

Ledreborg Kildeplads, Lejre Københavns Energi

Borehulslogging og prøvepumpning i ny
indvindingsboring DGU nr. 206.1654

Kurt Klitten



Ledreborg Kildeplads, Lejre Københavns Energi

Borehulslogging og prøvepumpning i ny
indvindingsboring DGU nr. 206.1654

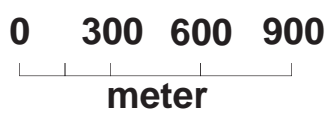
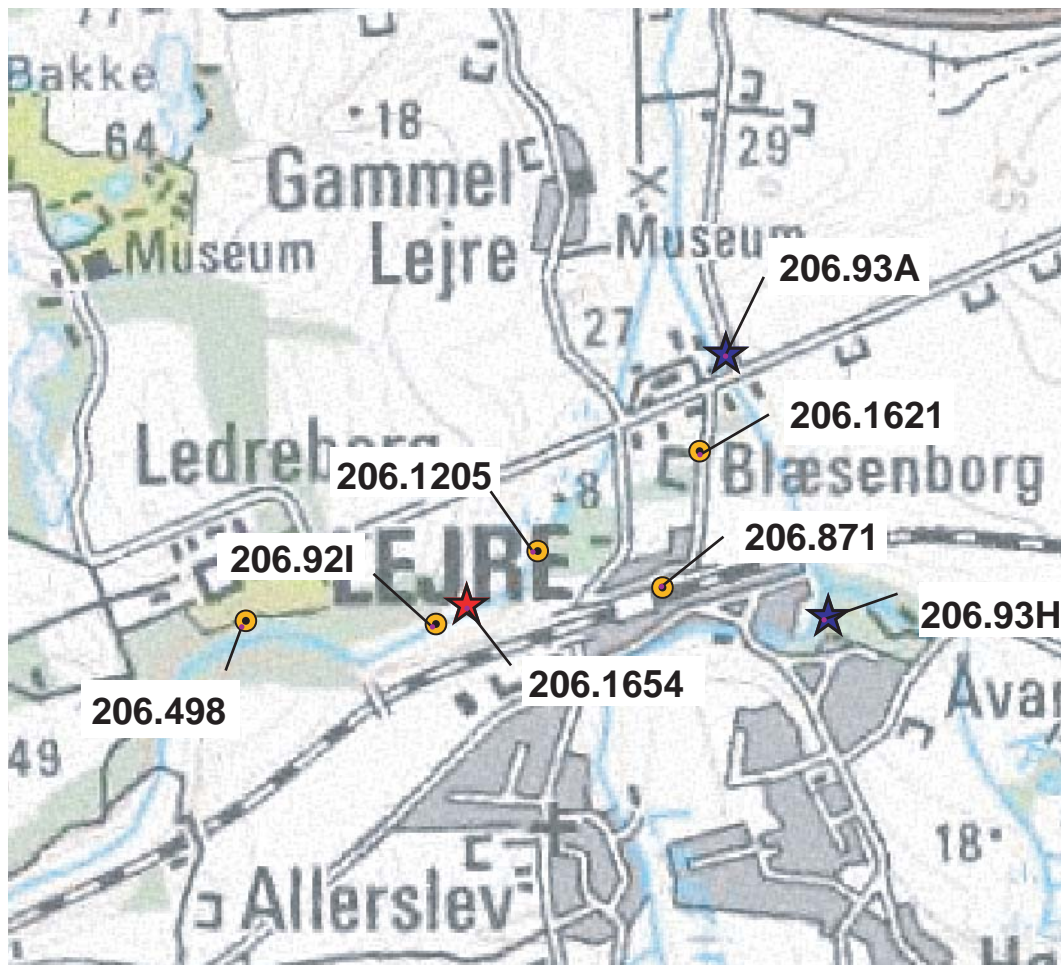
Kurt Klitten

Denne rapport er en revideret udgave af
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2004/116

Indhold

1	Introduktion og undersøgelsesprogram	5
2	Sammenfatning af resultater	9
2.1	Tekniske forhold.....	9
2.2	Geologi.....	9
2.3	Indstrømningsfordeling	9
2.4	Prøvepumpning.....	10
2.5	Vandkvalitet og kloridpåvirkning	11
3	Boringens udførelse og udbygning	13
3.1	Boringens udførelse.....	13
3.2	Boringens udbygning	13
4	Borehulslogging	15
4.1	Tekniske forhold.....	15
4.2	Lagfølge	15
4.3	Indstrømningszoner	17
4.4	Temperatur- og ledningsevne-log samt kloridpåvirkning	18
5	Prøvepumpning	21
5.1	Pejledata og observerede påvirkninger	21
5.1.1	Pumpeboring 206.1654.....	21
5.1.2	Observationsboring 206.92 I.....	22
5.1.3	Observationsboring 206.1205	22
5.1.4	Observationsboring 206.498	23
5.1.5	Observationsboring 206.871	24
5.1.6	Observationsboring 206.1621	24
5.1.7	Pejlerør i moseaflejringerne	25
5.1.8	Sammenfatning af pejleobservationerne i borerne	26
5.2	Tolkning af sænkings- og stigningsdata	27
5.2.1	Tolkning af observationsdata fra sand filter i boring 206.1654.....	28
5.2.2	Tolkning af observationsdata fra kalk filter i boring 206.1654	29
5.2.3	Tolkning af observationsdata fra kalk filter i boring 206.92 I	30
5.2.4	Tolkning af observationsdata fra sand filter i boring 206.1205.....	30
5.2.5	Afsluttende validering af tolkningsresultater	31
6	Klorid-påvirkning og Vandkvalitet	33
6.1	Tidligere erfaringer fra andre borerne.....	33
6.2	Ny boring (DGU nr. 206.1654).....	34
6.3	Konklusion om vandkvalitet og klorid påvirkning.....	36
6.4	Anbefaling for den fortsatte ombygning af kildepladsen	36

7	Referenceliste	38
8	Bilags liste	39



- ★ Pumpeboring
- Observationsboring
- ★ Indvindingsboring

Fig. 1: Ledreborg kildeplads – ny indvindingsboring og 5 observations boringer samt 2 indvindingsboringer (206.93 A og H) på Assermølle kildeplads.

1 Introduktion og undersøgelsesprogram

For Københavns Energi udførtes der i 2004 borehulslogging og prøvepumpning i forbindelse med etablering af en ny indvindingsboring DGU nr. 206.1654 på Ledreborg kildeplads.

Borehulslogging blev udført den 17 juni forud for udbygning af boringen, samt endvidere den 2 september efter udbygning af boringen, og igen 22 september for kontrol af ren-pumpning efter udsyring.

Prøvepumpningen med tilhørende pejleobservationer i pumpeboring og i 5 andre boringer (DGU nr. 206.92 I, -1205, -498, -871 og -1621), samt i 4 (oprindeligt 5) pejlerør gennemførtes fra 14 oktober kl. 15.00 til 17 november kl. 12.40. Forinden var der foretaget pejleobservationer i ca. 1 måned i de samme observationsboringer, ligesom der fortsat blev foretaget pejleobservationer frem til 29 november, d.v.s. i ca. 12 døgn efter afslutning af prøvepumpningen.

Nærværende rapport omfatter en rapportering af den udførte borehulslogging, af boringens udførelse og færdige udbygning, samt af prøvepumpningen og den endelige vandkvalitet, og skulle således kunne danne basis for ansøgning til Roskilde Amt om indvindingstilladelse for boringen.

Det normale GEUS logging program for vandindvindingsboringer omfatter en verifikation af den geologiske lagfølge i de enkelte boringer ved hjælp af gamma-log, induktions-log og resistivitets-log, medens ledningsevne & temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen giver information om årsag til eventuel saltvandspåvirkning, indikation på intern strømning uden pumpning, samt identifikation af indstrømningszoner under pumpning. Programmet omfatter endvidere en fastsættelse af indstrømningen i de enkelte indstrømningszoner ved hjælp af flow-log under pumpning fra boringen, samt evt. en kaliber-log. Sidstnævnte er nødvendig i åbne kalkboringer, fordi variation i borehullets diameter og især forholdet imellem diameteren i forerøret og den gennemsnitlige diameter i kalken lige under forerøret vil influere stærkt på flow-loggens resultater. Kaliber-loggen giver tillige information om eventuelle uregelmæssigheder i forerørs diameteren, og disse kan ved gamle boringer være indikation på gennemtæring. Forud for en flow-log udføres der altid en kalibreringstest af log-sonden ved at køre den ned gennem hele boringen uden pumpning. I tilfælde af intern strømning imellem zoner i kalk eller mellem to filtre vil en sådan strømning blive identificeret ved denne kalibrerings flow-log uden pumpning.

I tabel 1.1 nedenfor ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der blev udført på hver af de nævnte tre datoer, og formålet med logging undersøgelserne på hver af de respektive dage var følgende: den 17.06: lagfølge- og ledningsevnekontrol for valg og dimensionering af udbygning; den 02.09: kontrol af udbygning og indstrømningsfordeling samt ledningsevnekontrol; og endelig den 22.09: ledningsevne for kontrol af oprensning for eventuel syrerest efter udsyring.

Tabel 1.1: Borehulslogging i DGU nr. 206.1654 på Ledreborg kildeplads, 2004

Logging dato:	17.06.2004	02.09.2004	22.09.2004
Udbygningsstatus:	i jern forerør	i PVC fore-	i PVC fore-
Log metoder:		rør/filter	rør/filter
Spektral gamma	X		
Gamma		X	
Resistivitet			
Induktion		X	
Kaliber			
Temp. & Ledningsevne uden pumpning	X	X	
Temp. & Ledn. med pumpning		X (36 m ³ /t)	X (1,8 m ³ /t)
Flow uden pumpning		X	
Flow under pumpning med 36 m ³ /t		X	
Heat pulse basis flow			
Video			

Indvinding fra kildepladsens borerer har været indstillet i hele 2004

Boringen er blevet udført som tørboring med 354 mm stålforingsrør ført ned til kalk overfladen i 70 m dybde. Ved logging den 17 juni var boringen ført ned til 80 m dybde, og stod som 312 mm åbent hul uden foringsrør fra 70 m.

Ved logging den 2 september var boringen færdigudbygget med 250 mm PVC blændrør til 65 m dybde, 250 mm PVC filtersektion fra 65 m til 70 m, 250 mm PVC blændrør fra 70 m til 73 m, 250 mm PVC filtersektion fra 73 m til 84,5 m og 0,5 m PVC blændrør som sump nederst. I alt var boringen 85 m dyb, idet den siden første logging var blevet uddybet med yderligere 5 m ned i kalken.

Prøvepumpning af den nye indvindingsboring 206.1654 blev udført med en ydelse på 19,6 m³/t i perioden 14 oktober til 17 november. Nedenfor ses en oversigt over de udvalgte borerer, hvor vandstand blev holdt under observation i perioden før, under og efter prøvepumpningen. Deres placering i forhold til pumpeboringen ses på **Fig. 1**.

Tabel 1.2: Pumpeboring og observationsboringeres karakteristika

Boring	Ejer/anvendelse	Terræn kote (m)	Afstand (m) til pumpeboring	Filter interval (m. u. t.)	Reservoir	Forventet type
206.1654	KE-ny/indvinding	7,9	0,0	65-70/73-85	Sand + Danienkalk	spændt
206.1205	KE 6A/indvinding	7,5	289	39,5-50,9	Sand og grus	spændt
206.92 I	KE 9/indvinding	8,5	97	72,2-78,2	Kalk	spændt
206.498	Ledreborg gods/indvinding	15*	740	26-31 (skøn)	Sand og grus	spændt
206.871	Lejre by Vandv./indvinding	22,5	653	28,3-30,3	Sand og grus	frit
206.1621	Privat/ markvanding	13,6*	920	38-51	Grønsandskalk og Danien kalk	spændt
4 pejlerør	KE/ 1" pejlerør	8,1-8,2	10/20/30/40	2,5-3	Mose	frit

*): Koten er fra JUPITER, idet den ikke kunne bestemmes ved GPS p.g.a. træer.

De geologiske forhold på Ledreborg kildeplads er illustreret ved et længdeprofil med sammenstilling af kildepladsens boringer, **Fig. 2**, samt to geologiske tværsnit gennem boringer nord og syd for kildepladsen, **Fig. 3 og 4**.

Af disse profiler fremgår det, at der under Ledreborg ådal i det nuværende landskab er en dyb erosionsdal ned i Danien kalken, og med omtrent samme retningsforløb som ådalen. Denne dal i prækvartær overfladen, hvis bund er truffet så dybt som i kote -85 m, er opfyldt med overvejende kvartære smeltevandsaflejringer og moræneler. Øverst er disse dækket med postglaciale ferskvands- og marine og aflejringer af dynd og tørv, som lokalt kan optræde med en samlet tykkelse på over 20 m. Kertemindemergel og Grønsandskalk fra Selandien, der normalt i dette område udgør prækvartær overfladen, er således helt bortero-deret i ådalen. Selandien aflejringer ses imidlertid på tværprofilerne både syd og nord herfor som underlag til kvartæret i en dybde beliggende mellem kote 0 og -20 m.

