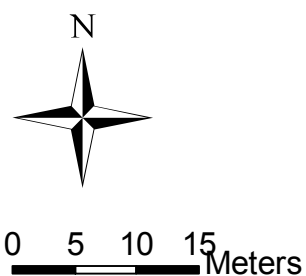
# PCE



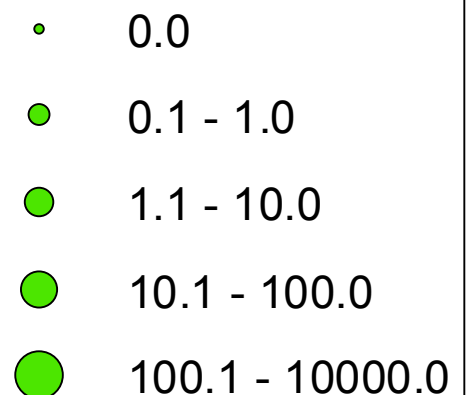
## PCE i "sandlag" august/sept 2010

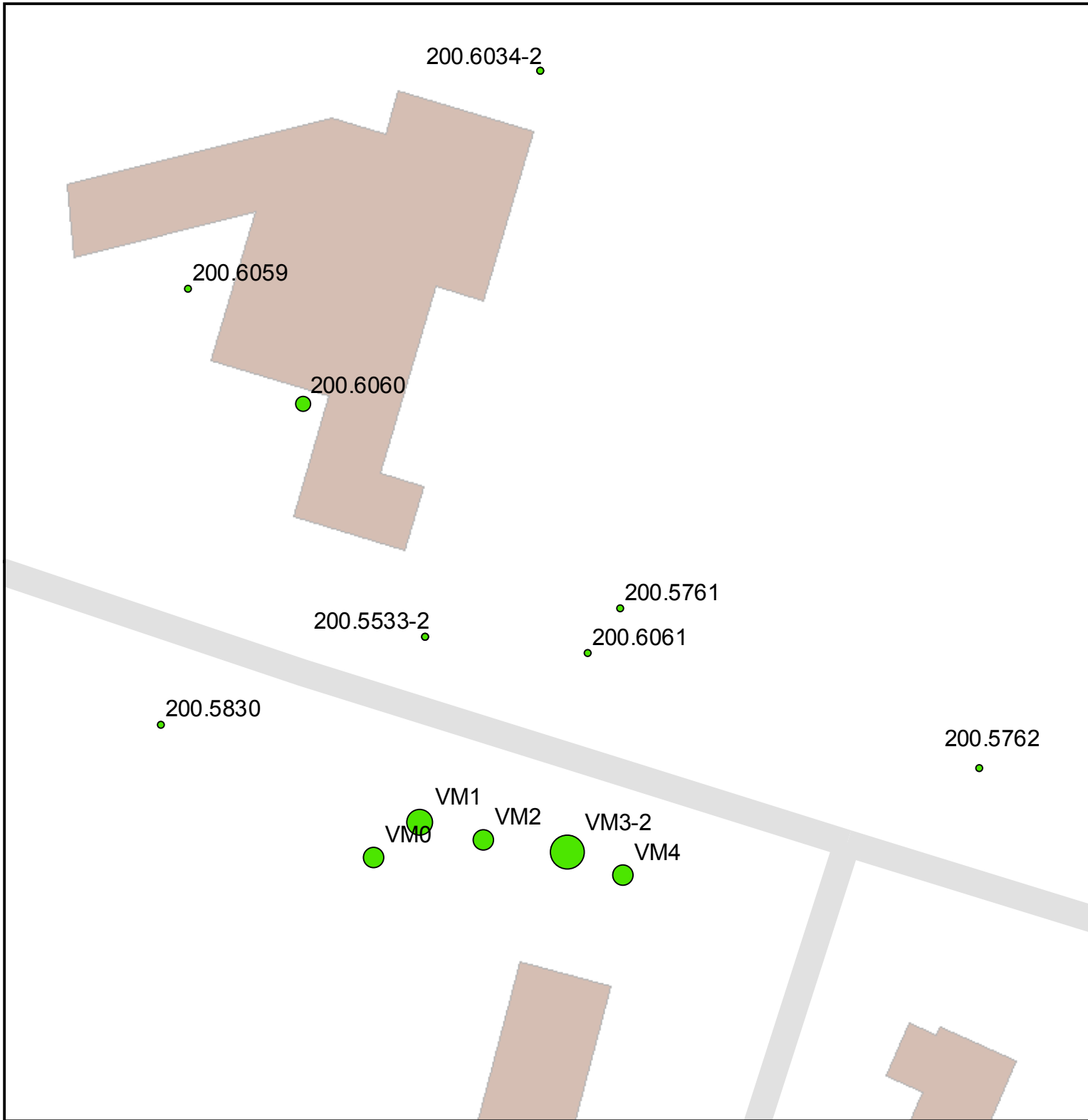
Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

 Vej  
 Bygning



### PCE [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]

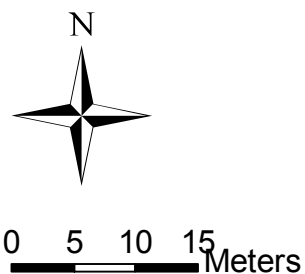




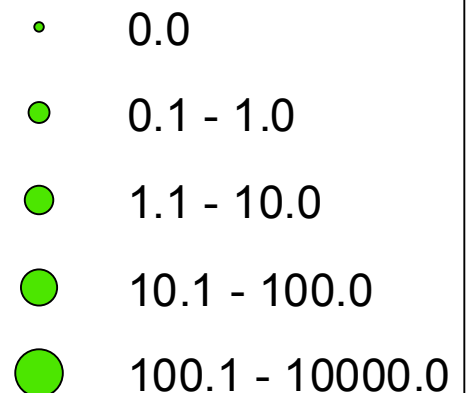
## TCE i "sandlag" august/sept 2010

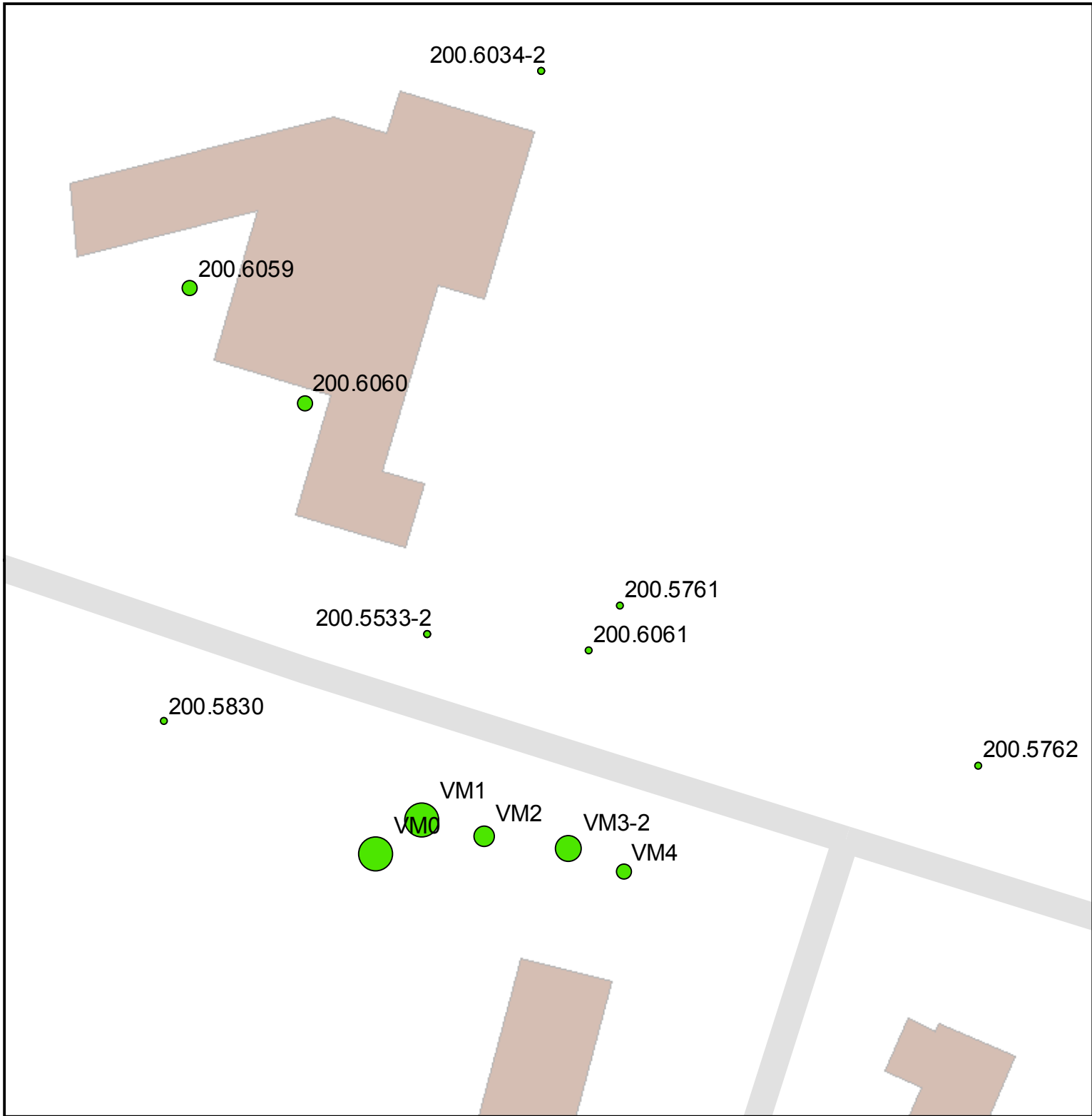
Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

