

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

Chambon, Julie Claire Claudia; Thomsen, Nanna Isbak; Kessler, Timo Christian; Nilsson, Bertel; Klint, Knud Erik; Binning, Philip John; Bjerg, Poul Løgstrup

Publication date:
2011

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Chambon, J. C. C., Thomsen, N. I., Kessler, T. C., Nilsson, B., Klint, K. E., Binning, P. J., & Bjerg, P. L. (2011). Risikovurdering af forurenede grunde på Vadsbyvej i forhold til vandressourcen og Soderup Vandværk. DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet & Region Hovedstaden.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

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

Et samarbejdsprojekt mellem
DTU Miljø og Region Hovedstaden

Udarbejdet af:

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

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.

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 og Nina Tuxen, Orbicon har været behjælpelige med data fra tidligere og igangværende undersøgelser og faglig sparring.
- Henriette Kerrn-Jespersen, Region Hovedstaden har i hele projektet bidraget med supplerende oplysninger og faglig sparring.

Alle bidragsydere takkes for samarbejdet.

Indhold

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | BAGGRUND | 5 |
| 2 | FORURENINGSKILDER PÅ VADSBYVEJ 16, 16A OG 17 | 6 |
| 3 | GEOLOGISK MODEL FOR OMRÅDET | 8 |
| 3.1 | Regional skala | 8 |
| 3.2 | Lokal geologisk model | 11 |
| 4 | HYDROGEOLOGI | 13 |
| 4.1 | Grundvandsstrømning på regional skala | 13 |
| 4.2 | Strømningen på lokal skala ved Vadsbyvej 16, 16A og 17. | 14 |
| 4.3 | Hydrauliske parametre | 14 |
| 4.4 | Hydraulisk samspil mellem sandmagasin, kalkmagasin og Vadsby Å | 15 |
| 4.5 | Indvindingsoplande for vandindvinding | 17 |
| 4.6 | Aldersdatering af grundvand | 17 |
| 5 | FORURENINGSKEMI PÅ VADSBYVEJ | 20 |
| 5.1 | Forureningskemi i kildeområdet for Vadsbyvej 16A | 20 |
| 5.2 | Forurening i sekundært sandmagasin | 22 |
| 5.3 | Forurening i kalkmagasin | 26 |
| 5.4 | Vadsby Å | 26 |
| 6 | SAMMENSTILLING AF FORURENINGSBILLEDET PÅ LOKAL SKALA | 27 |
| 6.1 | Beregning af forureningsflux | 27 |
| 6.2 | Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet | 29 |
| 6.3 | Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet | 31 |
| 7 | EFFEKT AF OPRENSNING | 33 |
| 8 | FORURENING AF SODERUP VANDVÆRK | 34 |
| 8.1 | Risikovurdering for Soderup Vandværk | 34 |
| 9 | KONKLUSION | 36 |
| 10 | REFERENCER | 37 |

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. 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 recipienter i området, som primært er Soderup Vandværk.

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).

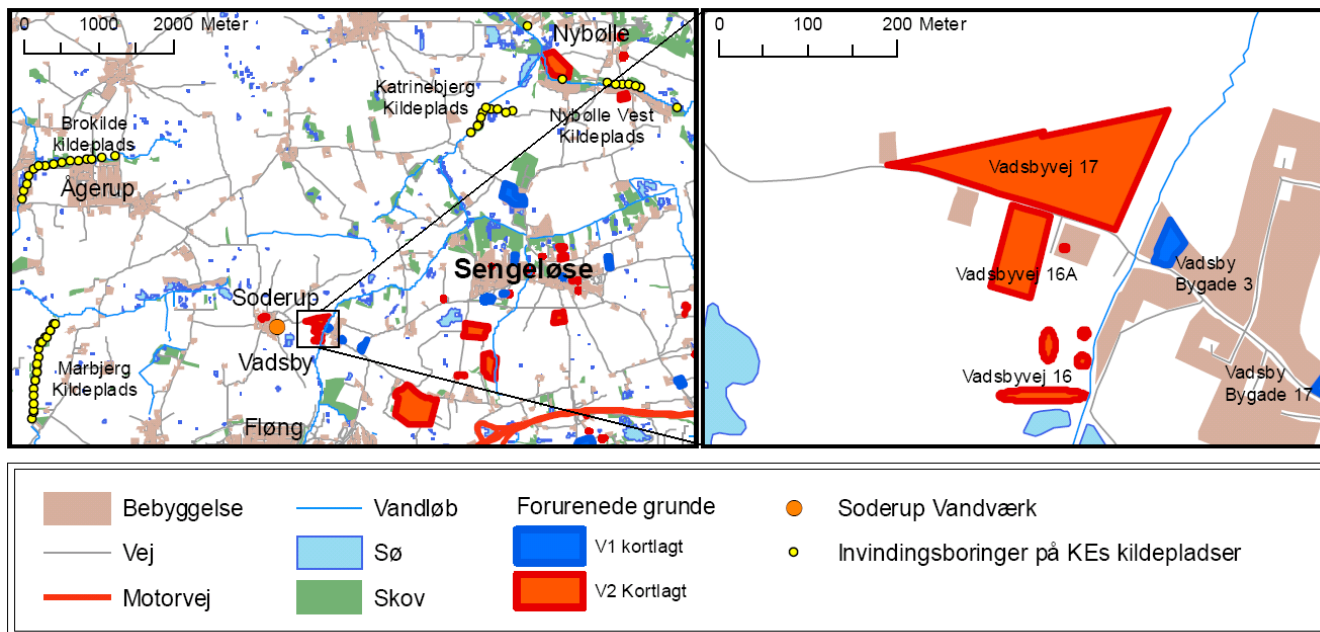
Vadsbyvej 16A 2640 Hedehusene. Lokalitets nr. 169-00253.

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 borerer fra Jupiterdatabasen, samt 6 nye borerer til kalkmagasinet. Geologiske profiler for de 6 nye borerer, 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.