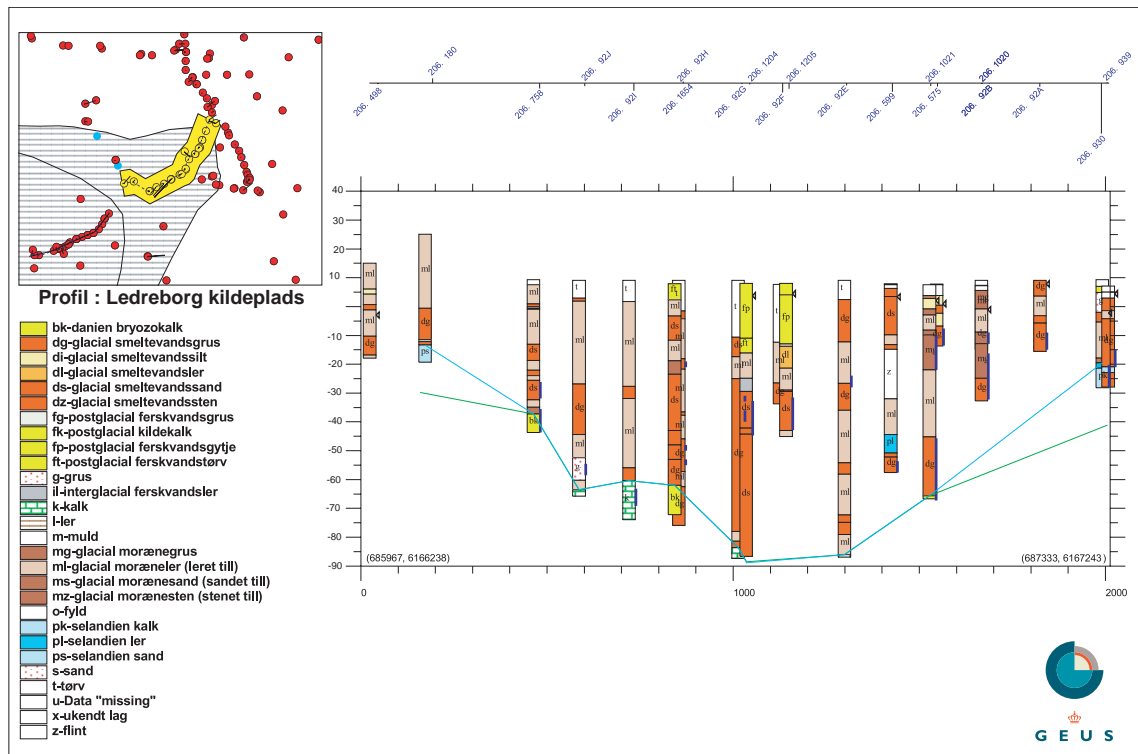


Fig. 2: Geologisk længdeprofil af Ledreborg kildeplads

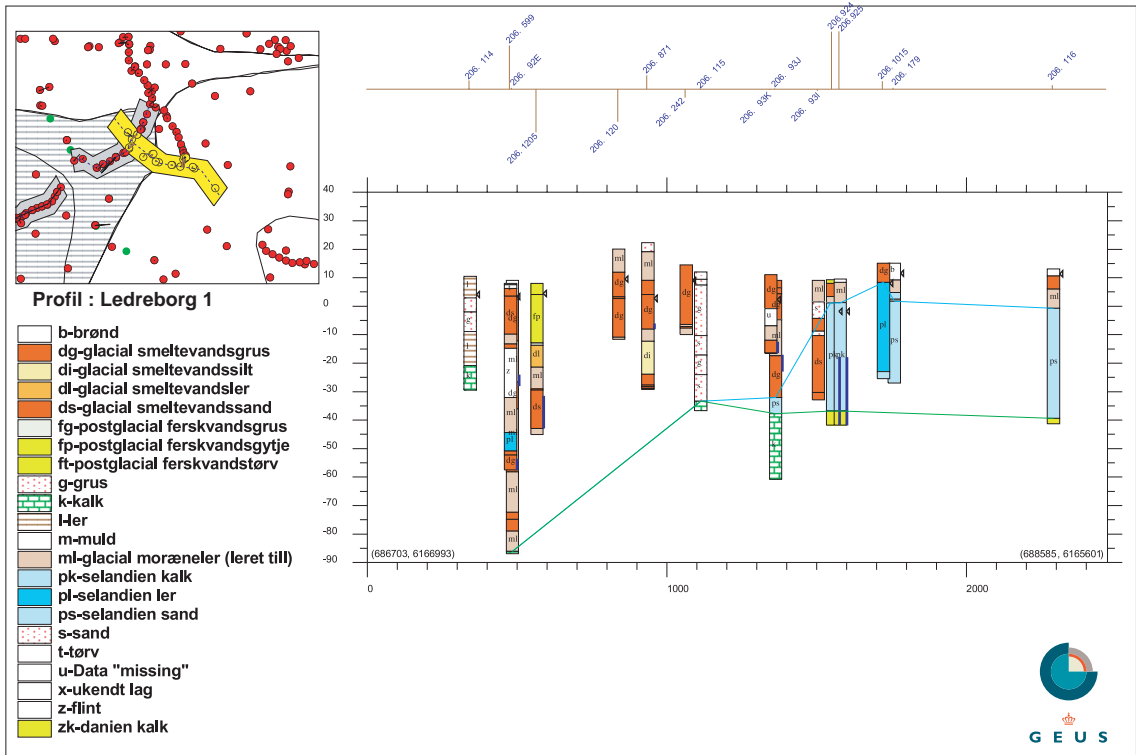


Fig. 3: Geologisk tværprofil 1 ved Ledreborg kildeplads

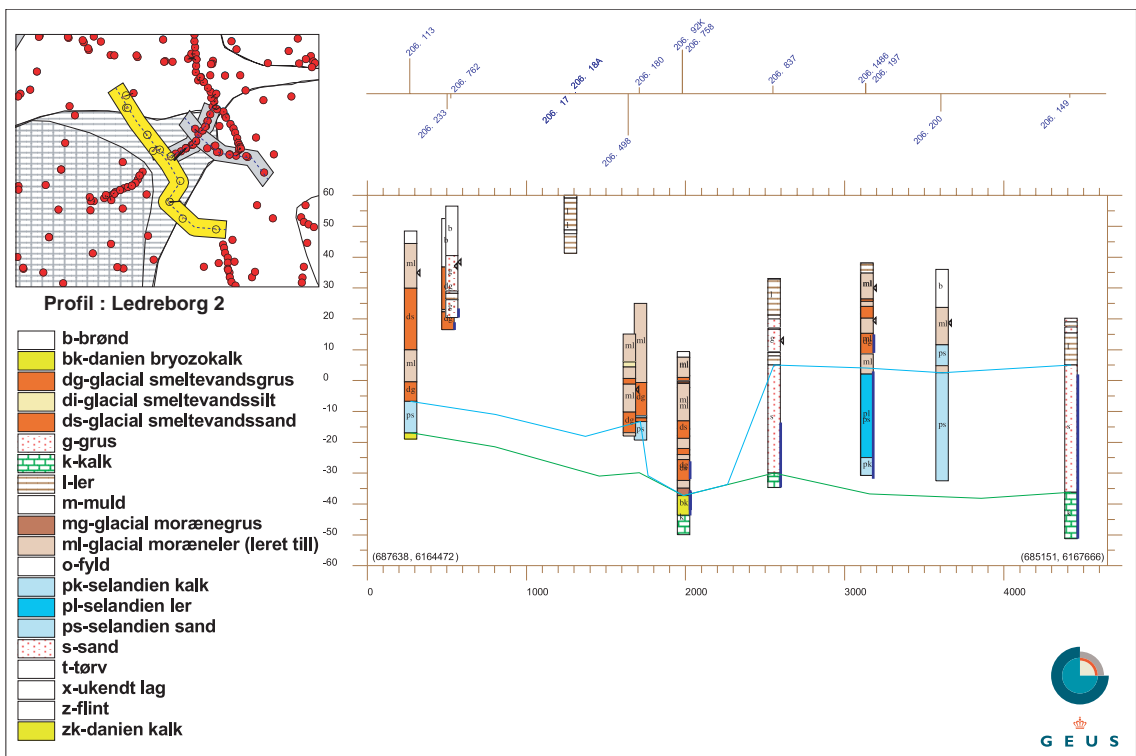


Fig. 4: Geologisk tværprofil 2 ved Ledreborg kildeplads

2 Sammenfatning af resultater

2.1 Tekniske forhold

Den ny indvindingsboring DGU nr. 206.1654 er placeret imellem de gamle boringer KE 8 (DGU nr. 206.92 H) og KE 9 (DGU nr. 206.92 I). Terrænkoten er her +7,9 m. Boringen er 85 m dyb, og er udbygget med 250 mm PVC blændrør til 65 m u.t., og med to 250 mm PVC filtersektioner, 65 – 70 m og 73 – 85 m adskilt med blændrør. De nederste ca. 40 cm sump er dog også med blændrør. Øverste filtersektion er med 1 mm slidser ud for et sand-grus lag, og nederste filtersektion er med 3 mm slidser og står i kalk. Der er udført gruskastning omkring filtre og blændrør op til 63 m u.t. Fra denne dybde og til terræn er der afspærret med bentonit/cement. Rovandspejlet i boringen observeredes den 2 september til at stå 0,75 m over terræn.

2.2 Geologi

Den kvartære lagserie til 70 m u.t. består ifølge GEUS boreprofilen (baseret på 16 indsendte prøver) øverst af 5,6 m postglacialt tørv overlejrende 5,7 m moræneler, som igen overlejrer 8,4 m fint smeltevandssand. Derunder træffes igen moræneler, 7,1 m, underlejret af 4,6 m leret og siltholdig morænegrus. Fra 31,5 m. u. t. og ned til kalkoverfladen i ca. 70 m dybde udgøres lagserien af vekslende lag af smeltevandssand og grus, lokalt siltholdige. De nederste ca. 9 m synes generelt at være mere grovkornede end de overliggende sandlag. Med henblik på filterdimensionering blev der udført sigteanalyser på prøver fra dybderne 46 m, 51 m, 56 m, 61 m, 66 m og 70 m.

De udførte geofysiske borehulslogs har bekræftet den kvartære lagserie, men har tilført en mere detaljeret information om underordnede ler- og siltlag i den tykke serie af overvejende sand og grus fra 33 m til kalken i 70 m dybde. Endvidere er der enkelte laggrænser i lagene ovenover den tykke sand-grus serie, som synes at skulle korrigeres med op til et par meter.

Prækvartæret fra ca. 70 m udgøres af bryozokalk (2 indsendte prøver), som ikke er gennemboet ved slutdybden 85 m.

2.3 Indstrømningsfordeling

Flow-loggen blev udført under pumpning med 36 m³/t og viste, at 25% af indstrømningen sker i filteret i kalken og de resterende 75% indstrømmer i det 5 m lange filter i gruslaget lige over kalken. I begge filtre er indstrømningen uens fordelt og karakteriseret ved enkelte lokale indstrømninger. Dette er ikke overraskende for et filter i kalken, hvor indstrømningen som regel sker fra enkelte sprækker, hvorimod indstrømningen i et filter i et gruslag oftest er mere jævnt fordelt.

2.4 Prøvepumpning

Prøvepumpningen af den ny boring 206.1654 gennemførtes fra 14 oktober kl. 15.00 til 17 november kl. 12.40 med en pumpeydelse på 19,6 m³/t. Afsænkningen i pumpeboringen efter de i alt 33 døgn og 21 timer og 40 minutters pumpning var 4,75 m, således at boringens specifikke kapacitet er ca. 4 m³/t/m sænkning. Det er vigtigt at bemærke, at hele afsænkningen skete indenfor de første 7 døgn, formodentlig som følge af at den oppumpede vandmængde herefter modsvares af bidraget fra dels lækage fra overliggende moræneler, dels fra dræning af kalkmatrix og endelig eventuelt bidrag fra den højtydende Grønsandskalk, som jo træffes forholdsvis tæt ved pumpeboringen syd og nord for ådalen.

Pejleobservationerne i de 5 udvalgte boringer, DGU nr. 206.92 I, -1205, -498, -871 og -1621), samt i 4 (oprindelig 5) pejlerør gennemførtes forud for prøvepumpningen, samt under denne og frem til 29 november, d.v.s. i ca. 12 døgn efter afslutning af prøvepumpningen, viser som ventet, at kun boring 206.92 I og 206.1205 er påvirket af prøvepumpningen. I 206.92 I, som står i en afstand af kun 97 m og er filtersat i kalken, sker påvirkningen allerede ca. 21 sekunder efter start af pumpning. I boring 206.1205, der står i en afstand af 289 m og er filtersat i den øvre del af det tykke nedre kvartære sand-grus magasin, observeres påvirkningen først efter ca. 24 min. I 206.92 I er afsænkningen ved pumpningens afslutning 3,35 m, hvorimod den i 206.1205 kun er 17 cm.

Ved tolkning af de observerede afsænkninger som funktion af tiden i pumpeboring og i de to påvirkede observationsboringer er de to grundvandsmagasiners hydrauliske parametre blevet fastlagt: For kalken er fundet at transmissiviteten $T = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sek}$, matrix permeabilitet $K = 2 \times 10^{-8} \text{ m}/\text{sek}$ og sprække magasintal $S_S = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$. For sand-grus magasinet er fundet $T = 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek}$ og $T = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sek}$; Magasintallet $S = 7,8 \times 10^{-4}$ og $S = 2 \times 10^{-3}$ samt specifik vertikal permeabilitet i dæklag $P'/m = 1,2 \times 10^{-9} \text{ sek}^{-1}$ og $P'/m = 7,8 \times 10^{-8} \text{ sek}^{-1}$.

De private indvindingsboringer ved henholdsvis Ledreborg gods, DGU 206.498, og Lejre Stationsbys vandværk, DGU 206.871, der ligger i afstande på 740 m og 653 m, er begge filtersat i et øvre sand-grus magasin beliggende henholdsvis fra kote -10 til -16 m og fra kote +9 til -8 m, og viser ingen påvirkning fra prøvepumpningen. Dette reservoir synes således adskilt fra det nedre sand-grus magasin af et gennemgående lag af moræneler.

Den nyetablerede private markvandingsboring DGU nr. 206.1621 ved Blæsenborgvej beliggende i en afstand af 920 m, er etableret som åben kalkboring i Grønsandskalken og ca. 4 m ned i Danien kalken. I denne boring kan der heller ikke observeres påvirkning fra prøvepumpningen, hvorimod denne boring viser stor påvirkning, ca. 6 m vandspejlsstigning som følge af standsning af indvinding fra den nærliggende Assermølle kildeplads.

Med undtagelse af boring 206.871 ved Lejre Stationsby udviser de andre boringer inklusive pumpeboringen barometereffekt. Dette indikerer, at det filtersatte grundvandsmagasin i disse boringer har spændt vandspejl, medens det filtersatte grundvandsmagasin i boringen ved Lejre Stationsby uden barometereffekt må have frit vandspejl.

2.5 Vandkvalitet og kloridpåvirkning

De seneste års indvinding har fundet sted fra borerne 4A (206.599), 6A (206.1205) og 7B (206.1204), men indvinding fra kildepladsen blev stoppet i 2002 netop med henblik på ombygning fra det gamle hævertsystem til indvinding ved moderne dykpumper. Der har ikke været væsentlige vandkvalitetsmæssige problemer ved indvinding fra de nævnte borer, men kun en stigning i hårdheden (til 20,5 total) og i sulfatindholdet (til ca. 100 mg/l) på det producerede vand, samt et forhøjet kloridindhold, 150 mg/l i 2001. Dette forhøjede kloridindhold skyldes boring 7B, hvis kloridindhold er steget fra 60 mg/l ved etableringen i 1989 til 262 mg/l i 2001.

Netop på grund af risikoen for forhøjet klorid i Danien kalkens porevand blev der under borearbejdet i kalken udtaget vandprøve af borevandet for hver 5 m, hvorved der konstateredes en kun ganske svag stigning nedefter: Fra 26 mg/l ved 70 m, 29 mg/l ved 75 m, 32 mg/l ved 80 m og til 31 mg/l ved 85m. En ledningsevne-log efter nedboring til 80 m viste 52 mS/m (ikke temperatur korrigeret) og en induktions-log efter nedboring til 85 m viste en formationsledningsevne i kalken på 10 mS/m. Begge typer logs indikerede således også lavt klorid i kalkens porevand.

En vandprøve udtaget den 17 november lige før stop af prøvepumpningen viste en god vandkvalitet, men med et lettere forhøjet kloridindhold på 83 mg/l. Ledningsevnen bestemt i laboratoriet var 67 mS/m ved 12⁰C. Bortset fra jern på 0,50 mg/l ligger alle parametrene fra "boringskontrol analysen" under de tilladelige grænseværdier. Der blev udført en omfattende analyse for organiske forbindelser og pesticider uden at nogen af stofferne kunne måles (under detektionsgrænsen).

Kontinuert ledningsevнемåling i 76 m dybde under de næsten 34 døgn's prøvepumpning indikerer, at indstrømningsbidraget til det nedre filter under 76 m dybde på 8 % svarende til 1,6 m³/t (af den totale ydelse på 19,6 m³/t) bliver gradvis mere kloridholdigt. Således stiger ledningsevnen af vandet i denne dybde fra 60 mS/m den 14 oktober til 98 mS/m lige før pumpestop den 17 november.

Det lettere forhøjede kloridindhold på 83 mg/l antages derfor at skyldes bidraget på 8 % indstrømning under 76 m dybde, idet dette indstrømmende vand i den nedre del af filteret ved prøvepumpningens afslutning havde en ledningsevne på 98 mS/m som nævnt ovenfor. Denne er således væsentlig højere end ledningsevnen af det producerede vand, 67 mS/m ved 12⁰C (63 mS/m ved den aktuelle temperatur 9,2⁰C nede i boringen).

Den kontinuerte ledningsevнемåling i 76 m dybde viser endvidere, at ledningsevnen umiddelbart efter pumpestop den 17 november faldt drastisk og allerede efter 1 døgn er nede på 63 mS/m og derefter faldt yderligere til 58 mS/m i løbet af en uge. Det drastiske fald i ledningsevnen umiddelbart efter pumpestop indikerer, at den stigende ledningsevne i det indstrømmende vand i den nedre del af kalkfiltret skyldes optrængning af mere kloridholdigt vand fra større dybde. Hvis der havde været tale om tilstrømning af mere kloridholdigt vand f.eks. fra siden, ville der næppe være sket et så drastisk fald så hurtigt efter pumpestop.

Konklusionen er, at den ny borings vandkvalitet er meget tilfredsstillende, men at den med hensyn til klorid antagelig vil vise en stigende tendens på grund af kloridpåvirkning fra kalkmagasinet. Det kan ikke på grundlag af denne undersøgelse forudsiges, hvor stor stigningen vil blive i forhold til de 83 mg/l klorid, som var koncentrationen efter godt en måneds pumpning. I tilfælde af, at det senere i en driftssituation skulle vise sig, at stigningen bliver uacceptabel, kan det nedre filter i kalken opfyldes ved nedpumpning af bentonit-cement, og boringens kapacitet vil da kun blive nedsat med 25%.

I betragtning af erfaringerne om meget højt klorid i kalken i de gamle boringer 5 (DGU 206.92E), 7 (DGU 206.92G) og 7B (DGU 206.1204), bør det undgås at placere de resterende erstatningsboringer i den dybeste del af erosionsrenden i Danien kalken.

3 Boringens udførelse og udbygning

Som led i KE's omlægning af indvindingen fra Ledreborg Kildeplads fra tidligere at være foretaget via et vakuumpumpe-hævert lednings system til fremtidig at skulle foregå ved hjælp af individuelle dykpumper installeret i den enkelte indvindingsboring er nærværende ny boring blevet udført i april-juni 2004 som den første ud af i alt 4 planlagte nye boringer. Den fremtidige årlige indvinding regnes med at skulle være ca. 800.000 m³. Hvis denne fordeles ligeligt på 4 boringer, svarer det til en ydelse på 23 m³/t døgnet rundt i 365 dage i hver af de fire nye boringer.