 Vej  
 Bygning



## TCE [ug/l]

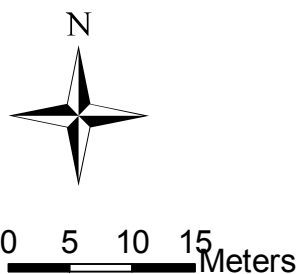




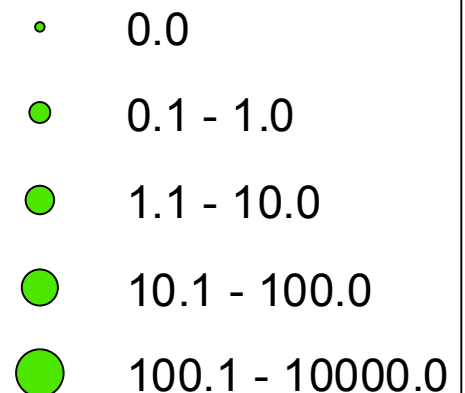
## cDCE i "sandlag" august/sept 2010

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

 Vej  
 Bygning



### cDCE [ug/l]

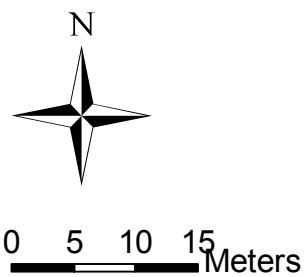




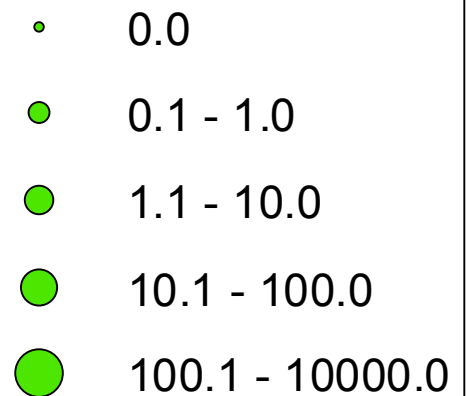
## VC i "sandlag" august/sept 2010

Borings ID-2 Øverste filter  
 Borings ID Kun et filter

 Vej  
 Bygning



### VC [ $\mu\text{g/l}$ ]

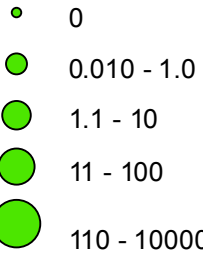


# Koncentration af chlorerede ethaner i "sandlaget" og potentialekort fra august 2010

■ Vej

■ Bygning

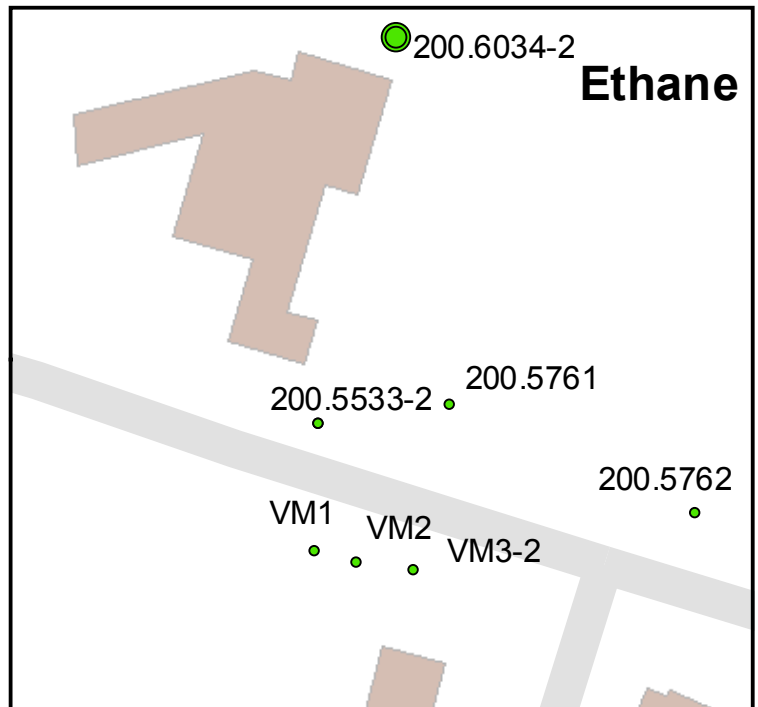
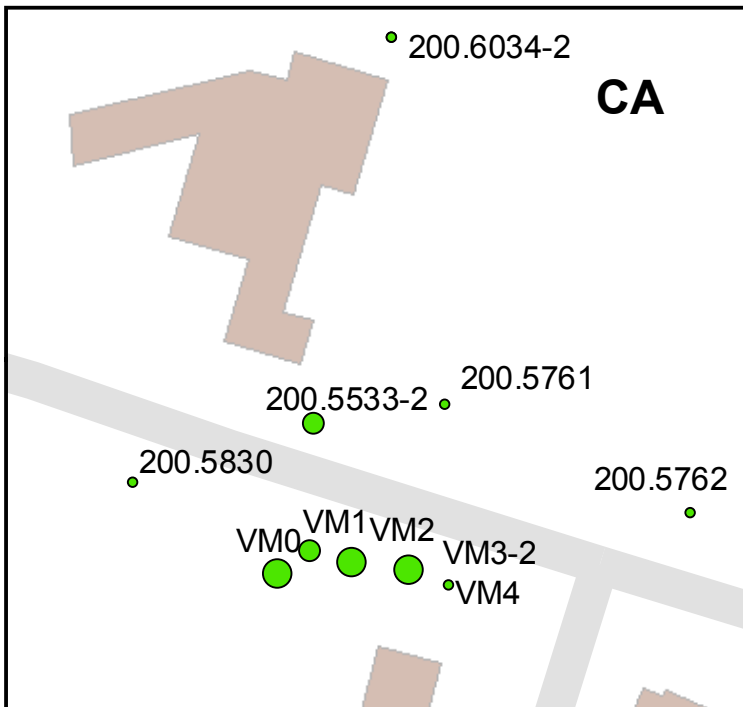
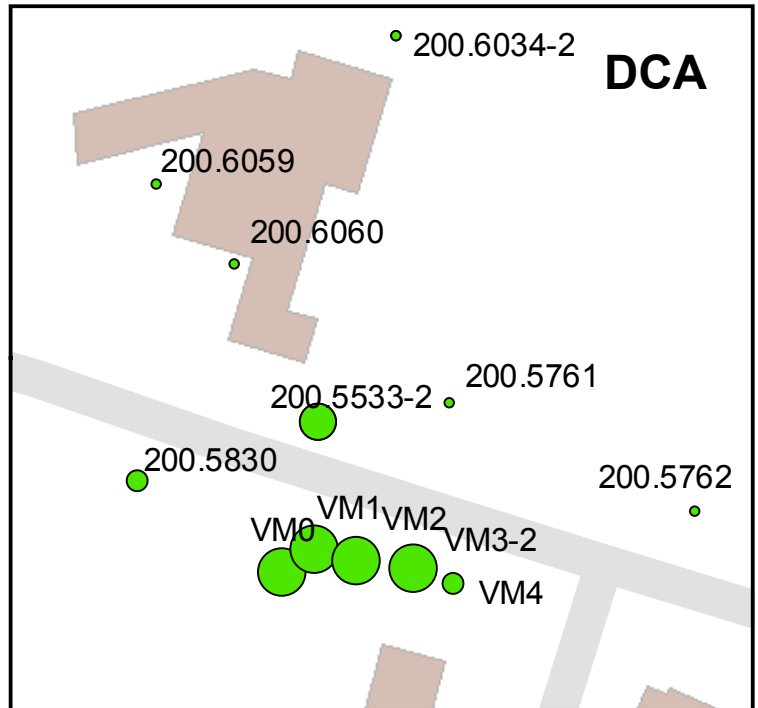
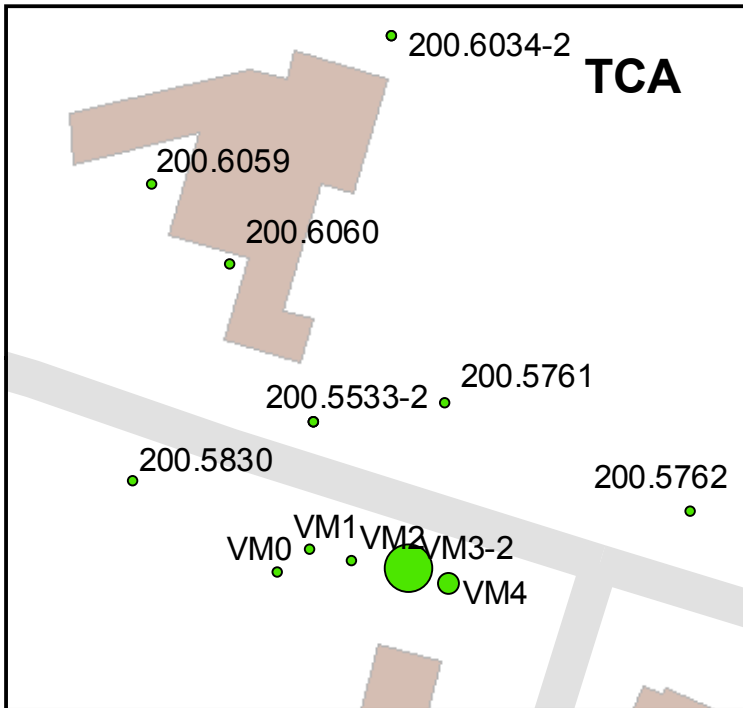
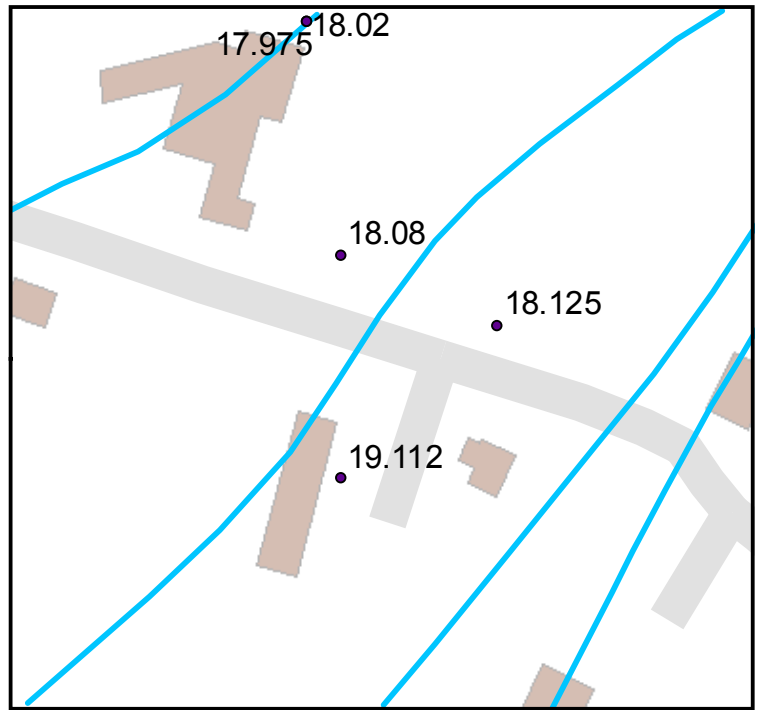
Koncentration [ug/l]



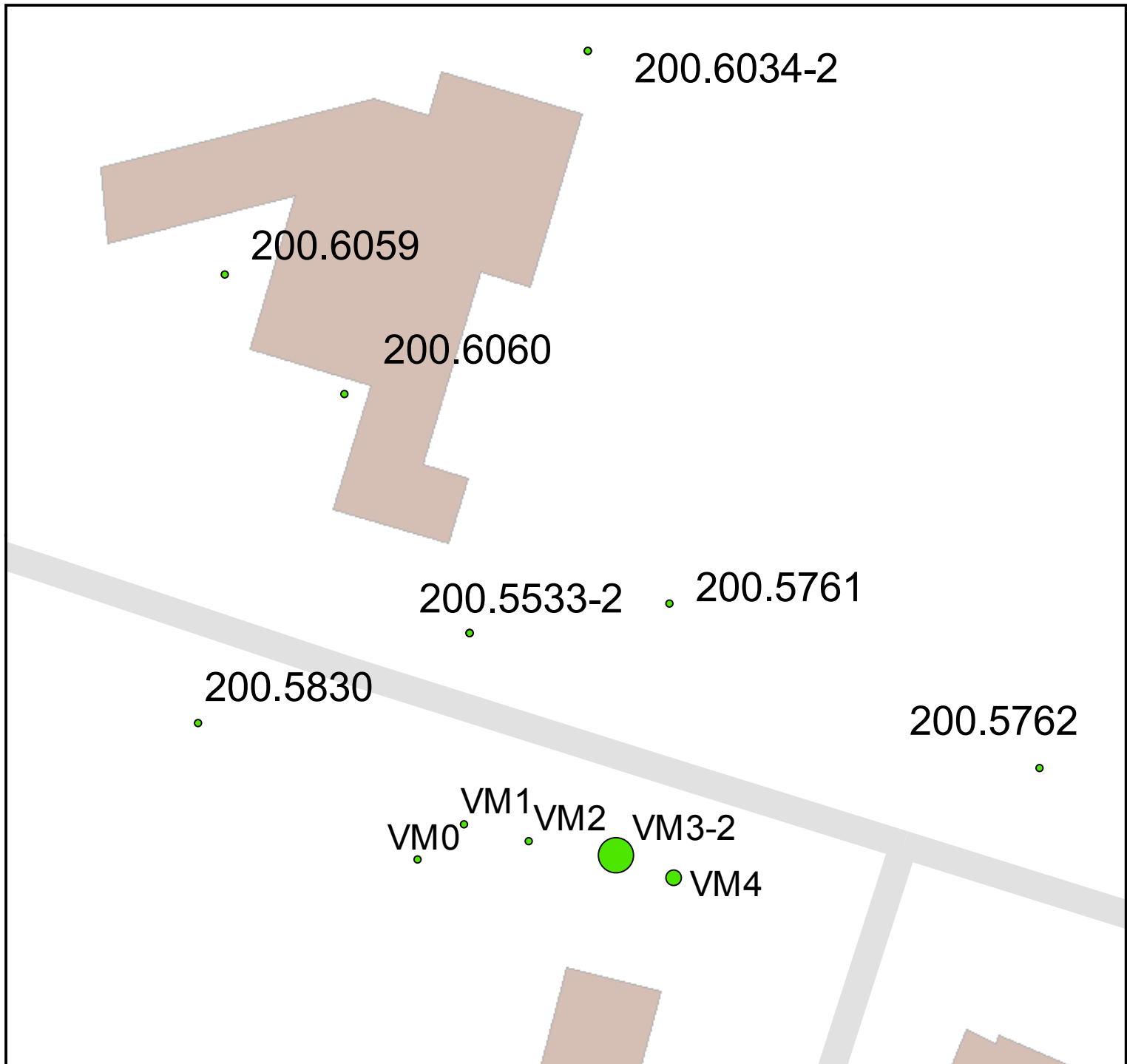
Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter



