



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Undersøgelse og risikovurdering af Collstropgrunden i forhold til Esrum Sø

Kurt Ambo Nielsen
KANmiljø

Henrik Aktor
AKTOR innovation

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	7
1 INDLEDNING, BAGGRUND OG FORMÅL	9
2 TIDLIGERE UNDERSØGELSER	11
2.1 COLLSTROPGRUNDEN	11
2.2 TIDLIGERE UNDERSØGELSER	11
3 SUPPLERENDE UNDERSØGELSE	15
3.1 MARKARBEJDE GENERELT	15
3.2 BOREARBEJDE OG RENPUMPNING	15
3.3 SLUGTESTS	15
3.4 PEJLINGER	15
3.5 UDTAGNING OG ANALYSE AF VAND- OG SEDIMENTPRØVER	15
4 TOPOGRAFI, GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI	19
4.1 TOPOGRAFI OG OVERFLADISK AFSTRØMNING	19
4.2 GEOLOGI	19
4.3 HYDROGEOLOGI GENERELT	20
4.4 GRUNDEVANDETS STRØMNINGSRETNINGER	20
4.4.1 <i>Det terrænnære magasin</i>	21
4.4.2 <i>Det sekundære magasin</i>	24
4.4.3 <i>Det primære magasin</i>	26
4.5 HYDRAULISKE PARAMETRE	27
4.5.1 <i>Det terrænnære magasin</i>	27
4.5.2 <i>Det sekundære magasin</i>	27
4.6 NEDSIVNING OG AFSTRØMNING	28
4.6.1 <i>Det terrænnære magasin</i>	28
4.6.2 <i>Det sekundære magasin</i>	28
4.6.3 <i>Det primære magasin</i>	29
4.7 PORØSITET OG VANDMÆTNING	29
5 GEOKEMI	31
5.1 RESULTATER FRA TIDLIGERE UNDERSØGELSER	31
5.1.1 <i>Sedimentkemi</i>	31
5.1.2 <i>Grundvandskemi og sammensætning af overfladevand</i>	31
5.2 RESULTATER FRA DENNE UNDERSØGELSE	31
5.2.1 <i>Sedimentkemi</i>	31
5.2.2 <i>Grundvandskemi</i>	32
5.3 SAMLET BESKRIVELSE AF FORURENINGSTILSTANDEN	33
5.3.1 <i>Overfladevand og det terrænnære grundvand</i>	34
5.3.2 <i>Det sekundære grundvand</i>	35
5.3.3 <i>Transport af arsen med grundvandet - K_d værdier</i>	36
6 RISIKOANALYSE	39
6.1 INDLEDNING OG FORMÅL	39
6.2 MODEL FOR TRANSPORT AF GRUNDEVANDESFORURENING	40
6.3 MODELBEREGNINGER AF FORURENINGSSPREDNING	41

6.3.1	<i>Transport i det terrænnære magasin op til grøftesystemet</i>	41
6.3.2	<i>Arsentransport via grøfterne til Esrum Sø</i>	43
6.3.3	<i>Transport ned til det sekundære magasin</i>	43
6.3.4	<i>Transport via det sekundære magasin til Esrum Sø</i>	44
6.3.5	<i>Transport via det primære grundvand</i>	45
6.4	SAMLET VURDERING AF ARSEN TRANSPORT MED GRUNDVAND	46
7	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	47
8	LITTERATUR	49

Bilag 1: Prøvepumpninger og slugtests

Bilag 2: Borejournaler

Bilag 3: Feltjournaler og kemiske analyser

Bilag 4: Modelberegning af vandret transport i terrænnært magasin

Bilag 5: Crystal Ball Simulering af lodret infiltration

Bilag 6: Infiltration til Esrumsandet.

Sammenfatning og konklusioner

Den supplerende undersøgelse af Collstropgrunden har bestået af en gennemgang af tidligere rapporter, markarbejde i form af udførelse af nye boringer, pejlinger samt udtagning og analyse af vandprøver fra eksisterende og nye boringer, udtagning af sedimentprøver fra nye boringer og udarbejdelse af en risikoanalyse.

På basis af de gennemførte aktiviteter, kan følgende konkluderes:

- Det sekundære magasin og det primære magasin er beskyttet mod direkte forureningspåvirkning af adskillende lerlag.
- Der er ikke påvist forøgede indhold af arsen over baggrunds niveau i det sekundære grundvandsmagasin.
- Resultaterne fra undersøgelsen af sedimentprøver fra de udførte boringer har vist, at der er en betydelig pulje af jernoxider i den umættede zone under lokaliteten svarende til 3.600 tons jern. Denne jernoxidpulje udgør en effektiv forsinkelsesmekanisme for udbredelse af arsenforureningen i grundvandet
- Grundvandets transporthastighed er ca. 76 m/år i det terrænnære magasin. Grundvandets transporthastighed er ca. 294 m/år i det sekundære magasin, hvilket svarer til transporttider fra Collstropgrunden til Esrumsø på 2 – 4 år.
- Arsen kan transporteres til Esrumsø med enten det terrænnære grundvand via de afskærende grøfter eller gennem det sekundære grundvandsmagasin. Arsentransporten til Esrumsø via det primære magasin er uden betydning.
- Arsens effektive transporttid til søen er væsentligt længere end grundvandets pga. adsorption til sedimenterne.
- Transporttiden i det terrænnære grundvandsmagasin til grøftesystemet er beregnet til i størrelsesorden 200 – 400 år
- Arsens transporttid til søen gennem det sekundære magasin er beregnet til ca. 450 år.
- Den samlede kildestyrke for udvaskning af arsen med grundvand er vurderet til 3 – 30 kg/år baseret på eksisterende målinger af arsenkoncentrationen i terrænnært grundvand på selve Collstropgrunden og den vandbalance, der er opstillet i forbindelse med denne undersøgelse.
- Arsenpåvirkningen af Esrumsø vil først nå det maksimale niveau ca. 500 – 1.000 år efter at forureningen er opstået. Efterhånden som forureningen spredes i et større volumen i grundvandsmagasinerne vil kildestyrken falde, men det vurderes at den maksimale påvirkning af Esrumsø kan blive ca. 20 kg As/år.
- Den maksimale koncentration af arsen i det terrænnære grundvand vurderes at kunne nå ca. 2.500 µg As/l efter 400 år.
- Det er vurderet at koncentrationen af arsen i det sekundære magasin som helhed kan stige til ca. 100 µg As/l efter 750 år.
- Koncentrationen af arsen i grøfterne vurderes at kunne nå maksimalt ca. 2.500 µg As/l i vandet og 2.500 mg As/kg i sedimentet efter 400 år.

- Det foreslås, at der etableres et overvågningsprogram for henholdsvis det terrænære og sekundære grundvand, og overfladevandet i grøftesystemet samt for grøftesedimentet omkring Collstropgrunden. Programmet gennemføres med ti års interval, første gang i 2015.

Summary and conclusions

The supplementary investigation of the Collstrop site has comprised a review of previously prepared reports, field work consisting of drilling of new wells, groundwater level monitoring, chemical analysis of water samples from existing and new wells, sampling and analyses of sediments from new wells and preparation of a risk analysis.

Based on the work performed, the following conclusions can be made:

- The intermediary and deep aquifers are protected from contamination by layers of clay.
- The level of arsenic concentration in all groundwater samples were at or below background level.
- Naturally occurring iron oxides totaling approx. 3,600 tonnes in the soil above the intermediary aquifer adsorb arsenic from groundwater and extends the arsenic travel time in groundwater.
- A groundwater particle velocity is approx. 76 m/yr in the shallow aquifer and approx. 294 m/yr in the intermediary aquifer. Travel time from the Collstrop site to Esum Sø is 2 – 4 years.
- Arsenic transport to Esum Sø via the shallow aquifer is considered unlikely due to the presence of ditches. Arsenic transport to Esum Sø via the intermediary aquifer is possible.
- The arsenic travel time from the Collstrop site to Esum Sø is 200 – 400 years via the shallow aquifer and approx. 450 years via the intermediary aquifer. Travel time to the deep aquifer is in the order of 10,000 years.
- The mass of dissolved arsenic leaching from the site with groundwater is estimated at 3 – 30 kg/yr.
- Model calculations show a maximum arsenic load of Esum Sø after 500 – 1,000 years.
- The maximum arsenic concentration in shallow groundwater and the water in ditches is estimated at 2,500 µg/l. The maximum arsenic concentration in intermediary aquifer is estimated at 100 µg/l.
- Maximum arsenic concentrations in ditch bottom sediments are estimated at 2,500 mg As/kg.
- Monitoring of the development of contaminant migration is recommended using a 10 year interval, starting in 2015.

1 Indledning, baggrund og formål

Miljøstyrelsen har anmodet KANmiljø og Aktor innovation om at foretage supplerende undersøgelser omkring Collstropgrunden beliggende i Stenholtsvang syd for Esrum Sø.

Grunden er af Region Hovedstaden registreret som forurenede lokalitet nr. 219-00119, idet der tidligere har foregået træimprægnering, hvilket har givet anledning til kraftig forurening af jord og terrænnært grundvand på selve grunden.

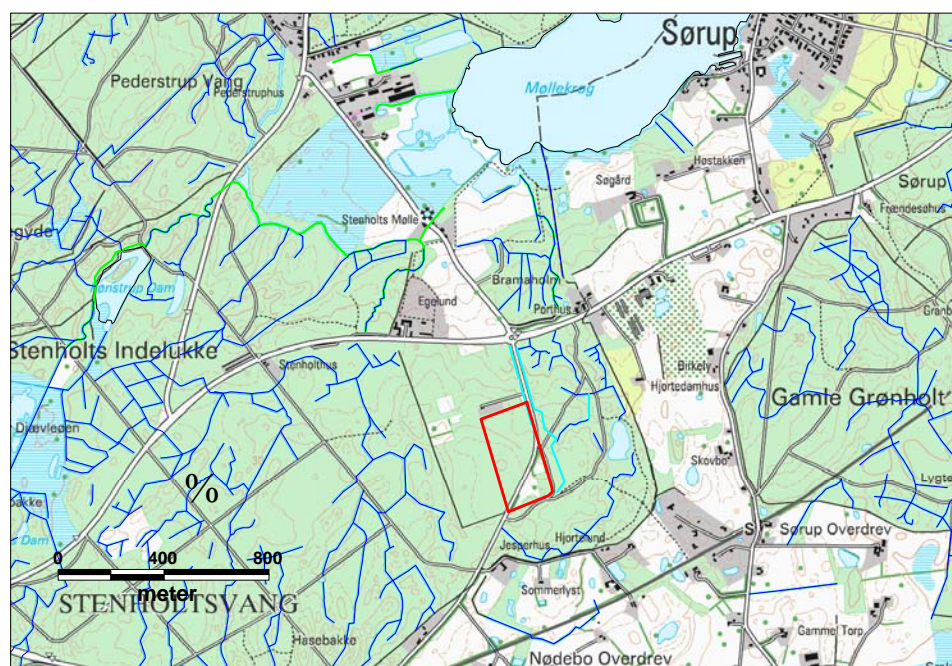
En række tidligere undersøgelser har ikke kunnet påvise transport af arsen fra grunden via grundvandet. En gennemgang af de opnåede resultater fra disse undersøgelser, har rejst tvivl om, at undersøgelsesboringerne er placeret optimalt i forhold til registreringen af en mulig forureningsfane i det sekundære magasin. De tidligere undersøgelser samt den supplerende undersøgelse har været rettet mod primært metalforurening med arsen som den afgørende parameter.

Formålet med en supplerende undersøgelse er derfor at undersøge muligheden for, at der findes en grundvandsbaseret transportvej fra grunden gennem etablering af nye boringer og analyse af vand- og sedimentprøver fra disse. Samtidig analyseres nye vandprøver fra eksisterende boringer for at undersøge muligheden for en tidsmæssig udvikling af grundvandsforureningen. Endelig udarbejdes en risikovurdering i forhold til Esrum Sø.

2 Tidligere undersøgelser

2.1 Collstropgrunden

På Collstropgrunden, Figur 1, med et samlet areal på ca. 6 hektar blev der i perioden 1936-1976 foretaget træimprægnering. Op til 1955 anvendtes Boucheriemetoden, først med kobbervitriol og efter 1939 med NAF-salt bestående af natriumfluorid, arsenik og dinitrophenol. Herefter anvendtes Dr. Gewelkes metode, som er en imprægnering med kobber, krom og arsen. I 1976 nedlægges driften, arealet rømmes og der tilplantes med løvtræer.



Figur 1. Placering af Collstropgrunden (markeret med rødt).

2.2 Tidligere undersøgelser

Siden 1977 er der udført undersøgelser på grunden. Disse undersøgelser og hovedresultaterne er beskrevet nedenfor. Kun undersøgelser, som er relevante for denne undersøgelse er medtaget. I det følgende betegner det terrænnære magasin de øverste få meter vandholdigt lag, mens det sekundære magasin er et lag af smeltevandssand, som er adskilt fra det terrænnære magasin af moræner.

- DGU udførte en forureningsundersøgelse på grunden i 1977, /1/. Undersøgelserne bestod af borearbejde, prøvegravning samt analyse af sediment- og vandprøver fra boringer, udgravninger og bække omkring grunden. Der blev fundet høje koncentrationer af kobber, krom og arsen i de øvre jordlag. I det sekundære magasin blev der fundet spor af kobber og arsen, men grundvandet opfylder kravene til drikkevand. Der blev ikke fundet arsen i vandet i bækkene.
- A/S Samfundsteknik udførte forureningsundersøgelser i 1989, /2/, og 1990, /3/, på grunden. Undersøgelserne bestod i en historisk gennemgang af aktiviteterne på grunden, borearbejde, hydrogeologisk

- kortlægning, fremstilling af potentialekort for terrænnært og sekundært magasin samt analyse af jord- og vandprøver. Der er igen fundet høje koncentrationer af kobber, krom og arsen i de øvre jordlag. I det terrænnære grundvand er ligeledes fundet forhøjede koncentrationer. I det sekundære grundvand er der fundet arsenkoncentrationer op til 1,8 µg/l. Her blev ikke fundet tegn på forurening med krom. I vandførende grøfter nord og nordøst for grunden er der konstateret forurening med arsen i bundsedimenterne, mens indholdet af arsen i vandet er på baggrundsniveau. Det konkluderes, at den sydlige afsnøring af Esrum Sø, Møllekrogen, årligt modtager 550 g arsen.
- Cowi, 1994, undersøgte akkumuleringen af arsen i Møllekrogen ved at undersøge bundsedimenter, /4/. Resultatet af undersøgelsen var, at der kan konstateres en stigende sedimentationsrate efter år 1800, og at der ses en yderligt stigende sedimentationsrate efter år 1950. Det fremgår ikke, om der er en tidsmæssig sammenhæng mellem sedimentationsraterne og etablering af afvandringsgrøfter fra skovområderne.
 - VKI, 1994, foretog en laboratorieundersøgelse af udvaskningen af arsen fra jordprøver fra Collstropgrunden, /5/. Det konkluderes, at der initialt vil kunne tilføres Esrum Sø 7-65 kg As/år via grundvand, når Collstropgrunden er oprenset til en restforurening på 40 mg As/kg i en mægtighed på 3 m fra terræn. Denne udvaskningsrate vil falde med tiden.
 - Rambøll foretog i 1996 en undersøgelse af indholdet af arsen i grøfter øst og nordøst for Collstropgrunden, /6/. Der blev fundet arsen i koncentrationer op til 1340 mg/kg. Efterfølgende blev ca. 1500 m grøfter oprenset. Det opgravede materiale blev deponeret på grunden.
 - Rambøll udførte i 1996 en forureningsundersøgelse i skoven øst og nordøst for Collstropgrunden, /7/. Undersøgelsen bestod af udførelse af boringer og analyse af vand- og jordprøver. Rapporten konkluderer, at det sekundære magasin må vurderes at være uforurenet. Det terrænnære magasin vurderes generelt ikke at være påvirket af arsenforurening fra Collstropgrunden.
 - Falkenberg, 2006, undersøgte arsenindholdet i grøfter efter oprensning samt i Hjortedamssøen og Mølledammen, /8/. Søernes placering er vist på Figur 2. Undersøgelsen fandt væsentligt forhøjede indhold af arsen i grøfterne omkring den nordlige del af Jespersvej og forhøjede indhold af arsen i de to søer. Falkenberg konkluderer, at der sker en kontinuerlig tilførsel af arsen til grøftesystemet.
 - Niras, 2000, gennemførte en monitoring af forureningsituationen i skovområdet øst og nordøst for Collstropgrunden, /9/. Der blev ikke påvist indhold af kobber, krom og arsen, der overskrider Miljøstyrelsens vejledende vandkvalitetskriterier (hhv. 100, 25 og 8 µg/l) i 14 vandprøver udtaget fra 10 monitoringsboringer. I 8 prøver af topjord og 22 prøver af grøftesediment blev der påvist arsenkoncentrationer på niveau med Miljøstyrelsens vejledende jordkvalitetskriterie på 20 mg/kg. Rapporten anfører, at der ikke er en uacceptabel risiko forbundet med den nuværende arealanvendelse til offentlig skov og rekreativt område.
 - Orbicon, 2010, foretog i 2008-2009 en opmåling af arsentransport i vandløb ved Collstropgrunden, /10/. Orbicon konkluderer, at koncentrationerne af arsen på og umiddelbart omkring grunden er væsentligt forhøjede. Tæt på grunden er arsenindholdet i vandløbenes vandfase høje, de aftager med afstanden fra grunden og er på baggrundsniveau ved vandløbenes udløb til Esrum Sø.

Bundsedimenter i vandløb og grøfter har et væsentligt indhold af arsen tæt på grunden, men indholdet er lavt længere nedstrøms. Rapporten konkluderer, at belastningen af søen med arsen fra de grøfter og vandløb, som afvander Collstropgrunden, ikke er større end den naturlige baggrundsbelastning, og at dette skyldes, at den arsen, som udvaskes fra grunden til grøfterne tilbageholdes i grøfterne tæt på grunden. Ligeledes konkluderer rapporten, at der ikke er tegn på, at grundvandstilstrømningen bidrager med store tilskud af arsen til vandløbenes nedre løb fra en eventuel forureningsfane, hverken i vandfase eller sedimentfase.

- DTU, 2010, udarbejdede en udredningsrapport vedrørende forureningssituationen på og omkring Collstropgrunden, /11/. Rapporten gennemgår den eksisterende viden om forureningsspredning i grundvandsmagasinerne, som er opdelt i et terrænnært, et sekundært og et primært magasin (Alnarpssandet). Der er fundet høje arsenkoncentrationer i det terrænnære grundvand på grunden, men der er ikke fundet en forureningsfane i det sekundære magasin. Rapporten rejser følgende spørgsmål: Kan der sive arsenholdigt grundvand ned til det sekundære magasin fra det terrænnære magasin og i givet fald belaste Esrum Sø? Det vides ikke med sikkerhed, om det primære grundvand er beskyttet af lerlag nedstrøms grunden, og en forurening af det primære grundvand nævnes derfor som en mulighed. Rapporten angiver to områder, hvor der eventuelt kan foregå en arsentransport fra grunden med det sekundære grundvand. Rapporten angiver en transporttid i det sekundære magasin til Esrum Sø på 30-500 år. En nærmere afklaring af disse forhold er en del af formålet med nærværende supplerende undersøgelse.

3 Supplerende undersøgelse

3.1 Markarbejde generelt

Markarbejdet er udført i august-december 2010. Borearbejde, renpumpning af boringer, slugtests samt kotesætning og koordinatsætning af nye boringer er udført af GEO. Datalogning af vandstand i boringer over en måned er ligeledes udført af GEO. Der er pejlet i og udtaget vandprøver til analyse fra eksisterende og nye boringer, og udtaget sedimentprøver fra nye boringer. Analysearbejde er udført af Milana.

3.2 Borearbejde og renpumpning

Det var planlagt at udføre 6 boringer, 2 til det sekundære magasin og 4 korte boringer til det terrænnære magasin. For at få en sammenhørende tidsserie over vandstandsfluktuationerne i de to magasiner, planlagdes 2 boringspar, MD1 og MK1 samt MD2 og MK2 (M for Miljøstyrelsen, D for dyb og K for kort) anbragt med et par meters mellemrum. MK1 blev dog ikke boret, da den ville være tør. Boreprofiler er vist i Bilag 2. Boringerne er placeret, hvor DTU rapporten, /11/, angiver, at det er sandsynligt at træffe en eventuel forureningsfane.

Boringernes placering er vist på Figur 2, sammen med de øvrige boringer, som er anvendt i den supplerende undersøgelse. De to dybe boringer blev renpumpet med konstant ydelse som grundlag for en bestemmelse af transmissiviteten. Sænkingsdata og tolkningen er vist i Bilag 1.

3.3 Slugtests

Der blev udført slugtests på 5 korte boringer, Bor. 70 (i Region Hovedstadens notat fra 2010, /23/, benævnt Bor. 6x), Bor. 65, MK2, MK3 og MK4. Kurverne er vist i Bilag 1. Formålet med slugtestene var at få en værdi af den hydrauliske ledningsevne i det terrænnære magasin.

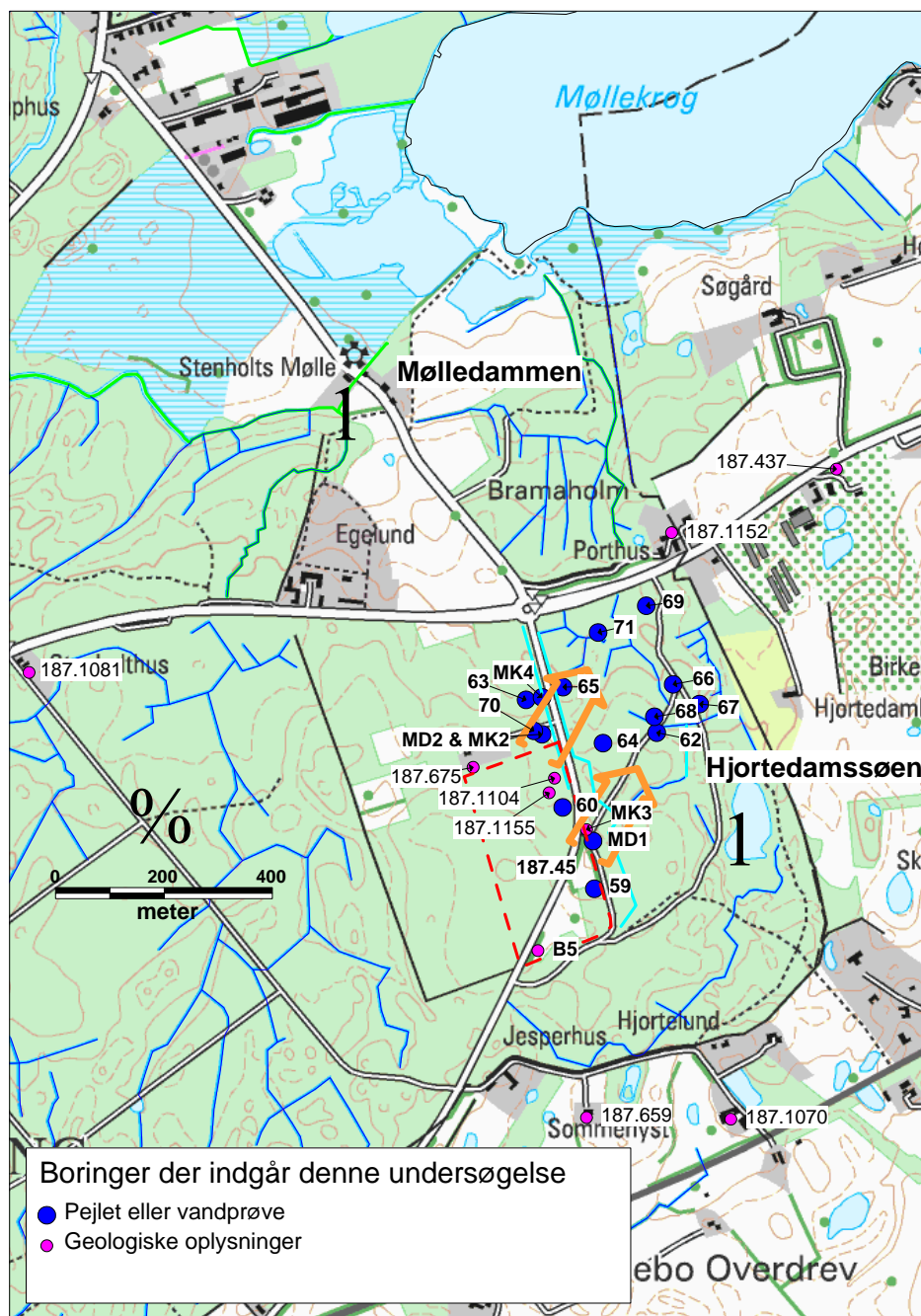
3.4 Pejlinger

Der er udført pejling i de korte og dybe boringer, som er lokaliseret af Region Hovedstaden i sommeren 2010, /23/, idet en række korte boringer ikke længere findes. Der er opsat dataloggere i MD1, MD2, MK3 og MK4 til ca. en måneds registrering af vandspejlsvariationer.