Allerede tidligt på året blev boringen forsøgt etableret med en placering omtrent midt imellem de gamle indvindingsboringer KE 8A (DGU nr. 206.717) og KE 9 (DGU nr. 206.92 I). Efter et uheld med boreudstyret efter kun 5 m nedboring i Danien kalken, som blev truffet i 70 m dybde u.t., måtte boringen DGU nr. 206.1645 i februar 2004 opgives, og en ny boring blev udført omtrent samme sted, DGU nr. 206.1654, se Fig. 1.

3.1 Boringens udførelse

Terrænkoten er +7,9 m. Boringen er udført af KE Partner A/S og udført til kalken i 70 m dybde som tørboring med 354 mm stålførerør. I kalken er den udført som 312 mm tørboring uden brug af foringsrør. Efter nedboring til 80 m dybde udførtes gamma-spektral log, **Bilag 1**, for vurdering af muligheden for filtersætning i den kvartære sandserie, samt ledningsevne-log for vurdering af risiko for kloridholdigt vand i kalken. Da denne log, se **Bilag 3**, viste en ledningsevne på kun 53 mS/m i vandet i boringens kalk sektion, besluttedes det at bore yderligere 5 m til 85 m dybde i et forsøg på at opnå højere ydelse fra kalken. Forinden udbygning med filtre og optrækning af stålførerør udførtes tryksyring af kalksektionen.

3.2 Boringens udbygning

Boringen er udbygget med 250 mm PVC blænderør til 65 m u.t., og med to 250 mm PVC filtersektioner, 65 – 70 m og 73 – 85 m adskilt med et 3 m blænderør. De nederste ca. 40 cm sump er også med blænderør. Øverste filtersektion er med 1 mm slidser ud for et sand-grus lag, og med 1-3 mm gruskastning. Nederste filtersektion, som står i kalken, er med 3 mm slidser og med 5-8 mm gruskastning. Imellem de to gruskastninger er der en ca. 1 m overgang med 3-5 mm gruskastning, ligesom der ovenover øverste filter er en ca. 1 m overgang med 0,3-0,9 mm gruskastning som underlag for en ca. 1 m bentonitpærre i 63 m dybde. Fra denne dybde og til terræn er der afspærret med en bentonit/cement blanding.

Filterdesign og dimensionering er foretaget på basis af GEUS beskrivelsen af 19 indsendte prøver (17 fra kvartæret og 2 fra kalken) suppleret med dels en gamma-spektral log, se **Bilag 1**, og dels kornkurve analyser af de 6 nederste prøver fra sand-gruslagene ovenover kalken, d.v.s. fra dybderne 46, 51, 56, 61, 66 og 70 m. Fastsættelse af laggrænser er som beskrevet af brøndborer, se Bilag 1.

Table 3.1: Kornkurve analyser

Dybde m	D 60% mm	d 10% mm	$C_u = d_{60}/d_{10}$	Ler%	Silt%	Sand%	Grus%	GEUS beskrivelse
46	0,57	0,10	5,70	1,4	5,4	79,1	14,0	Sand, mellem+groft
51	0,66	0,08	8,25	3,1	5,8	69,5	21,6	Sand, mellem+groft
56	3,87	0,12	32,25	2,6	4,9	38,3	54,3	Grus, usorteret
61	0,73	0,14	5,21	1,8	4,1	68,9	25,2	Sand, mellem+groft
66	5,54	0,16	34,63	1,4	3,1	46,6	48,9	Sand og grus
70	7,44	0,34	21,88	0,4	1,2	31,7	66,7	Grus, usorteret

Efter udbygning blev boringen den 31 august 2004 renpumpet i 6 timer med en ydelse på 36 m³/t. Den totale afsenkning var 9,88 m, således at boringen viste en specifik kapacitet på 3,65 m³/t/m. Rovandspejlet i boringen stod inden udførelse af borehulslogging den 2 september 0,75 m over terræn.

4 Borehulslogging

4.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er fastsat af GEUS ved GPS-satellit måling til +7,9 m. Boringen er som nævnt ovenfor udført af KE i april-maj-juni 2004 til 85 m dybde, d.v.s. til kote ca. -77 m. Rovandspejlet står ca. 75 cm over terræn, og boringen har efter færdigudbygningen en specifik kapacitet på ca. 4 m³/t/m.

4.2 Lagfølge

GEUS boreprofilet, se **Bilag 1**, er baseret på beskrivelse af 19 indsendte prøver, hvoraf de 17 er fra kvartæret og de 2 er fra kalken. Dybdeniveauet for hver af prøverne er vist på Bilag 1. Ifølge GEUS prøvebeskrivelsen består **Kvartæret** øverst af af 5,6 m postglaciale tørv overlejrende 5,7 m moræneler, som igen overlejrer 8,4 m fint smeltevandssand. Derunder træffes igen moræneler, 7,1 m, underlejret af 4,6 m leret og siltholdig morænegrus. Fra 31,5 m. u. t. og ned til kalkoverfladen i ca. 70 m dybde udgøres lagserien af vekslende lag af smeltevandssand og grus, lokalt siltholdige. De nederste ca. 9 m synes generelt at være mere grovkornede end de overliggende sandlag. Laggrænserne er opgivet af brøndborer, som oplyser, at kalken træffes i 69,7 m. Brøndborerens jordlagsvurdering er ligeledes vist på Bilag 1. **Prækvartæret** fra ca. 70 m udgøres af bryozokalk (2 indsendte prøver), som ikke er gennemboret ved slutdybden 85 m.

Til verificering af lagfølgen er der udført spektral gamma-log før udbygningen samt gamma-log og induktions-log efter udbygningen. Logs udført efter udbygningen kan dog være påvirket af bagfyldningen med bentonit og cement, jævnfør diskussionen nedenfor.

Gamma-spektral loggen fra før boringens udbygning bekræfter, se Total Gam på **Bilag 1**, ved det generelt højere strålingsniveau ovenover 32 m, at der overvejende er lerholdige lag over denne dybde, og overvejende sand under 32 m og ned til kalken i 70 m, hvor gamma-strålingen er meget lav. Derudover tilføjer denne log en mere detaljeret information om tilstedeværelse af underordnede ler- og siltlag i den tykke serie af overvejende sand og grus fra 32 m til 70 m dybde, idet der her ses gamma-maksima i dybderne 35 m, 39,5 m, 41,5 m, 47- 49 m og 65-67 m. Disse maksima skyldes forhøjede kalium og thorium indhold, hvilket indikerer tilstedeværelsen af ler- og silt indslag i sand-grus sekvensen.

I lagserien ovenover 32 m er der enkelte laggrænser, som ifølge gamma-loggen synes at skulle korrigeres med op til et par meter. Således viser den lave gamma-stråling fra 13 til 18 m, at sandlaget mellem de to lag moræneler har en mindre tykkelse end opgivet af brøndborer. Det bør også bemærkes, at laget øverst med postglaciale tørv har en meget lav gamma-stråling fra 2,5 til 5,5 m, hvorimod den er noget højere ovenover 2,5 m dybde.

Sidstnævnte formodes at være forårsaget af en midlertidig udstøbning omkring den øverste del af arbejdsforerøret.

En karakterisering af den generelle kornstørrelse i sand-grus serien ud fra gamma-spektral loggen, d.v.s. om hvorvidt et lag består hovedsagelig af fint sand, groft sand eller af grus, kan ikke entydigt foretages ud fra denne type log. Dette skyldes, at gamma-strålingen i denne lagtype i højere grad er bestemt af mineralsammensætningen af de enkelte korn og specielt indholdet af kaliumholdige mineraler som feldspat (i gneis og granit) eller glaukonit, end af kornfraktionen.

I de nederste 3 m af den kvartære lagserie ses en noget lavere stråling end i den øvrige kvartære serie, hvilket ifølge spektral-loggen, **Bilag 1**, skyldes et mindre indhold af kalium og thorium. Dette hænger formodentlig sammen med et stort indhold af kalk i de nederste 3 m af kvartæret.

I kalken fra 70 m dybde er strålingen meget lav netop som følge af ringe indhold af kalium og thorium.

Gamma-loggen udført efter udbygningen, se Gam TCDS 2/9 på **Bilag 2**, viser stort set samme forløb som ovennævnte gamma-spektral log fra 17 juni, se Gam 17/6 på **Bilag 2**. Der ses dog enkelte afvigelser, som må skyldes bagfyldningen med bentonit og cement. Begge materialer indeholder kalium og vil derfor forøge gammastrålingen. Udføres bagfyldningen med samme materiale hele vejen fra filter til terræn og antages hulrummet mellem PVC-rør og jordlag at være ensartet hele vejen, da vil bagfyldningen blot betyde et ensartet tillæg på gamma-strålingen i hele sektionen fra filter til terræn. Jordlagenes variation vil da fortsat være afspejlet ved den totale gamma-stråling, og en gamma-log efter bagfyldning vil have samme forløb som før udbygning med bagfyldning.

I dette tilfælde ses der i tre dybdeintervaller afgørende forskelle på de to gamma-logs: Et strålingsminimum i ca. 11 m dybde på den først udførte log ses ikke på den seneste log; et strålingsmaksimum fra ca 28 m til 29 m dybde på den først udførte gamma-log optræder fra 28 m til 30,5 m dybde på den seneste log, og endelig ses der nu et maximum fra 61 m til 63 m, som ikke optrådte på den første gamma-log. Sidstnævnte er netop forårsaget af bentonit-spærre laget ovenpå filtergruset, og dette er åbenbart tykkere end de af brøndborerfirmaet oplyste 50-75 cm. Det nu manglende minimum i ca. 11 m dybde ved et formodet tyndt sandlag skyldes antagelig en større borehulsdiameter ved sandlaget og derfor et større volumen bentonit/cement bagfyld, der har øget strålingsniveauet. Det tilsyneladende længere og mere markante maksimum i dybdeb 28-30,5 m på den seneste gamma-log må ligeledes formodes at skulle tilskrives et større volumen bagfyld på denne sektion.

Induktions-loggen efter udbygning: Denne type log, se **Bilag 2**, viser ofte samme forløb som en gamma-log, d.v.s. høj formations-ledningsevne ved lerlag, hvor der jo også ses høj gamma-stråling – og lav formations-ledningsevne ved sand-grus lag, hvor der som regel ses lav gamma-stråling. Dette synes ikke helt at være tilfældet ved denne boring, hvor der i den lerholdige lagserie ned til ca. 32 m ses fire ledningsevne-minima med værdier mindre end 10 mS/m (ved 7 m, 14 m, 20 m og 28 m) uden at disse modsvares af gamma-minima. Da de optræder i relation til morænelag, kunne de tænkes at afspejle tilstedeværelse af

store sten. I den overvejende lerholdige lagserie ned til 32 m ses også enkelte intervaller med høj ledningsevne som ikke modsvarer af gamma-maksima, 16-18 m og 30,5-32,5 m.

I sand-grus serien fra 32 m dybde og ned til kalken ses der overraskende høj ledningsevne i dybdeintervallerne 34 - 44 m og 51,5 – 56 m uden at der ses tilsvarende høj gamma-stråling.

Bentonit/cement bagfyldet har ikke nogen ledningsevne, hvilket eksempelvis ses ved, at bentonit-spærre laget fra 61 m til 63 m ikke afspejles på induktions-loggen som et ledningsevne-maksimum, selv om det som nævnt ovenfor ses som et gamma-maksimum. Bagfyldet er derfor neutralt overfor induktionsloggen.

Forskellene imellem induktions-loggen og gamma-loggen må derfor skyldes, at formationsledningsevnen også er kontrolleret af porevandets ledningsevne, samt af porøsiteten. Således må den højere ledningsevne i ovennævnte dybdeintervaller 34 – 44 m og 51,5 - 56 m formodes at skyldes en høj porøsitet i sand-gruslagene i disse dybdeintervaller kombineret med en høj ledningsevne i porevandet.

I den filtersatte sektion i kalken viser induktionsloggen ned til 82 m en formationsledningsevne på 10-15 mS/m svarende til en formationsresistivitet på 65 -100 ohmm. Denne størrelsesorden på kalkens resistivitet indikerer at kloridindholdet i kalkens porevand kun er svagt forhøjet. Under ca. 82 m dybde viser induktionsloggen derimod en markant højere ledningsevne, hvilket formodes at skyldes tilbageværende syrerest i bunden af boringen, se nedenfor under ledningsevne-log.

4.3 Indstrømningszoner

Propel flow-log uden pumpning (Flow $Q=0$, **Bilag 2**) ved en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et konstant basis tælletal i hele blænderørs sektionen og videre ned gennem de to filter sektioner på 28 rotationer per min (rpm) netop svarende til en relativ vandstrøms-hastighed på 5 m/min. Der sker således ingen intern strømning imellem de to filtre

Den kontinuerte propel flow-log (Flow $Q=36$) under pumpning er udført med en konstant ydelse på $36 \text{ m}^3/\text{t}$, og med pumpen anbragt i blænderøret i ca. 20 m dybde. Loggens rotationstal per minut (rpm) er omregnet til pct. af ydelsen $36 \text{ m}^3/\text{t}$ ved, at rotationstal i blænderøret er sat til 100 pct., dog først efter et fradrag for basis rotationstallet 28 rpm for nedsænkingshastigheden 5 m/min (se Flow $Q=0$).

Den resulterende flow-log (Flow $Q=36$, **Bilag 2**) viser, at der ikke er nogen indstrømning i de nederste 6 m af det nedre filter, idet den første indstrømning sker i 79 m dybde. Fra denne dybde og til top af det nedre filter i 73 m ses tre indstrømninger, hvoraf den største, 17%, ses helt øverst i filtret. I alt indstrømmer således til det nederste filter 25 % af den samlede ydelse, i dette tilfælde ca. $9 \text{ m}^3/\text{t}$.

I det øvre filter sker indstrømningen ligeledes i tre zoner, nemlig 20 % ved bunden af filtret i 70 m dybde. Dernæst 40 % fordelt jævnt over dybden 68,5 til 67 m, og endelig de sidste 15 % helt øverst i filtret. En så uensartet indstrømning i et filter ud for et grus lag er ikke normalt og illustrerer, at den 5 m tykke sektion af grus ikke har en ensartet sammensætning, hvilket også ses ved gamma-loggens store variation på den pågældende dybde sektion. I alt indstrømmer således 75 % af den samlede ydelse til det øverste filter.

GEUS har gjort erfaringer med hensyn til i samme boring at udføre flere flow-logs, men med forskellige ydelser. Derved er det påvist, at indstrømningsfordelingen i de fleste tilfælde er uafhængig af den valgte ydelse, så længe der ikke sker afsenkning af vandspejlet til under indstrømningssektionen og for så vidt ydelsen ikke er ekstrem høj eller ekstrem lav. Den fundne indstrømningsfordeling på 25% fra nedre filter og 75% fra øvre filter kan derfor påregnes også at gælde ved en fremtidig indvinding med en pumpeydelse på 20-25 m³/t.

4.4 Temperatur- og ledningsevne-log samt kloridpåvirkning

Temperatur-loggen under pumpning med $Q = 36 \text{ m}^3/\text{t}$, se Temp $Q=36$ Bilag 2, viser det forventede forløb, nemlig at temperaturen er højest i bunden af boringen ($9,4 \text{ C}^0$) og at den opefter i filtrene falder trinvist efter hver af indstrømningerne, således at den ved top af øverste filter er $9,1 \text{ C}^0$. Denne temperatur er derfor temperaturen i det opadstrømmende vand hele vejen op til pumpen.

Anderledes forholder det sig med temperatur-loggen uden pumpning, Temp $Q=0$, som blev målt under det aller første log-run ned gennem det stagnerende vand, der repræsenterer situationen efter afslutningen af renpumpningen af boringen 2 døgn forinden. Temperaturforløbet i filtrene er omtrent sammenfaldende med temperatur-loggen under pumpning, hvorimod der i blænderet over filtersektionerne ses en overraskende variation, hvor temperaturen svinger uregelmæssigt mellem $9,1 \text{ C}^0$ og $9,9 \text{ C}^0$ for øverst at have en temperatur på over 12C^0 . De højere temperaturer i det stagnerende vand i blænderet over filtrene må stamme fra varmeudvikling fra pumpen under renpumpningen kombineret med afsenkning af det varmere topvand og efterfølgende stigning af vandsøjlen efter afslutning på renpumpningen.

Ledningsevne-loggen uden pumpning, se Ledn $Q=0$ på Bilag 2, er opmålt i samme log-run som temperatur-loggen. Den viser meget høj ledningsevne i vandet i de nederste 2 meter af det dybe filter, ca. 2000 mS/m. Ledningsevnen aftager gradvist opefter til ca. 100 mS/m i 79 m, og falder yderligere til 70 mS/m i 73 m dybde, og falder igen nederst i øverste filter til 65 mS/m, som er ledningsevnen på det stagnerende vand hele vejen op gennem blænderet til terræn. Selv om der ikke pumpes under denne log ses springene i ledningsevnen i væskesøjlen netop at ske ud for nogle af de indstrømningszoner, som er blevet identificeret ved flow-loggen.