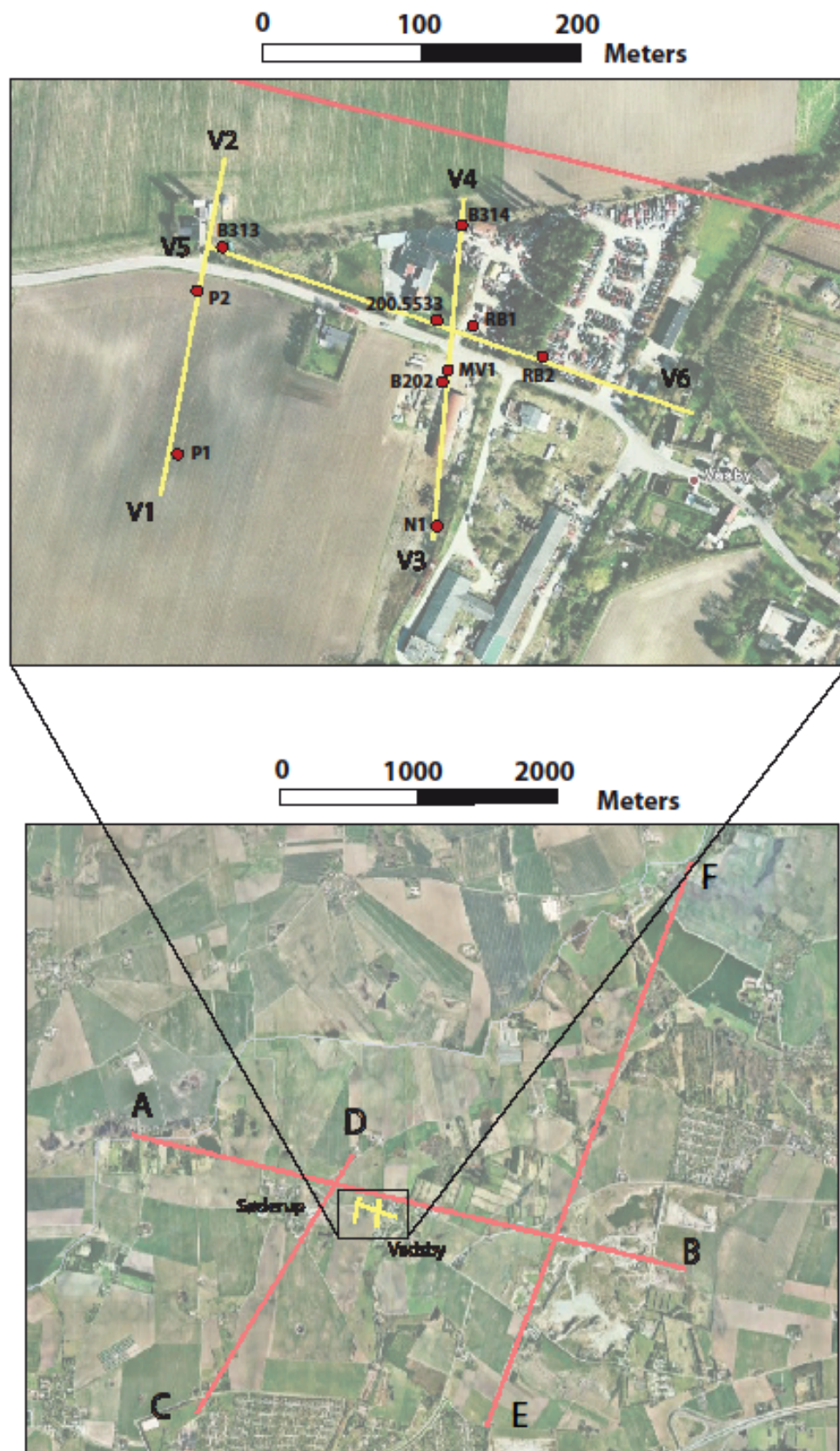
3.1 Regional skala

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.

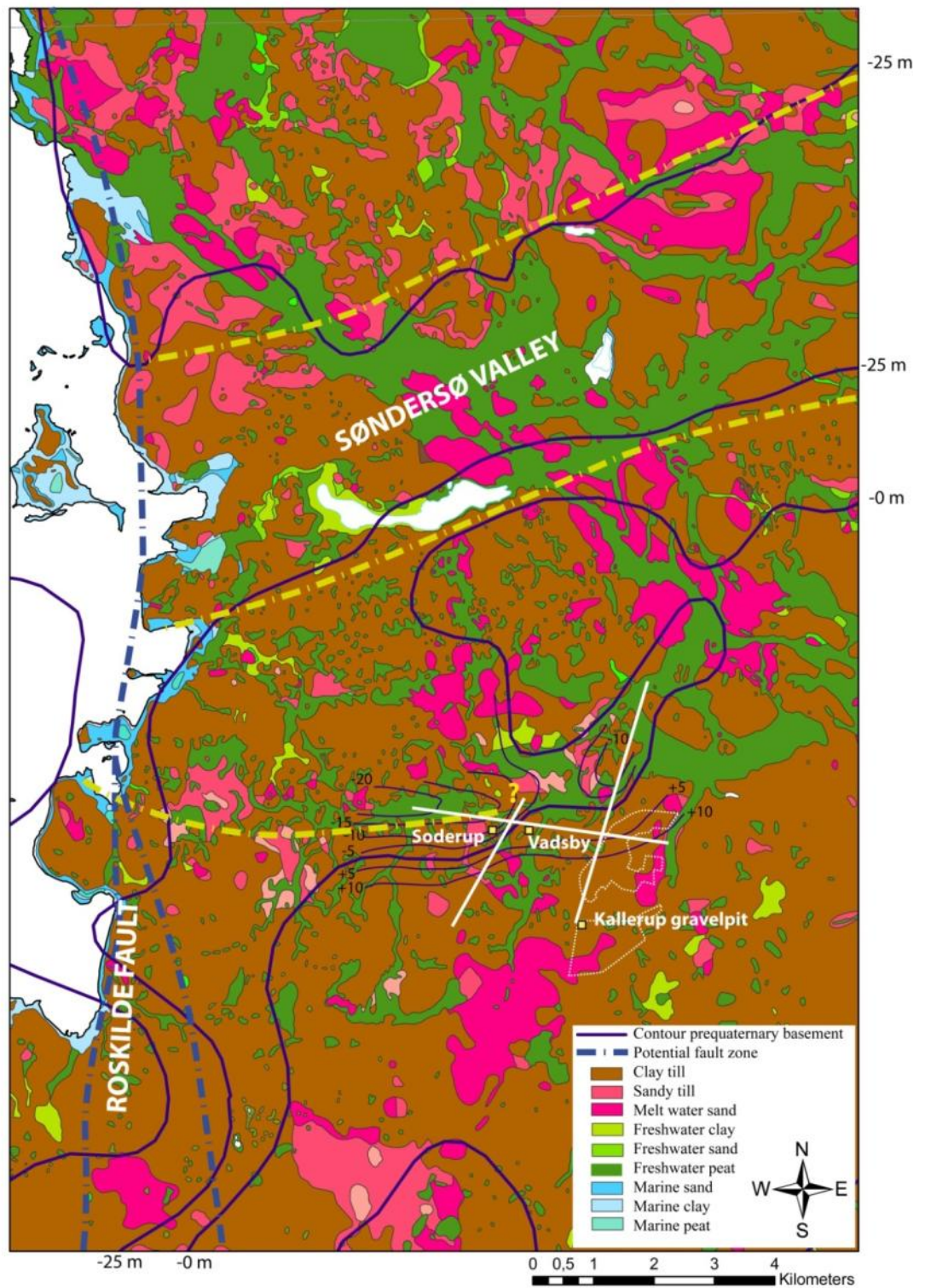
Overordnet set er den regionale geologiske lagserie domineret af to øvre mænelersenheder afsat under de såkaldte Ungbaltiske isfremstød (Houmark-Nielsen & Kjær, 2003). Disse baltiske enheder overlejrer overvejende sandede enheder fra den såkaldte Hedelandsformation (Jakobsen, 1985) der er afsat som to 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 glacial 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 borerer, ikke mindst vest for Soderup.

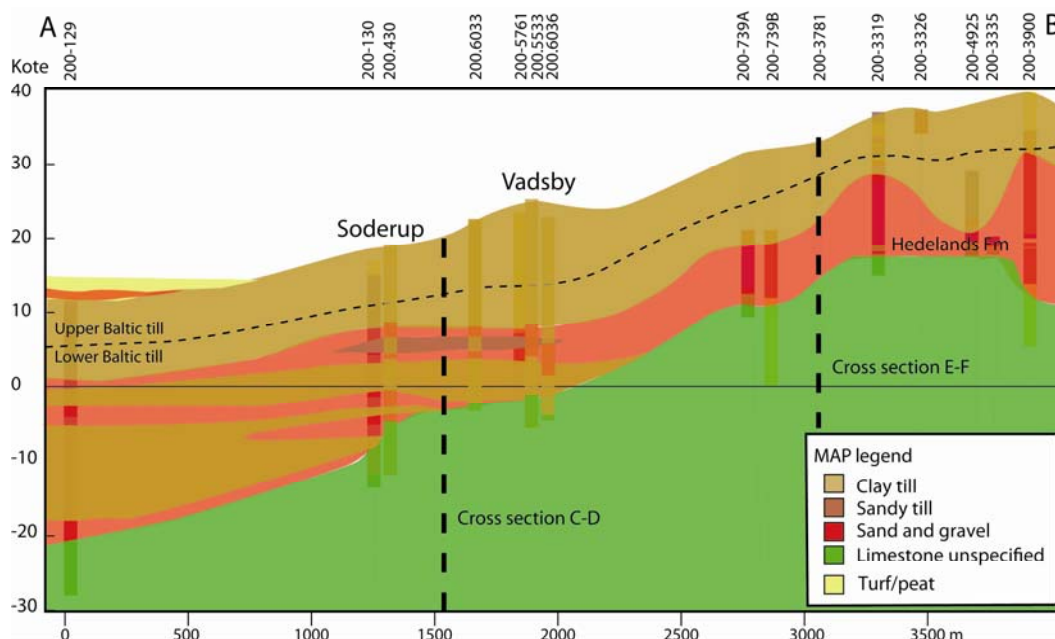
De glacial aflejringer hviler i hele området direkte på en prækvartær kalkoverflade, der består af kalksandskalk og bryozokalk. Kalken ligger omkring kote + 10 syd for Vadsbyområdet, men falder til ca. kote +1 til -3 ved Vadsby. Både nord-øst og vest for Vadsby falder kalkoverfladen 10 til 20 meter og 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.



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.