3.5 Udtagning og analyse af vand- og sedimentprøver

26/8/2010 er der udtaget 6 sæt vandprøver som er analyseret for opløst arsen, opløst arsen(III), krom, kobber og fluorid samt feltanalyser (pH, ilt, ledningsevne, opløst jern, ammonium, nitrat, krom(VI)).

8/11/2010 er der udtaget 3 sæt vandanalyser fra de nye boringer udført i forbindelse med denne undersøgelse (MD1, MD2, MK4 – resten var tørre eller for lavt ydende). Vandprøverne er analyseret svarende til en sædvanlig



Figur 2. Placering af de undersøgte boringer i forhold til de områder (markeret med pile) som af DTU, /11/, er udpeget som mulige udstrømningsområder med dårlig datadækning. MD1, MD2 og MK2, MK3 samt MK4 er nye boringer udført i 2010.

boringskontrol med makroparametre suppleret med opløst arsen, arsen(III), krom og kobber.

Skelnen mellem opløst og suspenderet stof er udført ved filtrering i felten på 0,45 µm membranfilter. As^{III} (arsenit) er separeret fra As^V (arsenat) ved adsorption gennem filtrering i felten på aluminosilikat.

7 sæt af sedimentprøver er udtaget i forbindelse med udførelse af de nye boringer. Sedimentprøverne er udtaget fra de filtersatte niveauer i MD1, MD2 og MK4. Sedimentprøverne er oplukket med salpetersyre (DS 259) og analyseret for jern, mangan, arsen, krom og kobber.

Alle laboratorieanalyser er udført af MILANA A/S og kopi af analyserapporter er samlet i Bilag 3.

4 Topografi, geologi og hydrogeologi

4.1 Topografi og overfladisk afstrømning

Terrænet på Collstropgrunden falder relativt jævnt fra kote ca.+38 m i syd til kote ca. +33 m i nord. Nord for grunden falder terrænet ned mod Esrum Sø, som ligger i kote +9,4 m. Grunden ligger på et bakke drag og terrænet falder mod øst. Der er ikke vandløb eller drængrøfter på selve grunden, men der forekommer mindre moser og sumpede områder, som tegn på begrænset nedsivning af nedbør disse steder. Der er gravet en vejgrøft langs Jespersvej øst for grunden.

I skovområdet øst for grunden findes et grøftesystem, som afvander skoven. Det må antages, at terrænnært grundvand fra grunden i noget omfang strømmer mod øst under Jespersvej og afdrænes af grøftesystemet. Grøfterne ender til sidst i Esrum Sø (Møllekrogen).

4.2 Geologi

Den geologiske lagserie består øverst af et 1-5 meter tykt terrænnært magasin, som overvejende består af finsand, som nogle steder er beskrevet som leret. Sandet forekommer ikke overalt, og de øverste meter af lagserien består sådanne steder af ler.

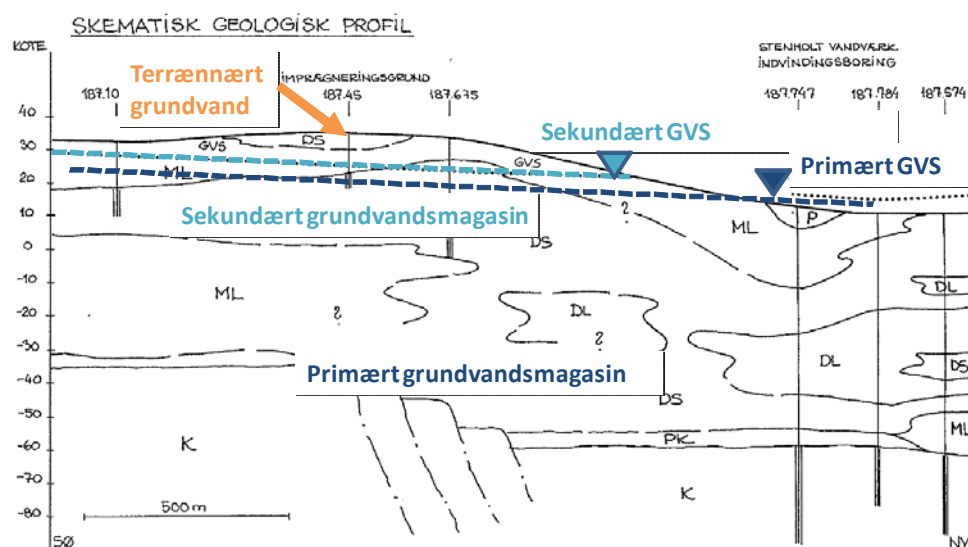
Tabel 1. Ækvivalent lertykkelse (m) over det sekundære magasin

Bor. nr.	5	59	60	61	62	63	64	187.675	187.1070
Ækv. lertykkelse	9,9	10,8	12,5	13,3	14,8	7,6	15,7	5,3	13,0
Bor. nr.	187.1081	187.1104	187.1152	187.1155	187.45	187.437	187.659	MD1	MD2
Ækv. lertykkelse	4,0	10,0	14,0	10,8	19,1	7,4	11,0	7,9	8,6

Det terrænnære magasin er underlejret af moræneler i varierende tykkelser, som er beskrevet som sandet og siltet. Leret forekommer overalt i boringer på Collstropgrunden og i boringer i nærheden af grunden. Ækvivalente lertykkelser er angivet i Tabel 1

Ved ækvivalent lertykkelse forstås her tykkelsen af ler inklusive tykkelsen af sand indlejret mellem to lerlag, idet en sådan lagserie hydraulisk virker som et samlet lerlag. Den ækvivalente lertykkelse andrager ca. 4-19 m. Boringernes placering er vist på Figur 2. Et skematisk geologisk profil er vist på Figur 3.

Det skal bemærkes, at Samfundsteknik, /3/, anfører, at der omkring Bor. 59 er direkte hydraulisk forbindelse mellem det terrænnære og det sekundære magasin. DTU, /11/, accepterer dette udsagn, som imidlertid er et resultat af en fejltolkning af prøvepumpningsdata fra Bor. 59, jævnfør Tabel 3. I henhold til Tabel 1 findes lerlaget over det sekundære magasin i alle boringer til det sekundære magasin. Hvor der er en trykforskel mellem de to magasiner er der tale om lækage imellem dem, opadrettet eller nedadrettet.



Figur 3. Geologisk snit SØ-NV gennem Collostropgrunden, /3/.

Lerlaget underlejres af en øvre sandet serie, som betegnes det sekundære magasin, som er opbygget af smeltevandssand og som efter prøvebeskrivelserne forekommer ret homogent med få og underordnede lerlag. Under grunden kan sandlaget antages at være ca. 20-40 m tykt.

Under det sekundære magasin forekommer det primære magasin, som udnyttes til vandforsyning i området. Dette magasin er opbygget af en nedre sandet serie af smeltevandssand (Esrumssandet) og det umiddelbart underliggende grønsandskalk og kalk. De borer, der gennemborer det sekundære magasin i området, viser et adskillende lerlag mellem det sekundære og det primære magasin. De 9 nærmeste borer viser et adskillende lerlag på ca. 13-40 m tykkelse med et gennemsnit på ca. 25 m.

4.3 Hydrogeologi generelt

Boringer i det terrænnære magasin viser, at magasinet med få undtagelser har frit vandspejl. Det sekundære magasin har spændt vandspejl, som står oppe i moræneleret. De steder på grunden, hvor der forekommer et vandspejl, vil den hydrauliske gradient være nedadrettet mod det sekundære magasin. Nedstrøm for lokaliteten, nord for Egelund-Porthus, er der derimod en opadrettet gradient. Beskrivelsen af boreprøver viser, at jordlagene er oxiderede ned til det niveau i moræneleret, som svarer til grundvandstrykket i det sekundære magasin. Dette viser, at moræneleret ikke er vandmættet, selvom der forekommer et overliggende vandspejl i det terrænnære magasin. Dette vandspejl må derfor ofte være et hængende vandspejl.

4.4 Grundvandets strømningsretninger

Pejlinger udført under dette projekt er sammenholdt med pejlinger foretaget under de forskellige undersøgelser for at se, om der sker en ændring af grundvandsstanden over tid. Pejlingerne er sammenstillet i Tabel 2.

TABEL 2. PEJLINGER FORETAGET I BORINGER PÅ OG VED COLLSTROPGRUNDEN.
BORINGERNE MD1-2 OG MK2-4 ER PEJLET I NOVEMBER 2010

Boring nr.	Målepunkts kote (m)	Nedstik (m) 30.06.2010*	Vsp. kote (m)* 30.06.2010	Nedstik (m) 26.08.2010	Vsp. kote (m) 26.08.2010	Nedstik (m) 15.09.2010	Vsp. kote (m) 15.09.2010	VSP. kote (m)** 06.12.1999	Vsp. kote (m)*** 03.10.1995	Vsp. kote (m)# Juli 1990
Boringer til sekundært magasin										
B5	-	12,75	-	-	-	12,86	-	Nedstik 12,84 m	-	25,95
59	-	9,20	-	9,23	-	9,23	-	Nedstik 9,19 m	-	25,04
60	-	8,21	-	8,31	-	8,32	-	-	-	25,08
62	28,76	3,32	25,44	3,43	25,33	3,43	25,33	25,45	25,25	24,92
63	29,21	4,17	25,04	4,31	24,90	4,25	24,96	25,04	-	24,59
64	28,12	2,98	25,14	3,05	25,07	3,07	25,05	-	24,98	24,87
187.45	-	11,98	-	12,09	-	12,10	-	-	-	26,81
MD1	35,33	9,62	25,71	-	-	-	-	-	-	-
MD2	31,056	5,87	25,186	-	-	-	-	-	-	-
Boringer til terrænnært magasin										
65	27,09	2,64	24,45	2,52	25,57	2,54	24,55	24,78	24,45	-
66	27,82	2,90	24,92	2,79	25,03	2,82	25,00	25,02	24,77	-
67	25,65	1,65	24,00	1,31	24,34	1,34	24,31	24,21	23,99	-
68	28,59	3,11	25,48	3,29	25,30	3,24	25,35	25,70	25,63	-
69	24,56	-	-	1,97	22,59	2,02	22,54	23,13	22,51	-
70	31,97	6,58	25,39	6,63	25,35	6,62	25,35	25,36	25,24	-
71 kort	23,59	1,31	22,28	-	-	1,34	22,25	22,48	-	-
71 dyb	23,58	1,01	22,57	-	-	0,79	22,80	22,94	-	-
MK2	31,087	5,52	25,567	-	-	-	-	-	-	-
MK3	33,98	Tør	-	-	-	-	-	-	-	-
MK4	28,816	2,64	26,146	-	-	-	-	-	-	-

*Region Hovedstaden **Niras ***Rambøll #Samfundsteknik

Det fremgår af Tabel 2, at variationerne i grundvandsstanden er op til ca. 0,5 m. Variationen kan forklares ved naturlige variationer. De potentialekort, som Samfundsteknik fremstillede i 1990, er derfor stadig gældende.

Figur 4 viser pejleserier fra boringerne MD1, MD2, MK3 og MK4 i perioden 11. nov.-21. dec. 2010 opsamlet med dataloggere.

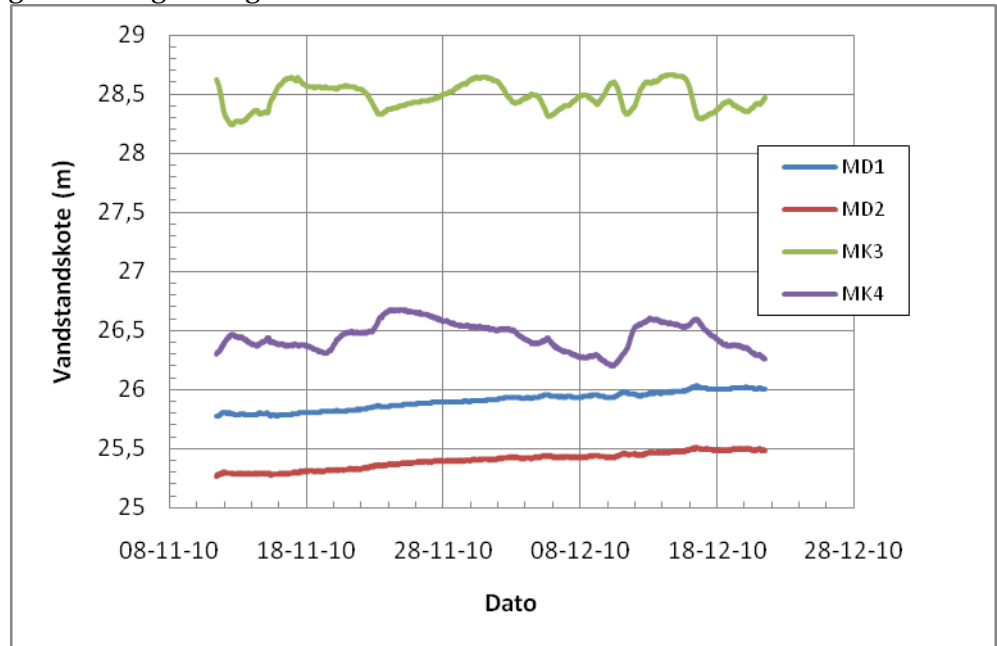
Vandstanden i det sekundære magasin (Bor. MD1 og MD2) har været jævnt stigende i perioden som følge af årstiden. De to boringer opfører sig ens. Vandstanden i det terrænnære magasin (MK3 og MK4) fluktuerer, men vandstanden i de to boringer fluktuerer ikke ens som en indikation af, at de ikke er i hydraulisk kontakt. Dette stemmer overens med, at der forekommer hængende vandspejl i det terrænnære magasin. Det skal bemærkes, at bor. MK3 er periodevis tør.

4.4.1 Det terrænnære magasin

Figur 5 viser Samfundstekniks potentialekort for det terrænnære magasin, /3/. De stiplede linjer angiver grænser for forekomst af et terrænnært vandspejl. Grundvandets strømningsretning er hovedsagelig østlig på grunden, og grundvandet kan løbe ud af grunden i det nordøstlige hjørne. Her er gradienten $51 \cdot 10^{-3}$. Det er muligt, at den høje gradient er et resultat af en hældning i terrænet snarere end et resultat af en grundvandsstrømning. Tilstedeværelsen af grøftesystemet øst og nordøst for grunden udelukker, at terrænnært grundvand kan strømme til Esum Sø ad anden vej end via grøfterne.

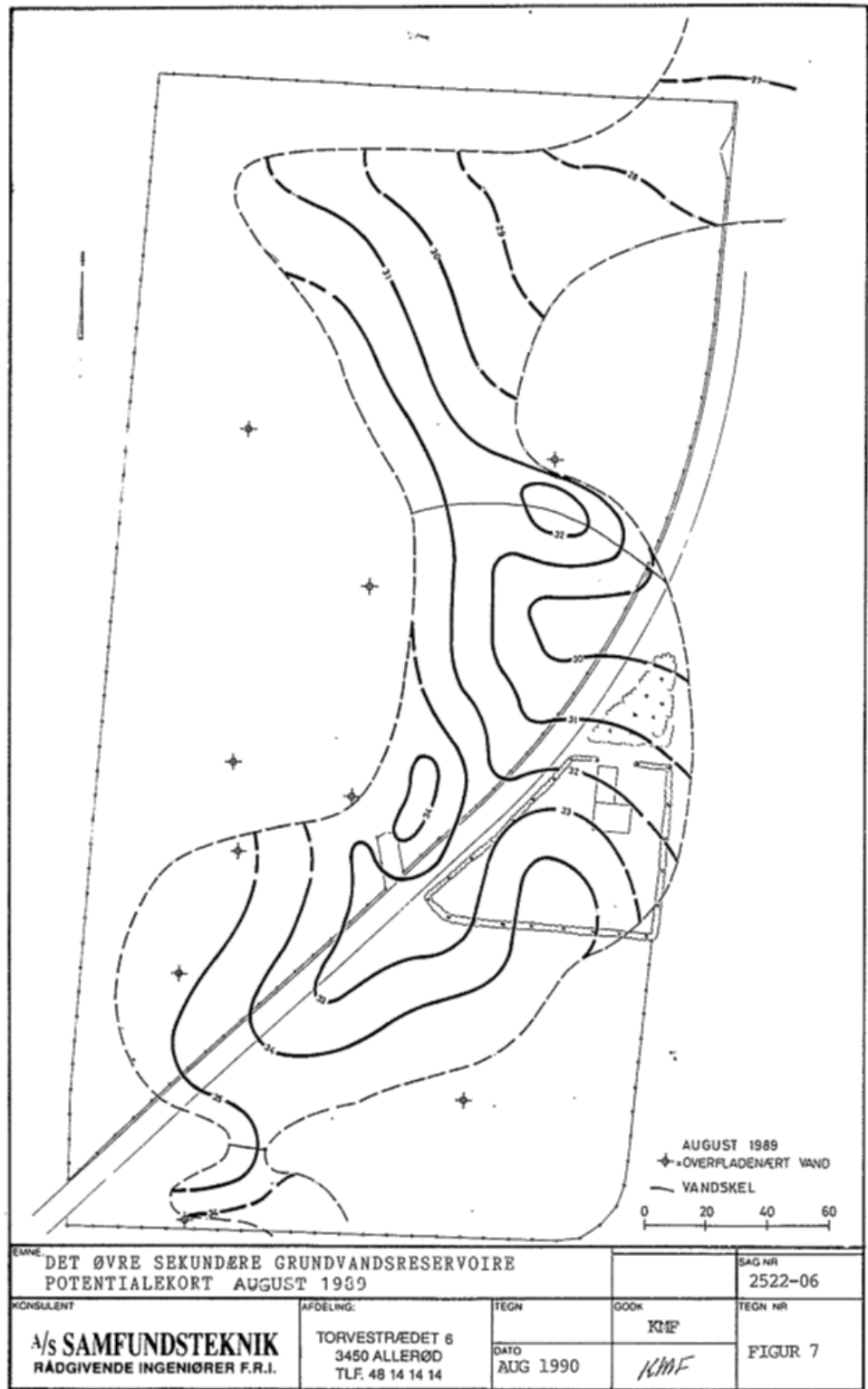
Ud fra pejlinger af det terrænnære grundvand på grunden og den eksisterende viden om grøfternes bund koter vurderes det, at det terrænnære grundvand først får hydraulisk kontakt med grøftesystemet ca. 100 meter nedstrøms Collstropgrunden. Da strømningsbillede for det terrænnære grundvand imidlertid er meget uensartet og tidsmæssigt varierende, kan det ikke udelukkes at det terrænnære grundvand i perioder med meget høj grundvandsstand kan få hydraulisk kontakt med grøfter i kortere afstande – f.eks. tæt ved Jespersvej

Med henvisning til Tabel 1 kan potentialekortet i Figur 5 antages at være gældende også i dag.

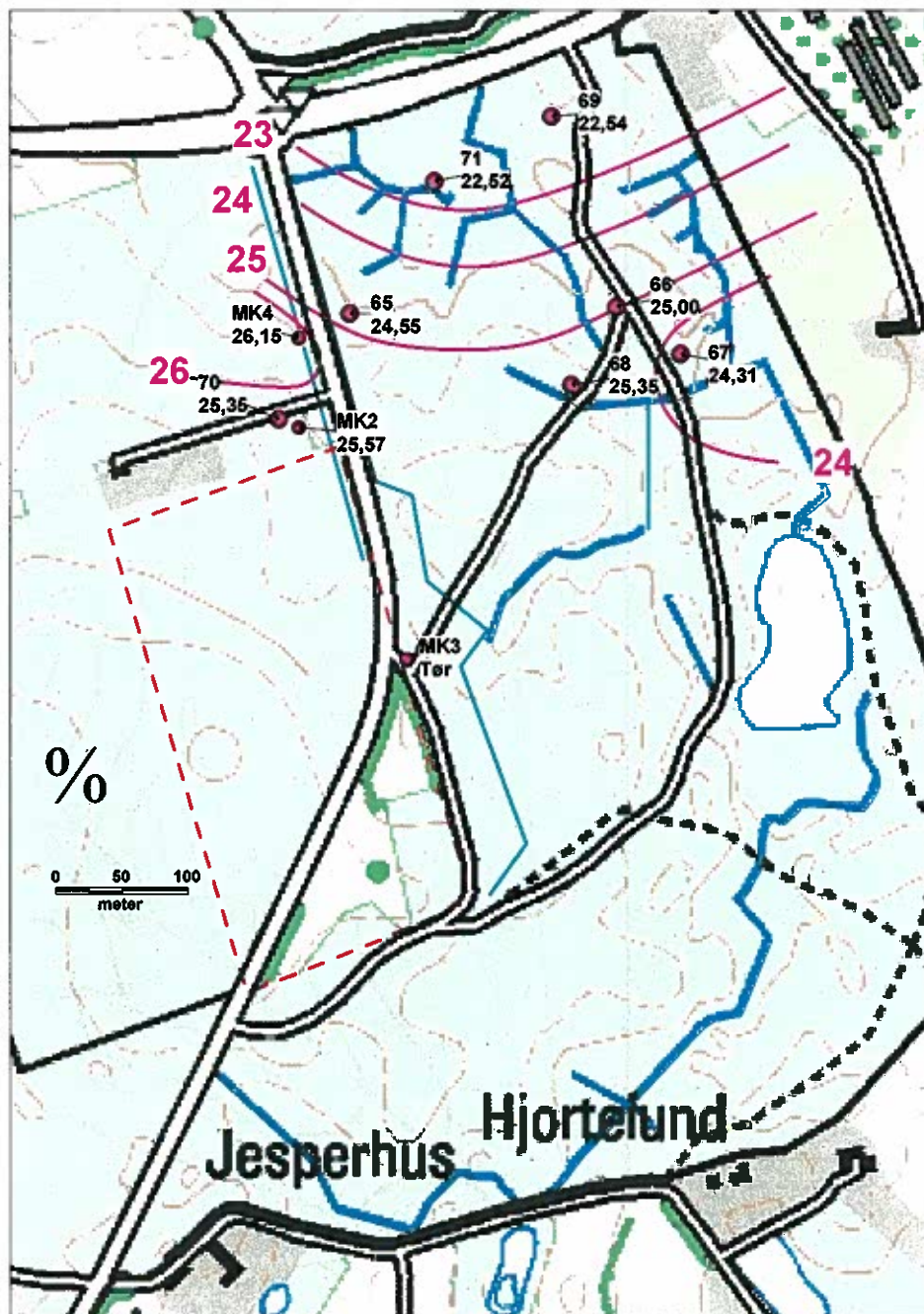


Figur 4. Pejleserie fra Bor. MD1, MD2, MK3 og MK4 i perioden 11. nov.-21.dec. 2010.

Figur 6 viser potentialet opmålt i det terrænnære magasin opmålt i efteråret 2010. Det pejlede område viser en forlængelse af Figur 5 og passer sammen hermed.



Figur 5. Potentialkort for det terrænnære magasin, august 1989, /3/.