0 25 50  
Meters



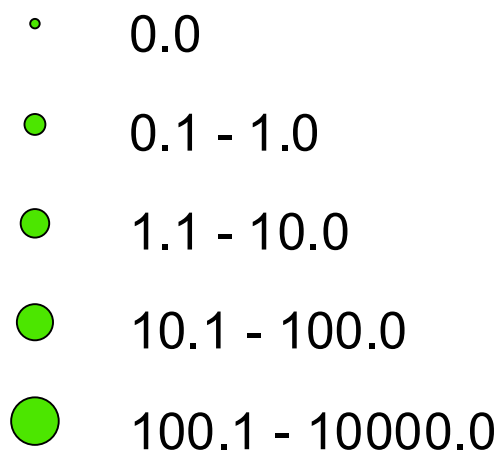




## TCA i "sandlag" august/sept 2010

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

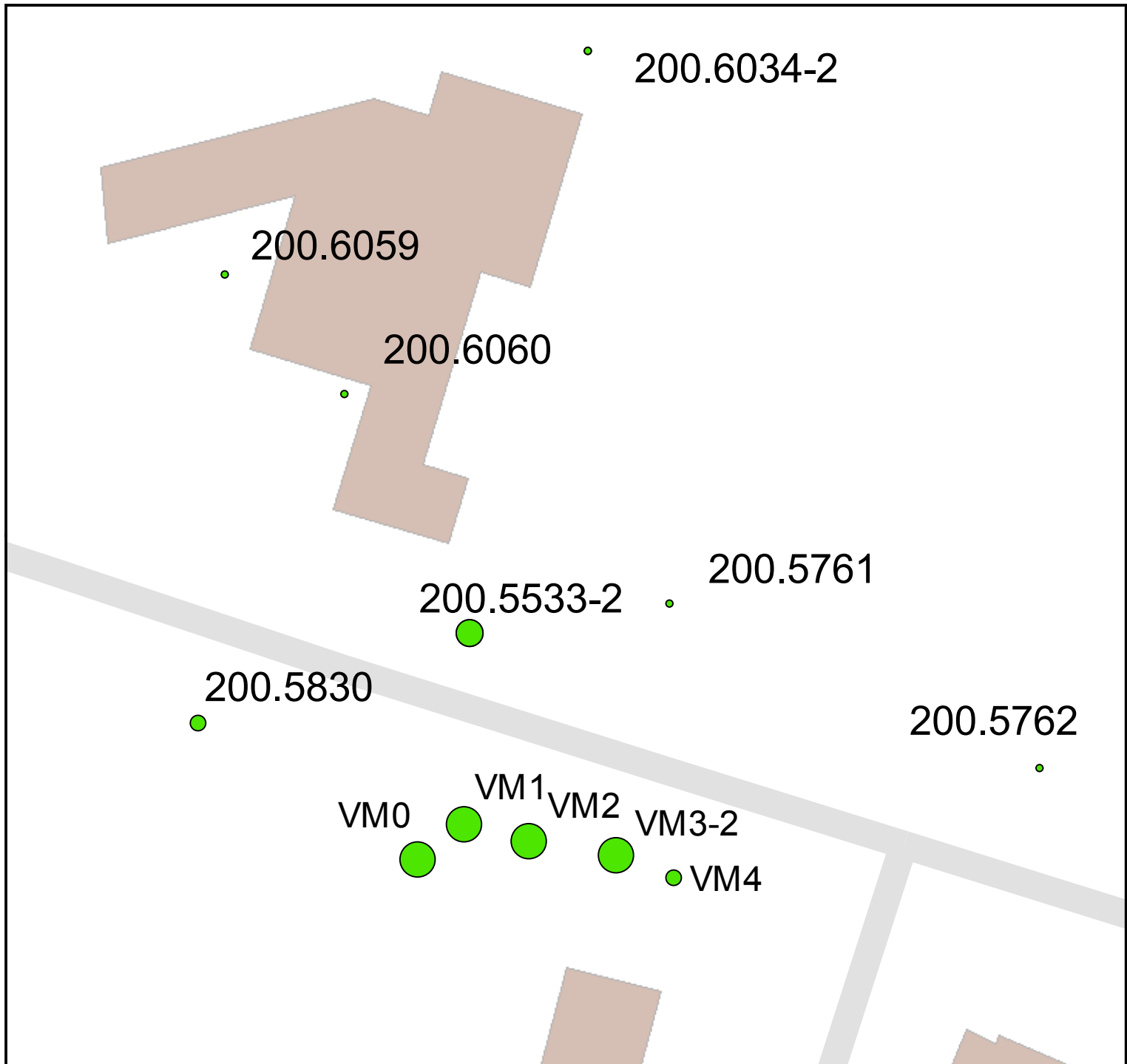
TCA [ $\mu\text{g/l}$ ]



Vej  
 Bygning



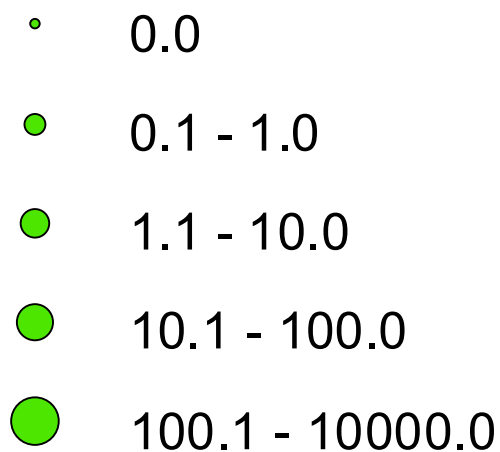
0 20 Meters



## DCA i "sandlag" august/sept 2010

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

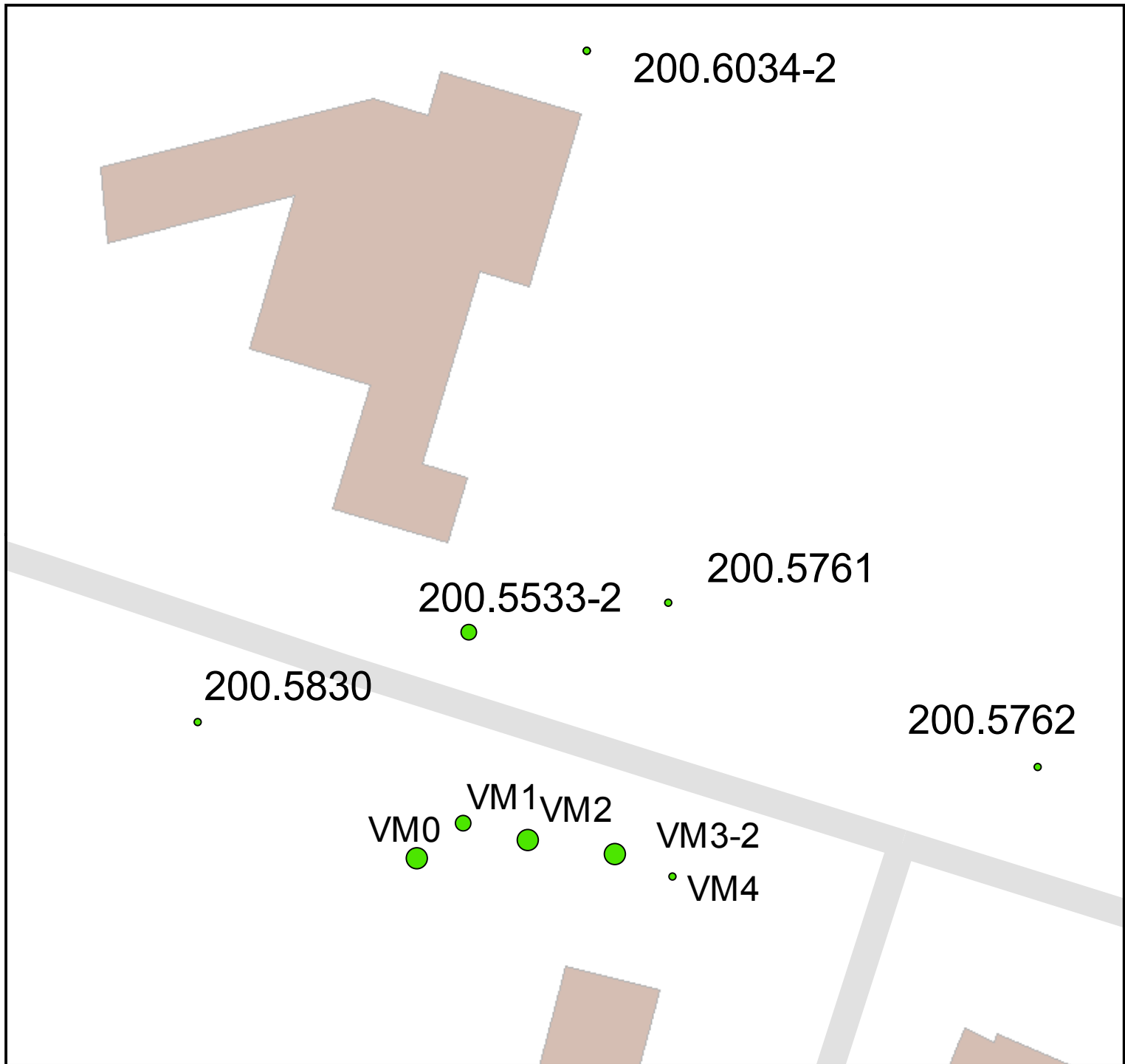
DCA [ $\mu\text{g/l}$ ]



Vej  
 Bygning



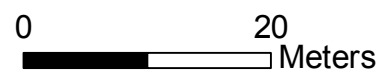
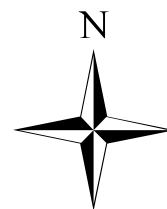
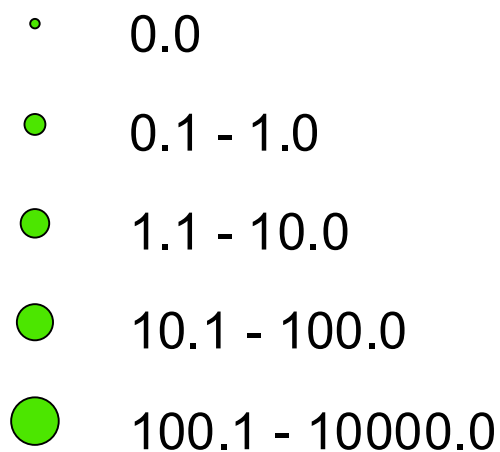
0 20 Meters