Dette gør sig naturligvis også gældende ved ledningsevne-loggen under pumpning med 36 m³/t, se Ledn. $Q=36$ på Bilag 2. Blot ses der her væsentlig højere ledningsevne især i det nederste filter bortset fra i de nederste 2 m af dette, hvor ledningsevnen fra at være ca. 2000 mS/m før pumpning nu under pumpning er faldet til 1780 mS/m. Ledningsevnen i det

opadstrømmende vand i blænderøret over øverste filter er ca. 65 mS/m ligesom ved den første ledningsevne-log før pumpning.

Den observerede høje ledningsevne nederst i det dybe filter og forskellen på de to logs i dette filter vurderes at være forårsaget af tilbageværende saltsyre fra den foretagne udsyring. En smule af denne syrerest trækkes åbenbart opad, når der pumpes på boringen, men fortyndes efter hver af indstrømningerne og således første gang allerede i 82,6 m. Sidstnævnte indstrømning er dog så lille, at den ikke registreres på flow-loggen, hvorimod næste fortynding ved 79 m sker ved den første indstrømning registreret på flow-loggen. Efter slukning af pumpning vil det tungere syreholdige vand synke ned i bunden igen, hvorfor ledningsevnen her vil være lidt højere end under pumpning.

Konklusion vedr. indstrømningsfordeling og ledningsevne: Efter indstrømning af 25 % af ydelsen fra filtret i kalken er ledningsevnen faldet til 100 mS/m (ved aktuel temperatur). Efter yderligere indstrømning af 75 % af ydelsen fra filtret i grus laget falder ledningsevnen til 65 mS/m. Den resulterende ledningsevne på 100 mS/m i vandet fra filtret i kalken formodes at være forhøjet af bidrag fra syreresten nederst i filtret, idet ledningsevnen i vandet i filtret før pumpning var væsentlig lavere. Under antagelse af, at syreresten, som før pumpningen havde en ledningsevne på 1960 mS/m, bidrager med 0,2 % Q, kan der på basis af flow-log og ledningsevne-loggen under pumpning foretages en beregning af ledningsevnen X i den vandmængde på 8%, som indstrømmer mellem 80 og 75 m dybde:

$$0,2 \cdot 1960 + 8 \cdot X = 8,2 \cdot 135 \quad \text{medfører at } X = ((8,2 \cdot 135) - (0,2 \cdot 1960)) / 8 = (1080 - 392) / 8 = 88 \text{ mS/m}$$

Tilsvarende beregning af ledningsevnen Y i den indstrømmende vandmængde på 17 % øverst i kalk filtret giver:

$$8,2 \cdot 135 + 17 \cdot Y = 25,2 \cdot 100 \quad \text{medfører at } Y = (2520 - 1080) / 17 = 84 \text{ mS/m}$$

Til sammenligning viste ledningsevne-loggen før pumpning ca 65 mS/m i blænderøret imellem de to filtre og ca. 85 mS/m i 75 m dybde.

Klorid påvirkning før fjernelse af syrerest og før prøvepumpning

Ledningsevne-loggen under pumpning viser, at den producerede vandmængde på 25 % fra kalk filtret har en ledningsevne på ca. 100 mS/m, som således er højere end den resulterende ledningsevne på 63 mS/m ovenover det øverste filter. Ledningsevnen af de 75 % indstrømning i filtret i grus laget kan derfor beregnes til at være 51 mS/m, hvorfor det må formodes at klorid indholdet i vandet fra dette filter er væsentlig mindre end i vandet fra filteret i kalken.

Forsøg på renpumpning af syrerest

Den 22 september udførte GEUS et forsøg på fjernelse af syreresten i bunden af boringen ved at nedsætte en MP1 pumpe med indtag i 83,5 m dybde, som dog efter nogle få minutters pumpning måtte ændres til 83 m på grund af slam i pumpen. Der pumpedes med 1,8 m³/t fra kl. 12⁰⁵ til 13⁵⁵, d.v.s. i alt ca. 3300 l i løbet af 110 min. Herunder faldt ledningsev-

nen på det oppumpede vand fra 210 mS/m (v. 25 C⁰) ved start til 78 mS/m (v. 25 C⁰) ved stop.

Under pumpning med MP1 pumpen i 83 m dybde udførtes der den sidste halve time under pumpningen en ledningsevne-måling i time-mode, se **Bilag 4**, med sonden placeret i tre forskellige dybder lige over pumpen. Hensigten var at undersøge, om ovennævnte fald i ledningsevnen af det oppumpede vand blot skyldtes, at MP1 pumpen trækker ferskt ikke syreholdigt vand ned fra den øvre del af filteret snarere end at oppumpe syreresten under 82,6 m dybde. I 82,0 m dybde målt i tidsperioden 80 – 230 sek. og 980 – 1350 sek. en ret konstant ledningsevne på ca. 63 mS/m, hvor tidligere ledningsevne-logs havde vist værdier over 250 mS/m. Dette sammen med en ledningsevne-log (se **Bilag 3**) fra 60 m dybde til 80,5 m, som blev foretaget under pumpningen med MP1-pumpen, og som viste ca. 50-55 mS/m, indikerer, at pumpen trækker ferskvand ned fra filtersektionerne ovenover. I 82,6 m dybde målt i tidsperioderne 600 – 980 sek. og 1400 – 1530 sek. en ledningsevne på ca. 100 mS/m og i 82,8 m dybde målt i tidsperioden 230 – 600 sek. en ledningsevne på ca. 265 mS/m. De tidligere ledningsevne-log fra 2 september havde i denne dybde 82,8 m vist værdier over 400 mS/m (se **Bilag 3**).

Konklusionen måtte derfor være, at faldet i ledningsevnen i det oppumpede vand fra MP1 pumpen placeret i 83 m dybde hovedsagelig skyldtes produceret vand fra filtersektionerne ovenover, og at der kun skete en meget begrænset opblanding med og fjernelse af syreresten i bunden af boringen.

Det blev derfor besluttet, at KE Partner med en stor pumpe anbragt i bunden af boringen, skulle oppumpe syreresten og eventuel slam. Dette er efterfølgende blevet udført inden prøvepumpningen blev påbegyndt den 14 oktober.

Klorid påvirkning efter fjernelse af syrerest og efter prøvepumpning

Ledningsevnen på en vandprøve udtaget 17 november fra pumpevandet fra boringen lige inden stop af prøvepumpningen blev i laboratoriet målt til 67 mS/m v. 12 C⁰ og kloridindholdet blev bestemt til 83 mg/l. Denne ledningsevne svarer til 62 mS/m ved aktuel temperatur 9,2 C⁰ i vandet i boringen. Ovennævnte ledningsevne-log fra 60 m til 80,5 m udført under pumpning med en MP1 i 83 m dybde viste (se **Bilag 3**), at ledningsevnen i vandet fra det øvre filter kun er 51 mS/m. Det producerede vand fra kalkfiltret efter fjernelse af syreresten og efter mere end en måneds prøvepumpning vil da under antagelse af indstrømningsfordelingen 25/75 % have en ledningsevne på 95 mS/m ($100 \cdot 62 = 75 \cdot 51 + 25 \cdot X$ medfører at $X = (6200 - 3875)/25 = 2375/25 = 95$), og derfor et væsentlig højere kloridindhold end det producerede vand fra det øvre filter.

5 Prøvepumpning

5.1 Pejledata og observerede påvirkninger

Under prøvepumpningen af den nye boring 206.1654 gennemførtes der kontinuerte observationer af vandspejlet i 5 udvalgte boringer, hvoraf de to var nærliggende tidligere indvindingsboringer på kildepladsen (DGU nr. 206.92 I og 206.1205), mens en er indvindingsboring på Ledreborg gods (DGU nr. 206.498), en er indvindingsboring for Lejre Stationsby (DGU nr. 206.871) og endelig er den sidste en ny privat markvandingsboring (206.1621) beliggende imellem Ledreborg kildeplads og Assermølle kildeplads. Afstanden mellem pumpeboring og de 5 observationsboringer er henholdsvis 97 m, 289 m, 740 m, 653 m og 920 m.

Derudover udførtes der som forlangt af Roskilde Amtskommune løbende observation af det terrænnære vandspejl i 4 (oprindelig 5) pejlerør (1" PVC) beliggende i en afstand af henholdsvis 10 m, 20 m, 30 m og 40 m fra pumpeboringen, og med filter etableret fra dybden 2,5 m til 3,0 m. I dette dybdeinterval optrådte der ved alle pejlerør moseaflejringer af karakter som tørv.

I pumpeboringen såvel som i de fem observationsboringer udførtes vandspejlsobservationerne ved hjælp af automatiske dataloggere af forskellig fabrikat og type (1 stk. CTD-DIVER, 2 stk. TD-DIVER, 1 stk. Gemini Tinytalk, 1 stk. Ott, 1 stk. Aquatronic), hvorimod observationerne i de fire pejlerør udførtes som daglige håndpejlinger under prøvepumpningen og i indtil 12 døgn efter denne, samt kun enkelte håndpejlinger i perioden inden prøvepumpningen.

I alle observationsboringerne var dataloggerne installeret 3-4 uger før prøvepumpningens opstart, men desværre viste det sig, at data forud for prøvepumpningsperioden i to af boringerne, 206.498 på Ledreborg gods og 206.1205 på kildepladsen, var fejlbehæftede og måtte udgå. Fra disse to boringer foreligger der derfor kun brugbare data fra lige før opstart af prøvepumpningen 14 oktober kl. 15.00, og derefter som i de øvrige helt frem til 29 november, d.v.s. i ca. 12 døgn efter afslutning af prøvepumpningen.

5.1.1 Pumpeboring 206.1654

Prøvepumpningen af den ny boring 206.1654 gennemførtes fra 14 oktober kl. 15.00 til 17 november kl. 12.40 med en pumpeydelse på 19,6 m³/t, se **Bilag 5**. Allerede det andet døgn efter start indtrådte et par kortvarige generatorudfald. Da der den 20 oktober igen indtrådte et generatorudfald, besluttedes det at udskifte generatoren den 21 oktober, hvorfor der også denne dag var et midlertidigt kortvarig pumpestop, se Bilag 5. I alt oppumpedes der 15.456 m³ vand på de i alt 33 døgn 21 timer og 40 min (inklusive de fire generator stop).

På **Bilag 6** ses det observerede vandspejlsniveau under pumpeperioden og i den efterfølgende 12 døgns observationsperiode. På samme bilag er vist det observerede barometertryk på kildepladsen i cm vandsøjle og i samme skala som vandspejlet. Derved er det enkelt at se, at der er tale om et grundvandsmagasin med barometereffekt (midlertidige fald i vandspejl ved barometerstigninger – og midlertidige stigninger i vandspejl ved barometerfald), og denne er estimeret til i gennemsnit at være 61 %. Til brug for den efterfølgende tolkning af sænkings- og stigningsdata er det observerede vandspejl følgelig korrigeret for denne effekt, rød kurve på **Bilag 6**.

Afsænkningen i pumpeboringen efter de i alt 33 døgn og 21 timer og 40 minutters pumpning ses at være 4,75 m (5,15 m – 0,40 m), således at boringens specifikke kapacitet er ca. 4 m³/t/m sænkning. Det er vigtigt at bemærke, at hele afsænkningen skete indenfor de første ca. 7 døgn, formodentlig som følge af, at den oppumpede vandmængde herefter modsvares af bidraget fra dels lækage fra overliggende moræneler, dels afdræning af kalkmatrix og endelig eventuelt bidrag fra den højtydende grønsandskalk. Sidstnævnte træffes jo både syd og nord for ådalen forholdsvis tæt ved pumpeboringen og har formodentlig direkte hydraulisk kontakt til de kvartære sandlag i erosionsdalen i Danien kalken, se de geologiske snit profiler Fig. 2, 3 og 4.

5.1.2 Observationsboring 206.92 I

På **Bilag 7** ses det observerede vandspejlsniveau før og under pumpeperioden samt i den efterfølgende 12 døgns observationsperiode. På samme bilag er vist det observerede barometertryk på kildepladsen i cm vandsøjle og i samme skala som vandspejlet. Der er naturligvis også her tale om et grundvandsmagasin med barometereffekt (midlertidige fald i vandspejl ved barometerstigninger – og midlertidige stigninger i vandspejl ved barometerfald), og denne er estimeret til i gennemsnit kun at være 38 %. Årsagen til den mindre barometereffekt sammenlignet med boring 206.1654, er formodentlig, at boring 206.92 I kun er filtersat i kalken. Det observerede vandspejl er ligesom ved pumpeboringen korrigeret for den estimerede barometereffekt, rød kurve på **Bilag 7**.

I Boring 206.92 I, som står i en afstand af kun 97 m fra pumpeboringen og med filtersætning i kalken, stod vandspejlet i niveau med top af rør, men havde et lille overløb, da prøvepumpningen blev igangsat. Allerede ca. 21 sekunder efter start af prøvepumpningen påbegyndte afsænkningen i denne observationsboring, og på lignende vis blev der allerede 47 sekunder efter pumpestop observeret en markant stigning. Den totale afsænkning ved slutningen af pumpeperioden var 3,35 m.

5.1.3 Observationsboring 206.1205

På **Bilag 8** ses det observerede vandspejlsniveau lige før og under pumpeperioden samt i den efterfølgende 12 døgns observationsperiode. Ligesom ved de forrige boringer, er det observerede barometertryk på kildepladsen vist i cm vandsøjle og i samme skala som vandspejlet. Også her er der tale om et grundvandsmagasin med barometereffekt (midlertidige fald i vandspejl ved barometerstigninger – og midlertidige stigninger i vandspejl ved

barometerfald), som er estimeret til i gennemsnit kun at være 44 %. Årsagen til den mindre barometereffekt sammenlignet med boring 206.1654, er formodentlig, at 206.1205 kun er filtersat i sand-grus magasinet. Det observerede vandspejl er ligesom ved pumpeboringen korrigeret for den estimerede barometereffekt, rød kurve på **Bilag 8**.

Boring 206.1205 er placeret i en afstand af 289 m fra pumpeboringen og er som allerede nævnt filtersat i det tykke nedre sand-grus magasin. Her stod vandspejlet ca. 20 cm under målepunktet, da prøvepumpningen blev igangsat. I denne boring observeredes påvirkningen fra pumpeboringen først efter 24 min., og på lignende vis var stigningen påbegyndt ca. 30 minutter efter pumpestop. Den totale afsænkning ved slutningen af pumpeperioden var kun 17 cm, men som det ses af Bilag 8, så har vandspejlet på grund af netop barometer effekten i begyndelsen af pumpeperioden stået lavere.

Selv om der er forsøgt korrigeret for en barometereffekt på 44 %, så viser dette tilfælde og erfaringer fra lignende situationer ved andre prøvepumpninger, at de observerede vandspejlsvariationer som følge af barometereffekt ikke altid lader sig fjerne ved korrektion for en given barometereffekt. Dette gælder især, når de observerede afsænkninger er i samme størrelsesorden som barometereffekterne, I nærværende tilfælde opstartes prøvepumpningen eksempelvis under overgang fra et højtryk på 1055 cm vandsøjle til et lavtryk på 1010 cm. En så kraftig barometerstandsvariation resulterer ved 44 % barometereffekt i en vandspejlsændring i denne boring på 20 cm, hvilket er mere end den totale afsænkning på 17 cm.

5.1.4 Observationsboring 206.498

På **Bilag 9** ses det observerede vandspejlsniveau lige før og under pumpeperioden samt i den efterfølgende 12 døgn observationsperiode. Denne private indvindingsboring beliggende på Ledreborg gods er filtersat i et gruslag beliggende fra kote -10 til -16 m, og det ses tydeligt på vandspejlsvariationen, at der indvindes fra boringen ved to pumpninger i døgnet. Endvidere ses det, at vandspejlet under pumpning (driftsvandspejlet) afsænkes ca. 40-50 cm i forhold til rovandspejlet.

En sammenligning af rovandspejlet med det observerede barometertryk på kildepladsen (vist i cm vandsøjle og i samme skala som vandspejlet) viser, at dette grundvandsmagasin har en barometereffekt på ca. 60 %. Rovandspejlet er imidlertid ikke korrigeret for denne barometereffekt, idet der ikke skønnes at være nogen påvirkning fra prøvepumpningen i boring 206.1654, som ligger i en afstand af 740 m fra observationsboringen. Der observeres ganske vist et stigende vandspejl den samme dag, som prøvepumpningen stoppes, men det ses at være en midlertidig stigning som er sammenfaldende med et kraftigt barometerfald. Uden påvirkning er der således ingen sænkingskurve at tolke, og en korrektion for barometereffekt er unødvendig.