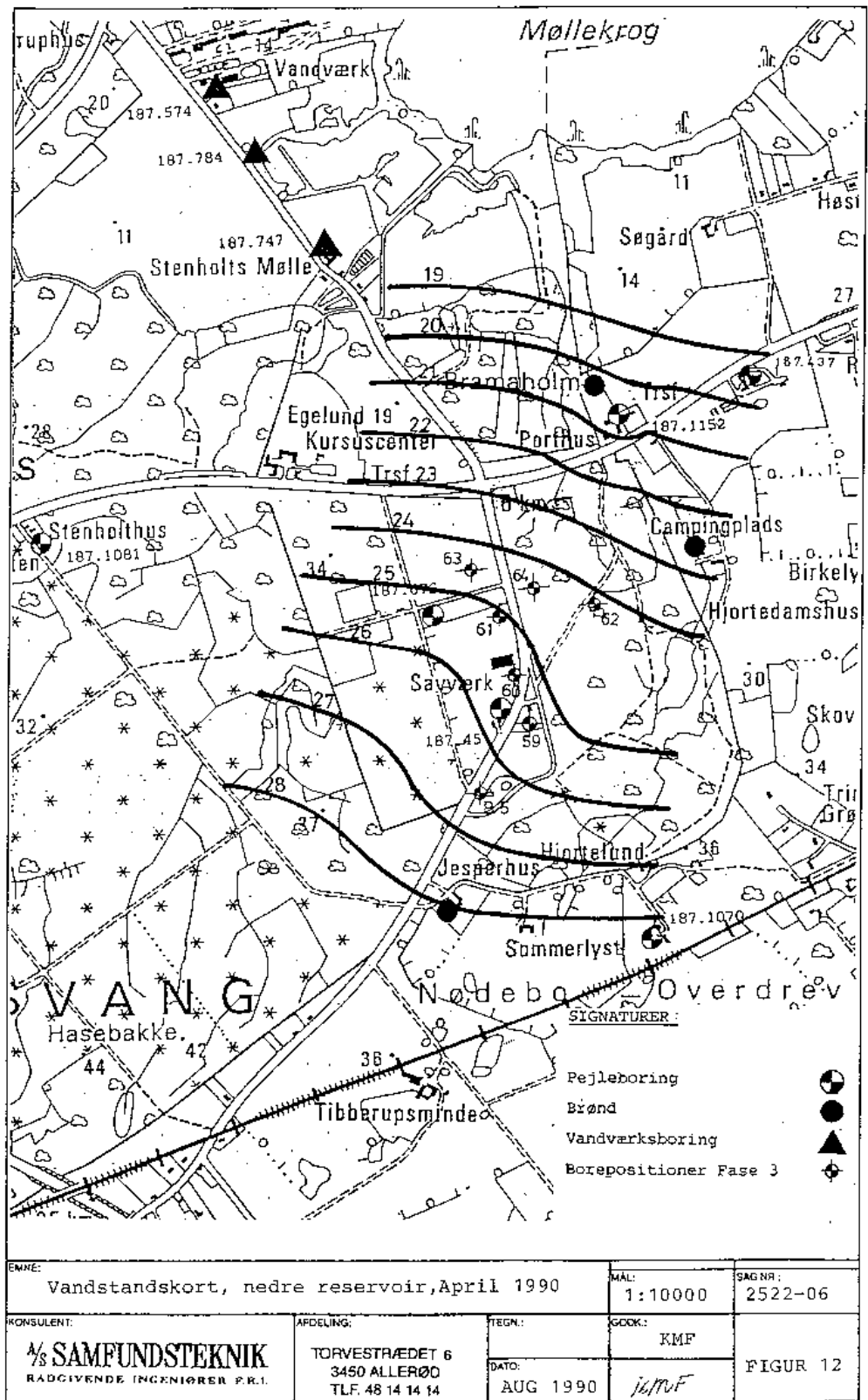


FIGUR 6. POTENTIALE I TERRÆNNÆRT MAGASIN EFTERÅR 2010.

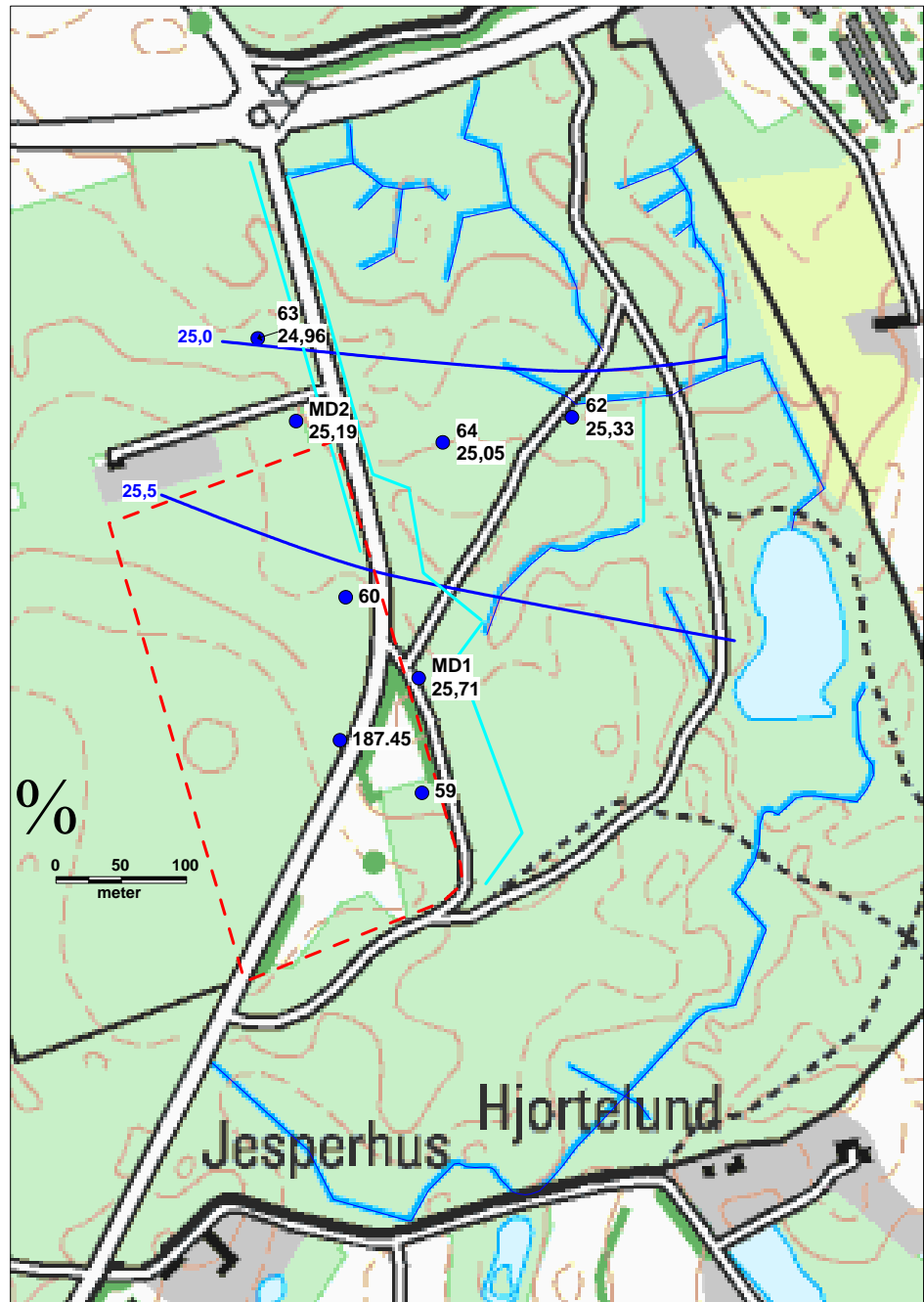
4.4.2 Det sekundære magasin

Samfundstekniks potentialekort for det sekundære magasin i august 1989, /3/, er vist på Figur 7. Strømningsretningen er mod nord mod Esrum Sø. Det må anses for sandsynligt, at det sekundære magasin har afstrømning til Esrum Sø (Møllekrogen). Gradienten kan på basis af Figur 7 bestemmes til $8 \cdot 10^{-3}$.

Figur 8 viser potentiale for det sekundære magasin på grundlag af pejlinger udført i efteråret 2010. Pejlingerne stemmer overens med pejlingerne i Figur 7.



Figur 7. Potentialekort for det sekundære magasin, april 1990, /3/.



Figur 8. Potentiale i sekundært magasin efterår 2010

4.4.3 Det primære magasin

Esrumsandet og de underliggende aflejringer af grønsandskalk og kalk udgør et samlet magasin, da der ikke forekommer et adskillende lerlag. Potentialekortet fra Nordvand-rapporten /24/, viser da også, at potentialet i sandet og kalken er nært sammenfaldende. Grundvandspotentialet i det primære magasin under Collstrupgrunden ligger i kote ca. 18-20 m /25/, og potentialet i det sekundære magasin under grunden ligger i kote ca. 25-28 m. Der er altså en nedadrettet trykforskel på ca. 7-8 m. Dette bekræfter, at der forekommer et lavpermeabelt lag mellem de to magasiner.

4.5 HYDRAULISKE PARAMETRE

De hydrauliske parametre for det terrænnære magasin er baseret på udførelse af slugtests. Parametrene for det sekundære magasin er baseret på prøvepumpninger udført af Samfundsteknik i 1990, /3/, samt renpumpninger udført af GEO under den supplerende undersøgelse. Data er vist i Bilag 1, og resultaterne sammenstillet i Tabel 3 nedenfor.

4.5.1 Det terrænnære magasin

Hydrauliske parametre for det terrænnære magasin er vurderet ud fra de udførte slugtests, Bilag 1. Af disse er kun data fra B65 og MK4 egnede til tolkning. Tolkningen er foretaget ved hjælp af en metode udarbejdet af Cooper et al., /12/. For MK4 fås $T = 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ og $S = 10^{-5}$. Det filtersatte sandlag har i denne boring spændt vandspejl i henhold til borejournalen. Med en lagtykkelse på 0,8 m fås en hydraulisk ledningsevne på $K = 9,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

For B65 fås $T = 13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ og $S = 0,05$, hvilket kan opfattes som den effektive porøsitet. Med en mættet lagtykkelse på ca. 3 m giver dette en hydraulisk ledningsevne på $K = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. I middel giver dette en transmissivitet på $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ og en hydraulisk ledningsevne for det terrænnære magasin på $7,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

Sættes porøsiteten til $\varepsilon = 0,15$ som konservativt estimat (typisk $\varepsilon = 0,15 - 0,25$) og gradienten $I = 51 \cdot 10^{-3}$ fås en partikelhastighed på $v = KI/\varepsilon = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ eller 76 m/år.

4.5.2 Det sekundære magasin

De hydrauliske parametre for det sekundære magasin er baseret på Samfundstekniks prøvepumpninger, /3/, og prøvepumpninger udført af GEO på MD1 og MD2. Tolkningerne er vist i Bilag 1.

For MD1 og MD2 fås transmissiviteter på henholdsvis $T = 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ og $T = 4,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Resultatet af tolkningen af Samfundstekniks prøvepumpninger er sammenstillet i Tabel 3. Det fremgår af Tabel 3, at det sekundære magasin er relativt homogent. Typiske værdier for transmissiviteten er $T = 2 - 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ i god overensstemmelse med resultaterne fra MD1 og MD2. Størrelsen af magasintallet, typisk $S = 2 - 5 \cdot 10^{-4}$, bekræfter, at det sekundære magasin har spændt vandspejl.

Den vertikale hydrauliske ledningsevne i lerlaget over det sekundære magasin varierer i intervallet $K' = 10^{-7} - 45 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Størrelsen antyder en sandet moræneler, og variationen kan være såvel en reel variation som en funktion af inhomogene forhold i det pumpede magasin. Den angivne værdi af den vertikale hydrauliske ledningsevne inkluderer effekten af eventuelle sprækker og sandlirer i leret.

Som repræsentativ værdi for transmissiviteten i det sekundære magasin lægges hovedvægt på resultatet fra de to pumpeboringer, og $T = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ vælges. For lagtykkelsen vælges af hensyn til risikovurderingen en værdi i den lave ende, $h = 20 \text{ m}$. Dette giver en hydraulisk ledningsevne på $K = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Sættes porøsitet til $\varepsilon = 0,15$ som konservativt estimat (typisk $\varepsilon = 0,15 - 0,25$) og gradienten $I = 8 \cdot 10^{-3}$ fås en partikelhastighed på $v = KI/\varepsilon = 9,3 \cdot 10^{-6}$ m/s eller 294 m/år.

TABEL 3. BEREGNEDE HYDRAULISKE PARAMETRE I PEJLEBORINGER

Pumpe- boring	s_{MP} (m)	t_{MP} (min)	Pejle- boring	r (m)	r/B		$T \cdot 10^3$ (m ² /s)	$S \cdot 10^4$	m' (m)	$K' \cdot 10^7$ (m/s)
B5	0,018	310	B60	260	1,5	0,1	3,73	4,1	12,5	7,76
	0,018	110	B60	187	0,5	0,1	3,73	2,82	19,1	2,55
	0,017	130	B59	176	0,5	0,1	3,95	7,29	10,8	3,16
B59	0,025	42	B5	175	3	0,1	2,65	0,873	9,9	38,6
	0,029	70	B60	124	1	0,1	2,29	2,5	12,5	9,23
	0,03	200	B61	237	2	0,1	2,21	1,89	13,3	10,48
	0,041	40	B60	60	1	0,1	1,62	4,31	19,1	44,8
B60	0,012	100	B5	262	-	0,1	5,72	2,0	9,9	-
	0,016	62	B59	124	0,5	0,1	4,29	4,16	10,8	3,77
	0,016	62	B61	120	0,5	0,1	4,29	4,43	13,3	4,95
	0,016	62	B60	105	0,5	0,1	4,29	5,79	19,1	9,29
B61	0,01	130	B59	237	1	0,1	7,24	4,02	10,8	6,96
	0,013	19	B60	120	0,2	0,1	5,57	1,76	12,5	0,97
	0,008	92	B60	214	1	0,1	9,1	4,37	19,1	19,0
B62	0,041	590	B59	304	2	0,1	1,79	2,74	10,8	1,11
	0,032	330	B60	232	1,5	0,1	2,29	3,37	12,5	2,96
	0,03	300	B61	204	1	0,1	2,44	4,22	13,3	3,9
B64	0,0235	300	B59	306	1,5	0,1	2,82	2,17	10,8	3,66
	0,03	200	B60	194	1	0,1	2,21	2,82	12,5	3,67
	0,021	76	B61	116	0,5	0,1	3,16	4,28	13,3	3,9
	0,027	270	B62	115	0,5	0,1	2,46	12,1	14,8	3,44
	0,019	220	B63	140	0,5	0,1	3,49	9,4	7,6	1,69

4.6 NEDSIVNING OG AFSTRØMNING

4.6.1 Det terrænnære magasin

Nettonedbøren kan på grundlag af grundens geografiske placering ved Esrum sø med rimelig sikkerhed vurderes til ca. 200 – 250 mm/år svarende til 12.000 – 15.000 m³/år, /21/. Der er ikke nærmere grundlag for at bestemme fordelingen mellem overfladisk afstrømning og infiltrationen til det øverste terrænnære grundvandsmagasin. Derfor er der i de efterfølgende usikkerhedsvurderinger, se afsnit 5.3, valgt et bredt interval på 40 – 80 % for den andel af nettonedbøren der bliver til grundvand. Orbicon, /10/, anfører, at der kun er vandføring i grøfterne tættest på depotet en lille del af året, og at det derfor kan antages, at nedsivningen ligger i den høje ende af intervallet. Den vandmængde, som strømmer ud af det terrænnære magasin gennem et tværsnit vinkelret på grundvandets strømningsretning på $B = 250$ m med en gradient på $51 \cdot 10^{-3}$ kan beregnes til $Q = BIT = 250 \cdot 0,051 \cdot 0,00001 = 1,3 \cdot 10^{-4}$ m³/s = 4.000 m³/år. Dette grundvand er i det væsentligste dannet på lokaliteten og kan derfor udgøre en betydende forureningsspredning.

4.6.2 Det sekundære magasin

Nedsivningen til det sekundære magasin under grunden kan ikke bestemmes direkte, men vurderes at andrage af størrelsen 100 mm/år. Den vandmængde Q , der transporteres bort fra grunden nedstrøms gennem et tværsnit på $B = 210$ m vinkelret på grundvandets strømningsretning er $Q = BIT = 210 \cdot 0,008 \cdot 0,0035 = 5,88 \cdot 10^{-3}$ m³/s = 185.400 m³/år. Denne vandmængde er afgørende for beregning af den mængde forurening, som forlader grunden via det sekundære magasin.

4.6.3 Det primære magasin

Grundvandsdannelsen til Esrumsandet kan tilnærmet beregnes ved at opfatte området mellem Esrum Sø og Øresund som en landtange over hvilken der foregår en jævn infiltration. Fremgangsmåden er nærmere beskrevet i Bilag 6. Resultatet er, at infiltrationen til Esrumsandet kan vurderes til 30-40 mm/år. Denne vandmængde kan opfattes som nedsivning fra det sekundære magasin til det primære.

4.7 Porøsitet og vandmætning

Den totale porøsitet ε i sedimenterne vurderes at være ca. 40 % ($\varepsilon = 0,4$), men den effektive porøsitet – forstået som den andel af porøsiteten hvor grundvandet bevæger sig – er væsentlig mindre og ligger ofte i intervallet 15 – 25 % ($\varepsilon_{\text{eff}} = 0,15 - 0,25$). Grundvandet bevæger sig typisk i sandlommer og afgrænsede lag med mere grovkornet sediment og større hydraulisk ledningsevne.

Det oxiderede miljø til så stor dybde som påvist på lokaliteten indikerer, at der er gode muligheder for at ilt kan trænge ind i disse aflejringer. Da aflejringerne er stedvist meget lerholdige tyder det oxiderede miljø på tilstedeværelse af sandslirer og sprækker, hvor atmosfærisk ilt kan trænge dybere ind i sedimenterne (lersedimenter er ofte tæt på 100 % vandmættet selv i stor højde over grundvandspejlet pga. kapillære kræfter).

Det vurderes derfor, at den effektive porøsitet i den lodrette vandbevægelse mod det sekundære magasin er domineret af sprækkestrømning og strømning i sandslirer svarende til et konservativt estimat for den effektive porøsitet i intervallet 1 – 10 % ($\varepsilon_{\text{eff}} = 0,01 - 0,10$). For den vandrette afstrømning i det terrænnære og det sekundære grundvandsmagasin anvendes en porøsitet på 15 %, som ligger i den lave ende af det interval, som ofte anvendes i litteraturen (15-25 %).

5 Geokemi

5.1 Resultater fra tidligere undersøgelser

5.1.1 Sedimentkemi

De tidligere gennemførte undersøgelser viser at overjord og sedimenter på lokaliteten er stedvis meget forurenet med spildprodukter fra produktionen: Arsen, krom, og kobber. I denne undersøgelse fokuseres på arsen der terrænnært findes i koncentrationer op til 2000 mg/kg og i koncentrationer på over 100 mg/kg ned til 4 meters dybde under selve grunden.

De udførte beskrivelser af sedimentprøver fra borearbejde viser entydigt at sedimenterne er oxiderede (gulfarvede, brunfarvede eller med rustfarvede striber) ned til grundvandsstanden i det sekundære magasin 3 – 12 meter under terræn jf. Figur 11. Under grundvandsspejlet er sedimenterne grå og vurderes som reducerede. Der er ikke tidligere udført kvantitative kemiske undersøgelser af redoxparametre.

5.1.2 Grundvandskemi og sammensætning af overfladevand

Der er fundet meget høje koncentrationer af arsen i det højtliggende terrænnære grundvandsmagasin og i overfladevand, herunder i grøftesystemerne – typiske koncentrationer ligger i intervallet 500 – 5.000 µg/l. Der optræder også meget høje koncentrationer af fluorid (10 – 90 mg/l) – hvorimod indholdet af krom og kobber er begrænset.

I det sekundære grundvandsmagasin er der ikke tidligere fundet forhøjede koncentrationer af forureningskomponenterne ved monitoring i 1977, 1990, 1995 og 2000 /ref. 1, 3, 7, 9/. Der er ikke udført boringer til det primære magasin (Esrumsand og Danienskalk/ grønsandskalk) ved Collstropgrunden.

Der er ikke tidligere udført eller rapporteret resultater fra mere generelle vandkemiske analyser – herunder redoxparametre som jern, mangan, ammonium, nitrat og opløst organisk stof.

5.2 Resultater fra denne undersøgelse

5.2.1 Sedimentkemi

Tabel 4. Sedimentanalyse af metalindhold (mg/kg TS) efter DS 259 med ICP/MS

Boring	Dybde (m.u.t.)	Jern	Mangan	Arsen	Krom	Kobber	Tørstofindhold (%)
MK4	5,0	9030	162	<5	9,7	21	86,9
MK4	4,0	8010	214	<5	7,2	6,7	85,9
MK4	4,0	8600	224	<5	7,4	6,9	85,5
MD2	15	2250	53	<5	5,1	5,3	87,4
MD2	13	2880	77	<5	7,9	2,0	87,7
MD1	12	4380	93	<5	6,8	9,4	88,8
MD1	13	4310	104	<5	9,4	24	89,4

Resultaterne af de udførte analyser er samlet i Tabel 4 – arsen indholdet er i alle prøver under detektionsgrænsen på 5 mg/kg TS og indholdet af krom og kobber er også på baggrundsniveau. Det er derfor ikke muligt at bestemme en K_d værdi for sorptionen af arsen i sedimenterne.

Indholdet af syreoplukkeligt jern er markant højere i det terrænnære magasin ved MK4 (0,8 – 0,9 %) sammenlignet med det reducerede sediment (0,2 – 0,4 %). En del af dette jernindhold er strukturelt bundet og ionbyttet jern i lerminerale. Forskellen mellem indholdet i oxideret og reduceret zone skyldes primært at oxiderede sediment har et ekstra indhold af syreoplukkeligt jernoxid.

Derfor vurderes denne forskel på omkring 0,5 % jern at repræsentere et konservativt estimat for indholdet af jernoxid svarende til 7 – 8 kg jern/m³ (beregnet ud fra en bulk massefylde for sedimenterne ca. 1.500 kg/m³). Disse værdier er typiske for oxiderede sediment, /14/, og stemmer overens med prøvebeskrivelsen (gule og brune sedimentfarver fra terræn ned til grundvandsspejlet i det sekundære grundvandsmagasin).

Der er således en væsentlig pulje af jernoxid i den oxiderede zone over det sekundære grundvandsmagasin, som er af betydning for mobiliteten af tungmetallerne – herunder også arsen (se afsnit 5.3.3). Jernpuljens samlede størrelse vurderes til mindst 3.600 tons ud fra lokalitetens areal på ca. 60.000 m² og en gennemsnitlig dybde til grundvandsspejlet i det sekundære magasin på ca. 8 meter (8·60.000 m³·1500 kg/m³·0,5 %).

5.2.2 Grundvandskemi

Udvalgte resultater fra de udførte analyser af grundvandskemi er samlet i Tabel 5. Der er ikke fundet indhold af tungmetaller over baggrundsniveau (< 1 µg/l, /10/) i nogen af prøverne. Det reducerede arsen specie arsenit (As^{III}) dominerer i det reducerede sekundære grundvandsmagasin, hvor krom og kobber tilsvarende er på baggrundsniveau.

TABEL 5. GRUNDVANDSKEMI (ANALYSER MED FED KURSIV ER FELTANALYSER).