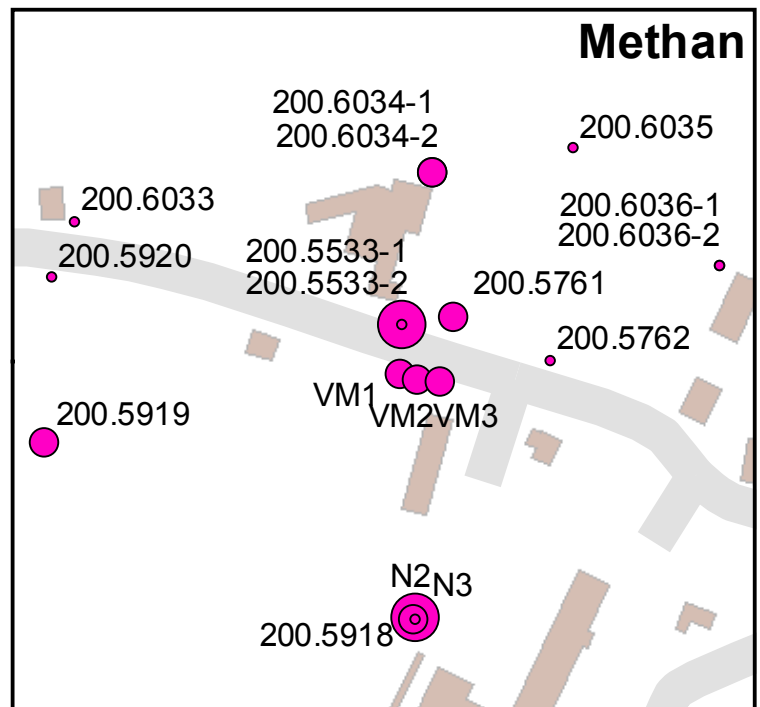
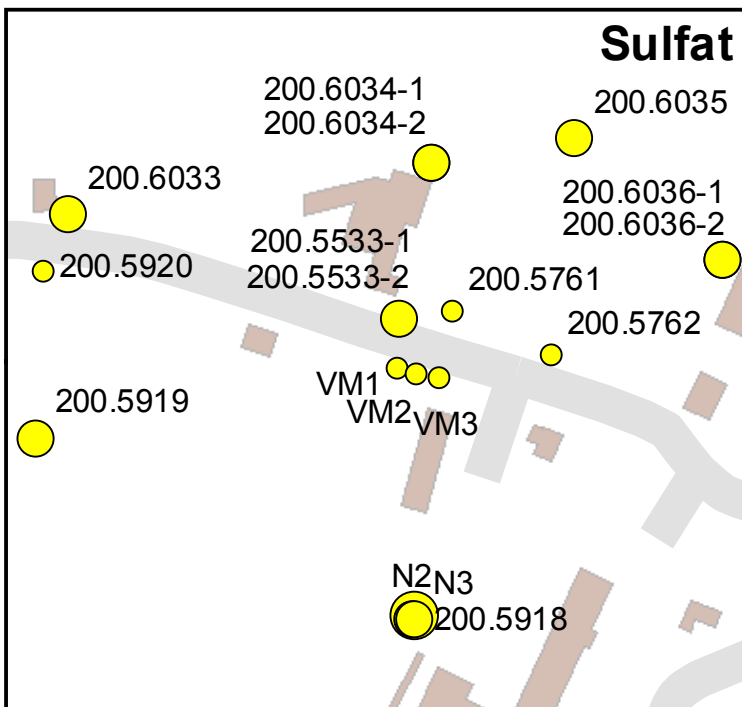
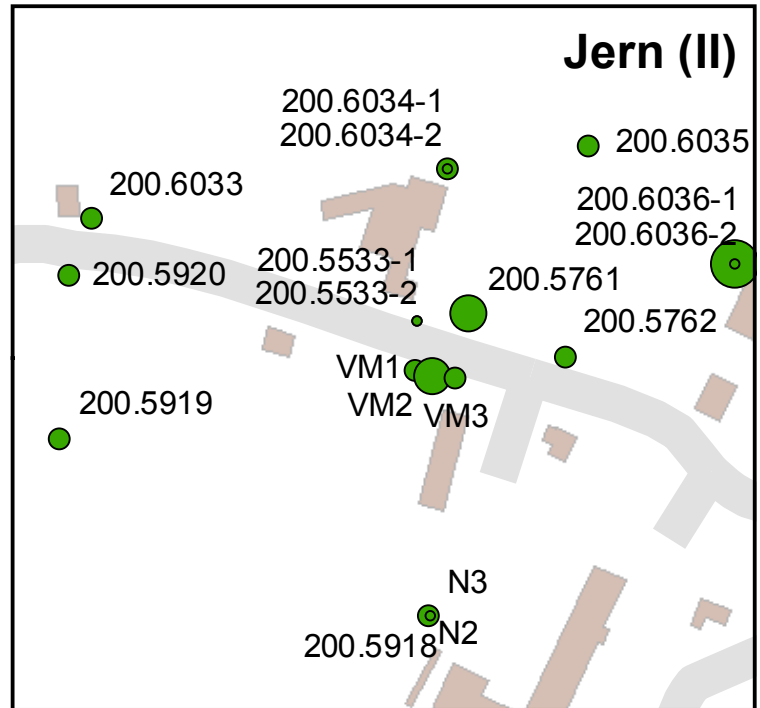
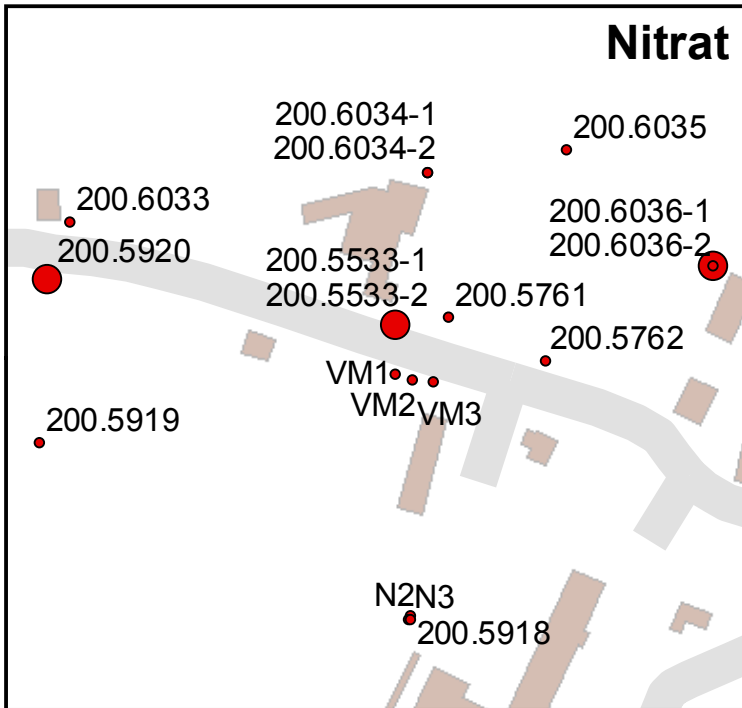
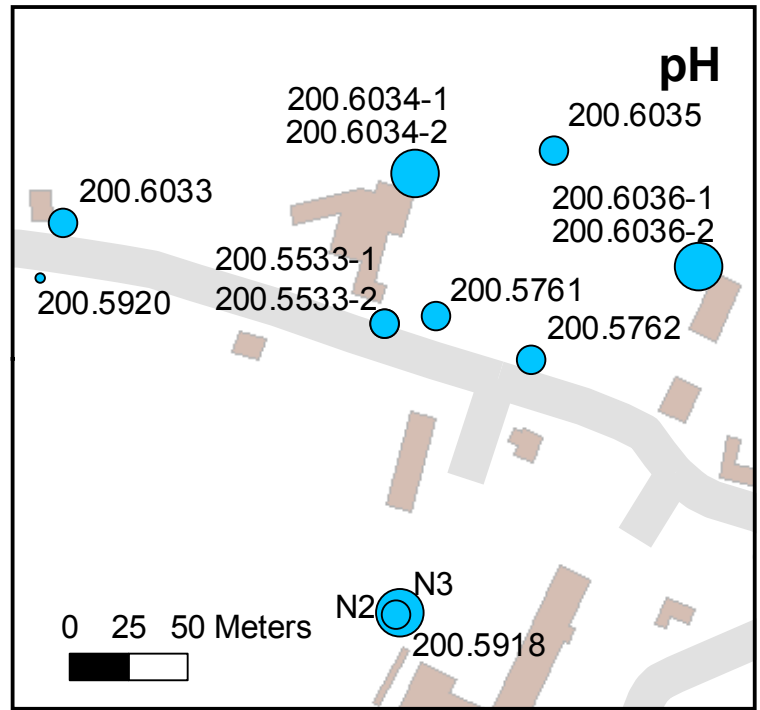
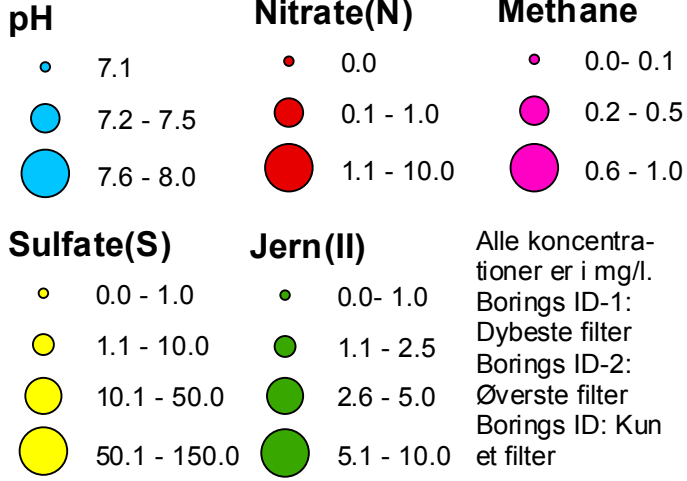
## CA i "sandlag" august/sept 2010

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

CA [ $\mu\text{g/l}$ ]



## Redox forhold i sandlaget og kalk magasinet i aug 2010



# Koncentration af chlorerede ethener i "sandlaget" og potentialekort fra 2007

Koncentration [ $\mu\text{g/l}$ ]

- 0
- 0.010 - 1.0
- 1.1 - 10
- 11 - 100
- 110 - 10000

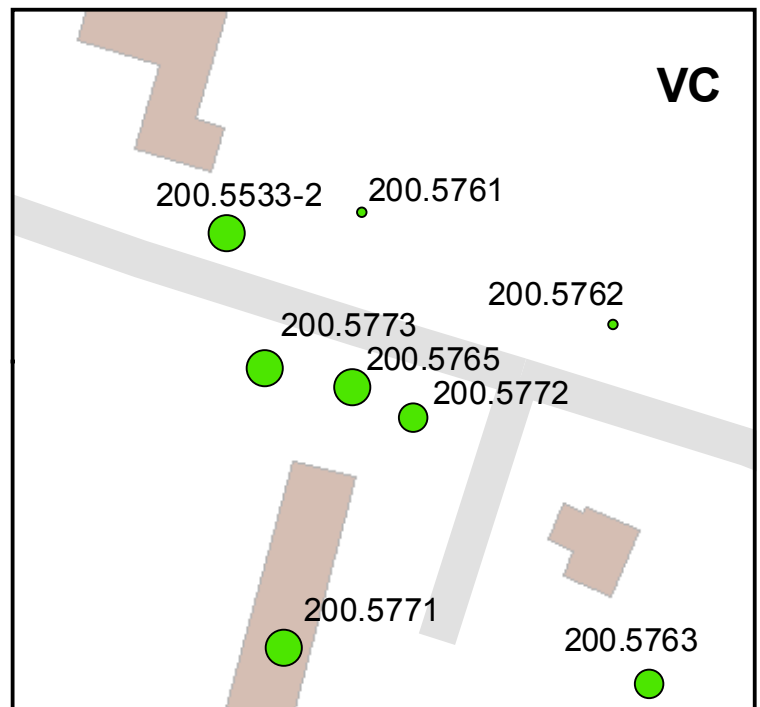
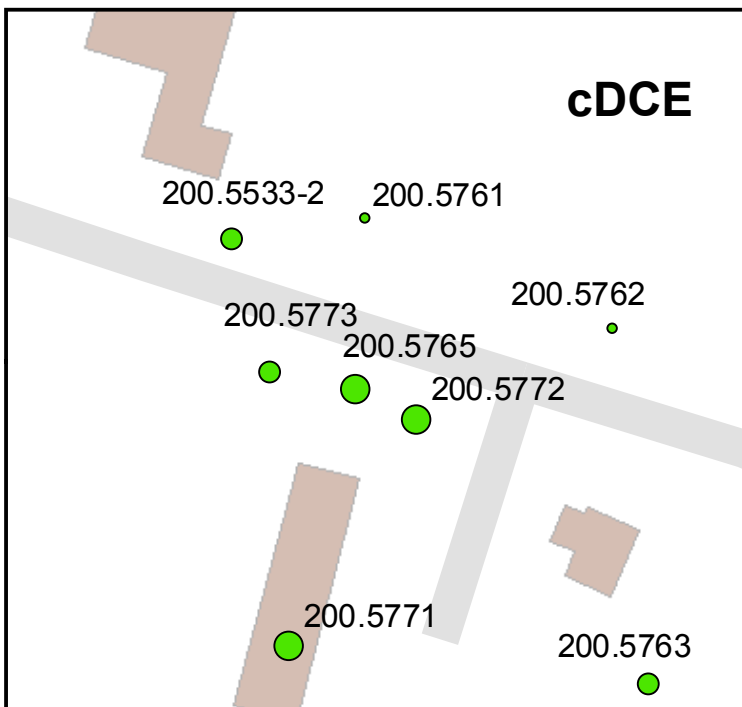
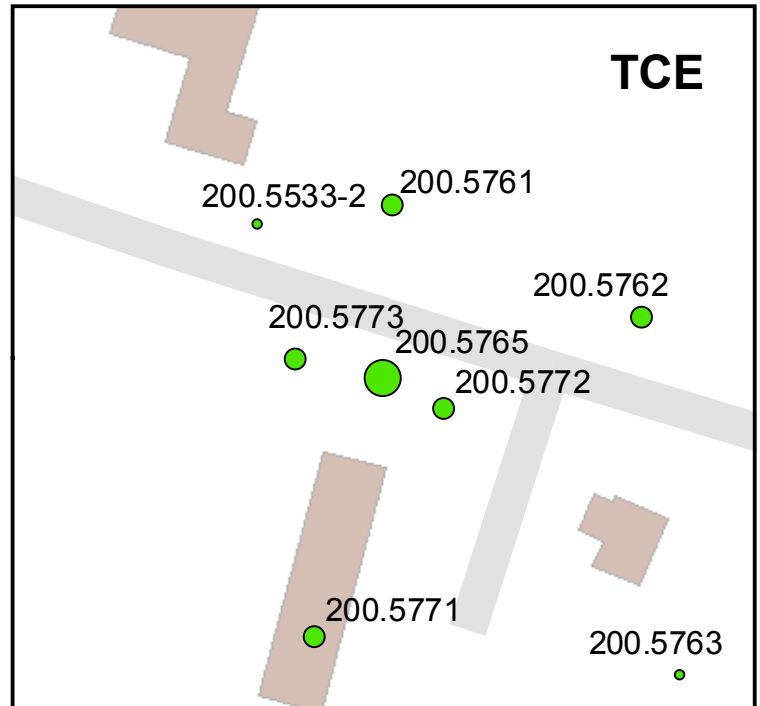
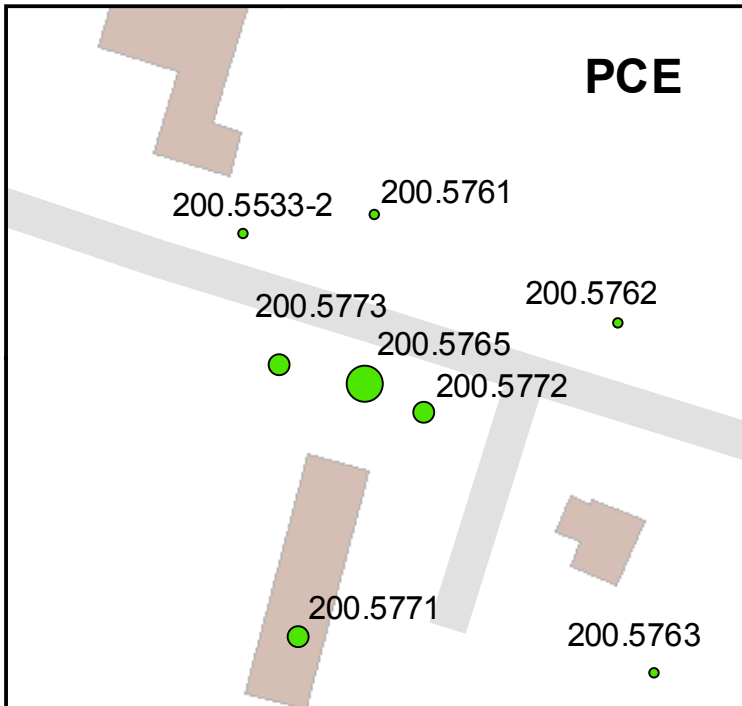
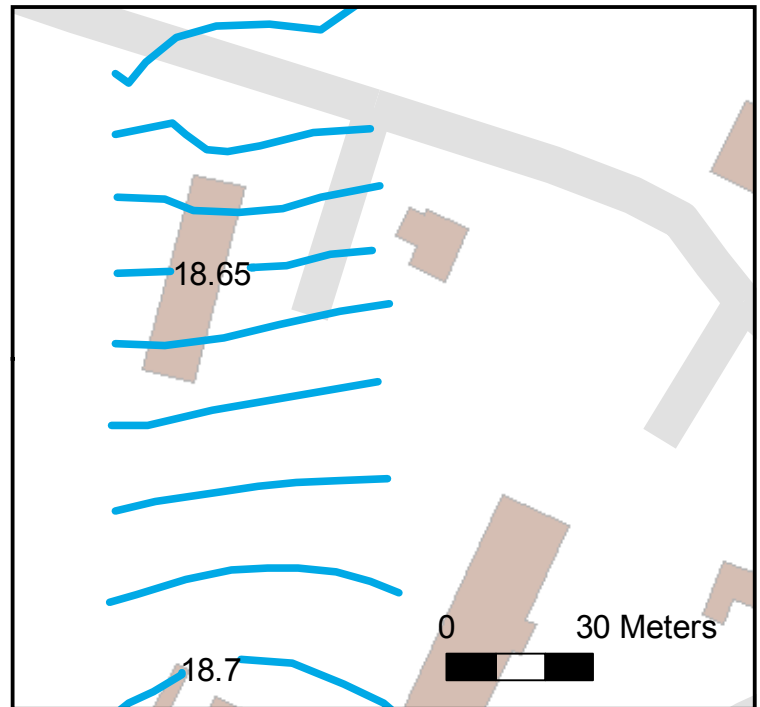
Vej