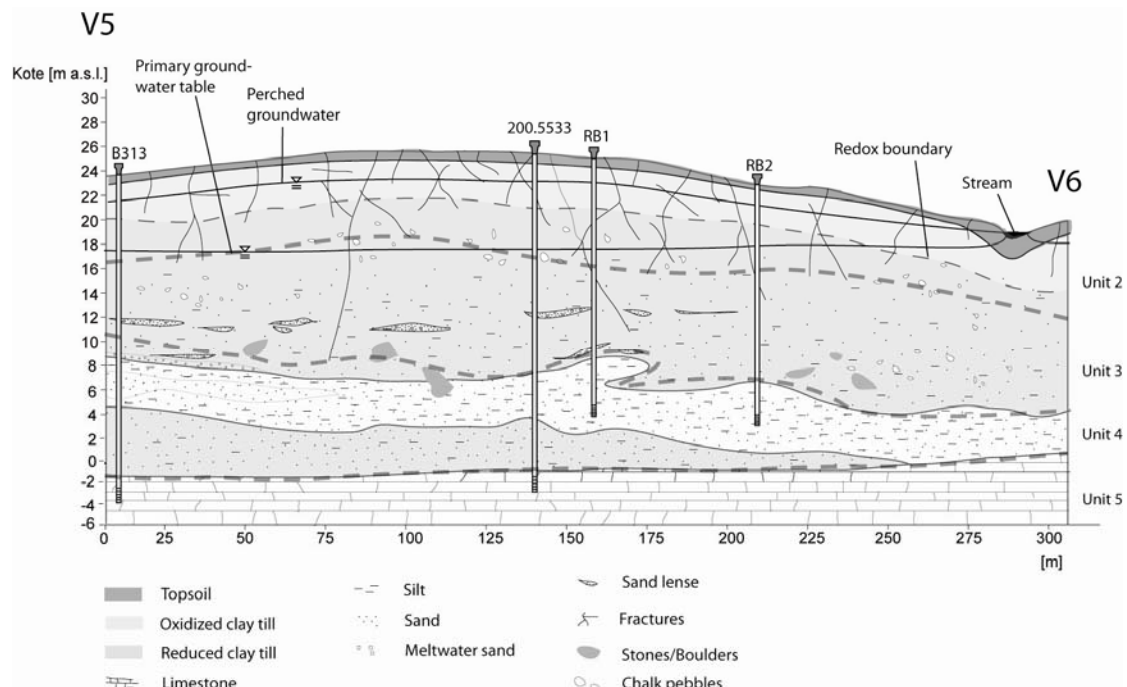
3.2 Lokal geologisk model

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/kalksandskalk. 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.

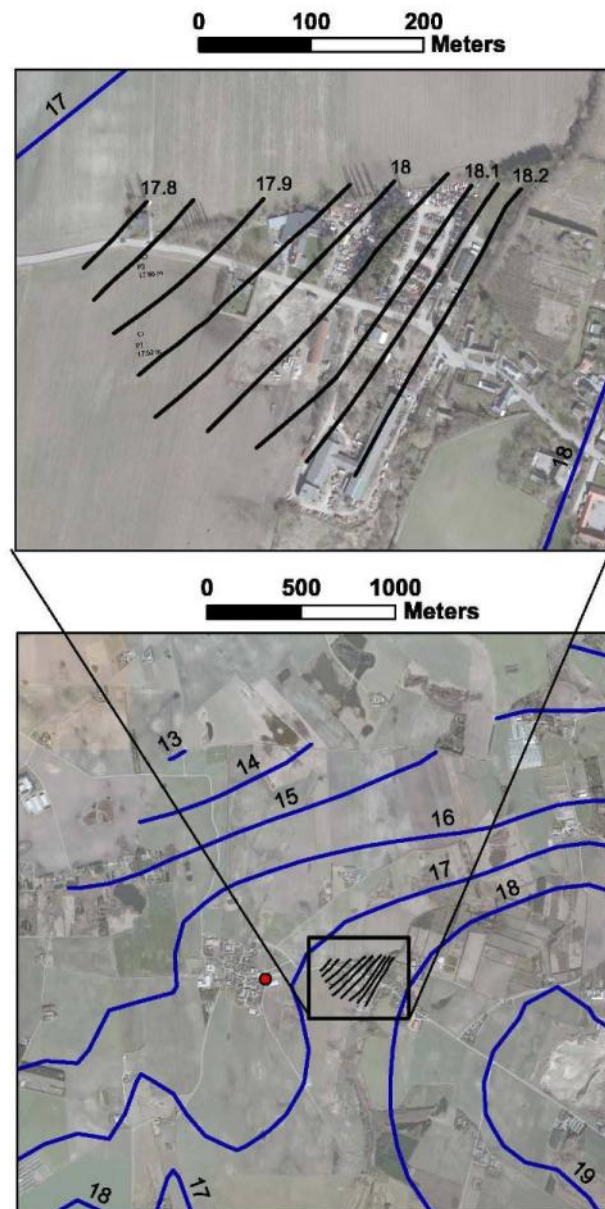
I den østlige del af profilet er dette lag i direkte kontakt med kalken i kote 0 m, mens der i den vestlige del er et mere siltet lag inden kalken nås. Dette mellemliggende lag genfindes også i de nord-sydgående profiler (bilag 3). Afgrensningen af smeltevands-sand-silt og moræneler i horisonten under 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: Potentialebillede 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 strømningsretningen. Omvendt betyder det, at der ikke kan optegnes separate kort for strømningsforholdene i sand og kalk.

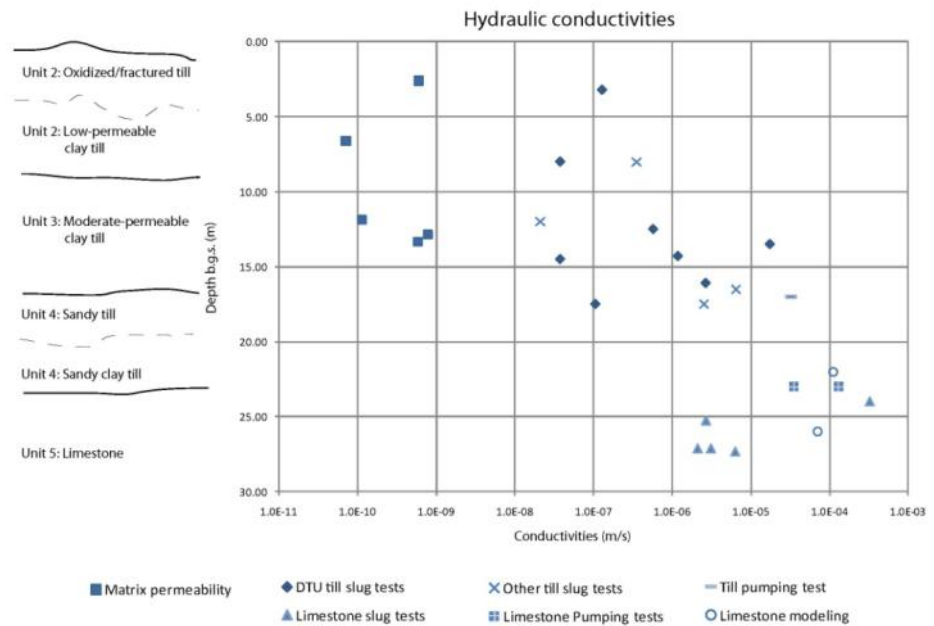
Der er ikke nogen entydig horisontal strømningsretning i den øvre del af moræneleren.

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.