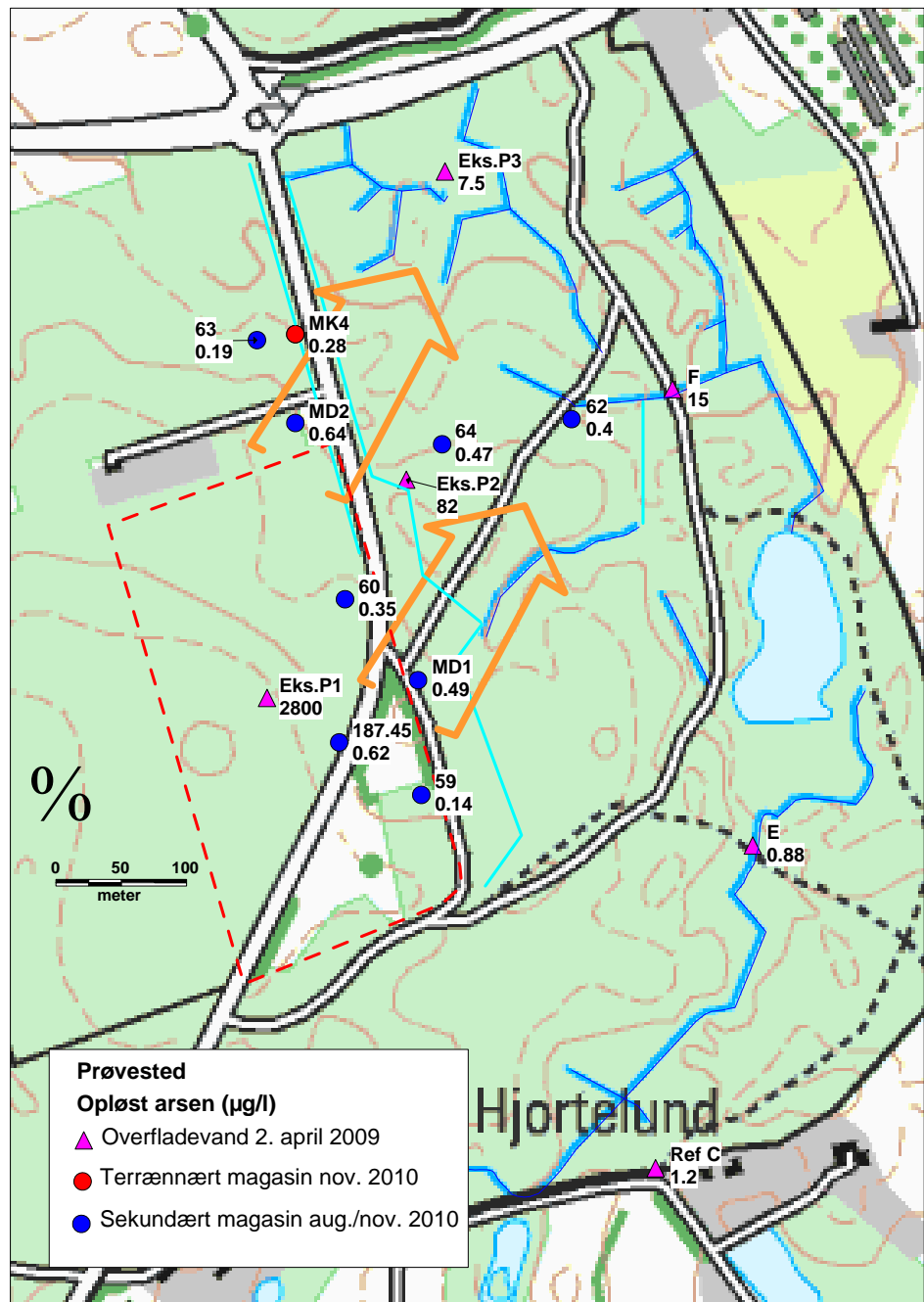
Boring	Dato	Filter dybde (m.u.t)	Jern (mg/l)	Nitrat (mg/l)	Fluorid (mg/l)	Arsen ^{Total} (µg/l)	Arsen ^{III} (µg/l)	Krom (µg/l)	Kobber (µg/l)
187.45	26/8/2010	20,8-22,8	2,7	< 1	0,19	0,62	0,59	0,18	0,16
59	26/8/2010	17,5-21,5	1,2	< 1	0,18	0,14	0,15	0,16	0,07
60	26/8/2010	18,0-21,0	1,9	< 1	0,17	0,35	0,35	0,20	0,18
62	26/8/2010	18,4-22,5	1,3	< 1	0,15	0,40	0,36	0,15	0,25
63	26/8/2010	19,4-24,0	1,5	< 1	0,17	0,19	0,12	0,15	0,96
64	26/8/2010	19,5-24,0	1,7	< 1	0,15	0,47	0,41	0,12	0,17
MD1	8/11/2010	14,0-20,0	1,5	0,12	0,40	0,49	0,42	0,09	0,12
MD2	8/11/2010	14,0-20,0	0,92	0,41	0,19	0,64	0,45	0,27	0,81
MK4	8/11/2010	4,0-5,0	0,01	4,1	0,14	0,28	0,13	0,14	6,0

I grundvandsprøven fra MD1 er der fundet signifikant forhøjede indhold af fluorid på 0,4 mg/l (baggrundsniveau 0,15 – 0,19 mg/l) som tegn på vandtransport fra det terrænnære magasin til det sekundære magasin. I det terrænnære grundvand ved boring MK4 er derimod ikke fundet forhøjede indhold af fluorid – en let forhøjet værdi af kobber skyldes formentlig en lav pH værdi på 6,6. Det terrænnære magasin er som forventet oxideret med et

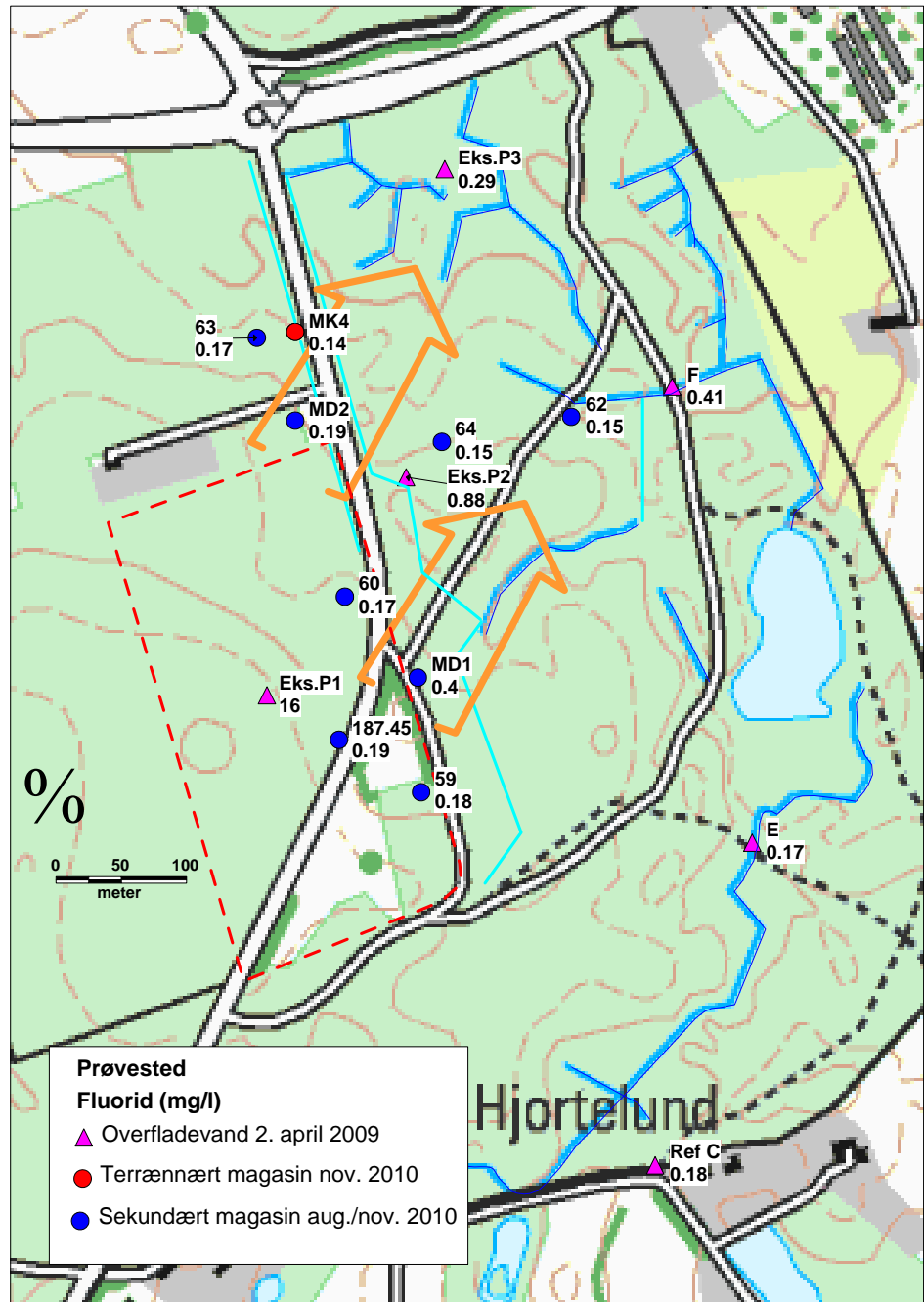
meget lavt jern indhold og påvirket af nitrat. Alle analyserapporter er samlede i Bilag 3.

5.3 Samlet beskrivelse af forureningstilstanden

På baggrund af de nyeste målinger af arsen og fluorid i overfladevand, /10/, og grundvand (denne undersøgelse) er der nedenfor i Figur 9 og Figur 10 vist fordelingen af den vandbårne forurening opdelt på overfladevand, grundvand i terrænnært og sekundært magasin.



Figur 9. Sammenstilling af målinger af arsen i overfladevand, terrænnært grundvand og sekundært magasin i 2009 /10/ og 2010 (denne undersøgelse). På Figuren er der med pile vist de forventede udstrømningsområder, /11/, og omtrentlig strømningensretning i det sekundære grundvandsmagasin.



Figur 10. Sammenstilling af målinger af fluorid i overfladevand, terrænnært grundvand og sekundært magasin i 2009, /10/, og 2010 (denne undersøgelse). På Figuren er der med pile vist de forventede udstrømningsområder, /11/, og omtrentlig strømningretning i det sekundære grundvandsmagasin.

5.3.1 Overfladevand og det terrænnære grundvand

I det terrænnære grundvand på selve lokaliteten samt i grøftesystemerne mod øst og nordøst kan man se en signifikant påvirkning med arsen. Indholdet er kraftigt faldende i stigende afstand fra det forurenede område.

For fluorid er der – som for arsen – forhøjede indhold i overfladevand på selve lokaliteten samt i grøftesystemerne mod øst og nordøst set i forhold til baggrundsniveauet (0,14 – 0,19 mg/l). Ved monitoring i 2000 (udført af NIRAS, /9/) fandt man svagt forhøjede værdier i det terrænnære magasin nedstrøm for lokaliteten (0,20 – 0,25 mg F/l).

Da både arsen og fluoridindholdet i varierende grad er forhøjet i overfladevandet og grøftesystemerne er det af interesse at sammenligne med baggrunds niveauet i området – målt i referencepunkterne (Ref. C og E – jf. Figur 9 og Figur 10), hvor indholdet er hhv. $[As]_{Ref} \approx 1,0 \mu\text{g/l}$ og $[F]_{Ref} \approx 0,18 \text{ mg/l}$. Dette gøres i de enkelte målepunkter ved at sammenligne forholdet mellem den relative stigning af arsen og fluorid i forhold til baggrunds niveauet:

$$\frac{\Delta As}{\Delta F} = \frac{[As]_p - [As]_{Ref}}{[F]_p - [F]_{Ref}}$$

Værdien af $\Delta As/\Delta F$ er højest i overfladevand inde på selve grunden og i grøftesystemet i skoven på den anden side af Jespersvej ($\Delta As/\Delta F = 150 \mu\text{g/mg}$). Forholdet falder længere nedstrøms i grøftesystemet hvor der findes et forholdsvis konstant forhold på $\Delta As/\Delta F = 60 \mu\text{g/mg}$. Det er forventeligt at forholdet vil falde langs strømningens retning, da arsen er mindre mobilt end fluorid.

Det faldende forhold kan både skyldes adsorption af arsen i sedimenterne i det terrænnære magasin såvel som adsorption i bundsedimenterne i grøfterne. Tidligere målinger i forbindelse med oprensning af grøfterne og efterfølgende kontrolmålinger har vist forhøjede indhold af arsen i sediment fra grøfterne sammenlignet med normale baggrunds niveauer, /6, 8/.

En massebalance for arsen er tidligere vurderet ud fra de absolutte koncentrationer i overfladevand og grundvand. Orbicon fandt en maksimal grænse for transport med overfladevandet til Esrum sø på 1 kg/år, /10/.

Kildestyrken i de terrænnære grundvandsmagasiner på selve den forurenede lokalitet er væsentlig højere – baseret på en gennemsnitlig koncentration af arsen på $2.500 \mu\text{g/l}$ og en grundvandsafstrømning på $4.000 \text{ m}^3/\text{år}$ vurderes en kildestyrke på ca. 10 kg/år

5.3.2 Det sekundære grundvand

Det fremgår af Figur 9, at der ikke kan påvises grundvandsforurening med arsen i det sekundære grundvandsmagasin set i forhold til baggrunds niveauet for arsen.

Det samme er gældende for traceren fluorid, dog med en enkelt tydelig undtagelse ved den nye boring MD1, hvor indholdet af fluorid på $0,4 \text{ mg/l}$ er signifikant i forhold til baggrunds niveauet som i det sekundære magasin ligger i intervallet $0,15 - 0,19 \text{ mg/l}$ (se Figur 10).

Fluorid er som ovenfor nævnt særdeles mobilt og minder tilnærmelsesvis om et konservativt stof (dvs. det følger den advective grundvandstransport). Kildestyrken for fluorid kan derfor anvendes til vurdering af kildestyrken med arsen til det sekundære grundvand

På baggrund af den enkeltstående forhøjede måling i MD1 vurderes bidraget fra Collstrop grunden at give en stigning i fluorid indholdet på ca. $0,05 \text{ mg/l}$, som gennemsnit for det sekundære grundvandsmagasin som helhed. Den transporterede vandmængde under lokaliteten i det sekundære magasin er

beregnet til 185.400 m³/år (jf. afsnit 4.6.2), hvilket giver en kildestyrke på ca. 9.300 g F/år (=0,05 g/m³·185.400 m³/år).

Det vurderes dog, at nogle af de eksisterende monitoringsboringer ikke er placeret optimalt for at opfange forurening, fordi filtersætningen er et stykke under den øvre afgrænsning af det sekundære magasin. Grundvandets lodrette hastighedskomponent er formentlig af størrelsesorden 1 meter pr. år (infiltration/effektiv porøsitet = 0.1 meter år⁻¹ / 0.15), hvilket skal sammenlignes med en vandret porevandshastighed på næsten 300 m/år (se afsnit 4.5.2). Det må derfor forventes, at en evt. påvirkning med fluorid i det sekundære magasin er begrænset til de øverste 1 – 3 meter af det sekundære magasinets effektive strømningszone (som er ca. 20 meter).

På baggrund af den påviste fluorid transport til det sekundære magasin på 9,3 kg/år og de fundne forhold af arsen/fluorid = 150 µg/mg i overfladevand på lokaliteten /ref. 10/ kan transporten af arsen til det sekundære grundvandsmagasin vurderes til 1,5 kg As/år.

Dette er et minimums skøn, med følgende begrundelser:

- Den estimerede fluorid udvaskning er som ovenfor nævnt formentlig undervurderet pga. for dybe filtersætninger af en del monitoringsboringer i det sekundære magasin
- På baggrund af en vurderet grundvandsdannelse på ca. 100 mm/år til det sekundære magasin (se afsnit 4.6.2) og typiske koncentrationer af arsen i det terrænnære grundvand på selve grunden på 0,5 – 5 mg/l, samt et areal på 60.000 m² kan transporten af arsen vurderes til størrelsesorden 3 – 30 kg/år

Der er i den videre risikovurdering for arsen taget udgangspunkt i den konservative vurdering af kildestyrken på 3 – 30 kg/år, da dette skøn er baseret på den arealmæssigt bedst dækkende tilgængelige viden om indholdet af mobilt arsen /2, 3/ og den opstillede vandbalance (denne undersøgelse).

5.3.3 Transport af arsen med grundvandet - K_d værdier

Arsen er et grundstof og fjernes ikke fra geosfæren ved nedbrydning – de relevante arsenmineraller er letopløselige ved de fremherskende geokemiske forhold under lokaliteten og derfor bindes arsen ikke permanent i stabile kemiske forbindelser. Arsens transport med grundvandet styres af adsorption og ionbytning på jernoxider og aluminiumhydroxider såvel som lermineraller – processer der kan betragtes som reversible.

For at beskrive transporten af arsen med grundvandet er konceptet om en fordelingsfaktor (K_d) for den relative koncentration af arsen i sediment og vandfase velegnet.

Størrelsen af K_d værdier for arsen er primært afhængig af den relative og absolutte mængde af arsen fordelt på specierne As^{III} og As^V, samt mængden af lermineraller og tilstedeværelsen af jernoxider og aluminiumhydroxider. Der er en del kontrovers omkring vurdering af K_d værdier for arsen – primært pga. eksperimentelle problemer med at skelne og undgå omfordeling mellem As^{III} og As^V som følge af redoxreaktioner.

I forbindelse med afprøvning af okkerslam som afværgemetode i overjorden på Collstrop grunden fandt DTU, /16/, et spæn af K_d værdier i intervallet 1 –

60 l/kg i den ubehandlede jord. Disse værdier vurderes at være noget lavere end man kan forvente i oxideret miljø, men kan skyldes de særlige forhold i forbindelse med det gennemførte forsøg.

Som udgangspunkt for de her gennemførte beregninger er der anvendt de geologiske observationer fra tidligere, /3/, og denne undersøgelse, der entydigt peger på en 3 – 10 meter tyk oxideret zone i morænelersaflejringerne over det reducerede sekundære grundvandsmagasin (indikeret med orange farve på Figur 11).

For at vurdere K_d i den oxiderede zone anvendes et jernoxid indhold svarende til 0,5 % eller 5 g Fe/kg sediment, jf. afsnit 5.2.1. Som en konservativ forudsætning i beregningerne er arsen primært tilstede som arsenit (As^{III}), som er det mest mobile arsen specie i grundvand. Ud fra dette jernindhold er der på baggrund af termodynamisk data for amorfe jernoxid forbindelser (ferrihydrit) vurderet et konservativt estimat for K_d på 100 l/kg /17, 18, 20/. Denne vurdering er i overensstemmelse med på eksisterende viden og beskrivelse af arsenbinding i okkerslam og arsenfjernelse på danske vandværker /ref. 26, 27/.

For den reducerede zone er der vurderet et jernoxid indhold på 0,1 g Fe/kg sediment, /14/, og en K_d værdi på 20 l/kg i overensstemmelse med feltmålinger af sedimentbundet arsen under danske forhold, /28/, og internationale erfaringer, /19/.

6 Risikoanalyse

6.1 Indledning og formål

Formålet med risikoanalysen er at opstille en massebalance for arsen og vurdere den overordnede forureningstransport med grundvand til de relevante grundvandsmagasiner og recipienter:

1. Det terrænnære grundvand, der optræder i højtliggende sandede aflejringer på den forurenede grund og i de omkringliggende skovområder – dog ikke nødvendigvis med intern hydraulisk forbindelse.
2. Det sekundære grundvandsmagasin – den øvre sandede serie
3. Det primære grundvandsmagasin – den nedre sandede serie og kalkmagasinet
4. Grøftesystemer der afvander skovområder mellem den forurenede grund og Esrum Sø
5. Esrum Sø

Den udførte analyse af den lokale topografi, geologi og hydrogeologi (jf. afsnit 4) peger på, at nedbøren på området medfører en lokal grundvandsdannelse der kan transportere opløst forurening ud af området. Dette bekræftes af de hidtil udførte målinger af forureningskomponenter i grøftesystemer og terrænnært grundvand.

Arsentransporten til Esrum sø via grøftesystemerne er vurderet målt til maksimalt 1 kg/år /10/. Arsentransporten i det terrænnære grundvand er vurderet til 10 kg As/år ud fra beregning af stoffluxen og under forudsætning af, at forureningsfanen er kortlagt med rimelighed. I forhold til det sekundære magasin er arsentransporten vurderet til 3 – 30 kg As/år ud fra antagelser om nettoinfiltration, kildestørrelse og gennemsnitlige koncentrationer i det terrænnære grundvand.

For at vurdere stoftransporten med grundvand anvendes en analytisk 1-dimensionel stoftransport model der tager hensyn til adsorption og dispersion, /29/:

$$C(z, t) = C_0 \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{z - v_p t}{\sqrt{4D_z R t}} \right] + \exp \left(\frac{v_p z}{D_z} \right) \operatorname{erfc} \left[\frac{z + v_p t}{\sqrt{4D_z R t}} \right] \right\}$$

Hvor:

$C(z, t)$: Koncentration som funktion af sted (afstand z) og tid (t)

v_p : Porevandshastighed

D_L : Longitudinal dispersionskoefficient

R : Retardationsfaktoren (beregnes ud fra K_d)

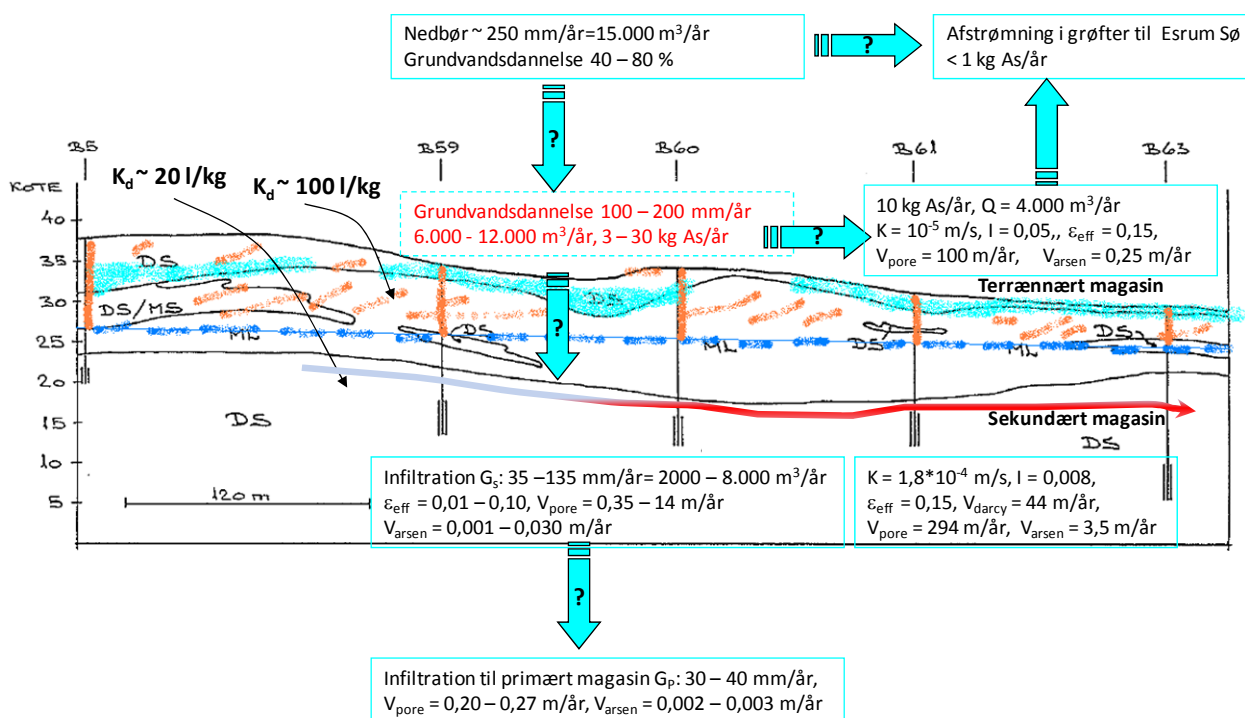
erfc : Den komplementære fejlfunktion

Da risikoen for at overse en forureningsfane er en central problemstilling af betydning for den samlede risikovurdering er der gennemført Monte Carlo simuleringer til vurdering af betydningen af usikkerheden på parametrene

(K_d - værdi, porøsitet, strømningshastighed, kildestyrke, dæklagstykkelse, dispersion).

Monte Carlo simuleringerne er udført vha. Crystal Ball på den analytiske model opstillet i Excel og der beregnes flux i forskellige dybder og afstande fra kilden.