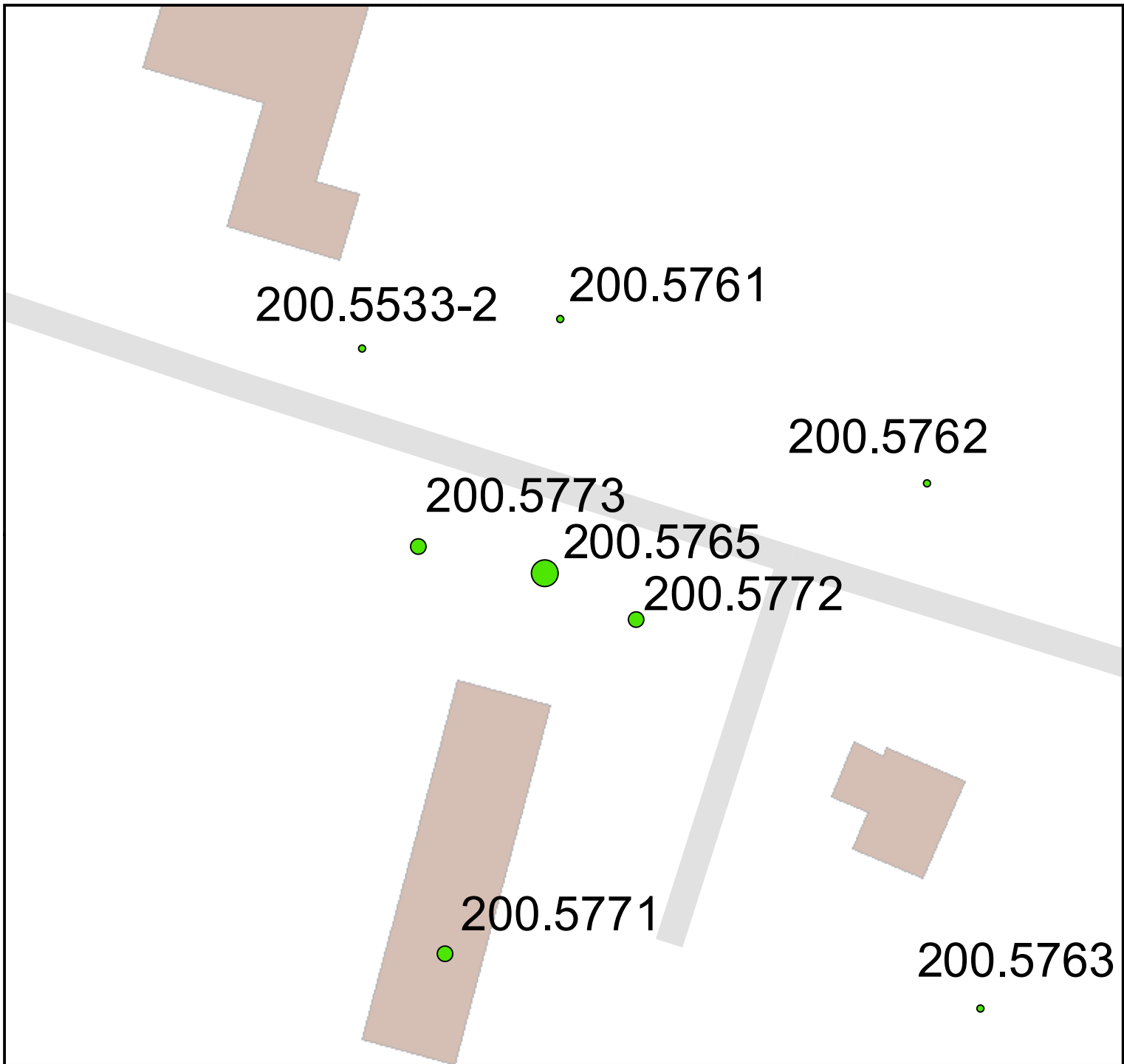
Bygning

Potentiale 2007



Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter





**PCE i "sandlag"  
2007**

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

PCE [ $\mu\text{g/l}$ ]

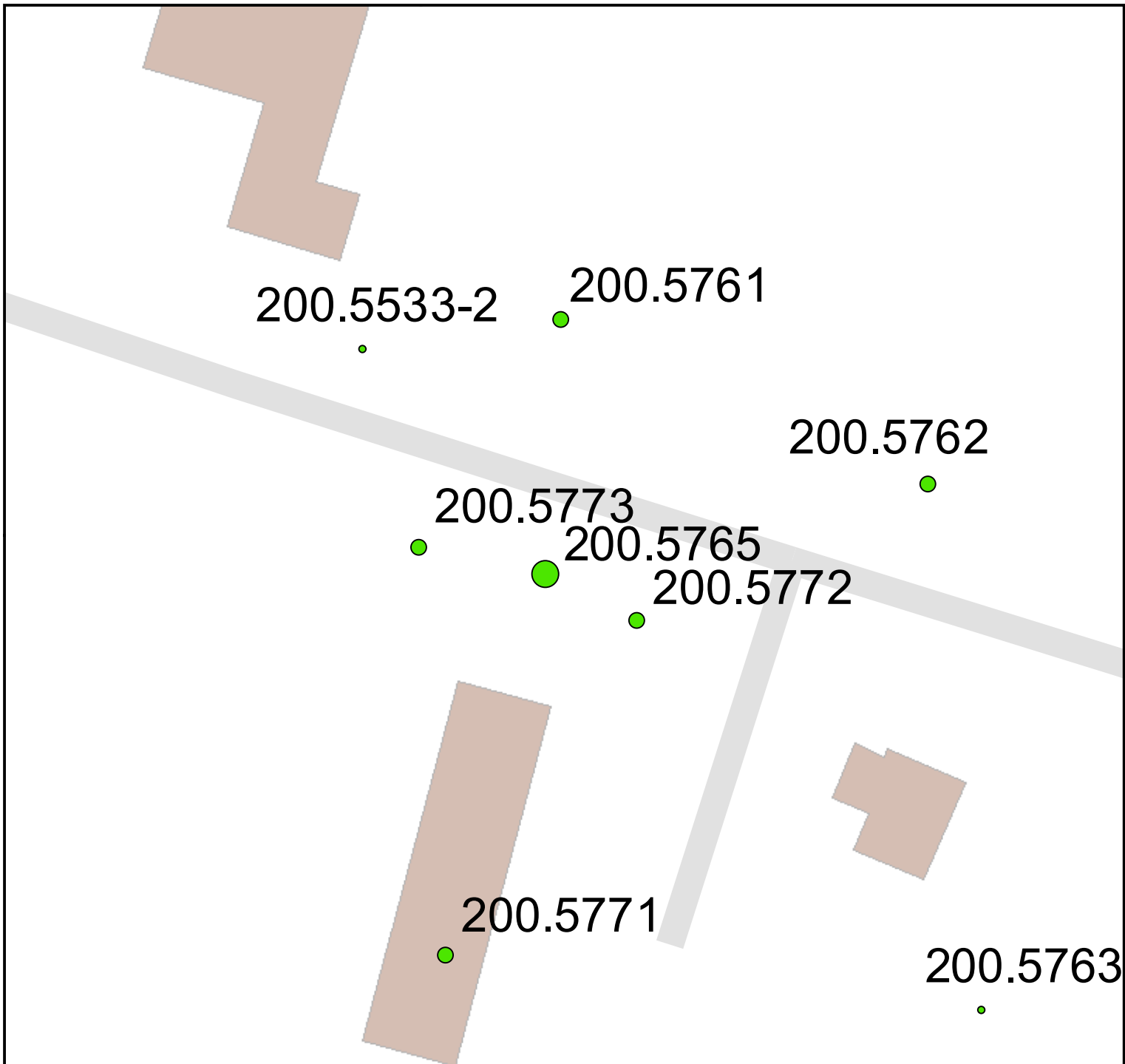
- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