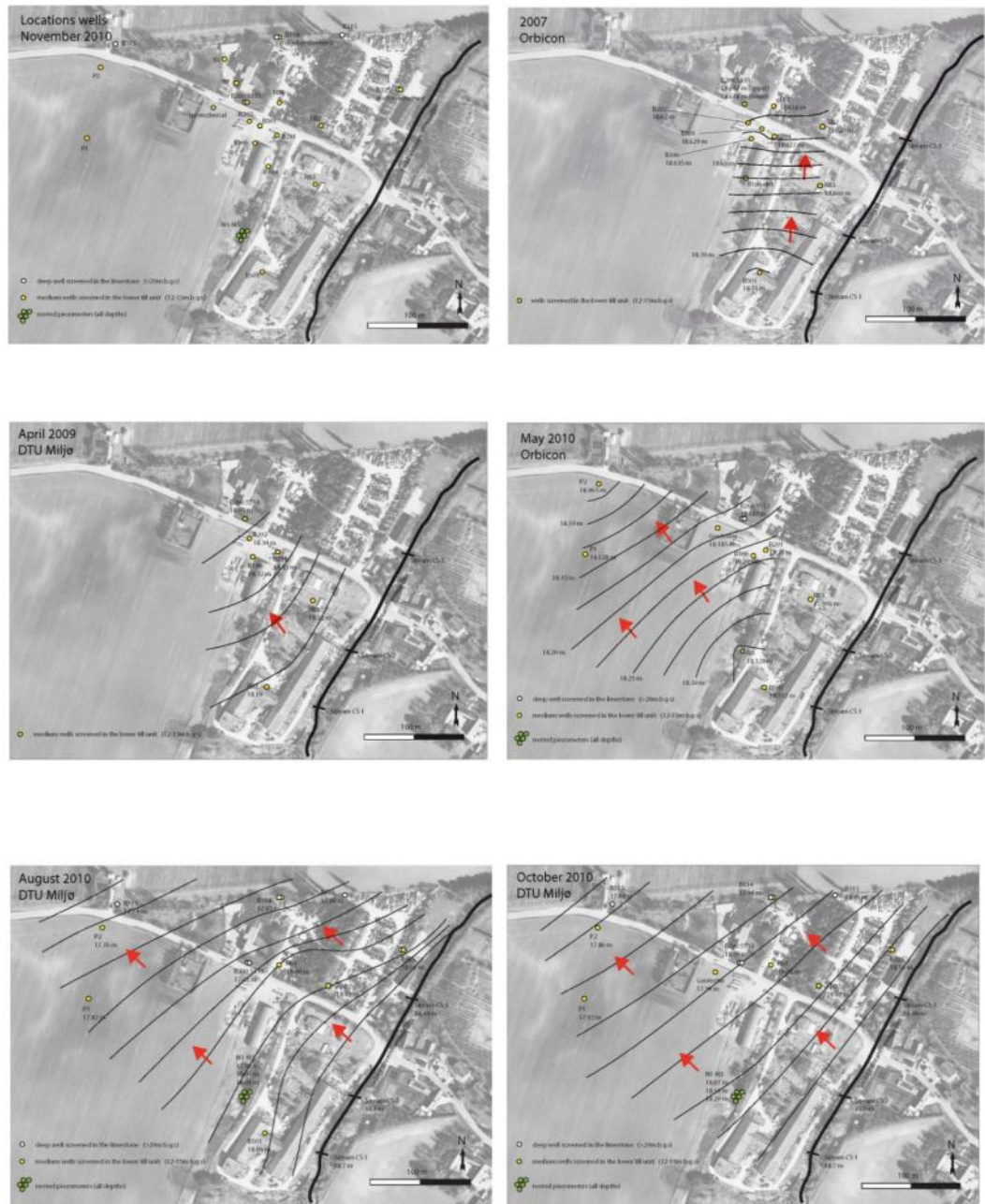


Figur 7: Hydrauliske ledningsevner for de forskellige geologiske enheder målt ved forskellige metoder.

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 pumpe-test 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 nedbørsmængder.

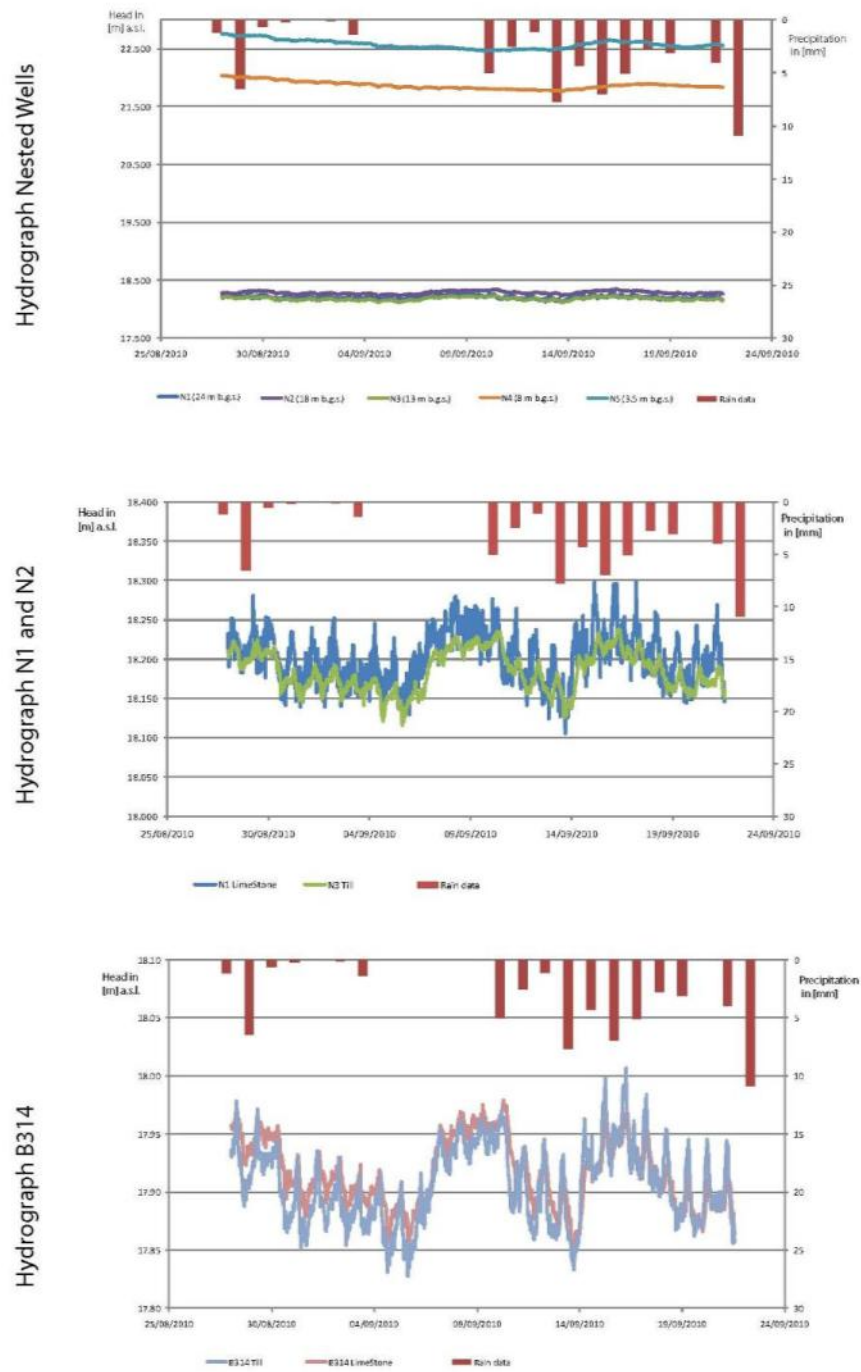
Vadsbyvej lokaliteterne ligger til gengæld inden for indvindingsoplandet for Brokilde og Marbjerg kildepladser (figur 3, bilag 6) med den nuværende indvinding på disse kildepladser. Beregningerne er dog stærkt afhængige af de konkrete parametre. Som det er beskrevet tidligere, er geologien vest for Soderup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