6.2 model for transport af grundvandsforurening



Figur 11. Konceptuel model for transport af forurening med grundvand (baseret på geologisk snit fra /3/) Parametre er beskrevet i teksten – K_d værdier refererer til adsorption af arsen i sedimenterne. De orange signaturer indikerer, hvor der er observeret oxiderede sediment. Lys blå farve indikerer vandspejl i det terrænnære magasin og mørkeblå farve vandspejl i det sekundære sandmagasin.

Figur 11 er der en grafisk repræsentation af den konceptuelle model for spredningen af forureningen med grundvand, der er opstillet i forbindelse med denne supplerende undersøgelse.

Nedbøren på den forurenede lokalitet genererer en grundvandsdrevet transport af opløst forurening:

- Via de terrænnære magasiner til grøfterne og herfra til Esrum Sø
- Via infiltration gennem terrænnært dæklag af moræneler til det sekundære magasin .
- Via det sekundære magasin til Esrum Sø
- Via dybtliggende moræneler til det primære magasin

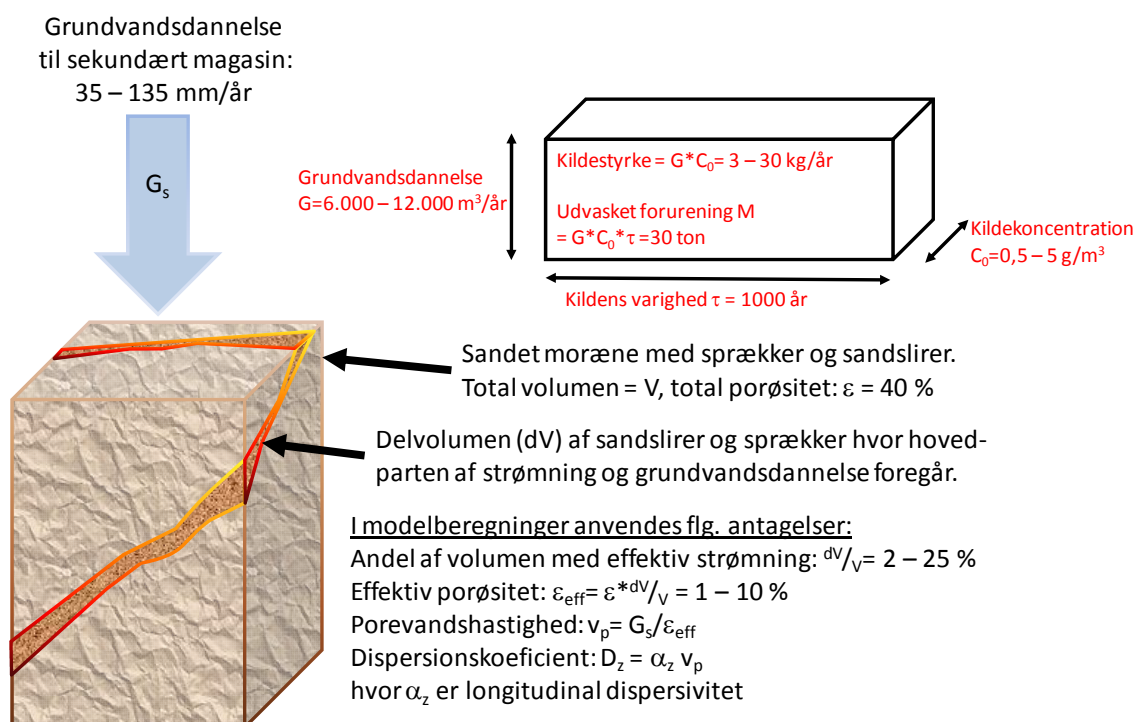
Figuren viser de parameterværdier for grundvandets strømning og forureningens kildestyrke som de er beskrevet i afsnit 4 og 5. Den effektive transporthastighed for arsen V_{arsen} er væsentlig lavere end grundvandets strømningshastighed V_{pore} pga. bindingen af arsen i sedimenterne.

Kildestyrken og kildens varighed giver tilsammen den totale mobile forureningsmasse som illustreret i Figur 12. Den totale forureningsmasse med

arsen er tidligere opgjort til ca. 35 tons, /3/. Som en realistisk og samtidigt konservativ randbetingelse anvendes en størrelse på $M=30$ tons for – den over tid – totale mobiliserede forureningsmasse af arsen. Med det skønnede interval for kildestyrken af grundvandsforureningen på 3 – 30 kg/år vurderes en typisk kildevarighed at være 1000 år.

Der er en stor bindingskapacitet i det oxiderede morænelerslag over det sekundære magasin. Det vurderes dog at sprækker og sandslirer udgør kortslutninger, hvor igennem forurenede grundvand hurtigere kan nå det sekundære magasin. Dette er illustreret på Figur 12 og denne mekanisme er indarbejdet i modelbeskrivelsen af den tidsmæssige udvikling af den grundvandstransporterede forurening til det sekundære magasin.

En anden væsentlig parameter, der varierer indenfor området og indgår i de udførte usikkerhedsvurderinger, er dæklagstykkelsen jf. afsnit 4.2.



Figur 12. De anvendte nøgleparametre i modelbeskrivelsen for forureningstransport til det sekundære magasin tager hensyn til præferentielle strømningsveje i det dækkende lag af moræneler. I modelberegningerne er den anvendte kildevarighed 1.000 år.

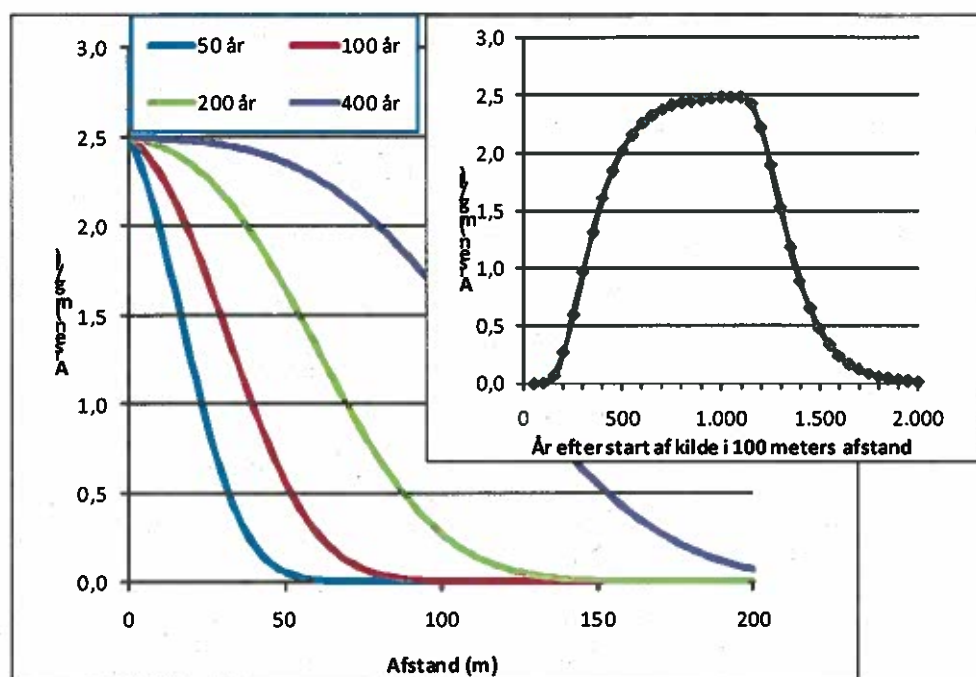
6.3 modelberegninger af forureningsspredning

6.3.1 Transport i det terrænnære magasin op til grøftesystemet

På baggrund af de i Figur 11 og Figur 12 viste modelparametre for det terrænnære magasin er der gennemført beregninger med en analytisk 1-dimensionel transportmodel, der tager hensyn til adsorption ($K_d = 100 \text{ l}/\text{kg}$) og dispersion ($\alpha_x = 10 \text{ m}$, /22/) som vist i Figur 13. Der er anvendt en kildestyrke på $2.500 \mu\text{g As}/\text{l}$ - den fulde parameterbeskrivelse er givet i Bilag 4.

Det fremgår af Figur 13, at forureningen kun meget langsomt vil spredes i det terrænnære grundvandsmagasin, så længe der er så gunstige forhold for

binding af arsen. Den effektive hastighed for arsen er omkring 400 gange langsommere end grundvandets ved en K_d værdi på 100 l/kg.



FIGUR 13. UDBREDELSEN AF ARSEN 50 – 400 ÅR EFTER START AF KILDE (KILDESTYRKE 2,5 MG/L) I DET TERRÆNNÆRE GRUNDVANDSMAGASIN NEDSTRØM FOR LOKALITETEN VED ANVENDELSE AF PARAMETRENE SOM VIST I FIGUR 11 OG FIGUR 12 ($K_d = 100$ L/KG OG DISPERSIVITET $\alpha_x = 10$ M.). I DEN INDSATTE FIGUR SES GENNEMBRUDET AF ARSEN I EN AFSTAND AF 100 METER NEDSTRØM FOR KILDEN .

Forureningen af det terrænnære grundvandsmagasin er formentlig mindst 50 år gammel og man må derfor forvente at forureningen kan have spredt sig i størrelsesorden 50 m nedstrøm som vist på Figur 13 og dermed forbi grøftesystemet øst og nordøst for lokaliteten på den anden side af Jespersvej.

Det terrænnære grundvand kan dog kun i særlige hydrologiske situationer med ekstrem høj grundvandsstand få hydraulisk kontakt til grøftesystemet tæt ved Jespersvej, og forureningstransporten ad denne vej vurderes at være begrænset. Dette er i god overensstemmelse med de tidligere fund af forurening i grøftesystemet, jf. Figur 9 og Figur 10, som samlet set er vurderet til at give en stof flux mindre end 1 kg As/år /10/.

De fundne forhøjede indhold af arsen i bundsedimenter og vandfase i disse grøfter tæt ved Collstrup grunden kan skyldes overfladisk sedimenttransport fra grunden i forbindelse med ekstreme nedbørshændelser såvel som spild af kemikalie eller affald uden for grunden (i produktionsperioden).

Et egentligt gennembrud til grøftesystemerne i afstande på 100 meter og derover vil kunne ske på en tidsskala på mellem 100 – 200 år. Derefter vil gå yderligere ca. 200 år før koncentrationen overstiger 1,25 mg/l (50 % af kildestyrken) i denne afstand og fluxen overstiger 5 kg As/år ($4.000 \text{ m}^3/\text{år} \cdot 1,25 \text{ g As/m}^3$).

6.3.2 Arsentransport via grøfterne til Esrum Sø

Kun en mindre del af de målte arsen indhold i grøftesystemerne er partikelbundne og transporten i grøfterne skyldes primært arsen opløst i vandfasen /10/. Sedimenttransport vurderes kun at kunne ske i forbindelse

med ekstreme vejrhændelser og har ikke væsentlig betydning for den samlede arsen transport.

Den nuværende transport af arsen med strømmende vand i grøfter og vandløb er tidligere vurderet til under 1 kg/år ved vandløbenes udløb til Esrum Sø på grundlag af koncentrationer under 1 µg/l og års middel vandføring i de tre relevante vandløb på samlet ca. 1 mio. m³. De noget højere koncentrationer i målepunkter placeret i grøfter tæt ved grunden er fundet i relativt stillestående vand der derfor ikke bidrager væsentligt til den samlede transport.

En stigning af kildestyrken til 10 kg/år som vurderet ovenfor vil give anledning til en vandløbskoncentration på ca. 10 – 15 µg/l afhængigt af, hvor mange vandløb som forureningsfanen i grundvandet får kontakt til, pga. stor fortynding i vandløbene.

Binding i bundsedimenterne vil kun have ringe indflydelse på transporten af arsen. De maksimale koncentrationer af arsen i bundsedimenter i grøfterne (X_{As}) kan vurderes ud fra de maksimale koncentrationer i det terrænnære grundvand ($C_0 = 2,5 \text{ mg/l}$) og fordelingskoefficient for arsen ($K_d = 100 - 1000 \text{ l/kg}$):

$X_{As} = C_0 \cdot K_d = 250 - 2.500 \text{ mg As/kg}$. Der er her valgt en værdiinterval for K_d der afspejler, at indholdet af jernoxid i grøfternes bundsedimenter kan være høje end i grundvandsmagasinet pga. udfældning af grundvandets jernindhold (myremalm).

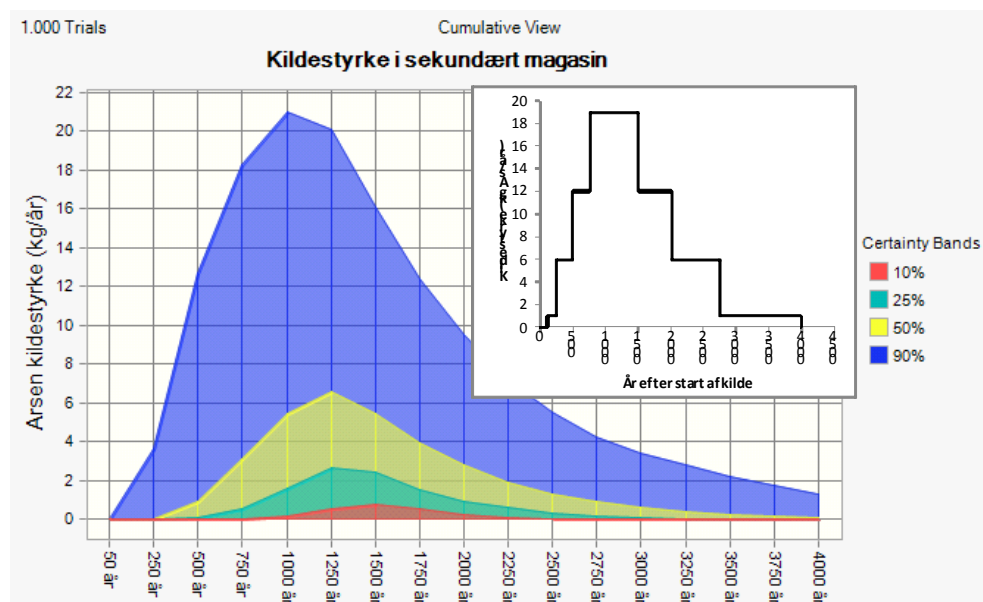
6.3.3 Transport ned til det sekundære magasin

VURDERINGEN AF TRANSPORTEN TIL DET SEKUNDÆRE MAGASIN ER USIKKER – PRIMÆRT PGA. MANGLENDE VIDEN OM GRUNDVANDSDANNELSEN PÅ LOKALITETEN, JF. AFSNIT 4.6. NATURGIVNE VARIATIONER OG USIKKERHED PÅ STØRRELSEN AF ANDRE FAKTORER SOM KONCENTRATIONEN AF ARSEN VED TERRÆN, PORØSITET OG DYBDEN TIL VANDSPEJLET I DET SEKUNDÆRE MAGASIN ER LIGELEDES AF STOR BETYDNING.

Figur 14 viser den samlede effekt af variationerne i de nævnte parametre på kildestyrken af arsen i det sekundære magasin. I beregningerne er det forudsat at kildens varighed ved terræn er tidsbegrænset (1000 år). Beregninger er udført vha. en Monte Carlo simulering med Oracle Crystal Ball og Excel af den anvendte 1-dimensionelle transport model, /15/.

De anvendte parametre er tilladt at variere inden for fastlagte usikkerhedsbånd – se nærmere beskrivelse i Bilag 5. I mere end 90 % af de gennemførte beregninger vil kildestyrken for arsen 250 år efter start af forureningen være mindre end 4 kg/år.

Dette svarer til en stigning i arsen koncentrationen på ca. 20 µg/l ved fortynding i samtlige 185.400 m³, som årligt strømmer ud af det sekundære magasin. Det vurderes ud fra de anvendte parametre – som er bedste skøn på det eksisterende grundlag – at grundvandskvalitetskriteriet for arsen på 8 µg/l vil blive overskredet for magasinet som helhed. I toppen af det sekundære magasin kan koncentrationen blive højere, fordi fortyndingen er mindre.



Figur 14. Monte Carlo simuleringer af arsen kildestyrken i det sekundære magasin som følge af infiltration. Det akkumulerede signifikans niveau for kildestyrken er vist som funktion af tiden – det betyder f.eks. at 90 % af de udførte simuleringer ligger under 90 % signifikansniveauet (blå farve). I beregningerne er det forudsat, at kil den ved terræn er begrænset til en varighed på 1.000 år. En beskrivelse af de anvendte usikkerhedsbånd på de enkelte parametre er givet i Bilag 5. Den indsatte figur viser den udjævnedde kildestyrke som anvendes til transportberegninger i det sekundære magasin, jf. afsnit 6.3.4 (svarer stort set til 90 % signifikansniveauet).

Selv om det i beregningerne er forudsat, at forureningskilden ved terræn har en varighed på 1.000 år vil udvaskningen til det sekundære magasin strække sig over en væsentlig længere periode – over 4.000 år – hvilket skyldes tilbageholdelse i den umættede zone.

6.3.4 Transport via det sekundære magasin til Esrum Sø

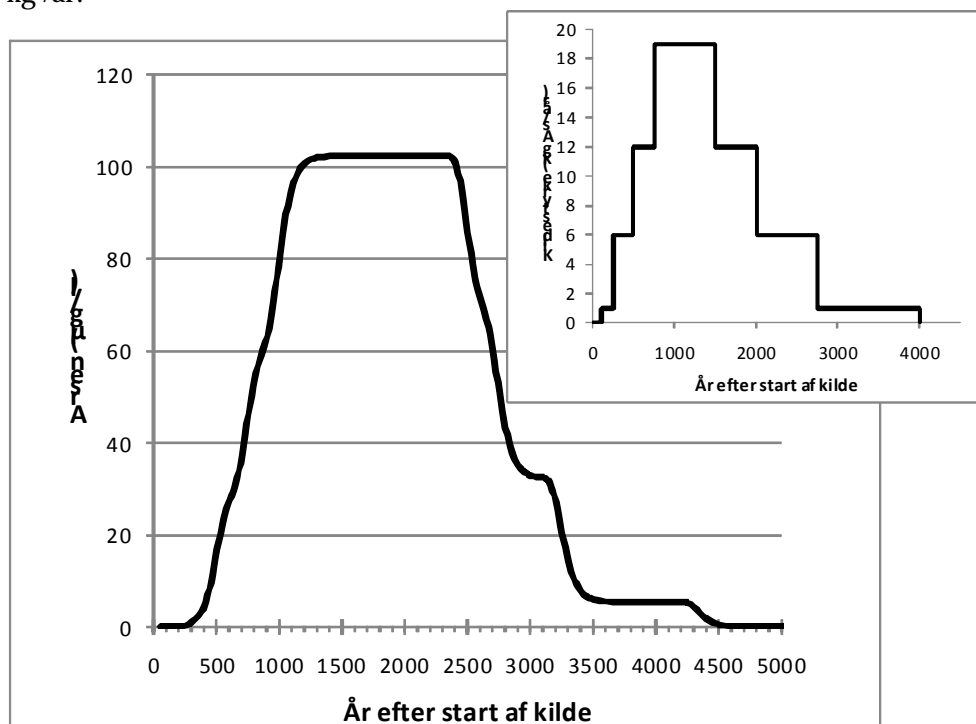
Afstanden til Esrum sø fra grunden er ca. 1.000 m og derfor er transporttiden for en vandpartikel ca. 3 – 4 år, jf. afsnit 4.6.2, hvor hastigheden af en vandpartikel i det sekundære magasin er vurderet til 294 m/år.

Den effektive transporthastighed for arsen er dog væsentligt langsommere pga. binding til sedimentet. Baseret på en K_d værdi for det sekundære magasin på 20 l/kg og en vandret strømningshastighed på 294 m/år fås en effektiv udbredelseshastighed for arsen i det sekundære magasin på 3 – 4 m/år og dermed en transporttid til Esrum sø på 250 – 300 år. Den samlede transporttid fra de terrænnære hotspots på lokaliteten og til søen er denne tid plus tiden for infiltration fra hotspots til det sekundære magasin (se Figur 14), som kan vurderes at være af samme størrelsesorden – ca. 250 år – det fulde gennembrud kommer først efter mere end 4000 år.

Dette er illustreret med resultaterne af modelberegningerne i Figur 15. Som input er der anvendt en kildestyrkefunktion der stort set svarer til 90 % signifikansniveauet i Figur 14. Der er anvendt superposition af et antal løsninger med forskellige randbetingelser for kildestyrke og varighed for at løse det matematiske problem analytisk.

Belastningen af Esrum sø fra det sekundære magasin vil således de første 500 år efter start af hotspots være mindre end 4 kg/år (jf. i Figur 15 svarende til ca.

20 µg/l). Tilsvarende vil belastningen efter ca. 1.500 år maksimalt være ca. 19 kg /år.



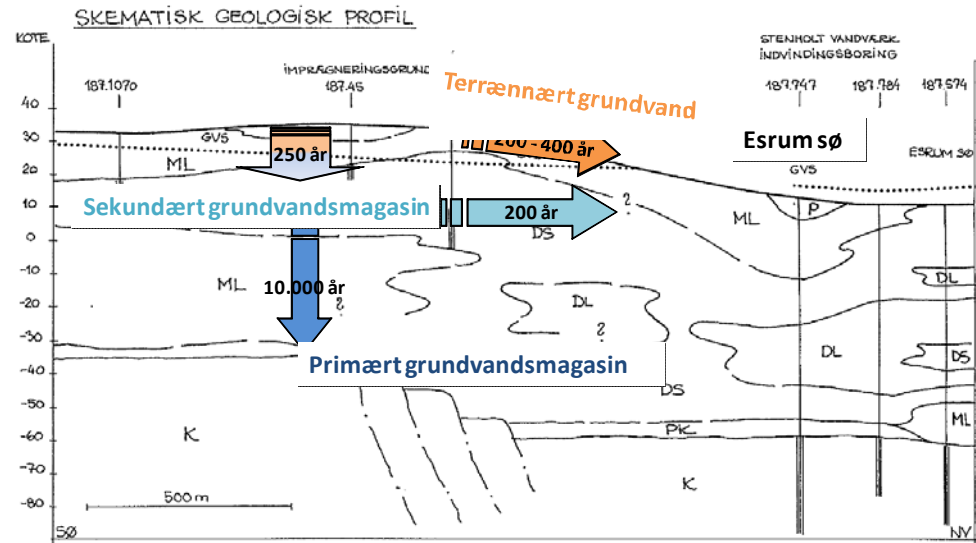
Figur 15. Den gennemsnitlige koncentration af arsen i det sekundære grundvand ved udløb i Esrum Sø (1000 m nedstrøm for Collstrup grunden). Den maksimale værdi på ca. 100 µg As/l svarer til en kildestyrke på 19 kg As/år. Den indsatte figur viser den anvendte kildestyrke funktion umiddelbart under Collstrupgrunden, jf. Figur 14.

6.3.5 Transport via det primære grundvand

Boringer fra området viser et beskyttende lerlag mellem det sekundære og det primære sandmagasin (Esrum sandet). Som beskrevet i afsnit 4.4.3 er der en betydelig højdeforskel i trykniveauet på 7 – 8 meter mellem de to magasiner, hvilket betyder at lerlaget må formodes at være sammenhængende.

Den gennemsnitlige grundvandsdannelse til det primære magasin er vurderet til 30 – 40 mm/år jf. afsnit 4.6.3. Som vist i Figur 11, svarer dette til en lodret porehastighed på 0,20 – 0,027 m/år (effektiv porøsitet på ca. 15 %). Ved anvendelse af en K_d værdi på 20 l/kg fås en effektiv lodret transporthastighed for arsen til det primære magasin på ca. 0,002 – 0,003 m/år. Dette svarer til en transport tid til det primære magasin på ca. 10.000 år – altså selv i geologisk sammenhæng en periode af betydelig varighed. Da den vandrette hastighedskomponent i det sekundære magasin er 100 – 1000 gange større end de lodrette hastigheder vil forureningen kun spredes i den øverste del af det sekundære magasin.

6.4 Samlet vurdering af arsen transport med grundvand



Figur 16. Resultaterne fra den udførte undersøgelse af de typiske tidsskaler for transport af arsen med grundvand via terrænnært, sekundært og primært grundvand. Gennembruddet til det sekundære magasin er baseret på Monte Carlo simuleringer ud fra 90 % signifikansniveauet. Gennembruddet via det terrænnære magasin er 50 % gennembrud i en afstand af 100 meter

Ovenfor er der i Figur 16 samlet resultaterne fra undersøgelsen af de typiske transporttider for arsen i de optrædende grundvandsmagasin.