5.1.5 Observationsboring 206.871

På **Bilag 10** ses det observerede vandspejlsniveau før og under pumpeperioden samt i den efterfølgende 12 døgns observationsperiode. Denne indvindingsboring ved vandværket i Lejre Stationsby er filtersat nederst i et gruslag beliggende fra kote +9 til -8 m. Det ses også her tydeligt på vandspejlsvariationen, at der indvindes fra boringen ved to pumpninger i døgnet. Vandspejlet under pumpning (driftsvandspejlet) afsænkes ca. 180-200 cm i forhold til rovandspejlet.

Det observerede barometertryk på kildepladsen i cm vandsøjle er vist på Bilag 10 i samme skala som rovandspejlet, men variationen i barometertrykket ses overhovedet ikke afspejlet ved modsvarende variation i rovandspejlet. Det filtersatte sandlag udviser således ingen barometereffekt, og må derfor være et grundvandsmagasin med frit vandspejl.

Der ses ikke nogen påvirkning på rovandspejlet fra prøvepumpningen i boring 206.1654, som ligger i en afstand af 653 m fra denne observationsboring. Derimod ses der i hele observationsperioden fra 5 september til 29 november et jævnt stigende vandspejl. Stigningen andrager i alt 85 cm, og ses at have en lidt større gradient fra den 12 oktober (13,5 mm/døgn) end i perioden forud (5,4 mm/døgn). Netop den 12 oktober blev indvindingen fra Assermølle kildeplads indstillet, se nedenfor.

5.1.6 Observationsboring 206.1621

Den nyetablerede private markvandingsboring DGU nr. 206.1621 ved Blæsenborgvej beliggende i en afstand af 920 m fra pumpeboringen, er etableret som åben kalkboring i Grønsandskalken og ca. 4 m ned i Danien kalken.

På **Bilag 11** ses det observerede vandspejlsniveau før og under pumpeperioden samt i den efterfølgende 12 døgns observationsperiode, og der ses nogle ret bemærkelsesværdige vandspejlsvariationer. I perioden fra 20 september til 12 oktober indtræffer der ikke mindre end tre bratte stigninger i størrelsesordenen fra 0,5 til 1,5 m, hvorimellem der ses tilsvarende bratte fald. Derudover ses en markant stigning på over 3 m den 12 oktober, og sidstnævnte stigning fortsætter hele observationsperioden ud, således at den samlede stigning fra den 12 oktober til den 29 november er ca. 6,3 m. Disse variationer har en sådan karakter, at de må være forårsaget af henholdsvis stop og start af nærliggende oppumpninger fra samme grundvandsmagasin.

Ejeren af observationsboringen kunne oplyse, at der i den pågældende periode havde været foretaget prøvepumpning på boringen. Han kunne imidlertid ikke opgive præcise datoer for hverken pumpestart eller pumpestop ud over, at det var sket sidst i september og først i oktober. Derimod har KE's driftsleder på Lejre Vandværk oplyst, at der den 22 september blev stoppet oppumpning fra boringen på Gevninge kildeplads, samt endvidere at indvindingen fra Assermølle kildeplads blev stoppet den 12 oktober.

Der kan derfor ikke være nogen tvivl om, at den observerede stigning netop den 12 oktober på vandspejlet i denne observationsboring og den fortsatte stigning på i alt 6,3 m i hele observationsperioden er et resultat af indvindingsstoppet på Assermølle kildeplads, hvis

boringer er beliggende fra boring 206.93A i nord til boring 206.93H i syd, se **Fig. 1**. Denne hændelse er således dominerende for vandspejlsvariationen i observationsboringen i prøvepumpningsperioden fra den 14 oktober og frem til den 17 november, og en eventuel overlejrende påvirkning fra prøvepumpningen er ikke muligt at observere. I betragtning af at afstanden er 920 m og at påvirkningen kunne observeres i den tidligere omtalte boring 206.1205 beliggende imellem pumpeboringen og denne boring allerede efter 24 minutter, ville en eventuel påvirkning kunne forventes at ske indenfor de første få timer. En eventuel sænkingspåvirkning som overlejrer den igangværende stigning skulle da resultere i et ændret forløb af stigningskurven indenfor nogle få timer efter kl. 15.00 den 14 oktober. Dette har ikke været muligt at observere (selv ikke ved plotning af vandspejlet logaritmisk mod tiden efter tidspunktet for prøvepumpningens opstart), hvorfor det konkluderes, at en eventuel påvirkning er så ubetydelig, at den ikke har kunnet påvises.

Det observerede barometertryk på kildepladsen i cm vandsøjle er også vist på **Bilag 11** og igen i samme skala som vandspejlet for sammenligning med dette. Den store vandspejlsstigning på mere end 6 m som omtalt ovenfor, har medført anvendelse af en lille vandstands- og barometer-skala, som ikke gør det let at se en sammenhæng i variationen i de to parametre. Men der er en sådan sammenhæng, og den ses på Bilag 11 tydeligst i perioden fra 17 til 29 november. Grundvandsmagasinet i Grønsandskalken udviser således en barometereffekt i denne boring på ca. 50 %.

5.1.7 Pejlerør i moseaflejringerne

Da det kunne forventes, at vandspejlet i de terrænnære (2,5-3,0 m dybe) pejlefiltere i moseaflejringerne er stærkt påvirket af nedbøren, indhentes nedbørsdata fra den nærliggende klimastation på KE's Lejre Vandværk, DMI Station 30430. Datasættet dækker perioden 1 september til 30 november 2004, og er vist på **Bilag 12** som døgnmængder indberettet hver af ugedagene mandag til og med fredag kl. 08.00. Nedbøren angivet om mandagen omfatter derfor nedbør fra fredag kl. 08.00 til mandag kl. 08.00.

Der var oprindeligt etableret 5 pejlerør beliggende i afstand fra 10 m til 50 m fra pumpeboringen og i retning mod boring 206.92I, se Fig. 1. Det fjerneste rør blev imidlertid lige inden prøvepumpningens start ved et uheld kørt ned. Pejleobservationerne fra de fire tilbageværende pejlerør ses på **Bilag 13**. I perioden før prøvepumpningen observeredes vandspejlet til at ligge og variere imellem kote +7,90 og +8,00 med forskelle imellem de enkelte pejlerør på op til 4 cm. Terrænkoten er ved satellit baserede GPS-målinger bestemt til at ligge på kote +8,10 til +8,20.

Ca. tre døgn efter prøvepumpningens start, d.v.s. den 17 oktober ses vandspejlet i alle fire pejlerør at stige markant, og stigningen fortsætter frem til omkring 22 september således, at vandspejlet i rørene derefter stod i kote + 8,10 til +8,15. Stigningen skyldes formodentlig den store mængde nedbør, ca. 37 mm, der ifølge nedbørsgrafen netop faldt i weekenden 16-17 oktober. At stigningen ikke skyldes opstuvning af det afledte pumpevand til det nærliggende vandløb ses ved, at der ikke sker et tilsvarende fald efter pumpestop den 17 november. Tværtimod stiger vandspejlet i pejlerørene yderligere nogle få cm efter en nedbør på 23 mm i weekenden 20-21 november.

Der kan således ikke konstateres nogen afsænkning af vandspejlet i moseaflejringerne som følge af prøvepumpningen.

5.1.8 Sammenfatning af pejleobservationerne i boringerne

På **Bilag 14** er det observerede vandspejl i pumpeboringen og i de fem observationsboringer vist i kote. For at kunne få disse så nøjagtige som muligt blev koten til alle reference-målepunkter ved de i alt 6 borer forsøgt bestemt ved hjælp af satellit-baserede GPS målinger, og reference-målepunktets højde over terræn opmålt hvorved koten til terræn kan angives. Kotebestemmelsen af reference-målepunkterne er fastsat med en nøjagtighed på +/- 2 cm. Ved et par af boringerne (206.498 og 206.1621) skyggede træer for en eller flere satellitter, hvorved nøjagtigheden på bestemmelsen af koten til disse boringers referencepunkt blev mindre, i størrelsesordenen +/- 50 cm.

Påvirkningen fra prøvepumpningen i boring 206.1654 på de to observationsboringer, 206.92 I (afstand 97 m) og 206.1205 (afstand 289 m) fremgår tydeligt af Bilag 14, ligesom den manglende påvirkning i de tre øvrige observationsboringer. Vandspejlet i boring 206.498 (afstand 740 m) ses at ligge 8-9 m højere end i boringerne på kildepladsen, hvilket indikerer at sand-grus magasinet i denne boring ikke er i direkte hydraulisk kontakt med sand-grus magasinet og kalk magasinet på kildepladsen.

Den manglende påvirkning af boring 206.871 (afstand 653 m) i Lejre Stationsby kan tages som udtryk for, at det filtersatte sand-grus lag i denne boring ikke er i direkte hydraulisk kontakt med sand-grus magasinet og med kalkmagasinet på Ledreborg kildeplads. Dette underbygges af den vedvarende stigning i vandspejlet i denne boring, samt dens manglende barometereffekt. Stigningen i vandspejlet skyldes formodentlig den øgede nedbør i efterårsmånederne, men muligvis også den midlertidigt ophørte indvinding på Assermølle kildeplads.

Den manglende påvirkning i boring 206.1621 (afstand 920 m) ved Blæsenborgvej kan være forårsaget af, at vandspejlet her undergår en stærk stigning i samme periode som følge af indvindingsstopet på Assermølle kildeplads. Effekten af dette stop, som skete den 12 oktober, ses tydeligt på **Bilag 14**. En eventuel påvirkning fra prøvepumpningen ville i givet fald kun have andraget nogle få cm sænkning, hvilket slet ikke ville kunne observeres på det stærkt stigende vandspejl.

Uanset relationerne mellem terrænkoten ved de forskellige borer så ses vandspejlene ved slutningen af observationsperioden indbyrdes at have følgende rækkefølge fra højeste mod laveste: 206.498 (kote +16,6 /terræn kote +15) – 206.1654 (kote +9,0 /terræn kote +7,9) – 206.92 I (kote +8,8 /terræn kote +8,5) – 206.1205 (kote +8,2 /terræn kote +7,5) – 206.871 (kote +7,5 /terræn kote +22,5) og 206.1621 (kote 6,7 /terræn kote +13,6). Heraf fremgår, at boringerne på Ledreborg kildeplads samt på Ledreborg gods har vandtryk over terræn, medens dette ikke er tilfældet hverken for boringen ved Blæsenborgvej eller for boringen i Lejre Stationsby.

Med hensyn til en summerende oversigt over karakteristika for pumpeboringen og for observationsboringerne henvises til foregående Tabel 1.2 på side 6.

5.2 Tolkning af sænkings- og stigningsdata

I det følgende vises og diskuteres tolkning af de barometereffekt korrigerede sænkings- og stigningsdata fra pumpeboringen 206.1654 og fra de to nærmestliggende observationsboringer, 206.92 I og 206.1205, hvor der er observeret påvirkning.

Til tolkningen er anvendt det interaktive beregningsværktøj "AQTESOLV", som giver mulighed for at vælge blandt en række forskellige metoder og strategier på basis af magasin type (Aquifer model). Ved den enkelte tolkningsmodel angives pumpningsraten og de geometriske magasin parametre samt sensitivitetstværdier for visse hydrauliske parametre, hvorefter softwaren regner en sænkingskurve og/eller en stigningskurve og tilpasser denne til bedst mulig "fit" med de observerede data ved at ændre på magasinets hydrauliske parametre.

Det skal understreges, at beregningsværktøjet "AQTESOLV" forudsætter et ensartet og homogent magasin med uendelig udstrækning og med impermeabel nedre grænseflade, men med mulighed for lækage gennem øvre grænseflade. Der er således tale om en stor simplificering i forhold til den aktuelle situation med en erosionsdal ned i kalken, der er opfyldt med en vekslende sand-grus lagserie af varierende tykkelse. Opad er sand-grus magasinet dækket af et morænelerslag, som muligvis er sammenhængende over et større område, men hvis tykkelse og karakter må formodes at variere.

Nedadtil er grundvandsmagasinet i Danien kalken afgrænset af den langt mindre permeable Skrivekridt formation. Dybden til denne formation kendes ikke i dette område, men det kan på basis af bl.a. et refleksionsseismisk profil fra Køge bugt til Roskilde (RAMBØLL 2002) forventes, at Danien kalken er ca. 80 m tyk. Der er i den anvendte magasin model dog kun regnet med et 20 m tykt kalk magasin, fordi der er indikation på at grænsen til det saltvandspåvirkede grundvand ligger i ca. kote -85 m således som observeret i boring 7B (DGU nr. 206.1204). Det antages derfor, at permeabiliteten er væsentlig mindre under saltvandsgrænsen, og at dette er grunden til at det saltholdige porevand i kalken endnu ikke er udvasket.

Ved opstilling af magasin model er det taget i betragtning, at pumpeboringen har et filter i hvert af to forskellige magasiner, et kalk magasin og et sand magasin, samt at de to observationsboringer repræsenterer hver sit magasin. Det har derfor været nødvendigt at foretage en opdeling af pumpningsraten $Q=19,6 \text{ m}^3/\text{t}$ på hvert af de to magasiner i samme forhold som påvist ved flow-log i 206.1654, d.v.s. 25% af Q fra kalk magasinet, og 75 % af Q fra sand magasinet. Derved antages det, at der ikke sker nogen vandudveksling imellem de to magasiner. Sidstnævnte forudsætning betyder også, at den observerede sænkings- og stigningskurve i pumpeboringen kan antages også at gælde for hvert af de to filtre.

I nedenstående **Tabel 5.1** er der vist en sammenstilling af de magasin modeller der er anvendt ved tolkningsberegningerne for de fire sæt observationsdata. For de to henholdsvis 5

og 10 m lange filtre i sand er der anvendt et 20 m tykt magasin med et forhold på 0,1 mellem den vertikale og den horisontale permeabilitet. For de to henholdsvis 12 og 6 m lange filtre i kalk er der anvendt et 20 m tykt magasin med 5 m tykke horisontale plader adskilt ved meget vandførende horisontale sprækker. Der har været forsøgt anvendt en kalk magasin model baseret på blokke med en given diameter (svarende til ensartet intensitet af vertikale og horisontale sprækker og med samme sprækkepermeabilitet), men tolkningsresultaterne gav mindre sandsynlige hydrauliske parametre end plademodellen.

Table 5.1: Magasin modeller for tolkningsberegningerne og tolkningsmetode

Boring – filter	Magasin	Type	r (m)	Tyk (m)	Filter	K_z / K_x	Pl.tyk.	Q m ³ /t	Metode
206.1654-nedre	Kalk	Horis. Spræk. & plader	0,2	20	12	-	5	4,9	Moench 1984
206.1654-øvre	Sand	Lækage	0,2	20	5	0,1	-	14,7	Hantush-Jacob
206.92 I	Kalk	Horis. Spræk. & plader	97	20	6	-	5	4,9	Moench 1984
206.1205	Sand	Lækage	289	20	10	0,1	-	14,7	Hantush-Jacob

5.2.1 Tolkning af observationsdata fra sand filter i boring 206.1654

På observationerne fra denne boring er der udført tolkning ved kurvetilpasning i tre forskellige tidsperioder. På **Bilag 15 A** ses resultatet af kurvetilpasning på sænkingsdata i semi-logaritmisk afbildning (sænkning mod log tid) fra de første 1000 minutter indtil første generator udfald. På **Bilag 15 B** ses resultatet af kurvetilpasning på såvel sænkings- som stigningsdata fra hele observationsperioden inklusive midlertidige pumpestop. Endelig viser **Bilag 15 C** kurvetilpasningen på stigningsdata efter sidste pumpestop.