4.6 Aldersdatering af grundvand

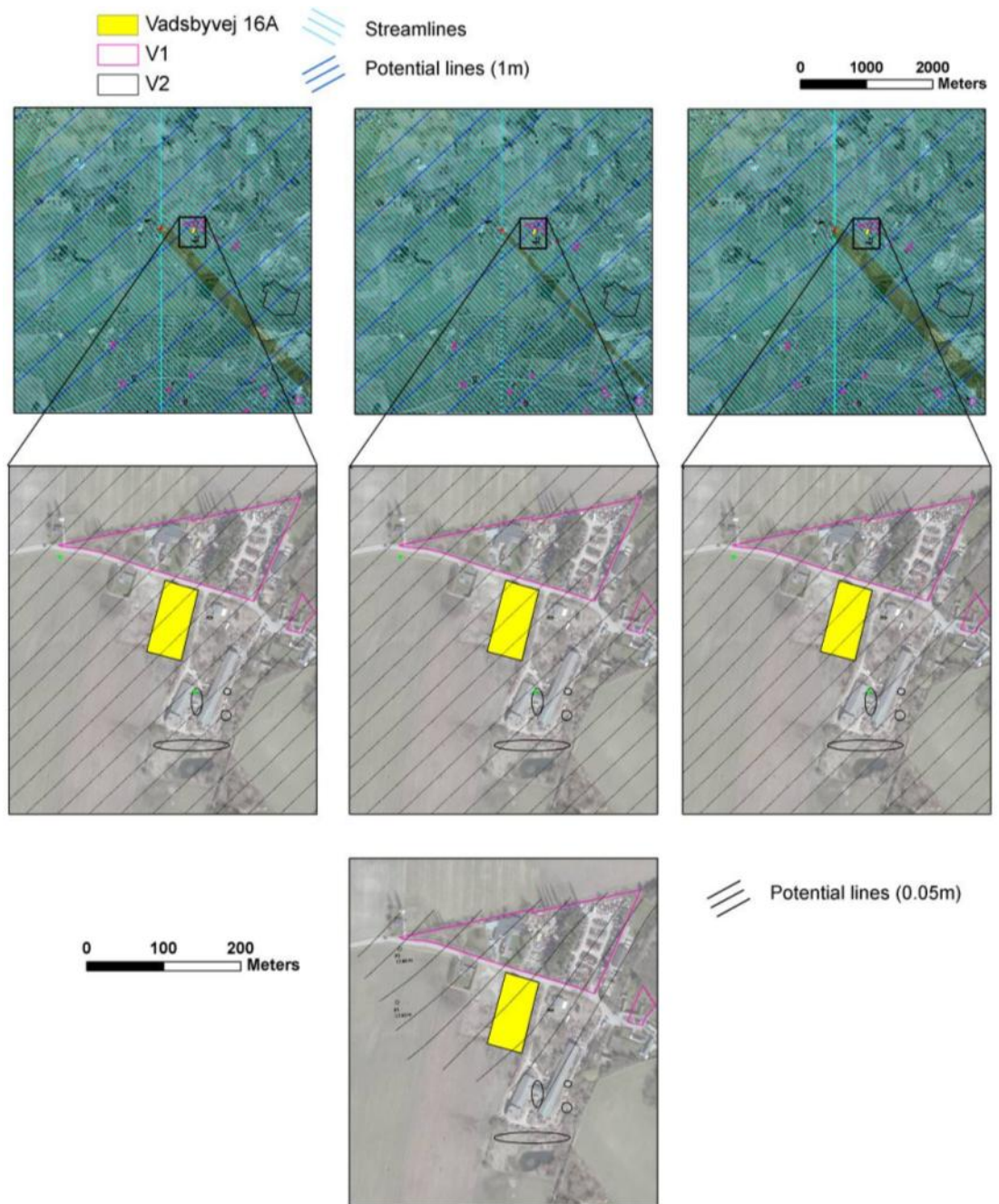
Aldersbestemmelse af grundvandet ved Vadsby lokaliteten er blevet udført med CFC metoden, der kan anvendes for grundvand dannet efter 1940. Seks borer blev udvalgt for aldersbestemmelse ud fra kendskabet til vandkemien. Borer med et væsentlig methanindhold blev ikke medtaget, da methandannelse markerer 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.



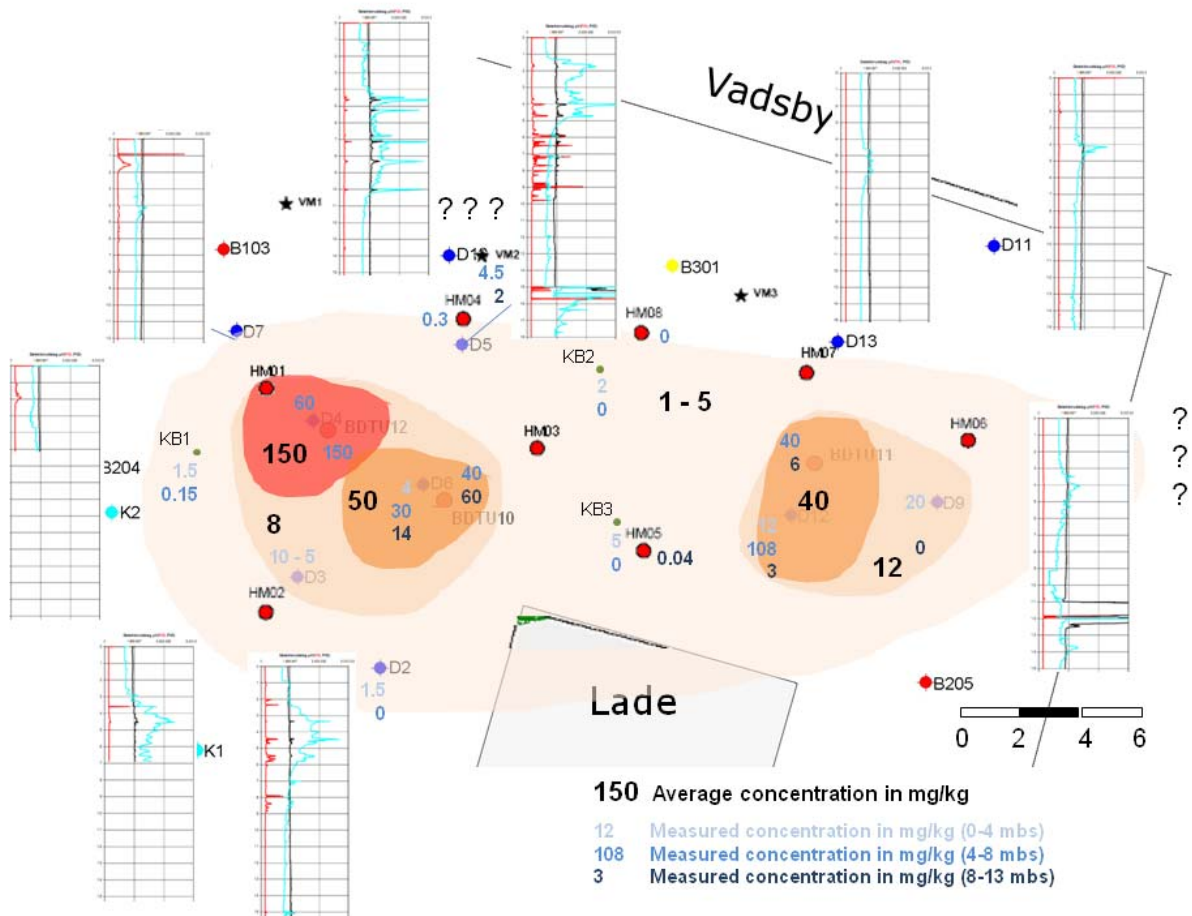
Figur 10: Indvindingsopland for Soderup Vandværk inklusiv sammenligning med det observerede potentialebillede lokalt ved Vadsby i efteråret 2010.

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.

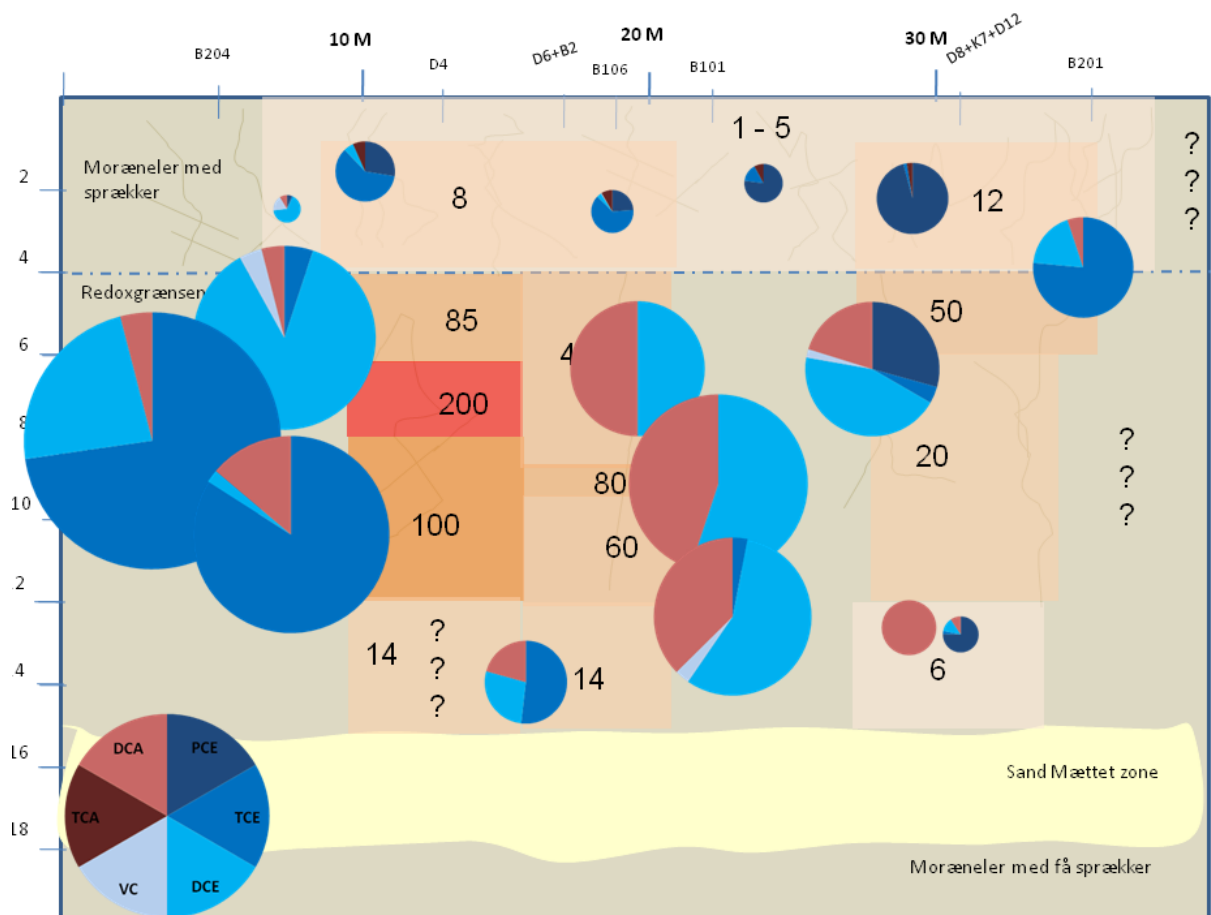
Der er foretaget en gennemgang af data, som også inddrager data fra DTU Miljøundersøgelser i kildeområdet (Bilag 7). De nye data understøtter tidligere data og giver ikke anledning til en væsentlig ændret opfattelse af forureningskilden (Figur 11). Forureningskilden er velafgrænset mod syd og vest. Der 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 i øjeblikket 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 høje mobilitet vil nedbrydningsprodukterne generelt være mere kritiske i forhold til det underliggende grundvand.