 Vej  
 Bygning



 0 20 Meters





### TCE i "sandlag" 2007

Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

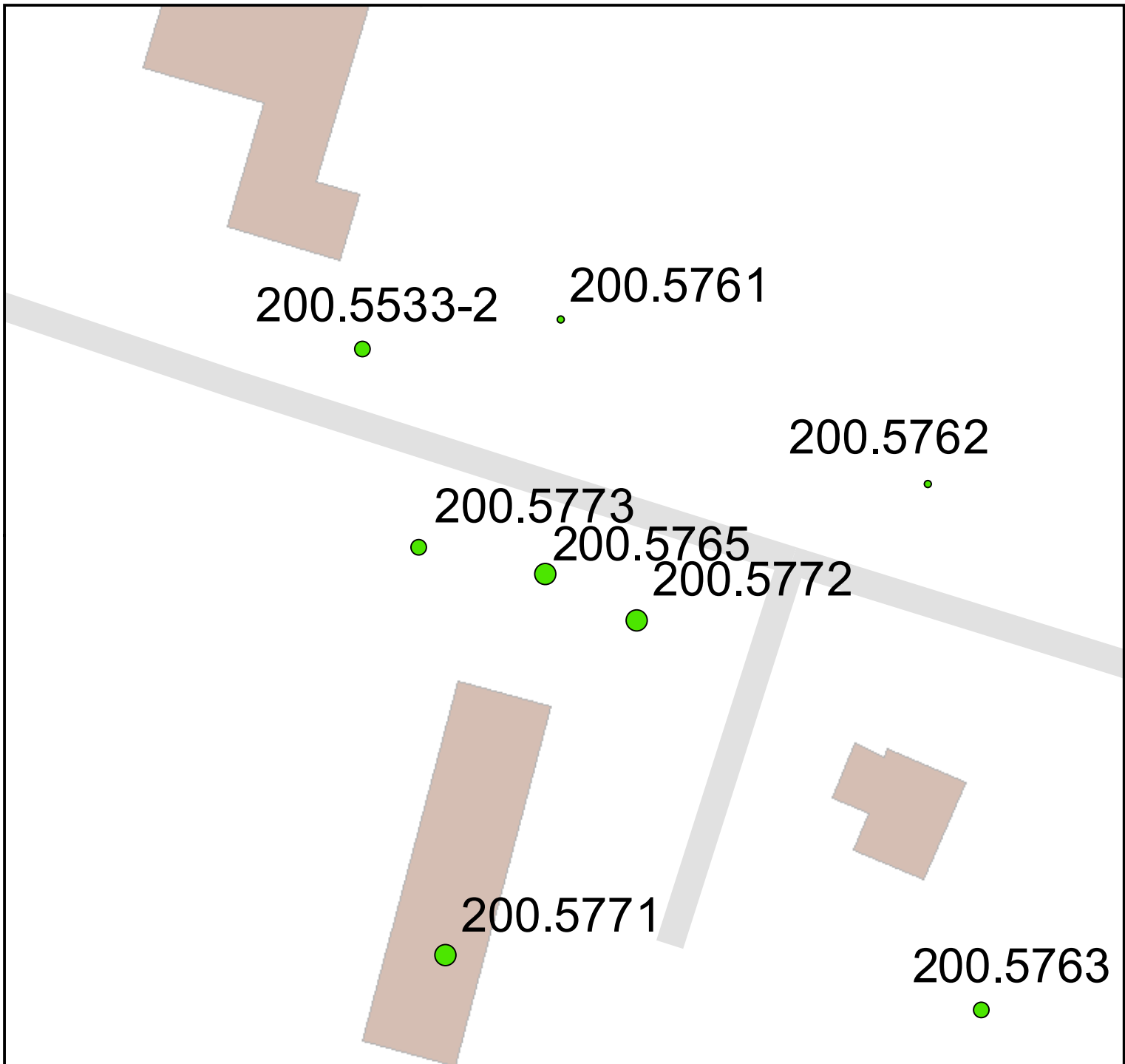
TCE [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]

- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

 Vej  
 Bygning



0  20 Meters



### cDCE i "sandlag" 2007


Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

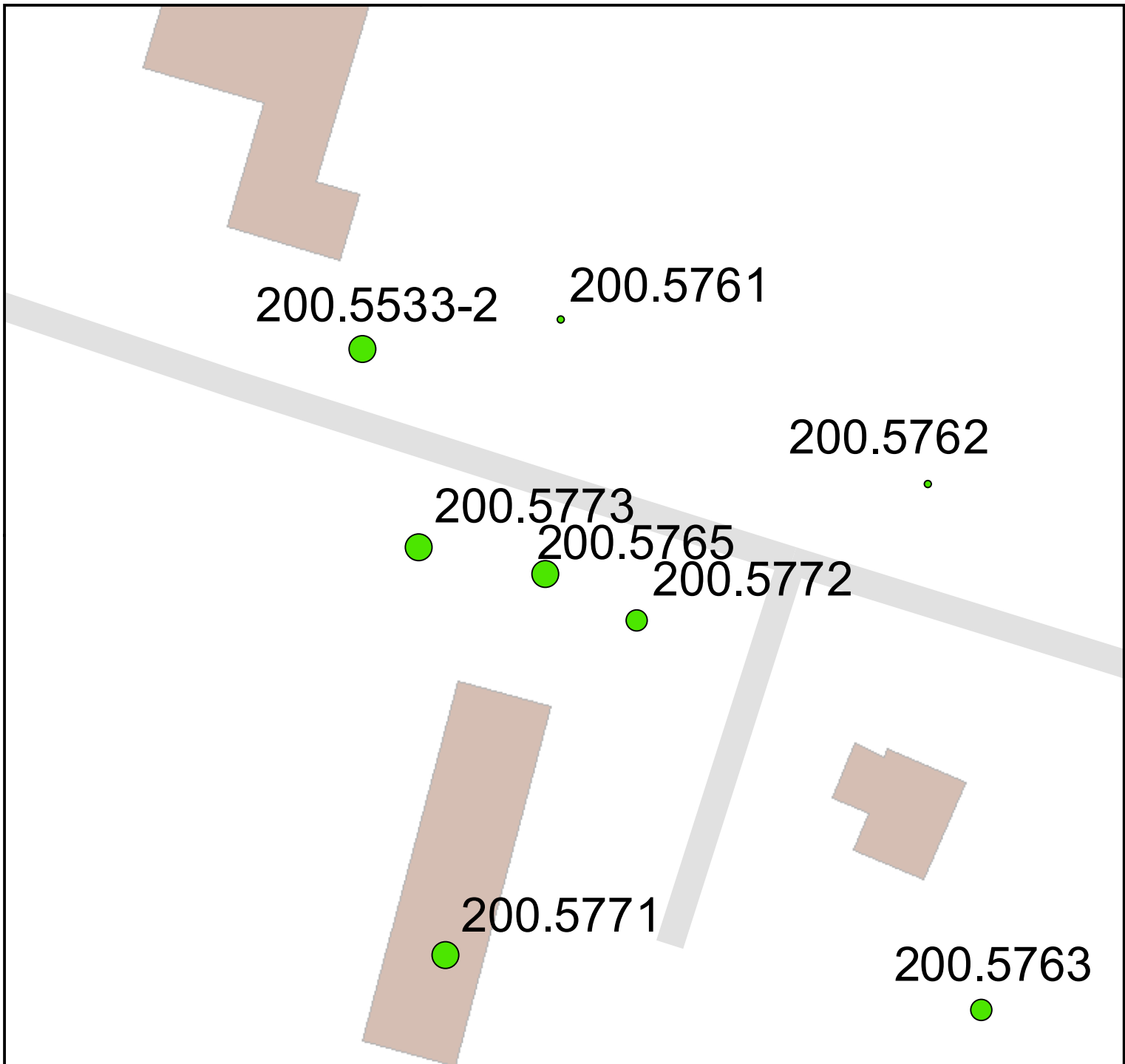
cDCE [ $\mu\text{g/l}$ ]

- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

 Vej  
 Bygning



0  20 Meters



### VC i "sandlag" 2007

Borings ID-2 Øverste filter  
 Borings ID Kun et filter

VC [ $\mu\text{g/l}$ ]

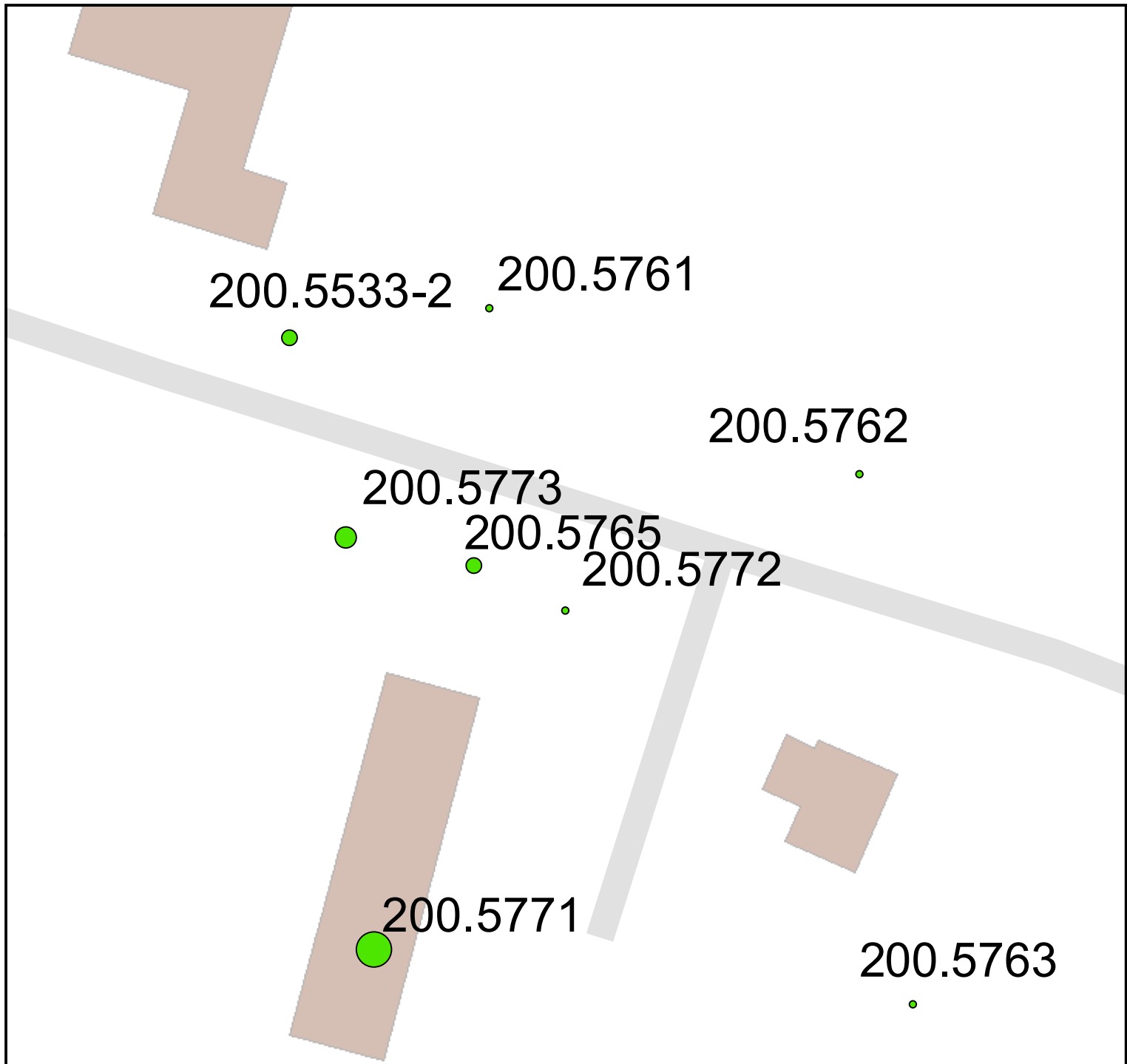
- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