Table 5.2: Tolkningsresultat for boring 206.1654 – sand filter

Bilag nr. – plot type	Bilag 15 A – semi log.	Bilag 15 B – semi log.	Bilag 15 C – semi log.
Tidsperiode på plot	1 -10 ³ min. Sækn.	1 -10 ⁵ min. Sækn. + Stign.	10 ⁴ -10 ⁵ min. Stign.
Faste parametre:			
r (m)	0,2	0,2	0,2
K_z / K_r	0,1	0,1	0,1
b (m)	20	20	20
Delvis filtersat	15 m – 5 m – 0 m	15 m - 5 m - 0 m	15 m – 5 m – 0 m
Resultat:			
T (m ² /sek)	6,6 x 10 ⁻⁴	0,9 x 10 ⁻³	1,1 x 10 ⁻³
S	2,8 x 10 ⁻²	1,8 x 10 ⁻³	1,3 x 10 ⁻³
r/B	1,05 x 10 ⁻²	1,8 x 10 ⁻³	2,4 x 10 ⁻⁴
P^*/m^* (sek ⁻¹)	1,82 x 10 ⁻⁶	7,29 x 10 ⁻⁸	1,58 x 10 ⁻⁷

De fastholdte parametre er diskuteret ovenfor og for filtersætningen i forhold til magasinet gælder, at det 5 m lange filter sidder nederst i magasinet. Resultat parametrene er transmissiviteten **T**, magasintallet **S** og forholdet mellem afstanden **r** til centrum af pumpeboring og lækagefaktor **B**. På basis af sidstnævnte forhold r/B udregnes den specifikke vertikale permeabilitet P^*/m^* (sek⁻¹) i dæklaget over magasinet. **Table 5.2** ovenfor viser en sammenstilling af tolkningsresultaterne, hvoraf det fremgår, at de tre tolkninger giver T-værdier i

samme størrelsesorden og S-værdier i samme størrelsesorden for to af tolkningerne. S-værdien fra tolkningen af de første 1000 minutter er derimod en faktor 5 større. Største spredning ses på r/B-værdierne, hvor den første tolkning giver en faktor 20 større end tolkningen af hele datasættet, som igen er en faktor 10 større end tolkningen af stigningsdata alene. Der fås følgelig tre forskellige værdier for dæklagenes specifikke vertikale permeabilitet P^{\prime}/m^{\prime} , hvor den mest sandsynlige er den, der er beregnet på basis af sænkings- og stigningsdata fra hele observationsperioden, idet de andre to synes at give for høj permeabilitet.

5.2.2 Tolkning af observationsdata fra kalk filter i boring 206.1654

Idet der som nævnt indledningsvis anvendes samme vandspejlsdata på dette filter som på sand filtret, er der også her udført tolkning ved kurvetilpasning i de samme tre tidsperioder som ovenfor. På **Bilag 16 A** ses resultatet af kurvetilpasning på sænkingsdata i semi-logaritmisk afbildning (sænkning mod log tid) fra de første 1000 minutter indtil første generator udfald. På **Bilag 16 B** ses resultatet af kurvetilpasning på såvel sænkings- som stigningsdata fra hele observationsperioden inklusive midlertidige pumpestop. Endelig viser **Bilag 16 C** kurvetilpasningen på stigningsdata efter sidste pumpestop.

Tabel 5.3: Tolkningsresultat for boring 206.1654 – kalk filter

Bilag nr. – plot type	Bilag 16 A – semi log.	Bilag 16 B – semi log.	Bilag 16 C – semi log.
Tidsperiode på plot	1 -10 ³ min. Sækn.	1 -10 ⁵ min. Sænk. + Stign.	10 ⁴ -10 ⁵ min. Stign.
Parameter valg:			
d (m) pladetykkelse	5	5	5
b (m) magasin	20	20	20
Delvis filtersat	3 m – 12 m – 5 m	3 m – 12 m – 5 m	3 m – 12 m – 5 m
S _s (m ⁻¹) matrix	0,001	0,001	0,001
S _w filter	0	0	0
S _f sprækker	1	1	1
Resultat:			
K (m/sek) sprækker	1,4 x 10 ⁻⁵	2,2 x 10 ⁻⁵	2,1 x 10 ⁻⁵
K' (m/sek) matrix	2,4 x 10 ⁻⁸	2,1 x 10 ⁻¹¹	1,8 x 10 ⁻¹¹
S _s (m ⁻¹) sprækker	5,3 x 10 ⁻⁵	5,3 x 10 ⁻⁷	2,1 x 10 ⁻⁶

Følgende forhold gælder for de fastholdte parametre: Det 12 m lange filter sidder 3 m nede i magasinet. Det specifikke magasintal S_s for kalk matrix er sat til 1 promille. Filterbelægningsfaktoren S_w er sat til 0, og sprækkebelægningsfaktoren S_f er sat til 1 svarende til ingen belægning på sprækkefladerne som kan mindske dræning fra kalk matrix. Resultatparametrene er sprækkepermeabilitet K , matrixpermeabilitet K' og specifik magasintal S_s for sprækkerne. I **Tabel 5.3** ovenfor ses en sammenstilling af tolkningsresultaterne, hvoraf det fremgår, at de tre tolkninger giver K-værdier i samme størrelsesorden og K'-værdier i samme størrelsesorden for to af tolkningerne. K'-værdien fra tolkningen af de første 1000 minutter er derimod en faktor 1000 større. For S_s giver de tre tolkninger værdier, som afviger indbyrdes med en faktor 10, hvor tolkningen i 1000 minutter giver største værdi, mens tolkningen for det samlede datasæt giver den mindste værdi.

5.2.3 Tolkning af observationsdata fra kalk filter i boring 206.92 I

På observationerne fra denne boring er der kun udført tolkning ved kurvetilpasning i den ene af de tre forskellige tidsperioder, nemlig på sænkingsdata helt frem til lige før endelig stop af prøvepumpningen og inklusive de midlertidige pumpestop. Resultatet af kurvetilpasningen ses på **Bilag 17**.

Tabel 5.4: Tolkningsresultat for boring 206.92 I – kalk filter

Bilag nr. – plot type		Bilag 17 – semi log.	
Tidsperiode på plot	1 -10 ³ min. Sænk.	0,01 -10 ⁵ min. Sænk.	10 ⁴ -10 ⁵ min. Stign.
Parameter valg:			
d (m) pladetykkelse		5	
b (m) magasin		20	
Delvis filtersat		5 m – 6 m – 9 m	
S _s (m ⁻¹) matrix		0,001	
S _w filterbelægning		0	
S _f sprækkebelægn.		1	
Resultat:			
K (m/sek) sprækker		2,0 x 10 ⁻⁵	
K' (m/sek) matrix		2,2 x 10 ⁻¹²	
S _s (m ⁻¹) sprækker		8,8 x 10 ⁻⁹	

Følgende forhold gælder for de fastholdte parametre: Det 6 m lange filter sidder 5 m nede i magasinet. Det specifikke magasintal S_s for kalk matrix, filterbelægningsfaktoren S_w og sprækkebelægningsfaktoren S_f er sat til samme værdier som for kalken ved pumpeboringen ovenfor. Resultat parametrene er sprækkepermeabilitet K, matrixpermeabilitet K' og specifik magasintal S_s for sprækkerne. I **Tabel 5.4** ovenfor ses tolkningsresultaterne af den udførte kurvetilpasning, og ved sammenligning med tolkningsresultatet fra tilsvarende tidsperiode ved pumpeboringen fremgår det, at sprækkepermeabiliteten K har samme værdi, at matrixpermeabiliteten K' ved observationsboringen er en faktor 10 mindre, og endelig at det specifikke magasintal S_s for sprækkerne ved observationsboringen er en faktor 100 mindre.

5.2.4 Tolkning af observationsdata fra sand filter i boring 206.1205

På observationerne fra denne boring er der også kun udført tolkning ved kurvetilpasning i den ene af de tre forskellige tidsperioder, nemlig på sænkingsdata helt frem til lige før endelig stop af prøvepumpningen og inklusive de midlertidige pumpestop. Resultatet af kurvetilpasningen ses på **Bilag 18**.

De fastholdte parametre er diskuteret i indledningen og for filtersætningen i forhold til magasinet gælder, at det 10 m lange filter sidder midt i magasinet. Resultat parametrene er transmissiviteten T, magasintallet S og forholdet mellem afstanden r til centrum af pumpeboring og lækagefaktor B. På basis af sidstnævnte forhold r/B udregnes den specifikke vertikale permeabilitet P'/m' (sek⁻¹) i dæklaget over magasinet.

Tabel 5.5: Tolkningsresultat for boring 206.1205 – sand filter

Bilag nr. – plot type		Bilag 18 – semi log.	
Tidsperiode på plot		1 · 10 ⁵ min. Sænk.	
Parameter valg:			
r (m)		289	
K _z / K _r		0,1	
b (m)		20	
Delvis filtersat		5 m – 10 m - 5 m	
Resultat:			
T (m ² /sek)		1,0 x 10 ⁻²	
S		7,8 x 10 ⁻⁴	
r/B		1,0 x 10 ⁻¹	
P`/m` (sek ⁻¹)		1,2 x 10 ⁻⁹	

I **Tabel 5.5** ovenfor ses tolkningsresultaterne af den udførte kurvetilpasning, og ved sammenligning med tolkningsresultatet fra tilsvarende tidsperiode ved pumpeborings sand filter fremgår det, at transmissiviteten T her ved observationsboringen er en faktor 10 større, at magasintallet S ved observationsboringen er en faktor 5 større, og endelig at r/B her ved observationsboringen er en faktor 100 større end ved pumpeboringen. Sidstnævnte er ikke overraskende i betragtning af, at r er afstanden til pumpeboringen, 289 m, som er en faktor 1000 større end r ved pumpeboringen. Den beregnede specifikke vertikale permeabilitet P`/m` for dæklaget over magasinet ses da også at have en meget sandsynlig størrelsesorden.

I øvrigt skal det bemærkes, at det for denne borings sænkingsdata ikke er muligt at opnå en god kurvetilpasning. Der synes at være to sammenfaldende årsager hertil: 1) Barometer effekten er stor i forhold til sænkingspåvirkningens størrelse, og korrektion kan derfor ikke fjerne uregelmæssighederne på sænkingskurven. 2) Sænkingskurven udviser en jævn stigning efter sidste generator udfald, hvilket antagelig skyldes påvirkningen fra indvindingsstoppet på Assermølle kildeplads. Dette synes bekræftet ved, at vandspejlet ved slutningen af observationsperioden den 29 november er steget til et niveau, som er ca. 18 cm højere end ved start af prøvepumpningen.

5.2.5 Afsluttende validering af tolkningsresultater

De udtolkede hydrauliske magasin parametre er naturligvis behæftet med en del usikkerhed, idet der som allerede nævnt i indledningen til sektion 5.2 er tale om nogle store simplifikationer af magasin forholdene på kildepladsen i forhold til de eksisterende komplekse geologiske forhold: En vekslende tykkelse og sammensætning af den kvartære lagserie; - en stærkt uregelmæssig kalkoverflade ovenpå hvilken der udenfor den nederoderede dal i Danien kalken optræder Grønsandskalk med en stor hydraulisk ledningsevne; - og Danien kalken hvis hydrauliske ledningsevne varierer ikke alene med dybden men også lateralt; - og endelig optræder der et stykke nede i Danien kalken saltvandspåvirket grundvand, som ikke kan påregnes at være fuldstændig adskilt fra det overliggende ferskvand ved en impermeabel grænse, om end den vertikale permeabilitet nok kan påregnes at være mindre mod større dybde i Danien kalken.

Hvad angår de udtolkede hydrauliske parametre for sand-grus magasinet omkring observationsboring 206.1205, så er størrelsesorden af såvel T-værdien på $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek.}$ som S-værdien på $7,8 \times 10^{-4}$ fra observationsboring 206.1205 meget sandsynlige. Og selv om kurvefittet på kurven efter 1000 minutter er meget dårlig på grund af de uregelmæssige data, så resulterer den udtolkede r/B-værdi på 0,1 i en meget sandsynlig størrelsesorden for den specifikke permeabilitet i dæklaget over sand-grus magasinet, $P^*/m^* = 1,2 \times 10^{-9}$.

Fra sand filtret i pumpeboringen synes en T-værdi på $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sek.}$ sandsynliggjort ved at alle tre tolkninger resulterer i denne størrelsesorden, og en S-værdi på 2×10^{-3} fra tolkningen af den lange tidsperiode synes mere sandsynlig end S-værdien på 3×10^{-2} fra tolkning af de første 1000 min. sænkingsdata, selv om der er en særdeles god kurvetilpasning på sidstnævnte dataserie. Med hensyn til de tre meget forskellige værdier for r/B så giver r/B-værdien på $1,8 \times 10^{-3}$ den mest sandsynlige værdi for den specifikke permeabilitet P^*/m^* i dæklaget, nemlig $7,3 \times 10^{-8}$. De to andre r/B-værdier på henholdsvis $1,05 \times 10^{-2}$ og $2,4 \times 10^{-3}$ resulterer i for høje værdier på P^*/m^* , $1,8 \times 10^{-6}$ og $1,6 \times 10^{-7}$.

For kalk magasinet gælder, at en sprækkepermeabilitet K på 2×10^{-5} er resultatet fra såvel pumpeboringen som observationsboring 206.92 I. Men den er baseret på, at der er gjort den antagelse (plade model), at der ikke optræder vertikale sprækker af betydning, hvilket er ret usandsynligt. Denne værdi for sprækkepermeabiliteten giver en T-værdi på $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sek.}$ For de to andre parametre, matrix permeabiliteten K' og det specifikke sprække-magasintal S_s , gælder, at der er store forskelle dels på de tre tolkninger af pumpeboringens datasæt, og dels imellem disse og observationsboring 206.92 I. Den forholdsvis dårlige kurvetilpasning på de lange tidsperioder i modsætning til den fine kurvetilpasning på den korte tidsperiodes datasæt fra pumpeboringen giver grund til at formode, at de tolkede værdier fra sidstnævnte er mest sandsynlige: $K' = 2 \times 10^{-8} \text{ m/sek.}$ og $S_s = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$.

6 Klorid-påvirkning og Vandkvalitet

6.1 Tidligere erfaringer fra andre boringer

De seneste års indvinding fra Ledreborg kildeplads har fundet sted fra boringerne 4A (206.599), 6A (206.1205) og 7B (206.1204) (RAMBØLL 2004). Indvinding fra kildepladsen blev stoppet i 2002 netop med henblik på ombygning fra det gamle hævertsystem til indvinding ved moderne dykpumper. Der har ikke været væsentlige vandkvalitetsmæssige problemer ved indvinding fra de nævnte boringer, men kun en stigning i hårdheden (til 20,5 total) og i sulfatindholdet (til ca. 100 mg/l) på det producerede vand, samt et forhøjet kloridindhold, 150 mg/l i 2001. Dette forhøjede kloridindhold skyldes boring 7B, hvis kloridindhold er steget fra 60 mg/l ved etableringen i 1989 til 262 mg/l i 2001.

Sidstnævnte er særdeles bemærkelsesværdigt, idet denne boring er filtersat i sandlag i ca. samme dybde som i boring 6A, d.v.s. fra ca. 40 m til ca. 50 m dybde, hvor kloridindholdet ifølge boring 6A kun er 28 mg/l. Boringerne 6A og 7B adskiller sig imidlertid ved, at **boring 7B** oprindeligt blev boret til 94,7 m dybde og uden at træffe hverken Selandien aflejringer eller Danien kalk. Ved denne dybde viste boring 7B et ekstremt højt kloridindhold, 2765 mg/l, hvorfor den blev opfyldt til 56 m før filteret blev etableret. Under nedboringen i 1989 var der ved boreddybden på 84 m kun et kloridindhold på 36 mg/l, se **Bilag 19**. Den efterfølgende stigning i kloridindholdet i boring 7B må derfor tilskrives, at der sker lækage af kloridholdigt vand fra den oprindelige boringsbund og op gennem opfyldningen, som åbenbart ikke er tæt (der foreligger ingen oplysninger om hvilket opfyldningsmateriale, der er benyttet).

Allerede ved udførelse af den første **boring 7** (DGU nr. 206.92G) i 1934 erfarede det, at grundvandet i den nedre del af kvartæret og øverst i Danien kalken havde særdeles højt kloridindhold. Denne boring blev udført til 96,35 m dybde, og nåede ca. 4 m ned i Danien kalken. Analyser af vandprøver udtaget ved boreddybderne 49 m, 68 m, 76 m, 80 m og 92 m viste henholdsvis 50 mg/l, 3895 mg/l, 5290 mg/l, 5820 mg/l og 9845 mg/l Cl, se **Bilag 19**. Også denne boring 7 blev ligesom den senere boring 7B på grund af de høje kloridtal med det samme fyldt tilbage til 49 m dybde før udbygning med slidsefilter i dybdeintervallet 40-49 m. Opfyldningen blev ifølge den oprindelige Kvf. borebeskrivelse udført med finsand fra 96,35 m til 65 m og fra 63 m til 53 m adskilt ved 2 m beton fra 65 m til 63 m. Endelig udstøbtes 3 m beton fra 53 m til 50 m og opfyldt med 1 m sten til 49 m. Selv om en vandprøve fra filteret efter luftskylning kun viste 25 mg/l Cl, så er der grund til at formode at også denne boring har vist stigende klorid gennem årene, idet der allerede i 1963 blev udført den første erstatningsboring 7A (DGU nr. 206.619) til 53,5 m dybde og med slidserørfilter fra 37 m til 47 m.