Transporten via det terrænnære grundvand er koblet til transporten i de eksisterende grøftesystemer mellem den forurenede lokalitet og Esrum Sø. Op mod en tredjedel af det lokalt dannede grundvand på den forurenede lokalitet strømmer ud denne vej og det vurderes at kildestyrken også er en tredjedel af den samlede kildestyrke.

De udførte beregninger viser, at belastning af Esrum sø først vil nå det maksimale niveau ca. 500 – 1.000 år efter start af forureningskilden.

Efterhånden som forureningen spredes i et større volumen i grundvandsmagasinerne vil kildestyrken falde, men det vurderes at den maksimale påvirkning af Esrum sø kan nå ca. 20 kg/år.

7 Konklusioner og anbefalinger

På basis af gennemgangen af eksisterende rapporter om forureningstilstanden på Collstropgrunden samt nærværende supplerende undersøgelse i form af udførelse af nye boringer og pejlinger, analyse af vandprøver fra eksisterende og nye boringer samt analyse af sedimentprøver fra nye boringer, kan følgende konkluderes:

- Geologiske og hydrogeologiske data fra nye boringer har bekræftet og underbygget resultaterne fra tidligere undersøgelser. Nye pejlinger viser, at grundvandets højdeforhold og strømningsretninger er uændrede i forhold til 1989-90. I det terrænnære magasin er grundvandets strømningsretning hovedsagelig østlig, og i det sekundære magasin er strømningsretningen nordlig mod Esrum Sø.
- De geologiske profiler har vist et lag af moræneler under det terrænnære magasin overalt på grunden og i boringer tæt på grunden. Der er således ingen direkte hydraulisk kontakt mellem det terrænnære og det sekundære magasin som anført i tidligere rapporter. En revideret analyse af prøvepumpningsdata dokumenterer den hydrauliske effekt af dette.
- Tolkning af tidligere og nye prøvepumpningsresultater har givet følgende værdier af de hydrauliske parametre: For det terrænnære magasin fås en transmissivitet på ca. $T = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ svarende til en hydraulisk ledningsevne på ca. $K = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Det terrænnære magasin har overvejende frit vandspejl. For det sekundære magasin fås typisk $T = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ svarende til en hydraulisk ledningsevne på ca. $K = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Det sekundære magasin har spændt vandspejl med et magasintal på $S = 2 \cdot 10^{-4}$. En repræsentativ værdi af den vertikale hydrauliske ledningsevne i det dækkende lerlag er $K' = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$.
- Den supplerende undersøgelse har ikke kunnet påvise forøgede indhold af arsen i det sekundære grundvandsmagasin.
- Der er påvist et forøget indhold af fluorid på 0,4 mg/l i ny boring MD1 umiddelbart øst for grunden og det vurderes at dette skyldes at forurening rent faktisk transporteres bort fra grunden via det sekundære grundvandsmagasin.
- Indholdet af kobber og krom i grundvand og sedimenter i de udførte analyser er på baggrundsniveau.
- Resultaterne fra undersøgelsen af sedimentprøver fra de udførte boringer har vist, at der er en betydelig pulje af jernoxider i den umættede zone under lokaliteten svarende til 3.600 tons jern. Denne jernoxidpulje udgør en effektiv forsinkelsesmekanisme for udbredelse af arsen forureningen i grundvandet.
- Det vurderes at afstrømningen fra Collstropgrunden via det terrænnære magasin er i størrelsesordenen 4.000 $\text{m}^3/\text{år}$ og i det sekundære magasin 185.400 $\text{m}^3/\text{år}$. Den lokale grundvandsdannelse vurderes til 100 – 200 $\text{mm}/\text{år}$ – heraf er grundvandsdannelsen til det sekundære magasin vurderet til 35 – 135 $\text{mm}/\text{år}$ og til det primære magasin 30 – 40 $\text{mm}/\text{år}$.
- Den effektive transporthastighed for vandpartikler er ca. 76 $\text{m}/\text{år}$ i det terrænnære magasin og ca. 294 $\text{m}/\text{år}$ i det sekundære magasin – dvs.

transporttiden fra Collstropgrunden til Esrum sø er 2 – 4 år for grundvandet.

- Arsen tilbageholdes i grundvandsmagasinerne sedimentfase og transporteres dermed væsentligt langsommere end en grundvandspartikel. I det terrænnære grundvand forventes forureningsfanens længde på nuværende tidspunkt at være omkring 50 meter – de forhøjede koncentrationer af arsen i grøftesystemerne fortolkes som et resultat af denne transport.
- Arsen kan transporteres til Esrum Sø med terrænnært grundvand via de afskærende grøfter. En transport gennem det sekundære grundvandsmagasin er mulig.
- Arsens effektive transporttid til søen er væsentligt længere end grundvandets pga. adsorption til sedimenterne. Transporttiden i det terrænnære grundvandsmagasin til grøftesystemet er beregnet til i størrelsesorden 200 – 400 år
- Arsens transporttid til søen gennem det sekundære magasin er beregnet til ca. 450 år.
- Transporttiden via det primære magasin for arsen er i størrelsesorden 10.000 år.
- Den samlede kildestyrke for udvaskning af arsen med grundvand er vurderet til 3 – 30 kg/år baseret på eksisterende målinger af arsenkoncentrationen i terrænnært grundvand på selve Collstropgrunden og den vandbalance, der er opstillet i forbindelse med denne undersøgelse.
- Arsenpåvirkningen af Esrum sø vil først nå det maksimale niveau ca. 500 – 1.000 år efter at forureningen er opstået. Efterhånden som forureningen spredes i et større volumen i grundvandsmagasinerne vil kildestyrken falde, men det vurderes at den maksimale påvirkning af Esrum sø kan blive ca. 20 kg As/år.
- Den maksimale koncentration af arsen i det terrænnære grundvand vurderes at kunne nå ca. 2.500 µg As/l efter 400 år.
- Det er vurderet at koncentrationen af arsen i det sekundære magasin som helhed kan stige til ca. 100 µg As/l efter 750 år.
- Koncentrationen af arsen i grøfterne vurderes at kunne nå maksimalt ca. 2.500 µg As/l i vandet og 2.500 mg As/kg i sedimentet efter 400 år.
- Det foreslås, at der etableres et overvågningsprogram for henholdsvis det terrænnære og sekundære grundvand, og overfladevandet i grøftesystemet samt for grøftesedimentet omkring Collstropgrunden. Programmet gennemføres med ti års interval, første gang i 2015.

8 Litteratur

1. DGU, 1977: Rapport over Undersøgelse af forureningstilstanden ved Collstrops imprægneringsanstalt, Stenholtsvang, Hillerød.
2. A/S Samfundsteknik, 1989: Forureningsundersøgelse af tidligere imprægneringsanstalt, Stenholtsvang, Hillerød kommune.
3. A/S Samfundsteknik, 1990: Kemikalieaffaldsdepot 219-3, Stenholtsvang. Forureningsundersøgelse Fase 3 og sammenfattende undersøgelsesrapport.
4. Cowi, 1994: Arsen i Møllekrogen, Esrum Sø. Fase 2, Arsenakkumulering.
5. VKI, 1994: Udvaskning af arsen.
6. Rambøll, 1996: Affaldsdepot 219-3, Stenholtsvang - Oprensning af grøfter. Afslutningsrapport.
7. Rambøll, 1996: Stenholtsvang.
8. Falkenberg, 2006: Miljøteknisk undersøgelse af grøfter samt Hjortedamssø og Mølledambeliggende ved tidligere træimprægneringsgrund Collstrop i Stenholtsvang ved Hillerød (Depot 219-3).
9. Niras, 2000: Affaldsdepot 219-3 Stenholtsvang. Monitorering af arsenspredning. Monitoreringsrapport 1.
10. Orbicon, 2010: Arsentransport i vandløb ved Collstropgrunden 2008 - 09.
11. DTU Miljø, 2010: Lokalitet nr. 219-3 Collstropgrunden. Udredning vedr. forureningssituationen på og omkring grunden 1977-2009.
12. Cooper, H.H., Jr., J.D. Bredehoeft and I.S. Papadopoulos, 1967: Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water. *Water Resour. Res.* 3(1).
13. Kurt Ambo Nielsen, 2007: Fractured Aquifers - Formation evaluation by well testing. Trafford Publishing.
14. Ernstsen og Rosenberg, 2004: Bilag 11: Geologi, geokemi, mineralogi og sorption af pesticider i unge lerholdige sedimente. KUPA statusrapport for projekt vedr. lerjorde. <http://kupa.dk/publikationer/index.html>
15. Domenico, P.A. and F.W. Schwartz, 1990: *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley and Sons, 2nd. Edition, p. 375.
16. Nielsen, S.S., 2007: Stabilisering af tungmetallforurenet jord med okkerslam fra vandværker. Eksamensprojekt, Institut for Miljø og Ressourcer, DTU, 74 sider.
17. Manning and Goldberg, 1997: Adsorption and Stability of Arsenic(III) at the Clay Mineral - Water Interface. *Environ. Sci. Technol.* **31**, 7, pp. 2005 - 2011.
18. Raven et Al., 1998: Arsenite and Arsenate Adsorption on Ferrihydrite: Kinetics, Equilibrium, and Adsorption Envelopes. *Environ. Sci. Technol.* **32**, 3, pp. 344 - 349.
19. Jung et al., 2009: Field, Laboratory, and Modeling Study of Reactive Transport of Groundwater Arsenic in a Coastal Aquifer. *Environ. Sci. Technol.* **43**, 14, pp. 5333 - 5338.
20. Dzombak and Morel, 1990: *Surface Complexation Modeling - Hydrous Ferric Oxide*. John Wiley and Sons, 393 pages.
21. Ovesen et al., 2001: Afstrømningsforhold i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU, nr. 340. Fagdatacenter for hydrometri.

22. Miljøstyrelsen, 1998: Oprydning på forurenede lokaliteter – Appendiks 5.8. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 7, 1998.
23. Region Hovedstaden, 2010: Collstrop-grunden, Hillerød. Lokalisering af boringer til terrænnært og sekundært magasin.
24. DGU, 1975: Nordvand, Grundvandsundersøgelse ved Esrum Sø.
25. Region Hovedstaden, 2008: Grundvandspotentiale i kalkmagasinet.
26. Henrik Aktor (1990): Okkerslam: Et naturprodukt eller kemisk affald? - Vandteknik, 1, februar 1990, 33 - 38
27. Aktor, H. og Andreasen, J. 2003: Fjernelse af arsen fra drikkevand, danskVAND, 71(7), 428-434.
28. Larsen, F. og Kjøller, C. (2009): Arsen i dansk grundvand og drikkevand - Bind 1: Arsen i dansk grundvand. By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet
29. Miljøstyrelsen, 1998: Oprydning på forurenede lokaliteter – Appendiks 5.6. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 7, 1998.
30. Bear, J., 1972: Dynamics of Fluids in Porous Media. Elsevier, New York.

Bilagsrapport til Undersøgelse og risikovurdering af Collstropgrunden i forhold til Esrum Sø

**Bilag 1. Tolkning af prøvepumpningsdata målt af Samfundsteknik og
GEO**

Baggrund

Samfundsteknik udførte prøvepumpninger af ca. 2,5 dages varighed på følgende boringer til det sekundære magasin: B59, B60, B61, B62, B63, B64 og B5. Der blev ikke pejlet i pumpeboringerne, kun i pejleboringer til det sekundære magasin. De målte sænkninger var i alle tilfælde relativt små, op til 0,2 m. Ydelserne var ca. 3 m³/t. Tolkningerne er vist som dimensionsløse plots. De originale data kan ses i Samfundstekniks rapport fra 1990.

Som tolkningsmodel er valgt Streltsova's model for flere magasiner. Metoden er beskrevet i /13/. Den dimensionsløse tid t_D er

$$t_D = \frac{4Tt}{r^2(S+S')}, \text{ hvor}$$

T er transmissiviteten, t er tiden siden start af pumpning, r er afstanden til pejleboringen, S er magasintallet i det pumpede magasin og S' er magasintallet i det øvre magasin. Den dimensionsløse sænkning er

$$s_D = \frac{4\pi Ts}{Q}, \text{ hvor}$$

s er sænkningen og Q er ydelsen. Parameteren B er

$$B = \sqrt{\frac{m'T}{2K'}},$$

hvor m' er tykkelsen af det adskillende lerlag og K' er lerlagets vertikale hydrauliske ledningsevne.

Formlerne til bestemmelse af hydrauliske parametre er

$$T = \frac{Q}{4\pi s_{MP}}$$

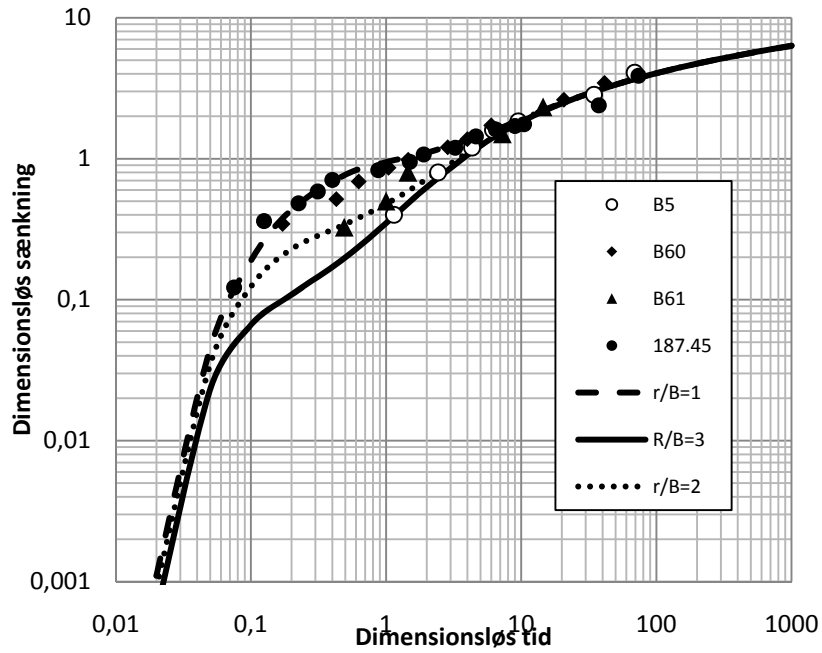
$$S + S' = \frac{4Tt_{MP}}{r^2}$$

$$K' = \frac{(r/B)^2 T m'}{2r^2}$$

$$\omega = \frac{S'}{S'+S}$$

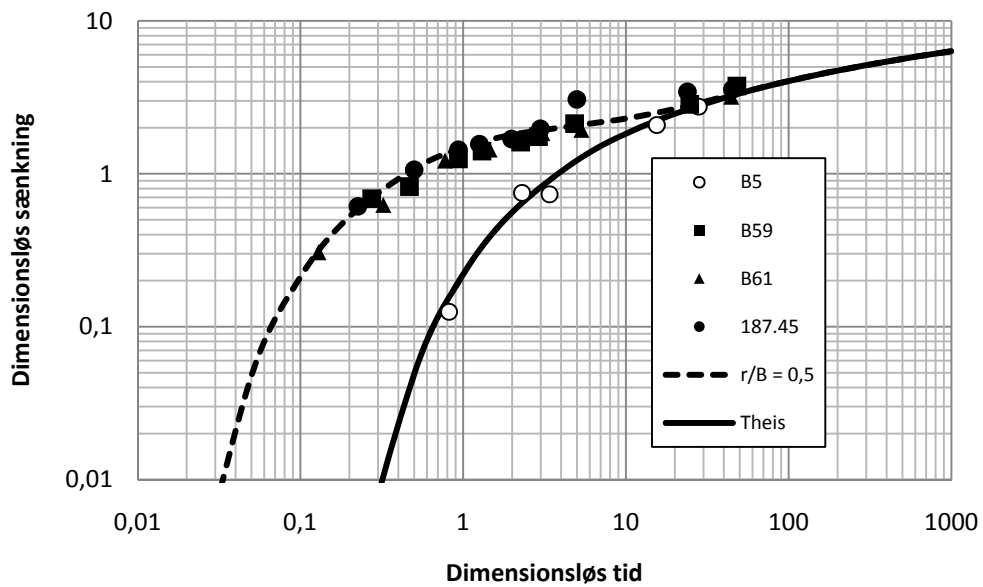
hvor s_{MP} er sænkningen for matchpoint, og t_{MP} er tiden for matchpoint.

Prøvepumpning på B 59



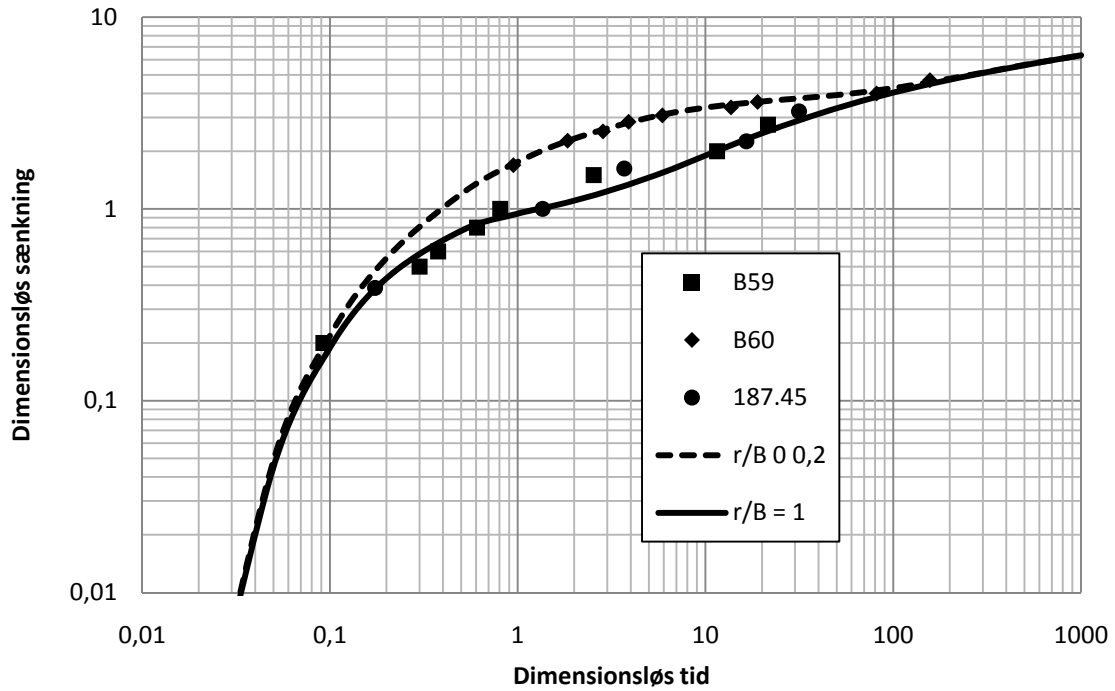
Dimensionsløst plot af sænkningen i pejleboringer under prøvepumpning på B59. Ydelsen var $3,0 \text{ m}^3/\text{t}$.

Prøvepumpning på B60



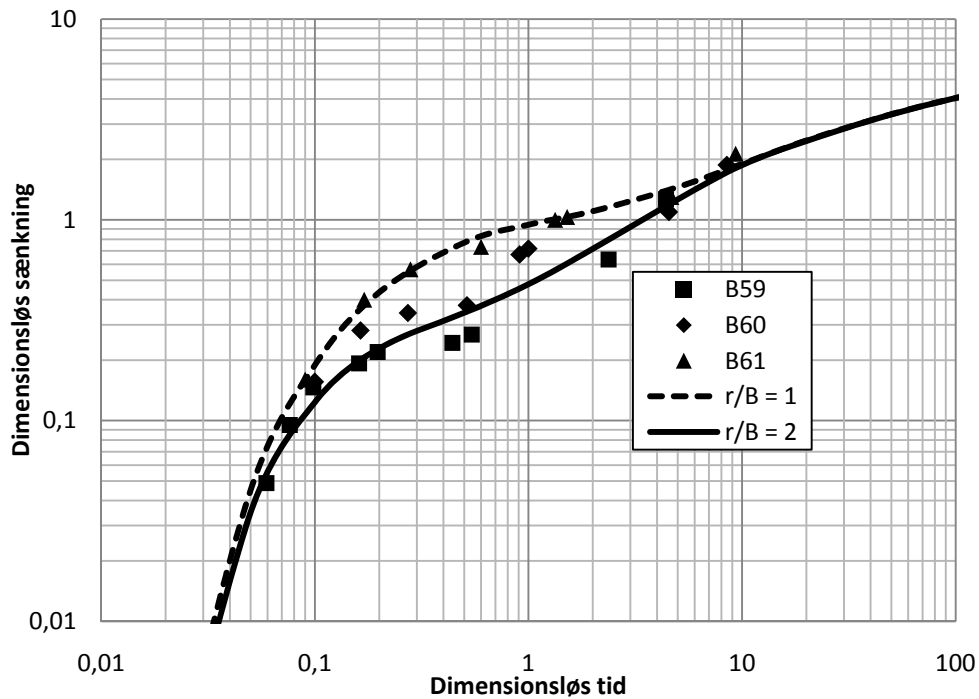
Dimensionsløst plot af sænkningen i pejleboringer under prøvepumpning på B60. Ydelsen var $3,11 \text{ m}^3/\text{t}$.

Prøvepumpning på B61



Dimensionsløst plot af sænkningen i pejleboringer under prøvepumpning på B61. Ydelsen var $3,28 \text{ m}^3/\text{t}$.

Prøvepumpning på B62

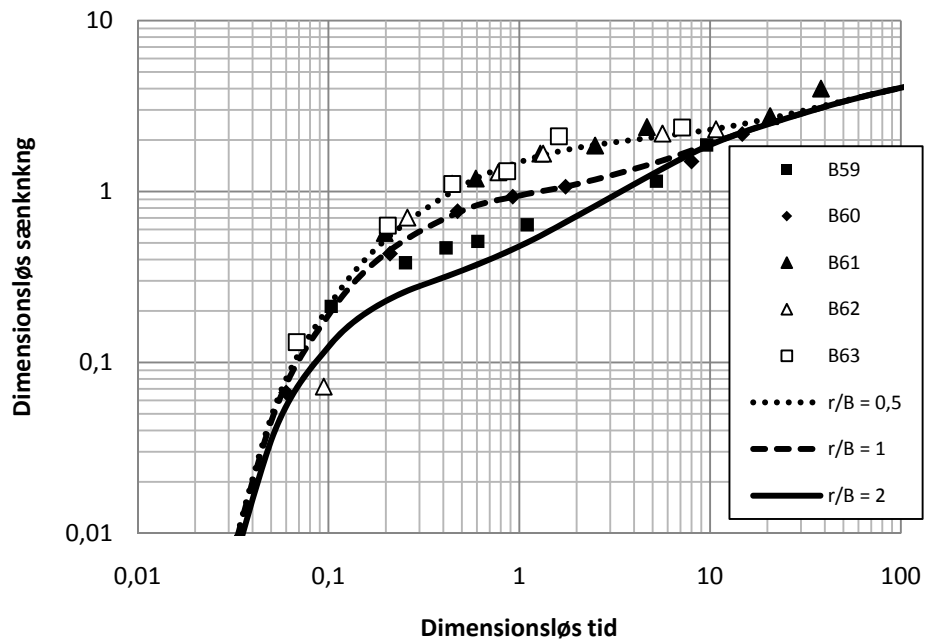


Dimensionsløst plot af sænkningen i pejleboringer under prøvepumpning på B62. Ydelsen var $3,31 \text{ m}^3/\text{t}$.