— Vej

■ Bygning



0 20 Meters



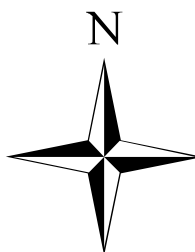
**CA i "sandlag"  
2007**

Borings ID-2 Øverste filter  
 Borings ID Kun et filter

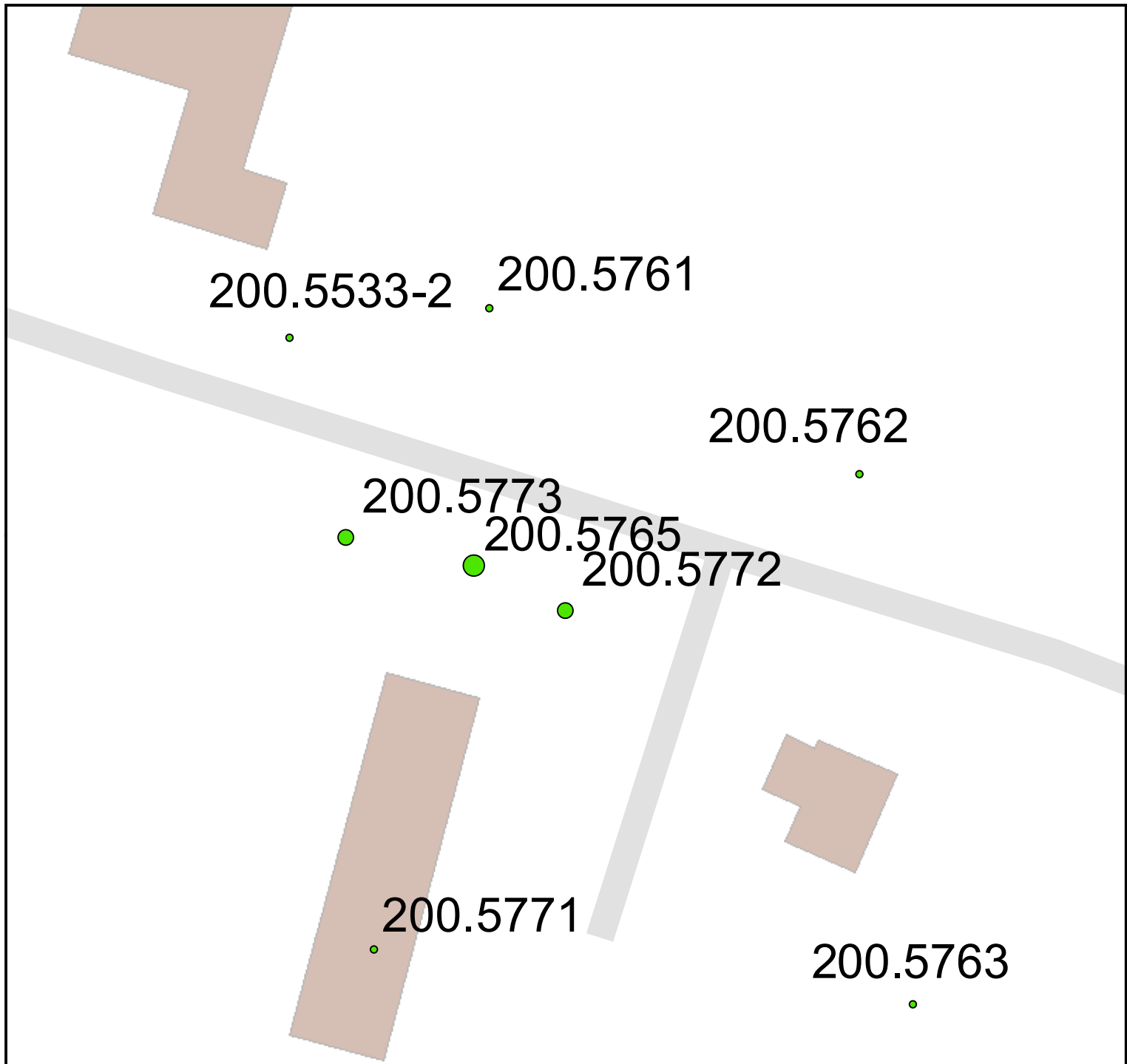
**CA [ $\mu\text{g/l}$ ]**

- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

— Vej  
 ■ Bygning



0 20 Meters



**PCE i "sandlag"  
august/sept 2010**

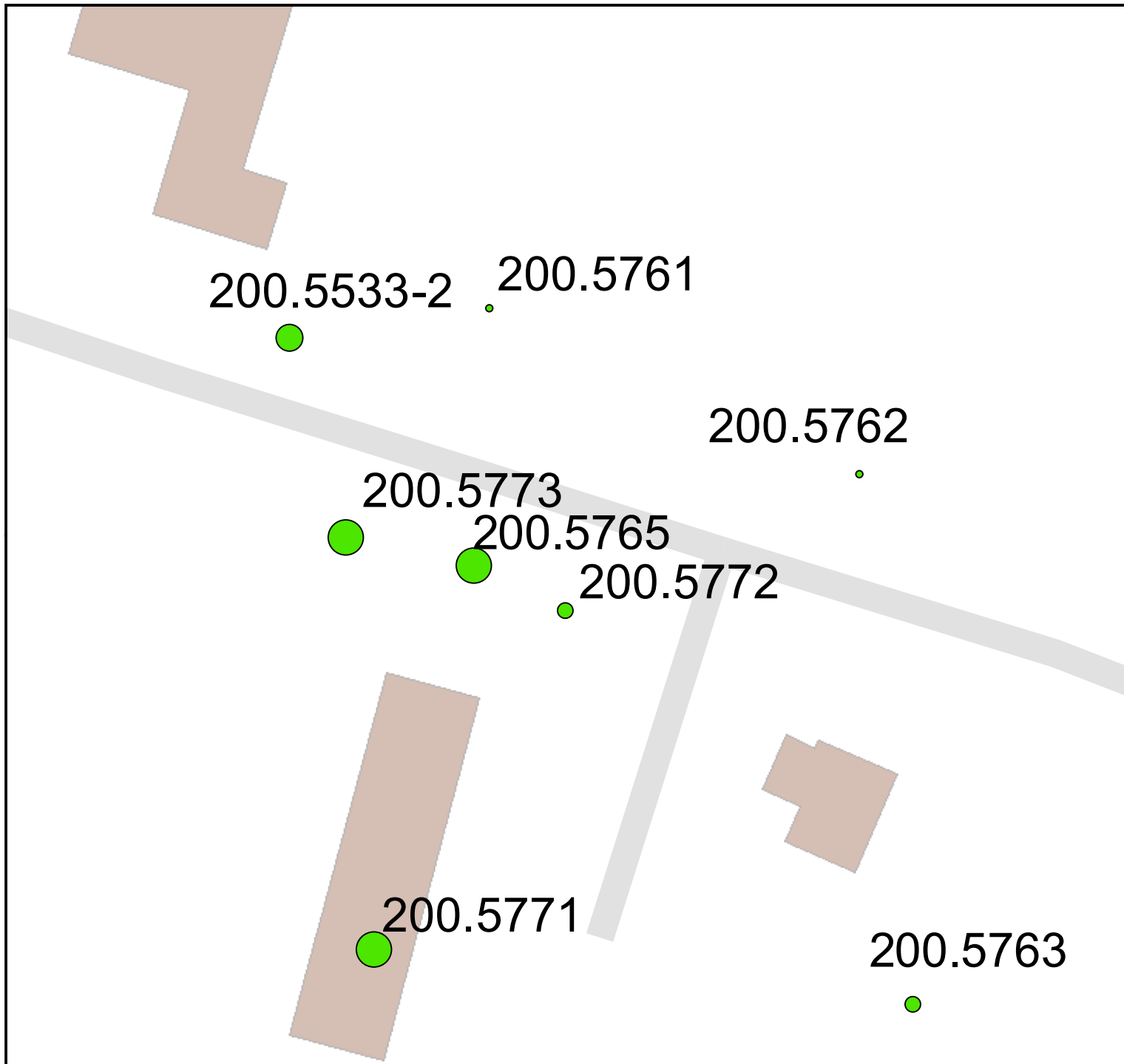
Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

**TCA [ug/l]**

- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

— Vej

■ Bygning



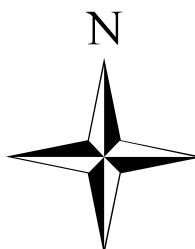
### DCA i "sandlag" 2007

Borings ID-2 Øverste filter  
 Borings ID Kun et filter

### DCA [ $\mu\text{g/l}$ ]

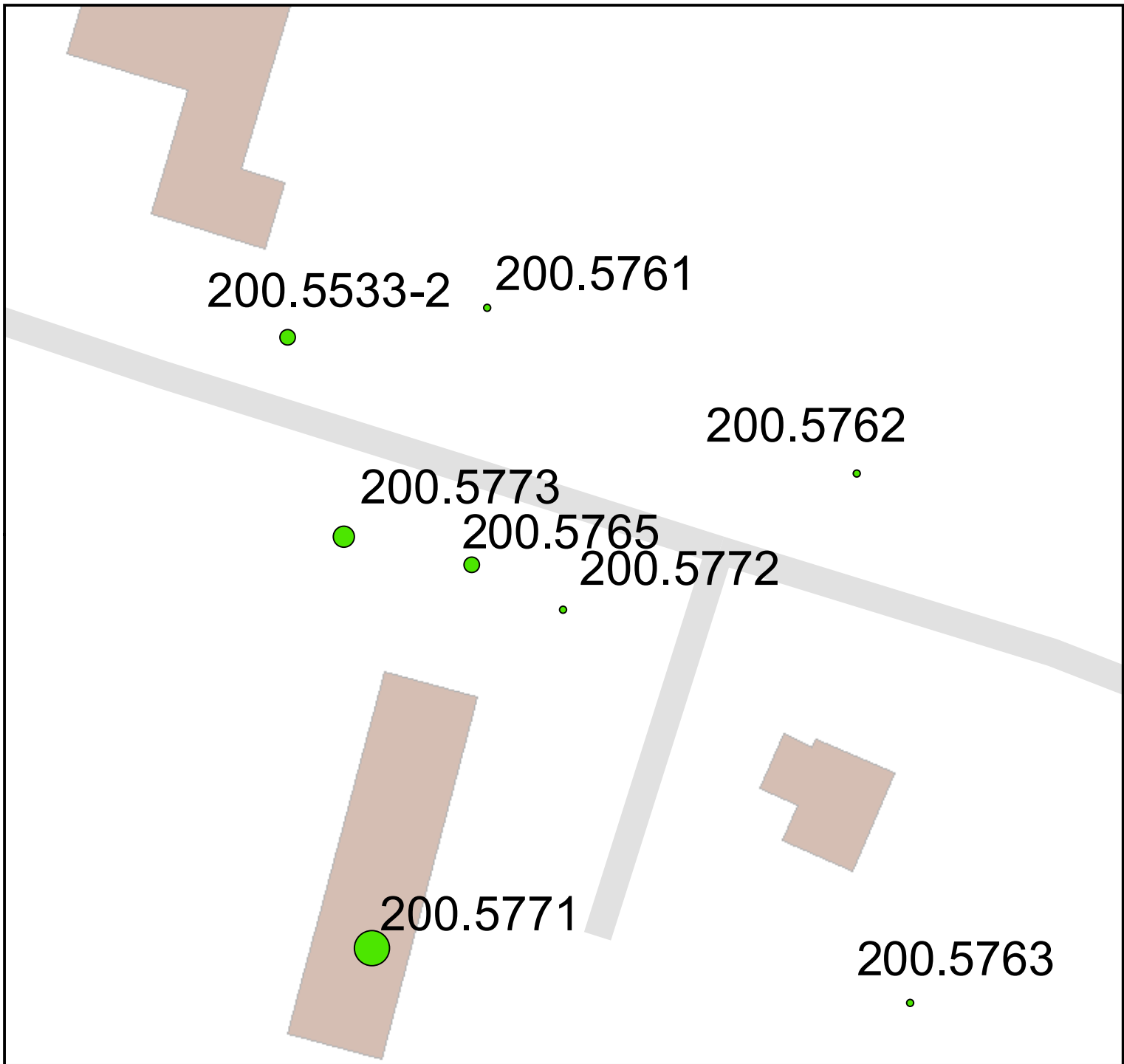
- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

— Vej  
 ■ Bygning



0 20 Meters





**CA i "sandlag"  
2007**

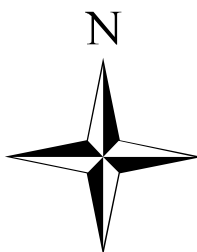
Borings ID-2 Øverste filter  
Borings ID Kun et filter

**CA [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]**

- 0.0
- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 10.0
- 10.1 - 100.0
- 100.1 - 10000.0

— Vej

■ Bygning



0 20 Meters

### – Investigation of the contact between the sandy layer and the chalk aquifer

Chlorinated solvents have been found in the sandy layer below the source zone in well 200.5533 and the geotechnical well. In this part, we are investigating the transport pathways from the sandy layer to the chalk aquifer. According to the geological model at the local scale, the sandy layer is separated from the chalk aquifer by a clay-silt layer of lower hydraulic conductivity. A simple three-layers model is developed in order to investigate the contaminant breakthrough in the chalk aquifer (time frame and concentration) under different conditions.

#### **Choice of parameters**

The conceptual model is shown in Figure 1. The values of recharge and hydraulic conductivities of the sandy and silty layers are varied and 18 simulations were performed. The hydraulic conductivity of the chalk aquifer is fixed to  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$  and the horizontal gradient is **1.5%**, the vertical hydraulic conductivity is assumed to be 1/10 of the horizontal conductivity for all three layers. The hydraulic conductivity value for the chalk aquifer is taken from the most probable scenario in the capture zone (Bilag 6). It corresponds to the high range of the measured conductivities at the regional scale (Bilag 5). For the simulations in this section, the occurrence of the contaminant breakthrough is not very sensitive to the characteristics of the chalk aquifer (the same scenarios would result in contaminant breakthrough to the chalk aquifer). However a lower hydraulic conductivity would result in higher maximum concentrations (because the dilution with clean water would be decreased).