Umiddelbart efter færdiggørelsen af ovennævnte boring 7 påbegyndtes også i år 1934 **boring 5** (DGU nr. 206.92 E) beliggende 275 m nordøst for boring 7. Også denne boring blev boret til ca. 96 m og nåede ca. 1 m ned i Danien kalken. En vandprøve fra et gruslag ved boreddybden 37,6 m viste kun 25 mg/l Cl, og efter at have boret overvejende i moræneler

ned til 81 m blev der udtaget en vandprøve ud for et gruslag i 83,5 m dybde, som viste 530 mg/l klorid. Endelig viste en vandprøve fra top af kalken i ca. 95 m dybde et kloridindhold på 3250 mg/l, se **Bilag 19**. Også denne boring blev derfor straks tilbagefyldt til 37 m, hvorefter der sættes et slidserørsfilter fra 33 m til 37 m. Der står intet i den oprindelige Kvf. borebeskrivelse om hvorledes tilbagefyldningen blev udført, men det må formodes at samme fremgangsmåde er benyttet som ved boring 7, d.v.s. overvejende finsand med en 2 m betonprop i ukendt dybde og 3 m betonprop med 1 m stenopfyldt lige under filteret.

De gamle og oprindeligt meget dybe boringer 5, 7 og 7B har alle tre det tilfælles at være tilbagefyldt og afproppet til dybder mellem 37 og 56 m på grund af meget høje kloridtal i kalken og i de nedre kvartære sand- og gruslag. Stigende klorid i filtrene ovenover afproppingerne indikerer, at tilbagefyldningerne ikke er tætte. Især de to ældste, hvor der er anvendt finsand og kun få meter betonudstøbning giver grund til mistanke om optrængning i selve boringen af kloridholdigt grundvand fra kalken.

Endelig bør det også medtages, at den nærmestliggende boring 8 (DGU 206.92H) i 1938 blev boret ned til 85 m uden at møde Danien kalken, og uden at der undervejs blev observeret forhøjede kloridtal i de kvartære sand-grus lag. Antagelig på basis af erfaringerne med klorid fra kalken i fra boringerne 5 og 7 blev der ikke filtersat i det nederste sandlag (71,6 – 85,0 m), som antagelig ligger lige over kalken. I stedet blev boringen fyldt op og filtersat i to højereliggende sandlag (57,0 – 64,0 m og 28,0 – 30,0 m). Det skal bemærkes, at opfyldningen blev udført med sten og der er således ikke afspærret til en eventuel kloridpåvirkning fra kalken. Der foreligger imidlertid ingen information om den tidlige kloridudvikling i denne boring.

6.2 Ny boring (DGU nr. 206.1654)

Netop på grund af risikoen for forhøjet klorid i Danien kalkens porevand blev der under borearbejdet i kalken udtaget vandprøve af borevandet for hver 5 m, hvorved der konstateredes en kun ganske svag stigning nedefter: Fra 26 mg/l ved 70 m, 29 mg/l ved 75 m, 32 mg/l ved 80 m og til 31 mg/l ved 85m. En ledningsevne-log efter nedboring til 80 m viste 52 mS/m (ikke temperatur korrigeret), se **Bilag 3**, og en induktions-log efter nedboring til 85 m viste en formationsledningsevne i kalken på 10 mS/m, se **Bilag 2**. Begge typer logs indikerede således et lavt klorid i kalkens porevand inden den ca. 1 måned lange prøvepumpning blev udført.

Ikke desto mindre registreredes under prøvepumpningen med en permanent installeret CTD-DIVER på en position 76 m under terræn en øjeblikkelig stigning i ledningsevnen ved prøvepumpningens opstart den 14 okt. fra 60 mS/m til 88 mS/m. Ledningsevnen i 76 m dybde faldt derefter gradvist til 77 mS/m frem til 22 okt. for igen at stige fra 80 mS/m den 26 okt. til 98 mS/m lige før pumpestop den 17 nov, se EC-kurven på **Bilag 20**. Fra flow-loggen vides, at der i kalken nedenunder 76 m dybde indstrømmer ca. 8% af den totale oppumpningsydelse, d.v.s. ca. 1,6 m³/t. Ledningsevne målingen i 76 m dybde under prøvepumpningen indikerer således, at denne tilstrømning bliver gradvis mere kloridholdigt.

På Bilag 20 ses der fra 22 okt. til 26 okt. et markant spring i ledningsevnen til ca. 250 mS/m. Dette skyldes et uheld med CTD-DIVEREN, som blev tabt ned på bunden af boringen under forsøg på at tage den op for tapning af data. Efter således at være faldet ned til bunden, fortsatte DIVEREN med at måle indtil den 26 oktober, hvor dens lagringskapacitet var opbrugt. Den samme dag blev DIVER nr. 2 installeret ligeledes i 76 m dybde således at observation af ledningsevne og temperatur, samt vandtryk kunne fortsættes helt til observationsperiodens afslutning den 29 november. Først den 12 januar 2005 lykkedes det efter mange forgæves forsøg og metoder at fiske den tabte DIVER 1 op fra boringen, hvorefter data fra perioden op til 26 oktober kunne sammensættes med data fra DIVER 2 som vist på **Bilag 20**.

Den højere ledningsevne ved bunden af boringen, registreret fra den 22 oktober af den tabte DIVER 1, kan skyldes en kombination af kalkslam og lidt syrerest. Men den tidligere observerede høje ledningsevne ved bunden som følge af en høj koncentration af syrerest, (nævnt i tidligere afsnit 4.4.), er nu faldet betydeligt.

På Bilag 20 ses, at ledningsevnen falder meget hurtigt igen efter pumpestop den 17 november således, at den allerede efter tre døgn pumpestop er tilbage på de oprindelige 60 mS/m og efter 12 døgn pumpestop er nede på 58 mS/m (ved aktuel temperatur 9,2⁰C). Dette drastiske fald i ledningsevnen umiddelbart efter pumpestop indikerer, at den stigende ledningsevne i det indstrømmende vand i den nedre del af kalkfiltret skyldes optrængning af mere kloridholdigt vand fra større dybde. Hvis der havde været tale om tilstrømning af mere kloridholdigt vand f.eks. fra siden, ville der næppe være sket et så drastisk fald så hurtigt efter pumpestop.

En vandprøve udtaget den 17 november lige før stop af prøvepumpningen viste en god vandkvalitet, men med et lettere forhøjet kloridindhold på 83 mg/l. Ledningsevnen bestemt i laboratoriet var 67 mS/m ved 12⁰C. Med undtagelse af jern på 0,50 mg/l ligger alle parametrene fra "boringskontrol analysen" under de tilladelige grænseværdier, se **Bilag 21**. Der blev udført en omfattende analyse for organiske forbindelser og pesticider uden at nogen af stofferne kunne måles (under detektionsgrænsen).

Det lettere forhøjede kloridindhold på 83 mg/l må skyldes indstrømningsbidraget på 8 % indstrømning under 76 m dybde. Dette indstrømmende vand i den nedre del af filteret har ved prøvepumpningens afslutning en ledningsevne på 98 mS/m, jævnfør DIVER målingen omtalt ovenfor, hvilket er væsentlig højere end ledningsevnen af det producerede vand, 67 mS/m ved 12⁰C (63 mS/m ved den aktuelle temperatur 9,2⁰C nede i boringen).

Denne målte værdi på 98 mS/m i 76 m dybde, hvor 8% af vandindstrømningen passerer, stemmer godt overens med den tidligere (side 18) beregnede ledningsevne på 95 mS/m i blændrøret ovenover filteret i kalken, hvor 25% af vandmængden passerer.

Som allerede nævnt måler såvel DIVER 1 som DIVER 2 også temperatur. På Bilag 20 ses en øjeblikkelig temperaturstigning den 22 oktober, da DIVER 1 falder ned til bunden. Temperaturen stiger herved fra 9,09⁰C til 9,25⁰C som følge af 9 m større dybde. Dette svarer til en temperatur gradient på 1,8⁰C per 100 m dybde, hvilket ikke er usandsynligt. Den ny DIVER 2 viser den 26 oktober en tempertur i 76 m dybde på 9,20⁰C, hvor DIVER 1 havde

vist 9,09°C. Denne forskel skyldes tilsyneladende at de to DIVERE ikke er ens i temperatur kalibreringen i modsætning til ledningsevne kalibreringen, der synes at være ens for de to DIVERE.

Der ses i øvrigt det overraskende på **Bilag 20**, at DIVER 2 viser en svagt faldende tendens på temperaturen fra 9,20°C ved dens installation den 26 oktober og ned til 9,17°C ved pumpestop 17 november, og derefter igen en meget svag stigning til 9,19°C den 29 november. Betydningen af dette lader sig vanskeligt forklare, når der samtidig sker den modsatte ændring i ledningsevnen på samme måledybde 76 m. Sidstnævnte ændring indikerer øget tilskud af kloridholdigt vand fra den dybere del af kalken, medens temperatur ændringen kunne tyde på et øget bidrag af vand fra den øvre del af kalken.

6.3 Konklusion om vandkvalitet og klorid påvirkning

Den ny borings vandkvalitet er meget tilfredsstillende, idet alle vandkvalitets parametre fra en "Boringskontrol analyse" på en vandprøve fra slutningen af prøvepumpningsperioden, ligger under de højst tilladelige grænser med undtagelse af jern, som ligger på 0,50 mg/l. Den omfattende analyse for organiske stoffer, chlorerede forbindelser samt pesticider viste ligeledes meget tilfredsstillende, at alle stofferne lå under detektionsgrænsen.

Med hensyn til klorid viste analysen 83 mg/l, d.v.s. et lettere forhøjet indhold som skyldes de 25% indstrømningsbidrag fra Danien kalken. Ledningsevnen på det producerede vand var 63 mS/m ved 9,2°C, medens ledningsevnen af vandet fra det øvre filter, hvor 75% indstrømmer, kun var 51 mS/m ved 9,1°C. Dette viser, at vandet fra kalken har højere ledningsevne, 95 mS/m, og derfor også et højere klorid indhold.

Kontinuert ledningsevнемåling på de 8% af vandet, som indstrømmer under 76 m dybde, viser en jævnt stigende ledningsevne under hele prøvepumpningsperioden fra ca. 60 mS/m til 98 mS/m. Der er derfor grund til at antage, at kloridindholdet i det producerede vand fra boringen i en driftssituation vil stige yderligere. Hvis stigningen bliver uacceptabel, kan det nedre filter opfyldes ved nedpumpning af bentonit-cement, og boringens kapacitet vil da kun blive nedsat med ca. 25%.

6.4 Anbefaling for den fortsatte ombygning af kildepladsen

I betragtning af erfaringerne om højt klorid i kalken i de gamle boringer 5, 7 og 7B bør det undgås at placere de resterende erstatningsboringer i den dybeste del af erosionsrenden i Danien kalken.

På basis af informationerne fra de tre gamle boringer (5, 7 og 7B) om forhøjede klorid indhold også i grundvandet i sand-grus magasinet, bør eventuel placering af nye erstatningsboringer på denne del af kildepladsen helt undgås, også selv om sådanne boringer ikke tænkes ført ned til den dybtliggende kalkoverflade.

NB: Ingen tekst på denne side

7 Referenceliste

RAMBØLL, Februar 2002: Seismisk Kortlægning ved Køge Bugt. Roskilde Amt, Teknisk Forvaltning.

RAMBØLL, Februar 2004: Ledreborg Kildeplads, Basismateriale. Københavns Energi, Vandafdelingen.

RAMBØLL, Juli 2003: Assermølle Kildeplads, Basismateriale. Københavns Energi, Vandafdelingen.

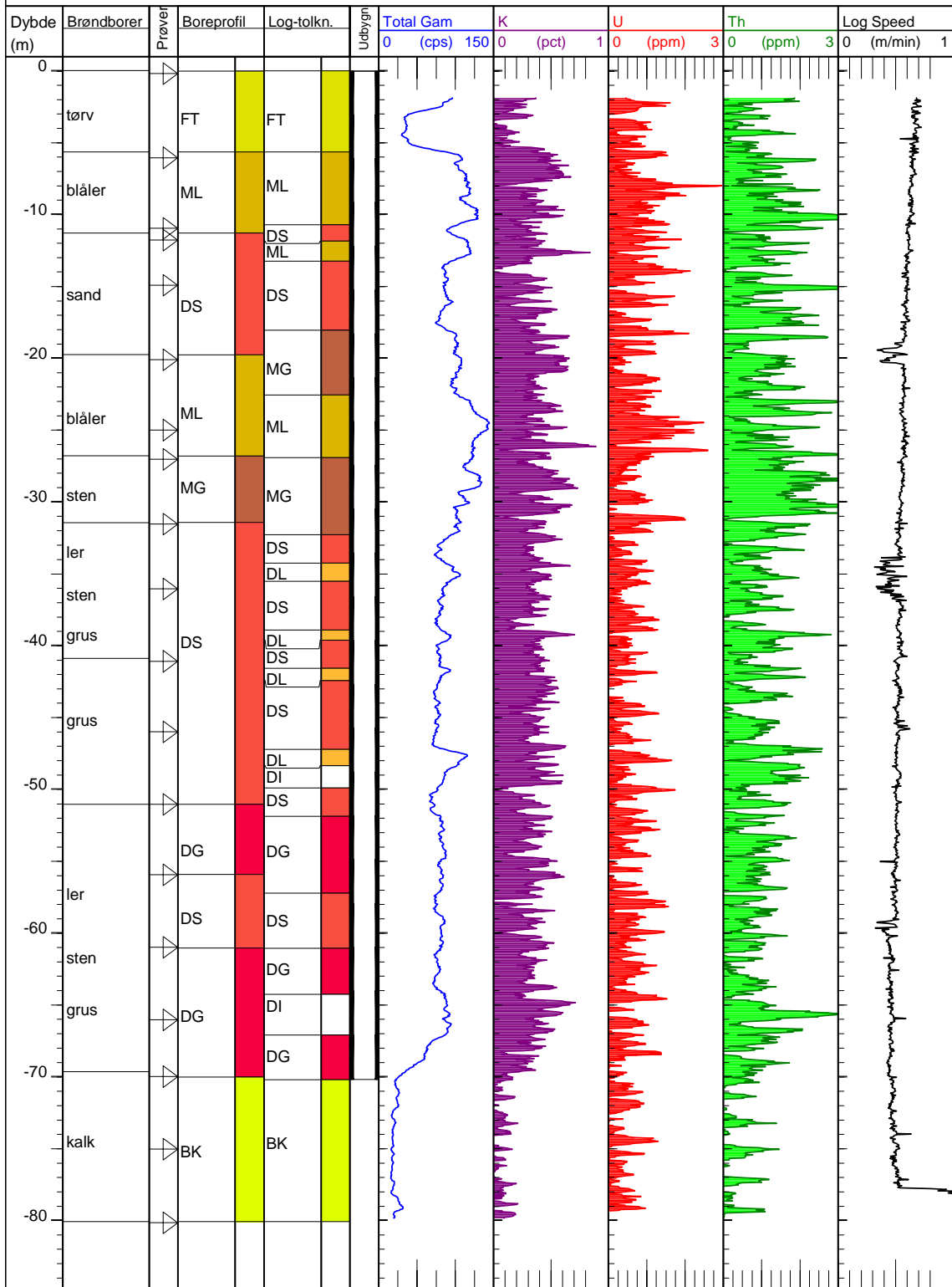
8 Bilags liste

1. Gamma-spektral log i boring 206.1654 den 17 juni 2004 (før udbygning).
2. Borehulslogs i boring 206.1654 den 2 september 2004 (efter udbygning).
3. Ledningsevne- & teperatur-logs i boring 206.1654 fra 17/6, 2/9 og 22/9.
4. Ledningsevne i time mode på tre dybder i boring 206.1654 fra 22/9.
5. Pumpeboring 206.1654: Pumpeydelse under prøvepumpning.
6. Pumpeboring 206.1654: Vandstand før, under og efter prøvepumpning og med barometertryk.
7. Obs. bor. 206.1205 (på kildepladsen): Vandstand før, under og efter prøvepumpning og med barometertryk.
8. Obs. bor. 206.92 I (på kildepladsen): Vandstand før, under og efter prøvepumpning og med barometertryk.
9. Obs. bor. 206.498 (på Ledreborg gods): Vandstand før, under og efter prøvepumpning og med barometertryk.
10. Obs. bor. 206.871 (Lejre by vandværk): Vandstand før, under og efter prøvepumpning og med barometertryk.
11. Obs. bor. 206.1621 (Blæsenborgvej privat): Vandstand før, under og efter prøvepumpning og med barometertryk.
12. Nedbørsmålinger – DMI station 30430 (KE Partner A/S).
13. Vandspejlskote i pejlefiltere i tørvelag, samt nedbørsfordeling.
14. Vandspejlskote i pumpe- og observationsboringer, samt barometertryk.
- 15A. Pump.bor. 206.1654 Øvre filter: Hantush-Jacob tolkning (semilog.) af sænkings data for 1.000 min.
- 15B. Pump.bor. 206.1654 Øvre filter: Hantush-Jacob tolkning (semilog.) af sænkings- og stigningsdata for hele obs.perioden.
- 15C. Pump.bor. 206.1654 Øvre filter: Hantush-Jacob tolkning (semilog.) af stignings data.
- 16A. Pump.bor. 206.1654 Nedre filter: Moench tolkning (semilog.) af sænkings data for 1.000 min.
- 16B. Pump.bor. 206.1654 Øvre filter: Moench tolkning (semilog.) af sænkings- og stigningsdata for hele obs.perioden.
- 16C. Pump.bor. 206.1654 Øvre filter: Hantush-Jacob tolkning (semilog.) af stignings data.
17. Obs.bor. 206.92 I: Moench tolkning (semilog.) af sænkingsdata.
18. Obs. bor. 206.1205: Hantush-Jacob tolkning (semilog.) af sænkingsdata.
19. Klorid observationer under nedboring af de gamle boringer 5, 7 og 7B.
20. Pumpeboring 206.1654: Ledningsevne og temperatur i 76 m dybde, nedre filter.
21. Vandkvalitets analyserapport nr. 22256/04 fra Miljølaboratoriet STORKØBENHAVN I/S for Boringskontrol udvidet med organiske forbindelser, chlorerede opløsningsmidler og pesticider.