Figur 12: S 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

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.

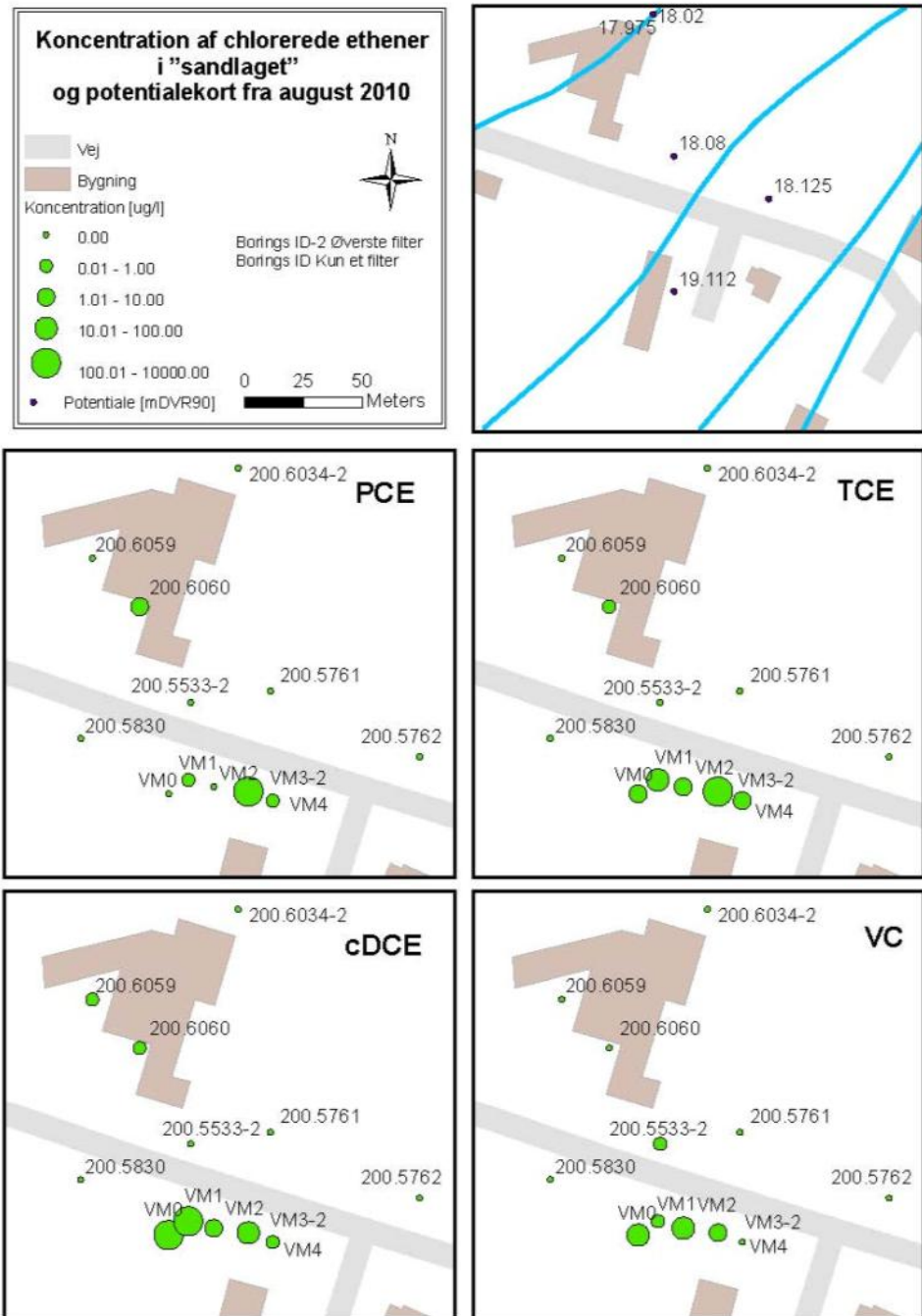
Strømningsretningen mod nordvest understøttes af målingerne i de 5 VM boringer. VM0 fanger forureningen fra det vestlige hotspot. Der er samlet set en meget markant forekomst af PCE, TCE og DCA i VM3, som kunne tyde på et østligt hotspot, som ikke er lokaliseret. Dette er under afklaring af Orbicon.

Koncentrationerne er ikke systematisk monitoreret over tid. 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 monitorering i 2009 og 2010.

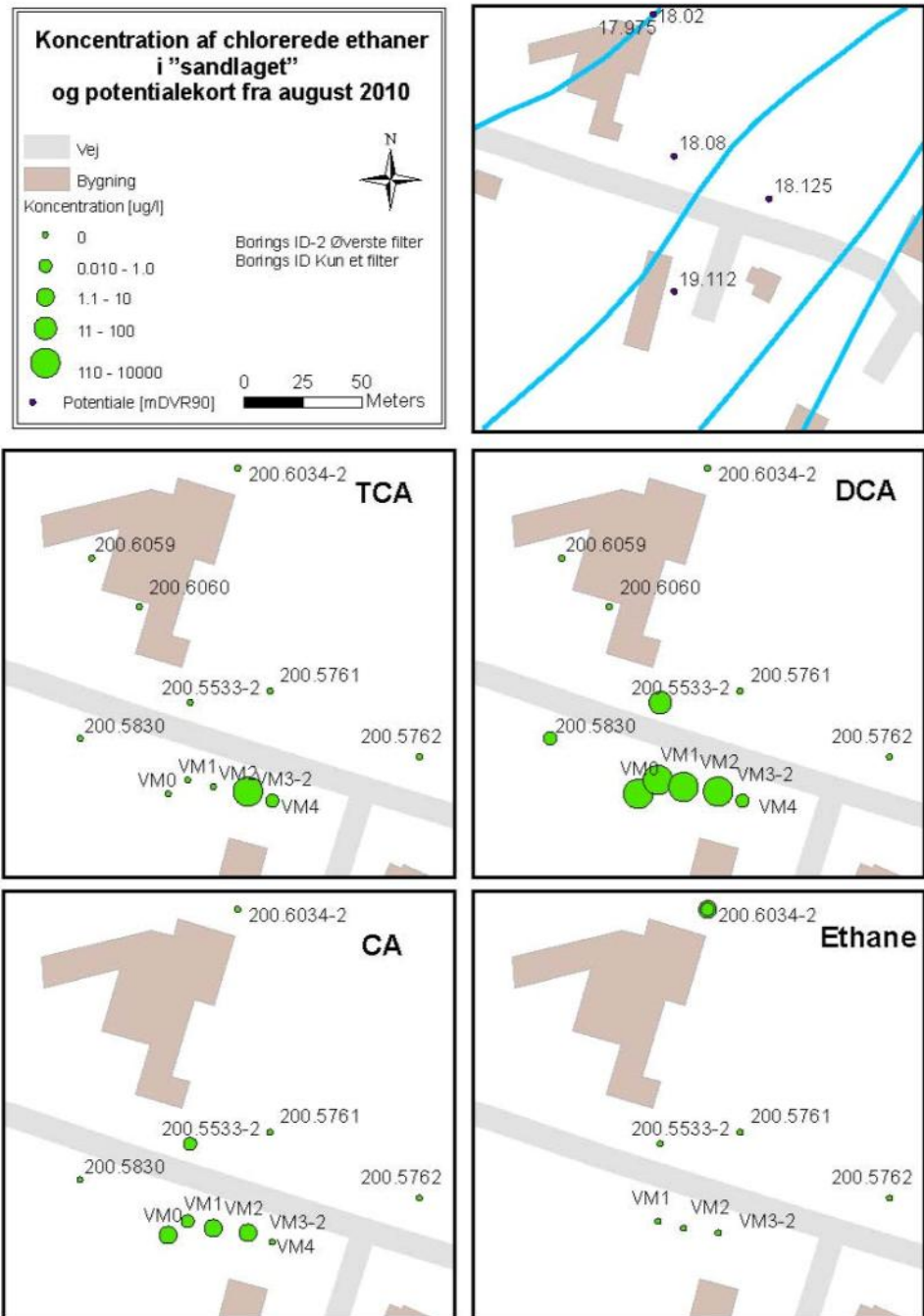
Redoxforholdene i forureningskilden er vurderet. Der er jernreducerende forhold og tegn på sulfatreduktion i selve moræneleren. Der er sporadisk forekomst af methan tyder, som også tyder på stærkt reducerede forhold. Generelt er der jernreducerende forhold i sandlaget. Sulfatkoncentrationerne i kalken 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. 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)