Prøvepumpning på B63

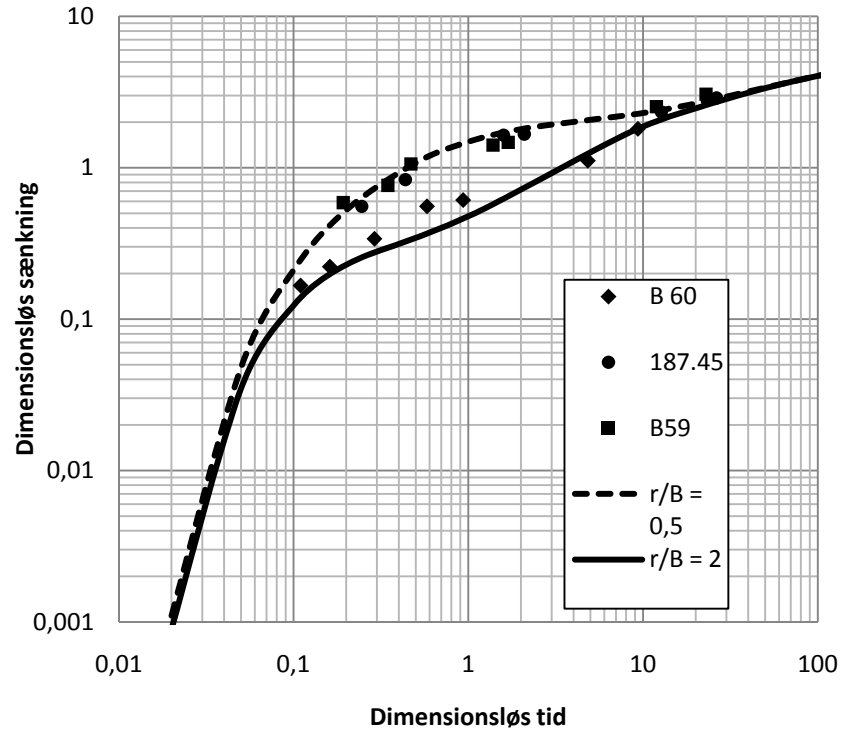
Boring 63 blev prøvepumpet med $3,0 \text{ m}^3/\text{t}$. Afstanden til observationsboringerne var relativt stor og sænkningerne mindre end $0,03 \text{ m}$, ligesom pejlehyppigheden var lav. En tolkning af data er derfor for usikker.

Prøvepumpning på B64



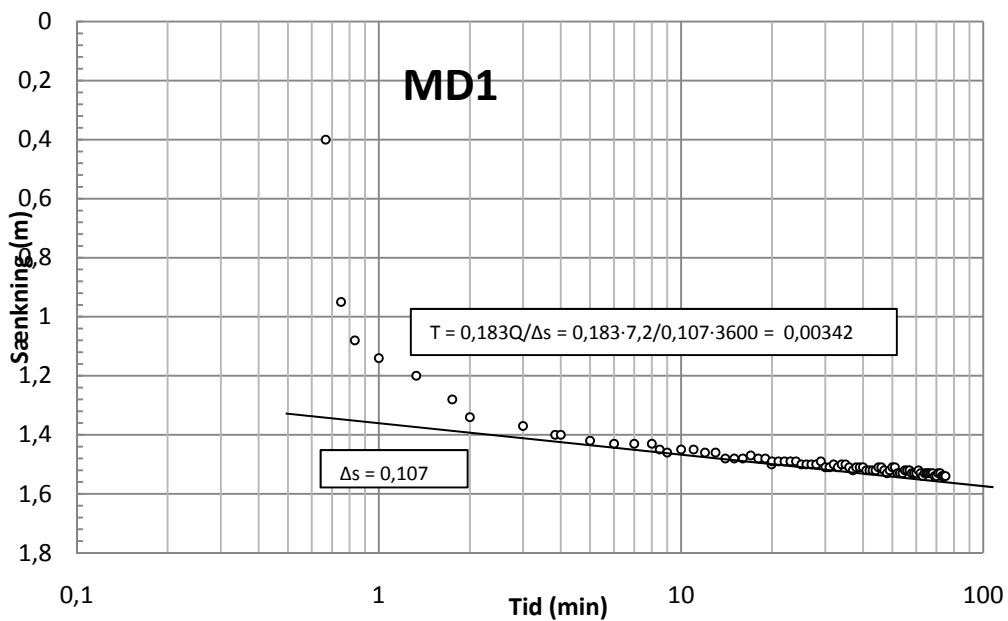
Dimensionsløst plot af sænkningen i pejleboringer under prøvepumpning på B64. Ydelsen var $3,0 \text{ m}^3/\text{t}$.

Prøvepumpning på B5



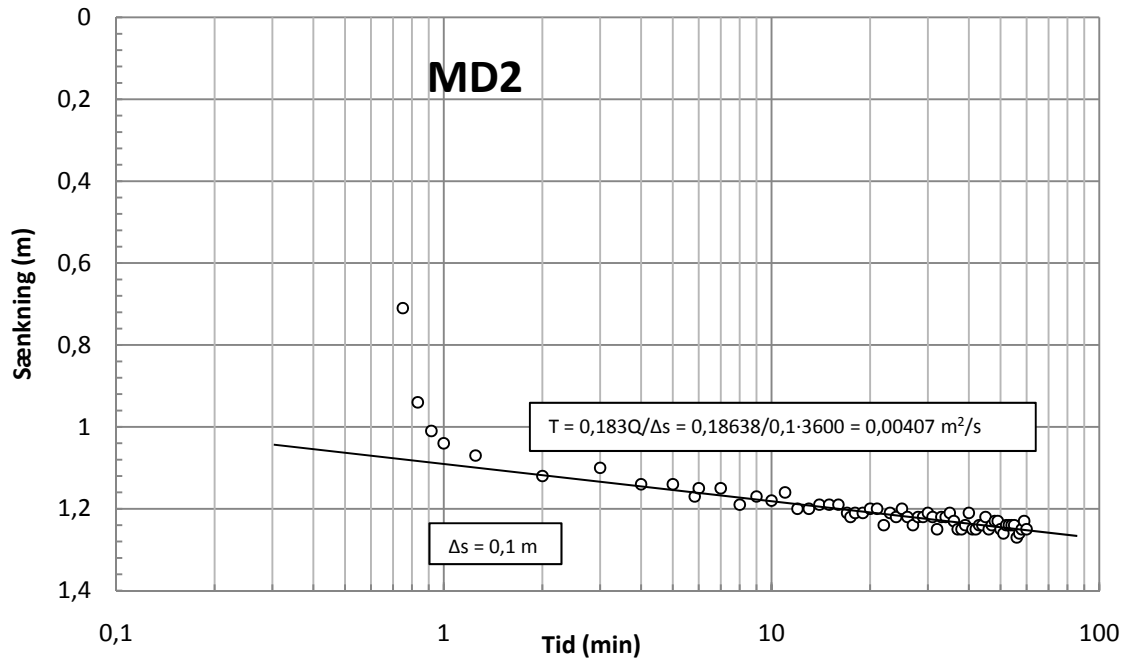
Dimensionsløst plot af sænkningen i pejleboringer under prøvepumpning på B5. Ydelsen var $3,05 \text{ m}^3/\text{t}$.

Renpumpning på MD1



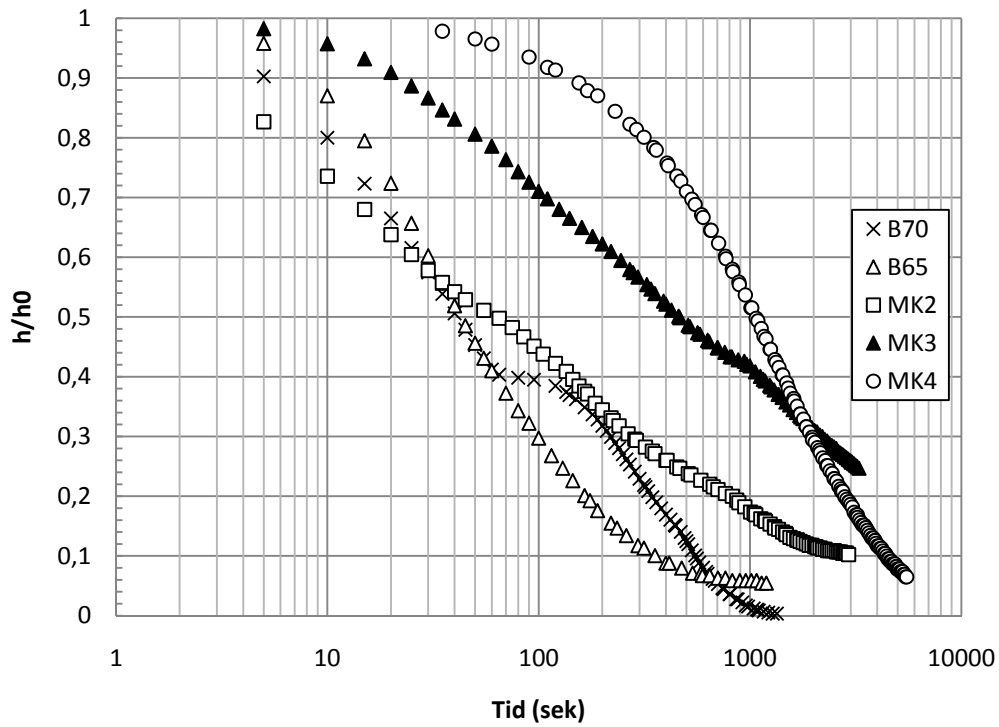
Tolkning af sænkingsdata fra renpumpning på Bor. MD1

Renpumpning på MD2



Tolkning af sænkingsdata fra renpumpning på Bor. MD2.

Slugtets



Data fra udførte slugtests

Bilag 2. Borejournaler

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MD1	Start Dato	2010-10-28	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB

STOP	Dato	2010-10-29			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	20.00	Boring tør under borearbejdet	Nej	
	Stop Årsag	Max dybde			
	Noter til borearbejdet:				
	Fræset fra 12.00-12.30 mut. (1 time)				

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)
	0.40
	2.70
	10.60

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve	
0.20		F	Ingen Prøve	MULD, Brunt, sandet, ibl. Rødder	Nej	
0.40				-----LAGGRÆNSE-----		
1.00		1	Pose	SAND, Brunt, fint/mellem, leret/siltet, stenet, ibl. Rødder	Nej	
2.00		2	Pose	SAND, Brunt, fint/mellem, leret/siltet, stenet, ibl. Rødder	Nej	
2.70				-----LAGGRÆNSE-----		
3.00		3	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker	Nej	
4.00		4	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker	Nej	
5.00		5	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet/siltet, stenet, ibl. Okker	Nej	
6.00		6	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet/siltet, stenet, ibl. Okker	Nej	
7.00		7	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet/siltet, stenet, ibl. Okker	Nej	
8.00		8	Pose	LER, (Gråbrunt fra 7.40 mut.), kraftigt sandet/siltet, stenet, ibl. Okker	Nej	
9.00		9	Pose	LER, (Grå fra 8.60 mut.), kraftigt sandet/siltet, stenet, ibl. Okker	Nej	
10.00		10	Pose	LER, Grå, kraftigt sandet/siltet, stenet, (ibl. VF. Sandstriber fra 9.10 mut.)	Nej	
10.60				-----LAGGRÆNSE-----		
11.00		11	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, leret, VF.	Nej	
12.00		12	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, leret, VF.	Nej	
13.00		13	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, (uden ler fra 12.60 mut.), VF.	Nej	
14.00		14	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej	
15.00		15	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej	
16.00		16	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej	

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MD1	Start Dato	2010-10-28	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB
	17.00	17	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej
	18.00	18	Pose	SAND, Grå, (fint/mellem på 17.60 mut.), VF.	Nej
	19.00	19	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, VF.	Nej
	20.00	20	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, VF.	Nej

Foringsrør		
Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type	
20.00	8" Foring	

Værktøj anvendt under borearbejdet			
Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)	
Håndboring	0.00	1.50	
Snegl	1.50	12.00	
Fræser	12.00	12.30	
Kop	12.30	14.00	
Sand Spand	14.00	20.00	

Filtorrør							
Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt							
Filtorrør Nr.	Filtorrør Type	Filtorrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)
1	PVC	125	-0.60	20.00	20.00	6.00	0.50

Indbyg						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type		Mængde Definition	Mængde	
0.00	1.00	Fyld		Ingen	0	
1.00	12.00	Bentonit		Sække	16	
12.00	20.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)		Sække	10	

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MD2	Start Dato	2010-10-25	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB

STOP	Dato	2010-10-26			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	20.00	Boring tør under borearbejdet	Nej	
	Stop Årsag	Max dybde			
	<i>Noter til borearbejdet:</i>				

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)
	0.70
	1.40
	2.80
	3.10
	6.70
	10.30
	11.40
	13.10

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve	
0.50		F	Ingen Prøve	MULD, Brunt, sandet, ibl. Okker og rødder	Nej	
0.70				-----LAGGRÆNSE-----		
1.00		1	Pose	SAND, Brunt, fint, leret, ibl. Okker og rødder	Nej	
1.40				-----LAGGRÆNSE-----		
2.00		2	Pose	LER, Brunt, sandet, ibl. Grå sandstriber og okker	Nej	
2.80				-----LAGGRÆNSE-----		
3.00		3	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, stenet	Nej	
3.10				-----LAGGRÆNSE-----		
4.00		4	Pose	SAND, Brunt, fint, siltet, svagt VF.	Nej	
5.00		5	Pose	SAND, Brunt, fint, siltet, (leret på 4.30 mut.) VF.	Nej	
6.00		6	Pose	SAND, Brunt, (fint/mellem på 5.60 mut. Og stenet), siltet, leret VF.	Nej	
6.70				-----LAGGRÆNSE-----		
7.00		7	Pose	LER, Gråbrunt, kraftigt sandet, VF.	Nej	
8.00		8	Pose	LER, Gråbrunt, kraftigt sandet, VF.	Nej	
9.00		9	Pose	LER, Gråbrunt, kraftigt sandet, VF.	Nej	
10.00		10	Pose	LER, Gråbrunt, kraftigt sandet, VF.	Nej	
10.30				-----LAGGRÆNSE-----		
11.00		11	Pose	MORÆNELER, Grå, sandet, gruset, ibl. VF. Sandstriber	Nej	
11.40				-----LAGGRÆNSE-----		

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej							
Bor Nr.	MD2	Start Dato	2010-10-25	Felttekniker(e)	BAO			
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A			
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A			
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB			
	12.00	12	Pose	SAND, Gråbrun, fint/mellem, leret, ibl. Okker, VF.	Nej			
	13.00	13	Pose	SAND, Gråbrun, fint/mellem, leret, ibl. Okker, VF.	Nej			
	13.10			-----LAGGRÆNSE-----				
	14.00	14	Pose	SAND, Gråbrunt, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
	15.00	15	Pose	SAND, Gråbrunt, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
	16.00	16	Pose	SAND, Gråbrunt, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
	17.00	17	Pose	SAND, (Grå på 16.10), fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
	18.00	18	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
	19.00	19	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
	20.00	20	Pose	SAND, Grå, fint/mellem, gruset, stenet, VF.	Nej			
Foringsrør								
	Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type						
	20.00	8" Foring						
Værktøj anvendt under borearbejdet								
	Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)					
	Snegl	0.00	12.00					
	Kop	12.00	13.00					
	Sand Spand	13.00	20.00					
Filterrør Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt								
	Filterrør Nr.	Filterrør Type	Filterrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)
	1	PVC	125	-0.65	20.00	20.00	6.00	0.50
Indbyg								
	Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type		Mængde Definition	Mængde		
	0.00	1.00	Fyld		Ingen	0		
	1.00	12.00	Bentonit		Sække	11		
	12.00	20.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)		Sække	11		

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MK2	Start Dato	2010-10-27	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB

STOP	Dato	2010-10-27			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	5.00	Boring tør under borearbejdet		Nej
	Stop Årsag	Max dybde			
	<i>Noter til borearbejdet:</i>				

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)
	0.60
	3.10

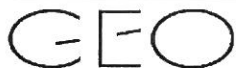
Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve	
0.50		F	Ingen Prøve	MULD, Brunt, sandet, ibl. Rødder	Nej	
0.60				-----LAGGRÆNSE-----		
1.00		1	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker og Rødder, fugtigt	Nej	
2.00		2	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker og Rødder, fugtigt	Nej	
3.00		3	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker, fugtigt	Nej	
3.10				-----LAGGRÆNSE-----		
4.00		4	Pose	SAND, Brunt, fint/mellem, siltet, ibl. Okker og lerstriber	Nej	
5.00		5	Pose	SAND, Brunt, fint/mellem, siltet, ibl. Lerstriber, (VF. Fra 4.10 mut.)	Nej	

Foringsrør	Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type
	5.00	8" Foring

Værktøj anvendt under borearbejdet			
Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)	
Snegl	0.00	4.00	
Kop	4.00	5.00	

Filtorrør	Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt							
Filtorrør Nr.	Filtorrør Type	Filtorrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)	
1	PVC	125	-0.70	5.00	5.00	1.00	0.50	

Indbyg	Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type	Mængde Definition	Mængde
	0.00	1.00	Fyld	Ingen	0
	1.00	3.00	Bentonit	Sække	3



FELTJOURNAL

Side 2 af 2

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MK2	Start Dato	2010-10-27	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB
	3.00	5.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække	4

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MK3	Start Dato	2010-10-29	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB

STOP	Dato	2010-10-29			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	5.00	Boring tør under borearbejdet		Nej
	Stop Årsag	Max dybde			
	<i>Noter til borearbejdet:</i>				

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)	
	0.60	

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve	
0.50		F	Ingen Prøve	SAND, Mørkebrunt, gruset, ibl. Asfalt	Nej	
0.60				-----LAGGRÆNSE-----		
1.00		1	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker og rødde, fugtigt	Nej	
2.00		2	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker og rødde, fugtigt	Nej	
3.00		3	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker, fugtigt	Nej	
4.00		4	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker, fugtigt	Nej	
5.00		5	Pose	LER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker. (svagt VF. Fra 4.30 mut.)	Nej	

Foringsrør		
Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type	
4.00	8" Foring	

Værktøj anvendt under borearbejdet			
Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)	
Snegl	0.00	5.00	

Filtorrør Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt								
Filtorrør Nr.	Filtorrør Type	Filtorrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)	
1	PVC	125	-0.60	5.00	5.00	1.00	0.50	

Indbyg						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type	Mængde Definition	Mængde		
0.00	1.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække	1		
1.00	3.00	Bentonit	Sække	2		
3.00	5.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække	2		

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MK4	Start Dato	2010-10-27	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB

STOP	Dato	2010-10-27			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	5.00	Boring tør under borearbejdet	Nej	
	Stop Årsag	Max dybde			
	<i>Noter til borearbejdet:</i>				

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)
	0.40
	1.20
	3.80
	4.60

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve	
0.20		F	Ingen Prøve	MULD, Brunt, sandet, ibl. Rødder	Nej	
0.40				-----LAGGRÆNSE-----		
1.00		1	Pose	SAND, Brunt, fint/mellem, leret, siltet, ibl. Rødder	Nej	
1.20				-----LAGGRÆNSE-----		
2.00		2	Pose	LER, Brunt, sandet, siltet, ibl. Okker og VF. Sandstriber	Nej	
3.00		3	Pose	LER, Brunt, sandet, siltet, ibl. Okker og VF. Sandstriber	Nej	
3.80				-----LAGGRÆNSE-----		
4.00		4	Pose	SAND, Brunt, fint/mellem, siltet, leret, VF.	Nej	
4.60				-----LAGGRÆNSE-----		
5.00		5	Pose	MORÆNELER, Brunt, kraftigt sandet, ibl. Okker og VF. Sandstriber	Nej	

Foringsrør	Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type
	5.00	8" Foring

Værktøj anvendt under borearbejdet			
Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)	
Snegl	0.00	4.00	
Kop	4.00	5.00	

Filtorrør	Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt							
Filtorrør Nr.	Filtorrør Type	Filtorrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)	
1	PVC	125	-0.70	5.00	5.00	1.00	0.50	

Indbyg

Projekt No. / Navn	34214, Hillerød, Jespervej				
Bor Nr.	MK4	Start Dato	2010-10-27	Felttekniker(e)	BAO
Koordinatsystem	N/A	Øst	N/A	Nord	N/A
Reference Punkt	Terræn	Kote System		Kote	N/A
Undersøgelsesudstyr	GEOBene	Boringstype	Miljø	Projektleder	JEB
	Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type	Mængde Definition	Mængde
	0.00	1.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække	2
	1.00	3.00	Bentonit	Sække	3
	3.00	5.00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække	3

Bilag 3. Feltjournal og kemiske analyser

Sag	Dato	Prøvetager
Colstrup	26-aug	Hak

Boring	Vandspejl	Tidspunkt	Flow	Pumpeid	Pumpet	Boringsv	Antal	Temp.	pH	lft	Ledningsevne	Fe	NO ₃	NH ₄ -N	Cr(VI)
	m.u.p.p.	kl	l/min	(min)	(liter)	ol. (l)	borvol. Tømt	°C		mg/l	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
DGU 187.45	12,09	11:35	13,9	40,0	556	112,8	4,9	10,8	7,51	1,7	506	2,68	< 1	0,26	< 0,005
60	8,31	13:20	13,7	60,0	822	129,8	6,4	9,0	7,37	0,1	626	1,85	< 1	0,13	< 0,005
59	9,23	14:55	14,7	55,0	803	114,8	7,0	8,4	6,97	0,0	511	1,22	< 1	0,14	< 0,005
64	3,05	16:15	9,0	55,0	561	177,7	3,2	8,9	7,28	0,1	785	1,68	< 1	0,12	< 0,005
62	3,41	17:45	9,0	45,0	405	179,4	2,3	8,8	6,86	0,2	616	1,29	< 1	0,12	< 0,005
63	4,55	19:15	14,7	55,0	809	184,6	4,3	8,8	6,85	0,0	683	1,49	< 1	0,10	< 0,005
MD1		08-11-2010	120,0	75,0	9000	132,5	68,0								
MD2		08-11-2010	133,0	60,0	7980	181,3	44,0								
MK4		08-11-2010	ca. 1	60,0	60,0	30,0	2,0								



AKTOR innovation
Engsvinget 34
DK-2400 København NV

Telefon
Mobiltelefon
e-mail

AKTOR innovation ApS
 Engsvinget 34
 2400 København Ø
 Henrik Aktor

ANALYSERAPPORT

Udskrevet: 01-09-2010
 Version: 1
 Udtaget: 27-08-2010
 Modtaget: 27-08-2010
 Påbegyndt: 27-08-2010
 Udtaget af: Rekv.

Vand

Sagsnummer: Sag
Kunde: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K
Prøvested: Sag, Colstrupgrunden,

RESULTATER FOR PRØVE 52245-52250

Parameter	Enhed	Metode	DGU 187.45	59	60	62	63	
			52245/10	52246/10	52247/10	52248/10	52249/10	
			<i>Kommentar nr:</i>	*1	*1	*1	*1	*1
Fluorid, F-	mg/l	DS 218,MOD	0.19	0.18	0.17	0.15	0.17	
Arsen, As	µg/l	ICP/MS	0.59	0.15	0.35	0.36	0.12	
Arsen, As, filt F	µg/l	ICP/MS	0.62	0.14	0.35	0.40	0.19	
Chrom, Cr, filt	µg/l	ICP/MS	0.18	0.16	0.20	0.15	0.15	
Kobber, Cu, filt F	µg/l	ICP/MS	0.16	0.07	0.18	0.25	0.96	

Parameter	Enhed	Metode	64
			52250/10
			<i>Kommentar nr:</i>
			*1
Fluorid, F-	mg/l	DS 218,MOD	0.15
Arsen, As	µg/l	ICP/MS	0.41
Arsen, As, filt F	µg/l	ICP/MS	0.47
Chrom, Cr, filt	µg/l	ICP/MS	0.12
Kobber, Cu, filt F	µg/l	ICP/MS	0.17

KOMMENTARER

*1 Arsen, As er bestemt på prøve der er filtreret og efterbehandlet i adsorptiv filterpatron i felten.