The K values for the sandy and silty layers are based on the slug and pumping tests performed at the site (see Section Hydrogeologi in main report). Therefore hydraulic conductivity for the sandy part is varied between  $10^{-6}$  and  $3.2 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  (with a most probable value of  $3.2 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ ). The silty layer is assumed to have a K value is between half to one order of magnitude lower than the overlying sandy till, so K is varied between  $3 \cdot 10^{-7}$  and  $10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  (with a most probable value of  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ ). Given the very low hydraulic conductivity of the upper part of the clayey till (above the sandy layer, See Section Hydrogeologi in the main report), the recharge is expected to be relatively low. Recharge around 40-80 mm/year have been reported for similar glacial tills (Harrar et al., 2007; Nilsson et al., 2001), so recharge is varied between 10 and 100 mm/year in this study (with a most probable value of **50** mm/year). No degradation and no sorption are included in the model, in order to represent a “worst case” scenario. All parameters are given in Tables 1 and 2.

The scenarios reflect different situations:

- Horizontal or vertical flow dominating in sandy and silty layers (see Table 1 for details)
- Advection or dispersion/diffusion dominating flux to the chalk aquifer (see Table 1 for details)

Given the chosen hydraulic conductivity, advection dominates in the silty layer for all scenarios (Peclet number above 1), but the processes controlling the contaminant flux to the chalk aquifer vary (see Table 1 for details).

#### **Discussion of results**

The unrealistic combinations are removed from the results (higher K in silty layer than in the sandy till), as well as the scenarios which give unrealistic gradient in the sandy and/or silty layers. These scenarios are left blank in Table 1.

The average vertical hydraulic gradient between the sandy layer and the chalk aquifer varies between 0.000 to 0.012 for the 27 scenarios (head difference between 0 and 6 cm). It is consistent with the measured heads, which shows that the difference between the sandy layer and the chalk aquifer is relatively small.

For scenarios 1 to 8, diffusion is important in the silty layer (low recharge and low hydraulic conductivity) and controls the contaminant flux to the chalk aquifer. In these scenarios, the timeframe for contaminant breakthrough to the chalk reaches 100 years, and the expected concentrations in the drinking water aquifer are below 2%.

For the intermediate scenario (where advection and dispersion/diffusion are similar), the breakthrough time is around 30 years and the expected concentrations around 10%. Finally for the scenario where advection is dominant (high recharge), the breakthrough time is around 10 years and the expected concentrations around 2 to 13%.

The dilution in the chalk layer is important, as the hydraulic conductivity is high ( $5 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ ). A lower hydraulic conductivity will result in higher concentrations in the chalk aquifer (but the scenario where breakthrough does not occur will remain the same). The dilution factor between the sand and the chalk aquifer (well B313) varies between 8 and 1000, with a value around 10 for the most likely scenarios.

The most likely scenario is highlighted in yellow in Table 1 and the simulated plume at steady-state is shown in Figure 2.

The model investigates the contaminant pathways from the sandy layer to the chalk aquifer. The model is fairly simple with a minimum number of parameters, and is based on the existing knowledge of the local geology and hydraulic characteristics. Therefore it can give a good indication of the processes leading to contaminant breakthrough in the drinking aquifer.

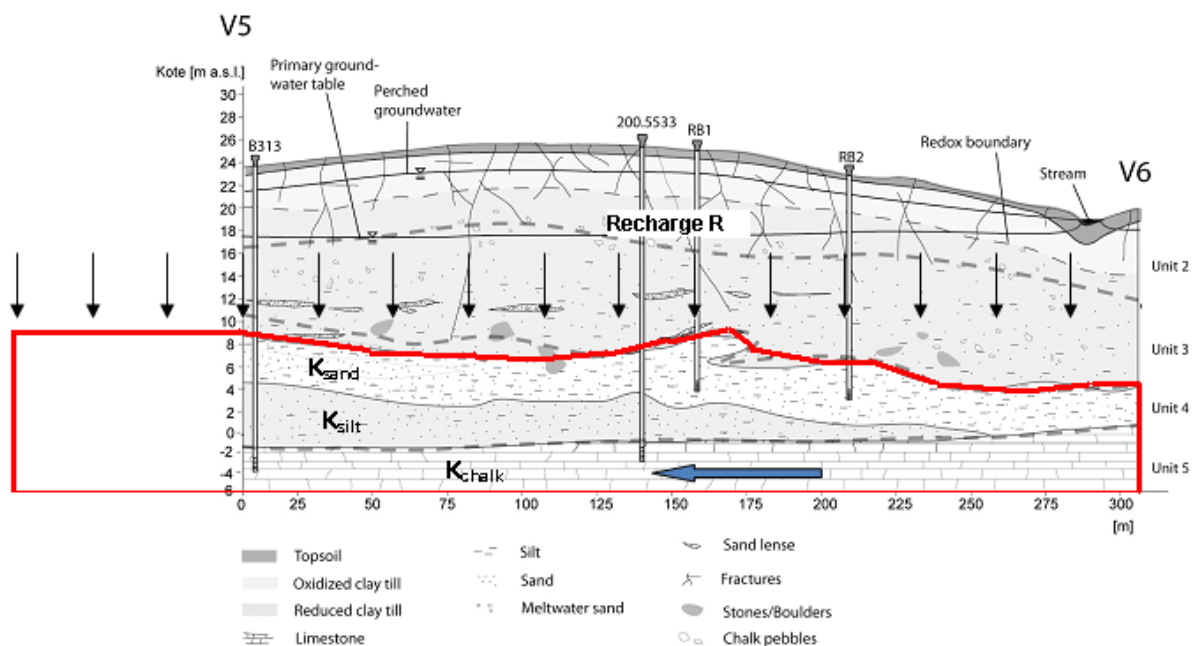


Figure 1 - Local geology and the model domain in red, with three layers (sandy layer, silty layer and chalk aquifer). The screen where chlorinated solvents were found is shown in green.

Table 1 – Parameters and results of the 27 simulations

Recharge (mm.y <sup>-1</sup> )	K <sub>sand</sub> (m.s <sup>-1</sup> )	K <sub>silt</sub> (m.s <sup>-1</sup> )	Nr	Breakthrough time (y)*	Max concentration (% of C <sub>sand</sub> )		Concentration in B313 (1m screen) (% of C <sub>sand</sub> )		Horizontal/vertical flow ratio		Vertical hydraulic gradient**	
					In 40 years	At steady state	In 40 years	At steady state	Sand	Silt		
10	10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	1	>40		3.6		0.4	5.3	1.8	0.008	
		2*10 <sup>-6</sup>	2									
		10 <sup>-5</sup>	3									
	6*10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	4	>40		6.0		1.9	40.6	2.3	0.005	
		2*10 <sup>-6</sup>	5	>40		6.6		1.8	38.2	12.3	0.001	
		10 <sup>-5</sup>	6									
	3.2*10 <sup>-5</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	7	>40		0.4		0.0	67.4	3.9	0.003	
		2*10 <sup>-6</sup>	8	>40		0.7		0.1	108.9	12.7	0.001	
		10 <sup>-5</sup>	9			none		none	116.3	59.1	0.000	
50	10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	10									
		2*10 <sup>-6</sup>	11									
		10 <sup>-5</sup>	12									
	6*10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	13									
		2*10 <sup>-6</sup>	14	27		12.2	22.3	0.9	2.3	6.4	2.4	0.006
		10 <sup>-5</sup>	15									
	3.2*10 <sup>-5</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	16	38		0.2	16.8	0.0	5.3	43.6	1.0	0.014
		2*10 <sup>-6</sup>	17	25		12.1	32.8	2.6	11.2	43.6	3.0	0.004
		10 <sup>-5</sup>	18	31		12.8	33.7	2.6	8.1	41.0	12.8	0.001
100	10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	19									
		2*10 <sup>-6</sup>	20									
		10 <sup>-5</sup>	21									
	6*10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	22									
		2*10 <sup>-6</sup>	23	12		26.4	26.3	1.7	1.7	3.1	1.3	0.012
		10 <sup>-5</sup>	24									
	3.2*10 <sup>-5</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	25									
		2*10 <sup>-6</sup>	26	13		47.6	47.6	9.9	9.9	19.7	1.6	0.008
		10 <sup>-5</sup>	27	13		49.6	49.6	12.6	12.6	19.7	6.4	0.002

\*Breakthrough time is defined as time when concentration in chalk aquifer (C<sub>chalk</sub>) is above 1‰ of the concentration in the sandy layer (C<sub>sand</sub>)

\*\* between the sandy layer and the chalk aquifer

Dominant diffusive flux to the chalk aquifer

Dispersive/Diffusive and advective fluxes to the chalk are similar

Dominant advective flux to the chalk aquifer

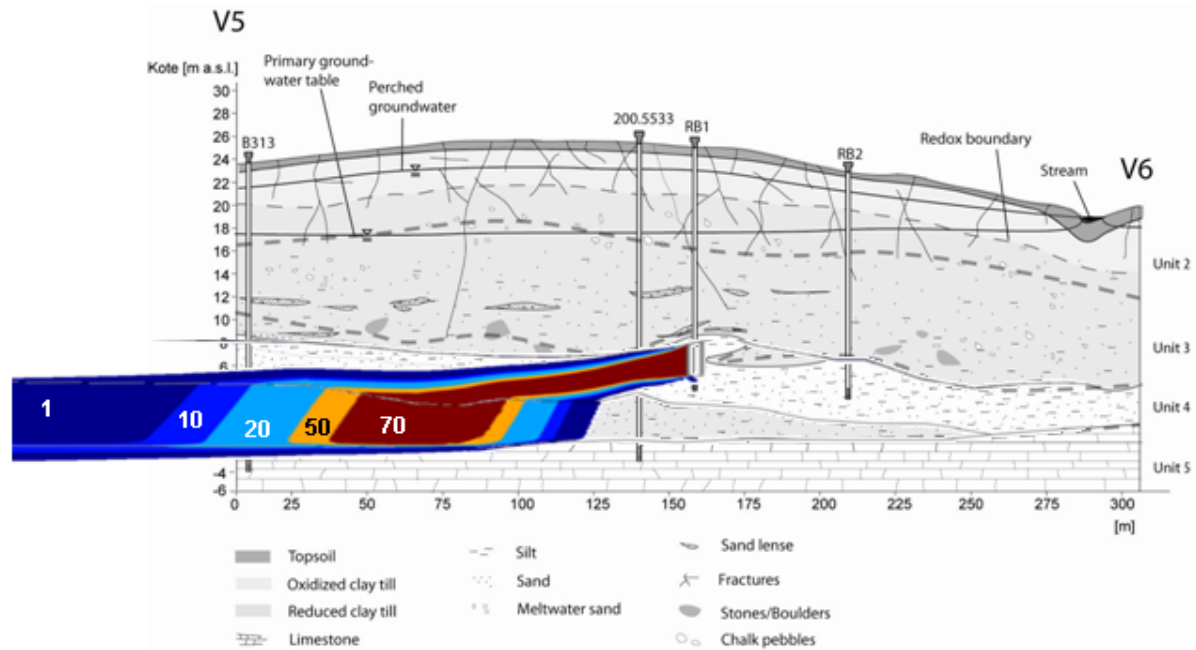


Figure 2 – Concentration in % of concentration measured in the sand layer for scenario highlighted in yellow in Table 1 (the most likely scenario)

Table 2 – Model parameters

Parameter name	Symbol	Value	Unit
Hydraulic conductivity sandy layer	$K_{sand}$	$10^{-6} - 3.2 \cdot 10^{-5}$ (see Table 1)	$m \cdot s^{-1}$
Hydraulic conductivity silty layer	$K_{silt}$	$3 \cdot 10^{-7} - 10^{-5}$ (see Table 1)	$m \cdot s^{-1}$
Hydraulic conductivity chalk aquifer	$K_{chalk}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$m \cdot s^{-1}$
Hydraulic anisotropy ( $K_h/K_v$ )	( $K_h/K_v$ )	10	-
Horizontal hydraulic gradient	$i$	0.0015	-
Recharge	$R$	10 - 100	$mm \cdot y^{-1}$
Porosity (sand and silt)	$\Phi_s$	0.3	-
Porosity (chalk)	$\Phi_c$	0.2	-
Longitudinal dispersivity	$\alpha_L$	0.1	m
Vertical transverse dispersivity	$\alpha_T$	0.001	m
Molecular dispersion coefficient	$D_m$	$6.3 \cdot 10^{-10}$	$m^2 \cdot s^{-1}$

#### Reference List

Harrar, W. G., Murdoch, L. C., Nilsson, B., and Klint, K. E. S., 2007. Field characterization of vertical bromide transport in a fractured glacial till. *Hydrogeology Journal*. 15 (8), 1473-1488.

Nilsson, B., Sidle, R. C., Klint, K. E., Boggild, C. E., and Broholm, K., 2001. Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogeneous glacial till-sandy aquifer system. *Journal of Hydrology*. 243 (3-4), 162-179.