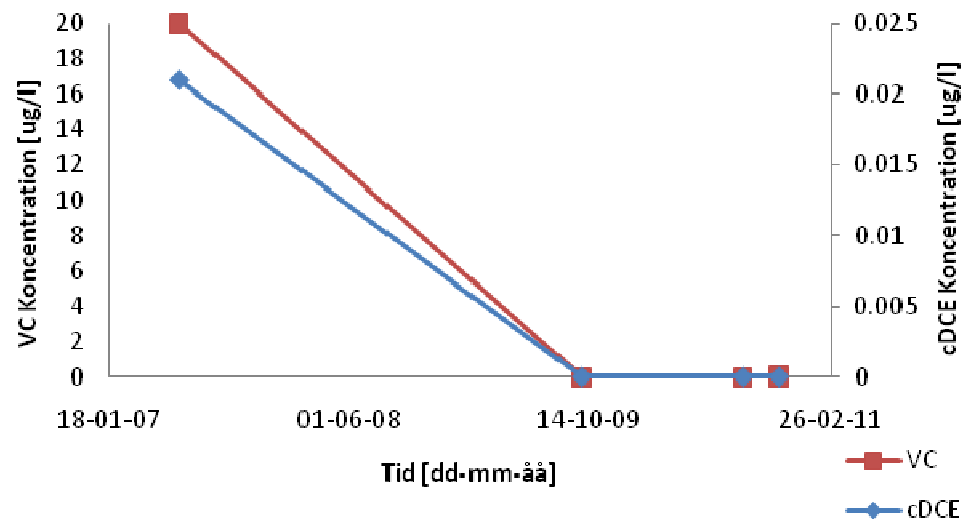
Nedbrydning af cis-DCE til VC og DCA til CA er sandsynlig i kildeområdet. Det kan være en forklaring på forekomsten af VC og CA. Modellering af spredningen fra moræneleren har vist, at VC efter dannelse vil spredes hurtigt.



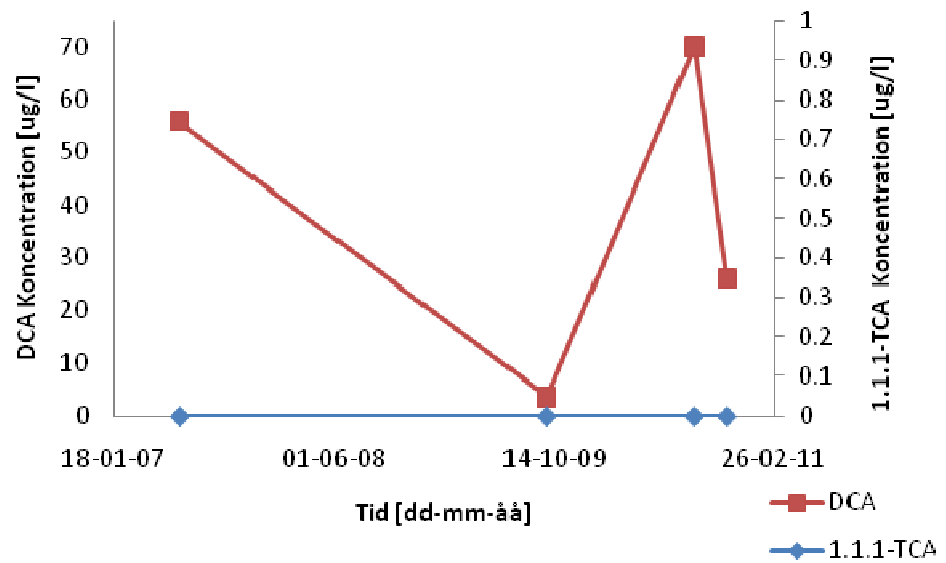
Figur 13: Chlorerede ethener i sandlag, august 2010



Figur 14: Chlorerede ethaner i sandlag, august 2010



Figur 15: Tidsmæssig variation for cis-DCE og vinyl chlorid i sandmagasinet for boring 200.5533-2.



Figur 16: 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 strømningmæssigt.

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

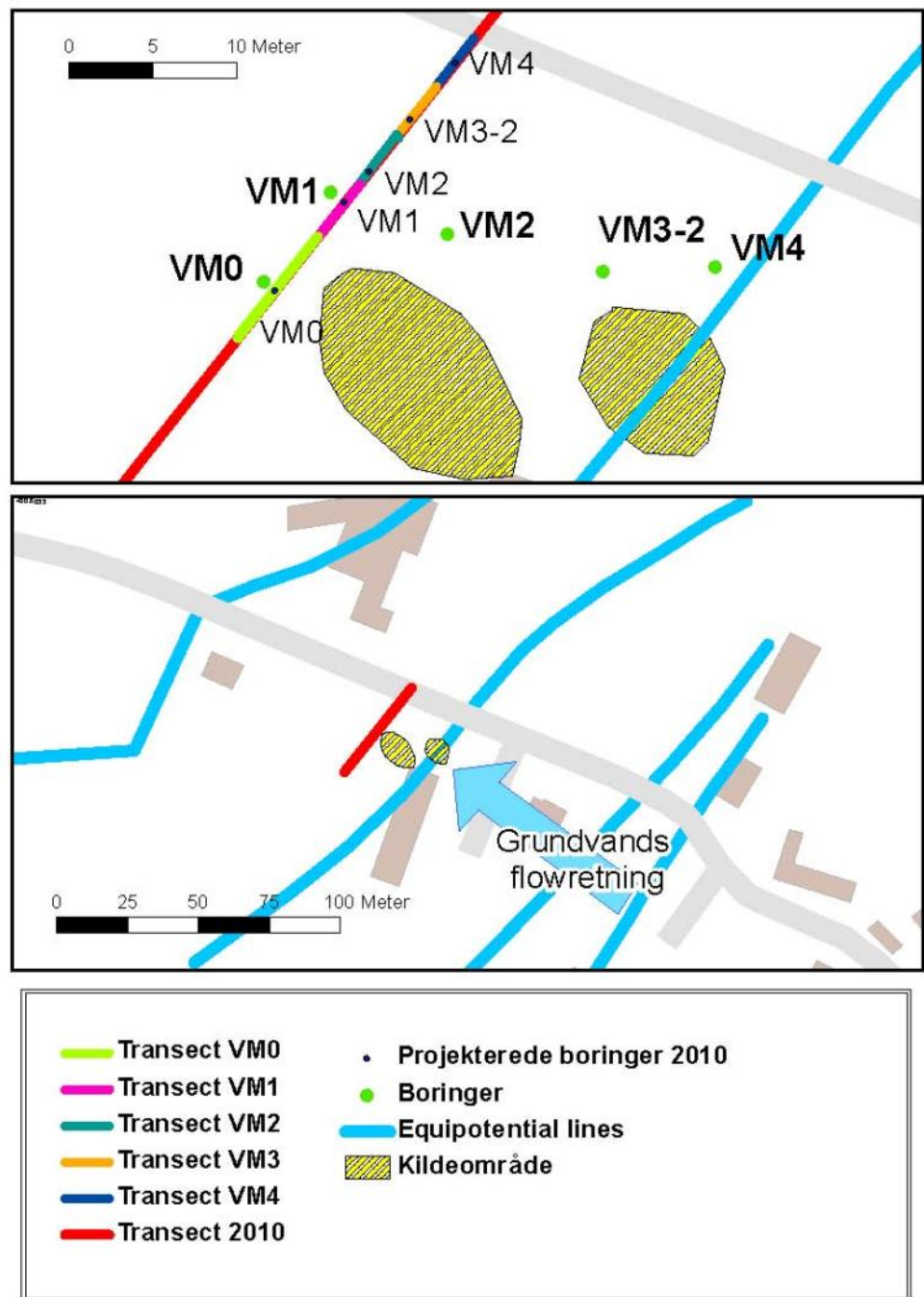
Resultaterne viste en samlet forureningsflux for chlorerede opløsningsmidler på ca. 8-20 g/år. Beregningerne kan forfines, da der nu er nye data fra borerne i sandmagasinet (VM 0-4). De nye borer er placeret med henblik for beregning af forureningsflux (omkransende kildeområdet). Ideelt set skal fluxen beregnes på et tværsnit vinkelret på strømningens retning. I 2007 var den antagede strømningens retning nordlig, mens den i 2010 er nordvestlig. Der er derfor valgt at udføre to beregninger (tabel 1, figur 17):