Henrik Olsen

AKTOR innovation ApS
 Engsvinget 34
 2400 København NV
 Henrik Aktor

ANALYSERAPPORT

Udskrevet: 22-11-2010
 Version: 1
 Udtaget: 08-11-2010
 Modtaget: 08-11-2010
 Påbegyndt: 08-11-2010
 Udtaget af: Aktor

Vand

Sagsnummer: Sag Colstrup grunden
Kunde: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K
Prøvested: Sag , Colstrupgrunden,

RESULTATER FOR PRØVE 71427-71429

Parameter	Enhed	Metode	MD1	MD2	MK4
			71427/10	71428/10	71429/10
Kommentar nr:			*1	*1	*1
Ledningsevne	mS/m	DS 288	59	69	51
pH	pH	DS 287,AK.26	7.5	7.2	6.6
Ammonium, NH4+	mg/l	DS 224,MOD AK 165	0.114	0.093	0.110
Nitrit, NO2-	mg/l	DS 222,MOD AK 165	<0.0016	0.0069	0.0033
Nitrat, NO3-	mg/l	DS 222+223,MOD,AK165	0.123	0.41	4.10
Fluorid, F-	mg/l	DS 218,MOD	0.40	0.19	0.14
Jern, Fe	mg/l	SM 17udg,3120B	1.5	0.92	0.01
Mangan, Mn	mg/l	SM 17udg,3120B	0.16	0.22	0.14
Natrium, Na+	mg/l	SM 17udg,3120B	20	24	45
Kalium, K+	mg/l	SM 17udg,3120B	1.6	1.3	1.6
Calcium, Ca++	mg/l	SM 17udg,3120B	88	92	38
Magnesium, Mg++	mg/l	SM 17udg,3120B	7	7	10
Hydrogencarbonat, HCO3-	mg/l	DS 253	228	276	232
Sulfat, SO4--	mg/l	SM17udg.1989 4500	45	44	31
Inddampningsrest	mg/l	DS 204	460	322	3410
Aggressiv kuldioxid, CO2	mg/l	DS 236	<2	<2	70
Oxygen, opløst, O2	mg/l	DS 277	-	-	-
NVOC	mg/l	SM 17udg,5310 C	2.1	1.8	2.3
Total fosfor, P	mg/l	DS 292,MOD AK 165	0.075	0.043	1.75
Chlorid, Cl-	mg/l	DS/EN ISO 15682:2001	36	48	31
Arsen, As	µg/l	ICP/MS	0.42	0.45	0.13
Arsen, As, filt F	µg/l	ICP/MS	0.49	0.64	0.28
Chrom, Cr, filt	µg/l	ICP/MS	0.09	0.27	0.14
Kobber, Cu, filt F	µg/l	ICP/MS	0.12	0.81	6.0

KOMMENTARER

*1 Værdien for arsen er resultat af analyse af delprøve filtreret på aluminosilikat i felt



Henrik Olsen

AKTOR innovation ApS
 Engsvinget 34
 2400 København NV
 Henrik Aktor

ANALYSERAPPORT

 Udskrevet: 15-11-2010
 Version: 1
 Udtaget: 08-11-2010
 Modtaget: 08-11-2010
 Påbegyndt: 08-11-2010
 Udtaget af: Aktor

Sediment
Sagsnummer: Sag
Kunde: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K
Prøvested: Sag , Colstrupgrunden,

RESULTATER FOR PRØVE 71433-71439

Parameter	Enhed	Metode	MK4 - 5,0 m	MK4 - 1 4,0 m	MK4 - 1 4,0 m	MD2 15 m	MD2 13 m
			u.t.	u.t. nr. 1	u.t. nr. 2	u.t.	u.t.
			71433/10	71434/10	71435/10	71436/10	71437/10
			<i>Kommentar nr:</i>				
			*1	*1	*1	*1	*1
Arsen, As	mg/kg TS	DS259/ICP	<5	<5	<5	<5	<5
Chrom (total), Cr	mg/kg TS	DS259/ICP	9.7	7.2	7.4	5.1	7.9
Jern, Fe	mg/kg TS	DS259/ICP	9030	8010	8600	2250	2880
Kobber, Cu	mg/kg TS	DS259/ICP	21	6.7	6.9	5.3	2.0
Mangan, Mn	# mg/kg TS	DS259/ICP	162	214	224	53	77
Tørstofindhold	%	DS 204	86.9	85.9	85.5	87.4	87.7

Parameter	Enhed	Metode	MD1 12 m u.t.	MD1 13 m u.t.
			71438/10	71439/10
			<i>Kommentar nr:</i>	
			*1	*1
Arsen, As	mg/kg TS	DS259/ICP	<5	<5
Chrom (total), Cr	mg/kg TS	DS259/ICP	6.8	9.4
Jern, Fe	mg/kg TS	DS259/ICP	4380	4310
Kobber, Cu	mg/kg TS	DS259/ICP	9.4	24
Mangan, Mn	# mg/kg TS	DS259/ICP	93	104
Tørstofindhold	%	DS 204	88.8	89.4

KOMMENTARER

*1 Ingen kommentar

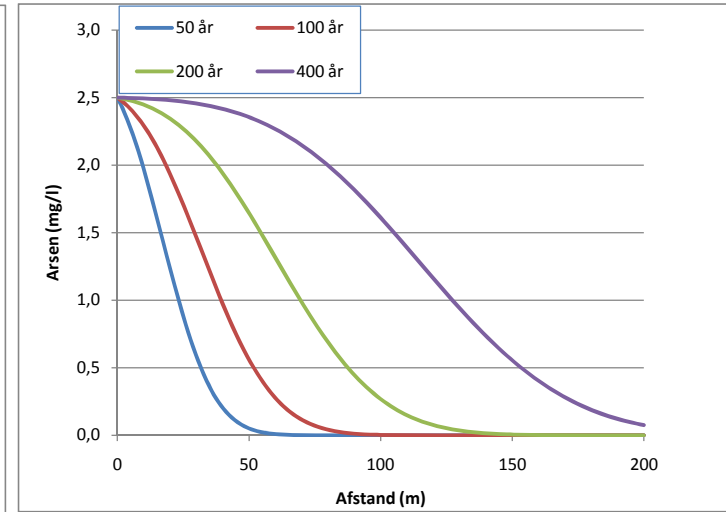
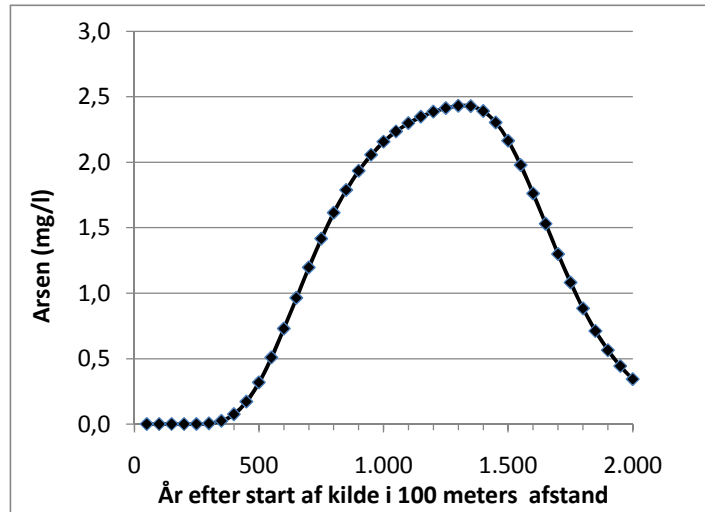


Henrik Olsen

Bilag 4. Modelberegning af vandret transport i terrænnært magasin

Dette regneark simulerer koncentrationen af en specie med en 1-dimensionel transportmodel i mættet zone ud fra kildekonzentration, Darcy hastighed, afstand fra kilde, K_d -værdi, porøsitet, tid

Parameter	værdi	enhed
Kildekoncentration	2,5	mg As/l
DarcyHastighed	16	m/år
Effektiv porøsitet	0,15	
porøsitet	0,4	
Sediment massefylde	2,65	kg/l
K_d	100	l/kg
Retardatonsfaktor R_f	399	
Dispersivitet (α_x)	10	m
Afstand referencepunkt (x)	200	m
Kildevarighed	1000	år
Kontrol areal under kurve	2500,0	mg/l*år



Bilag 5. Crystal Ball Simulering af lodret infiltration

Crystal Ball Report - Custom

Simulation started on 1/31/2011 at 20:38:21

Simulation stopped on 1/31/2011 at 20:38:23

Run preferences:

Number of trials run	1.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95,00%

Run statistics:

Total running time (sec)	0,40
Trials/second (average)	2.474
Random numbers per sec	17.315

Crystal Ball data:

Assumptions	7
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	29
** Frozen items **	6

Assumptions

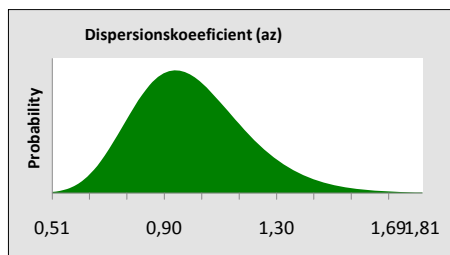
Worksheet: [Kildestyrke_v05_20110123.xlsx]LodretUdvaskning

Assumption: Dispersionskoefficient (az)

Cell: B16

Lognormal distribution with parameters:

Location	0,00
Mean	1,00
Std. Dev.	0,20

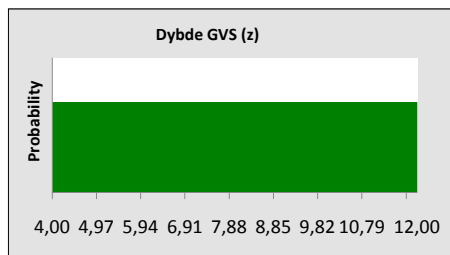


Assumption: Dybde GVS (z)

Cell: B17

Uniform distribution with parameters:

Minimum	4,00
Maximum	12,00

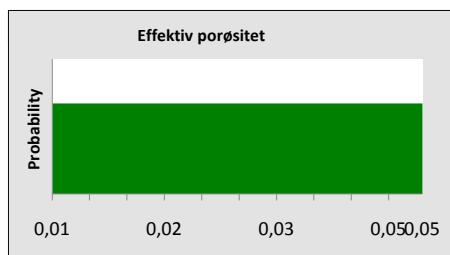


Assumption: Effektiv porøsitet

Cell: B11

Uniform distribution with parameters:

Minimum	0,01
Maximum	0,05

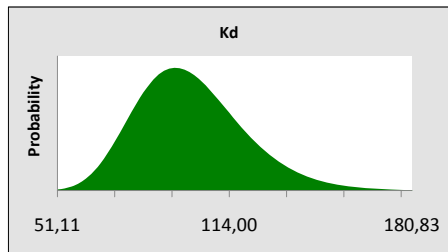


Assumption: Kd

Cell: B14

Lognormal distribution with parameters:

Location 0,00
 Mean 100,00
 Std. Dev. 20,00

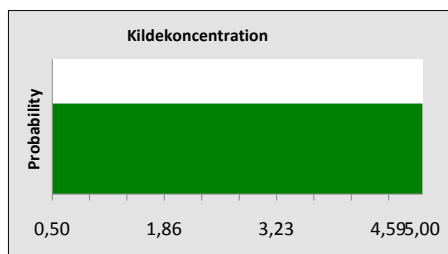


Assumption: Kildekoncentration

Cell: B9

Uniform distribution with parameters:

Minimum 0,50
 Maximum 5,00

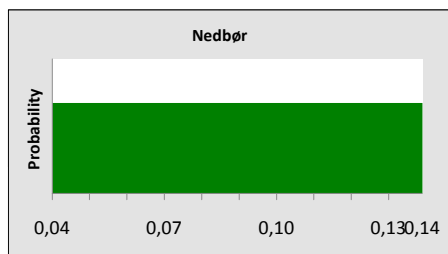


Assumption: Nedbør

Cell: B10

Uniform distribution with parameters:

Minimum 0,04
 Maximum 0,14

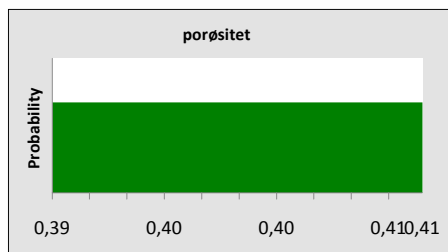


Assumption: porøsitet

Cell: B12

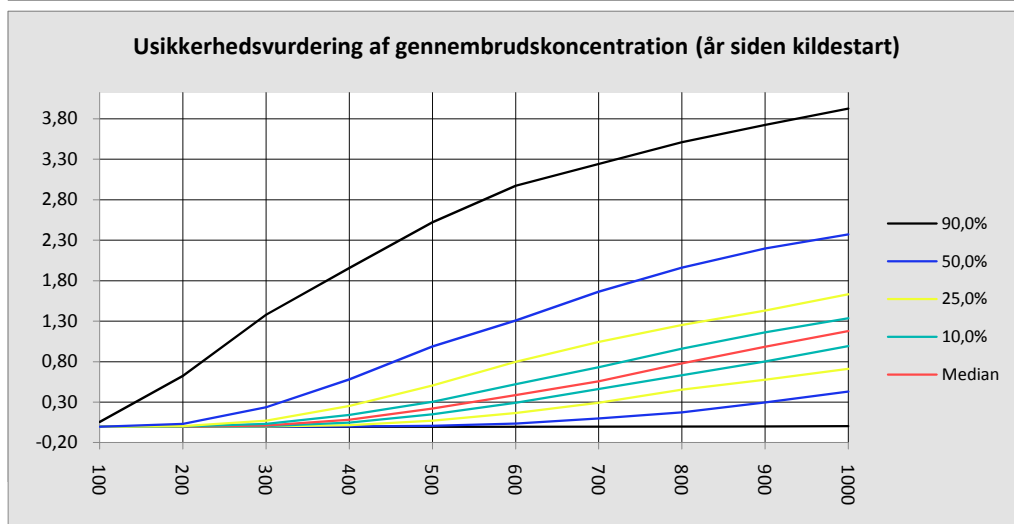
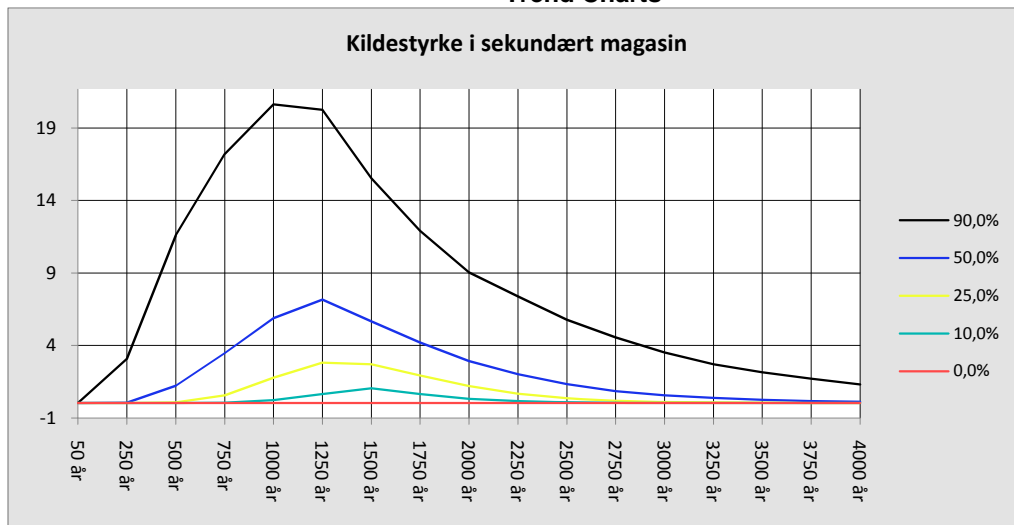
Uniform distribution with parameters:

Minimum 0,39
 Maximum 0,41



End of Assumptions

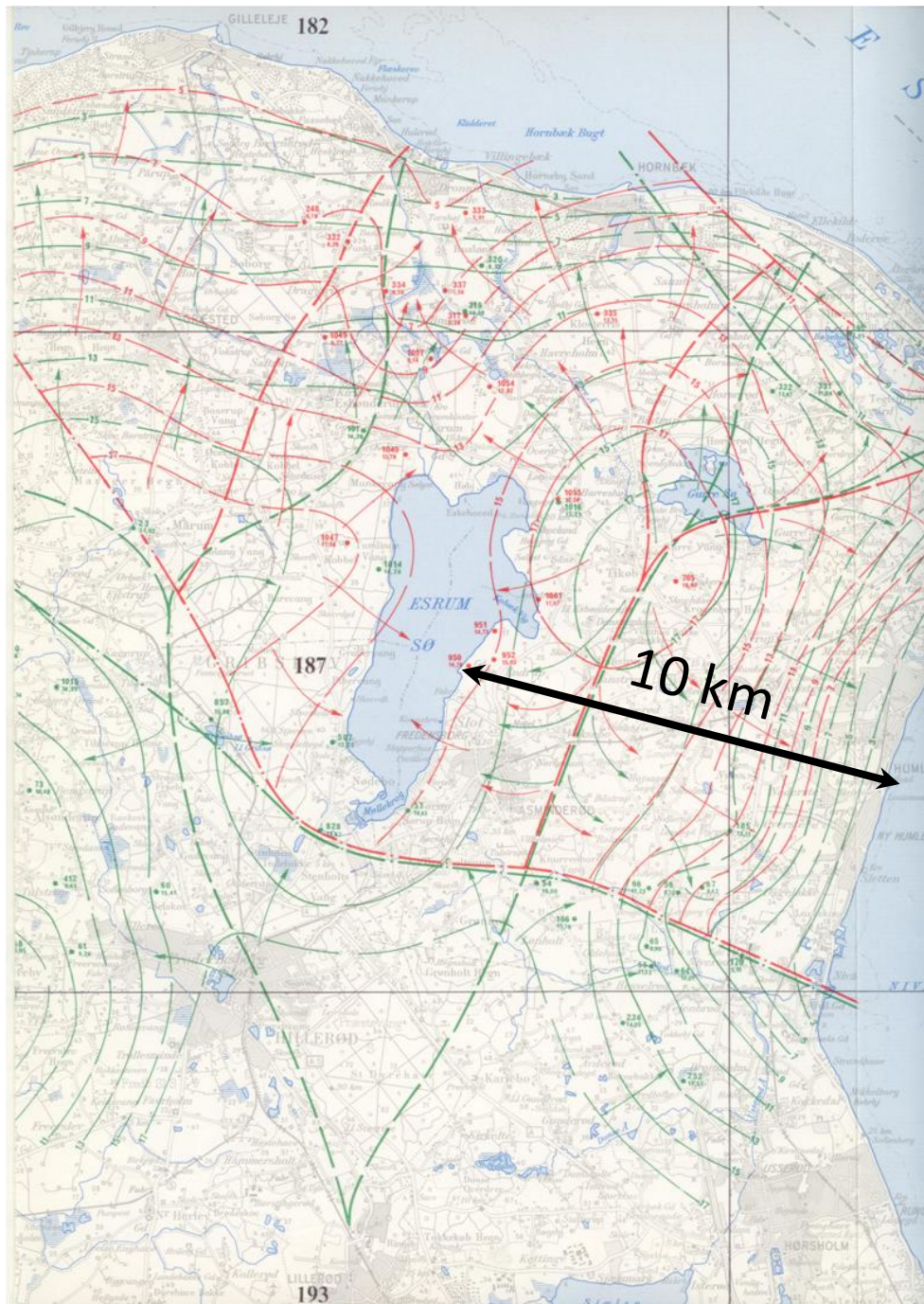
Trend Charts



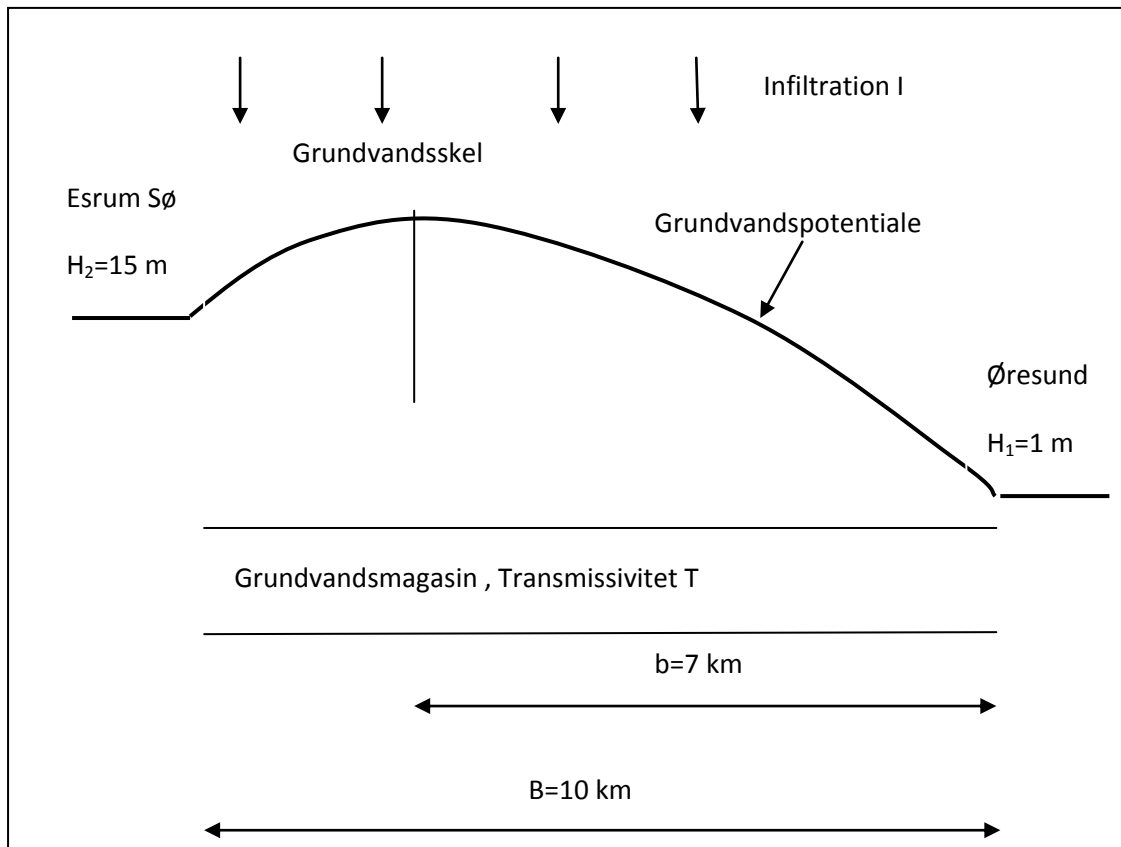
End of Trend Charts

Bilag 6. Infiltration til Esrumsandet.

En tilnærmet beregning af infiltrationen til Esrumsandet kan fås på følgende måde. Ud fra Nordvandrapportens potentialekort, /24/, kan området mellem Esrum Sø og Øresund tilnærmet betragtes som en landtunge, og grundvandet får potentialelinier, som løber parallelt med de to vandområder. Lægges et snit fra Endrup til Humlebæk (se figur 1), fås grundvandets højdeforhold som vist på figur 2.



Figur 1. Placering af beregningsnit (røde kurver angiver potentiale i Esrum sandet), grønne kurver gælder for kalkmagasin /24/.



Figur 2. Grundvandspotentiale i Esrum sandet mellem Esrum Sø og Øresund (ved Humlebæk)

Grundvandspotentialet i Esrumsandet står i kote ca. +15 m under Esrum Sø og i kote ca. +1 m under Øresund. Grundvandsmagasinet er 10 km bredt, og grundvandsskellet er placeret 7 km fra Øresund. Infiltrationen er I. Med figurens betegnelser gælder følgende relation, /30/;

$$b = \frac{B}{2} + \frac{H_2 - H_1}{B} \cdot \frac{T}{I}$$

Med værdier indsat fås

$$\frac{T}{I} = (7000 - 5000) \cdot \frac{10000}{15-1} = 1,43 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Fra sandboringer i området kan en middelværdi af den specifikke kapacitet bestemmes til $Q/s = 3,1 \text{ m}^3/\text{t}/\text{m}$, svarende til en transmissivitet på ca. $T = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Heraf fås $I = \frac{T}{1,43 \cdot 10^6} = 9,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}/\text{s} = 29 \text{ mm}/\text{år}$.

Da transmissiviteten er undervurderet ud fra den specifikke kapacitet, kan infiltrationen sættes til ca. 30-40 mm/år.