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

Tabel 1: Beregning af forureningsflux i sandlaget nedstrøms Vadsbyvej 16A.

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

C_{total} angiver summen af chlorerede opløsningsmidler



Figur 17: 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

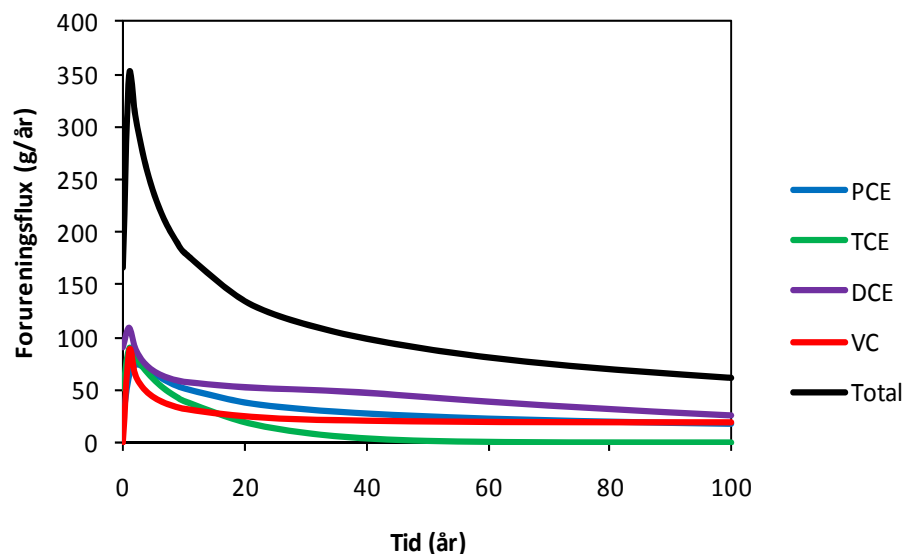
Der er tidligere foretaget en modellering af udsivningen fra kildeområdet til det underliggende sandlag (Chambon et al., 2009). Modelleringen blev kun foretaget for chlorerede ethener med en model, som tog højde for sprækketransport. Der var en række interessante konklusioner for udsivningen, hvis der 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. 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 18). 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.



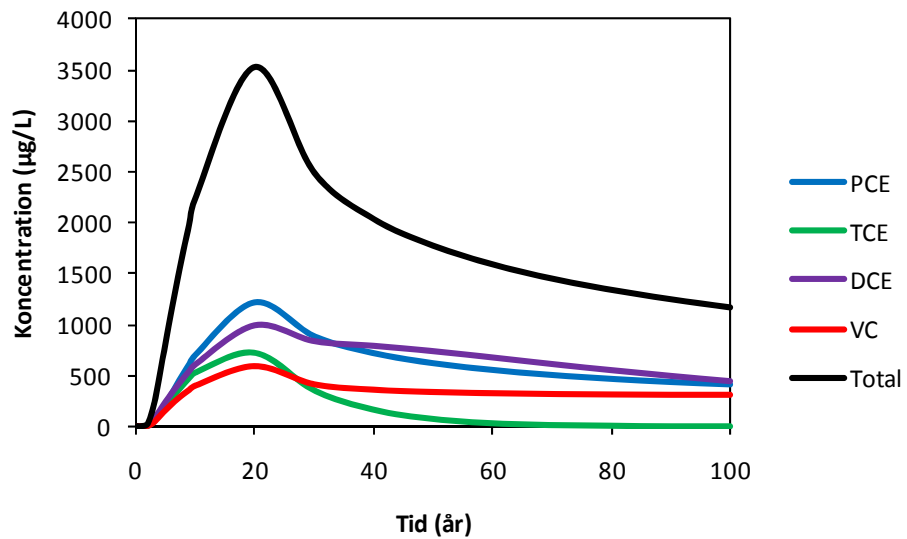
Figur 18: Forureningsfluxen fra moræneleren ned i sandlaget for de to kildeområder med en opdateret version af modellen fra Chambon et al. (2009).

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 19 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 19: Koncentration i sandlaget under kildeområdet med modellen fra Chambon et al. (2009).

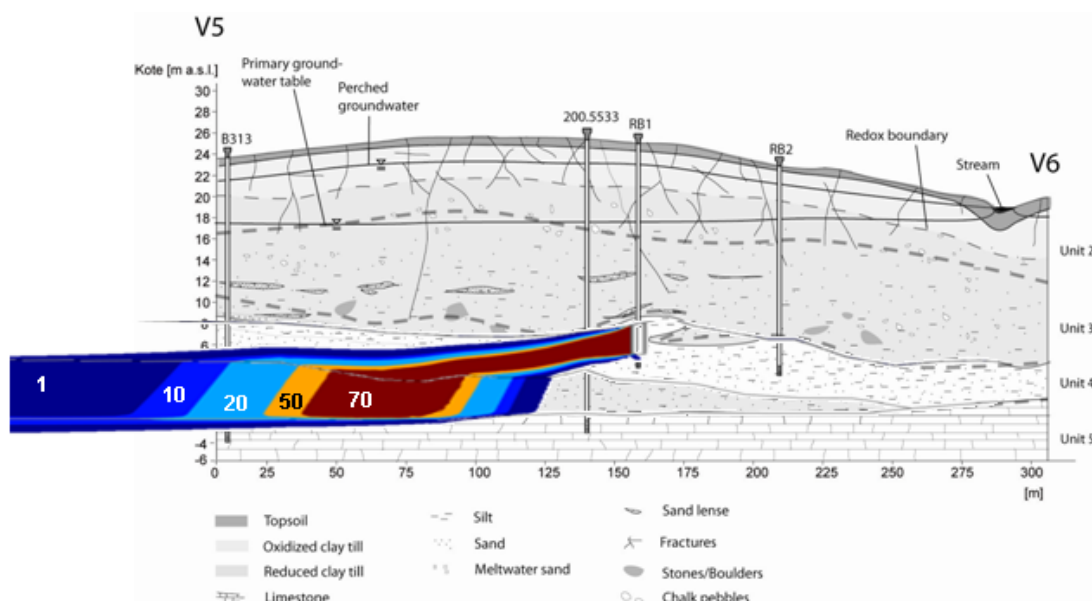
6.3 Stoftransport fra forureningskilden til kalkmagasinet

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 20, 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 20), 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 20: Stofspredning fra sandlaget mod det underliggende kalkmagasin (Koncentration i % af koncentrationen i sandlaget ved boring 200.553).

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 i 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 betydende 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 9620 m³ i 2009. Indvindingstilladelsen er på 16.500 m³. 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 m³ 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 forureningsfase 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 eten 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 strømningforholdene 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 Konklusion

Kommer når rapporten er diskuteret med Region Hovedstaden

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.
- 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.