DGU 206.1654

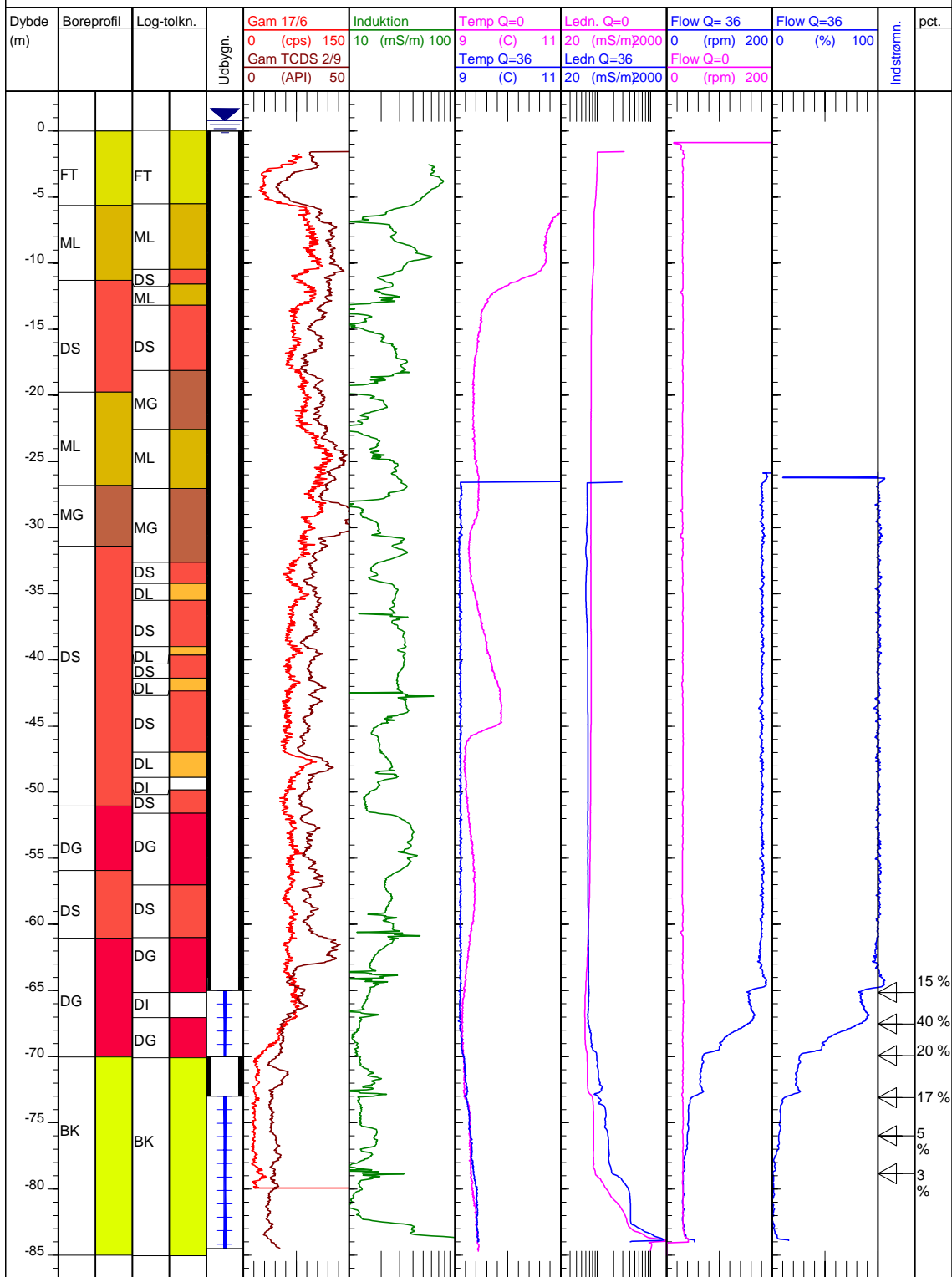
Ledreborg kildeplads - GEUS logging 17 juni 2004

Reference: Terræn Kote +7,9 m

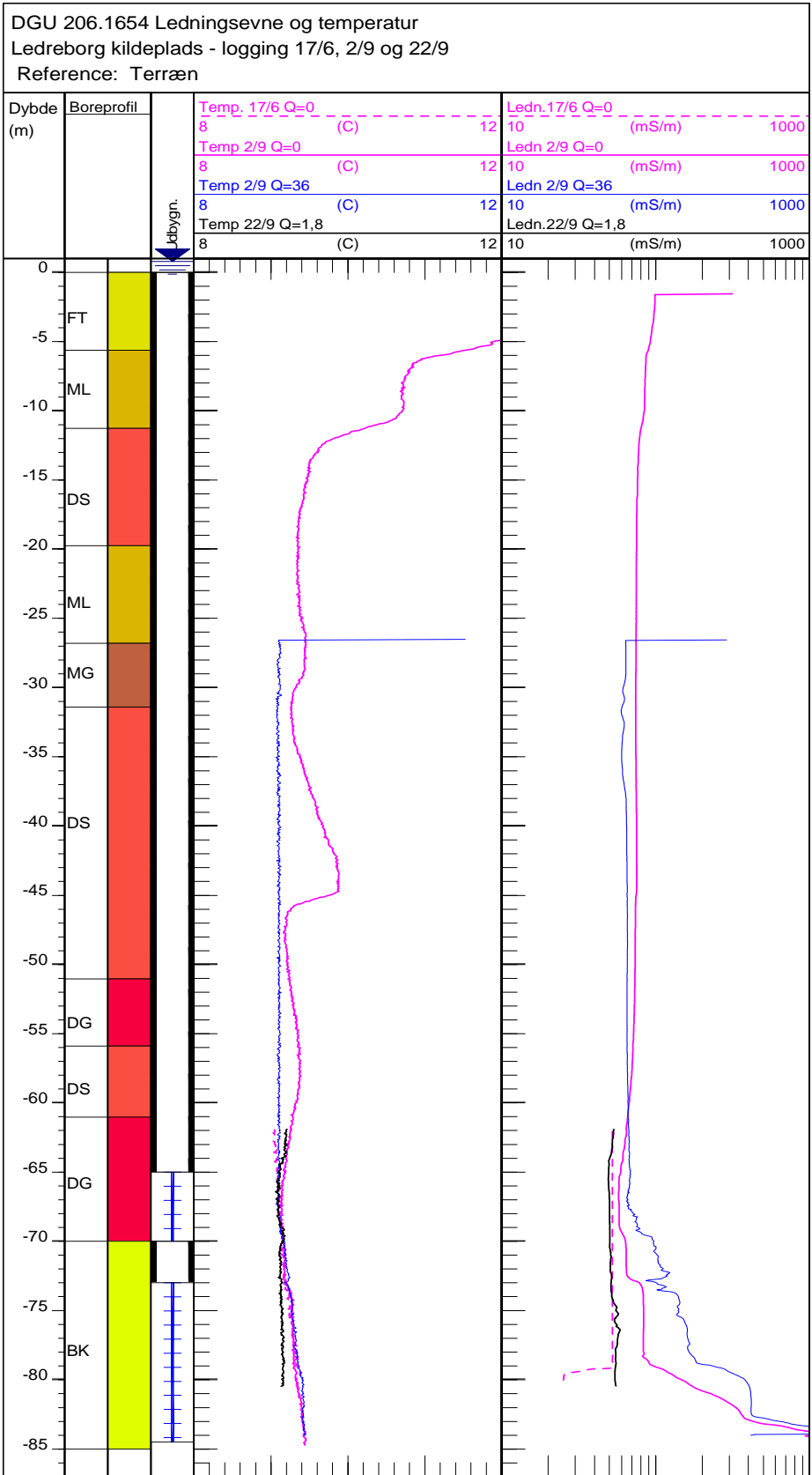


Bilag 1

DGU 206.1654 efter udbygning
 Ledreborg kildeplads - GEUS logging 2 september 2004
 Reference: Terræn Kote +7,9 m

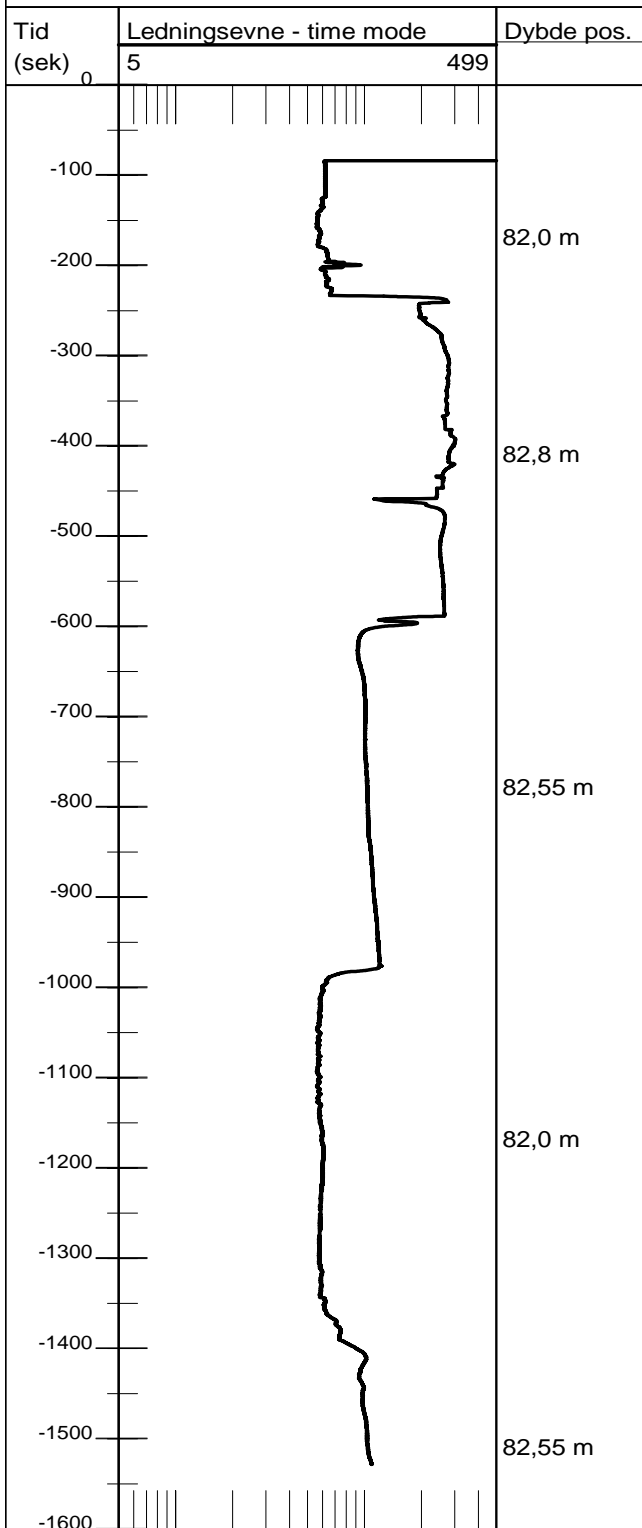


Bilag 2



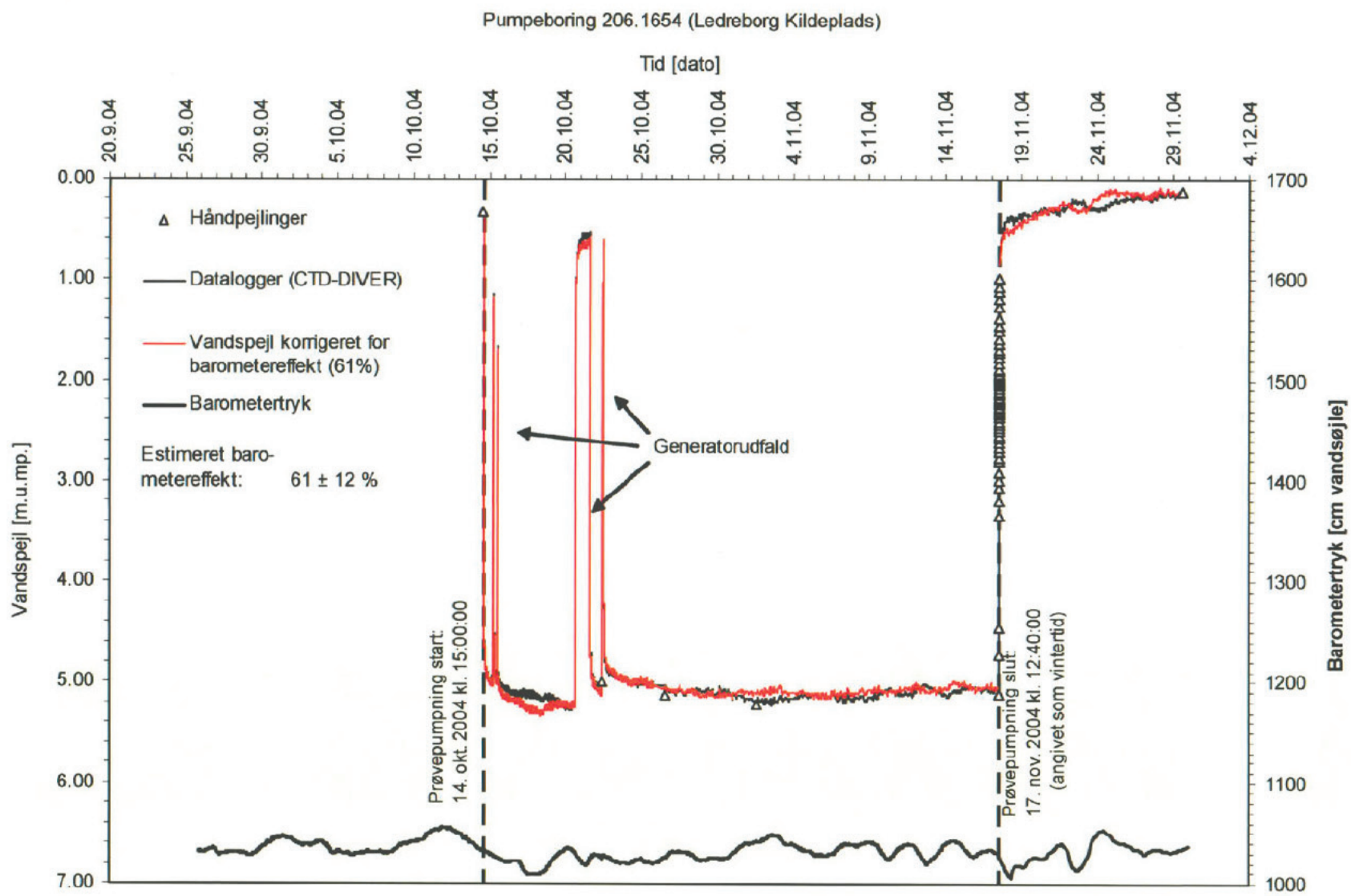
Bilag 3

DGU 206-1654
 Ledreborg kildeplads - GEUS logging 22 sept. 2004
 Time mode



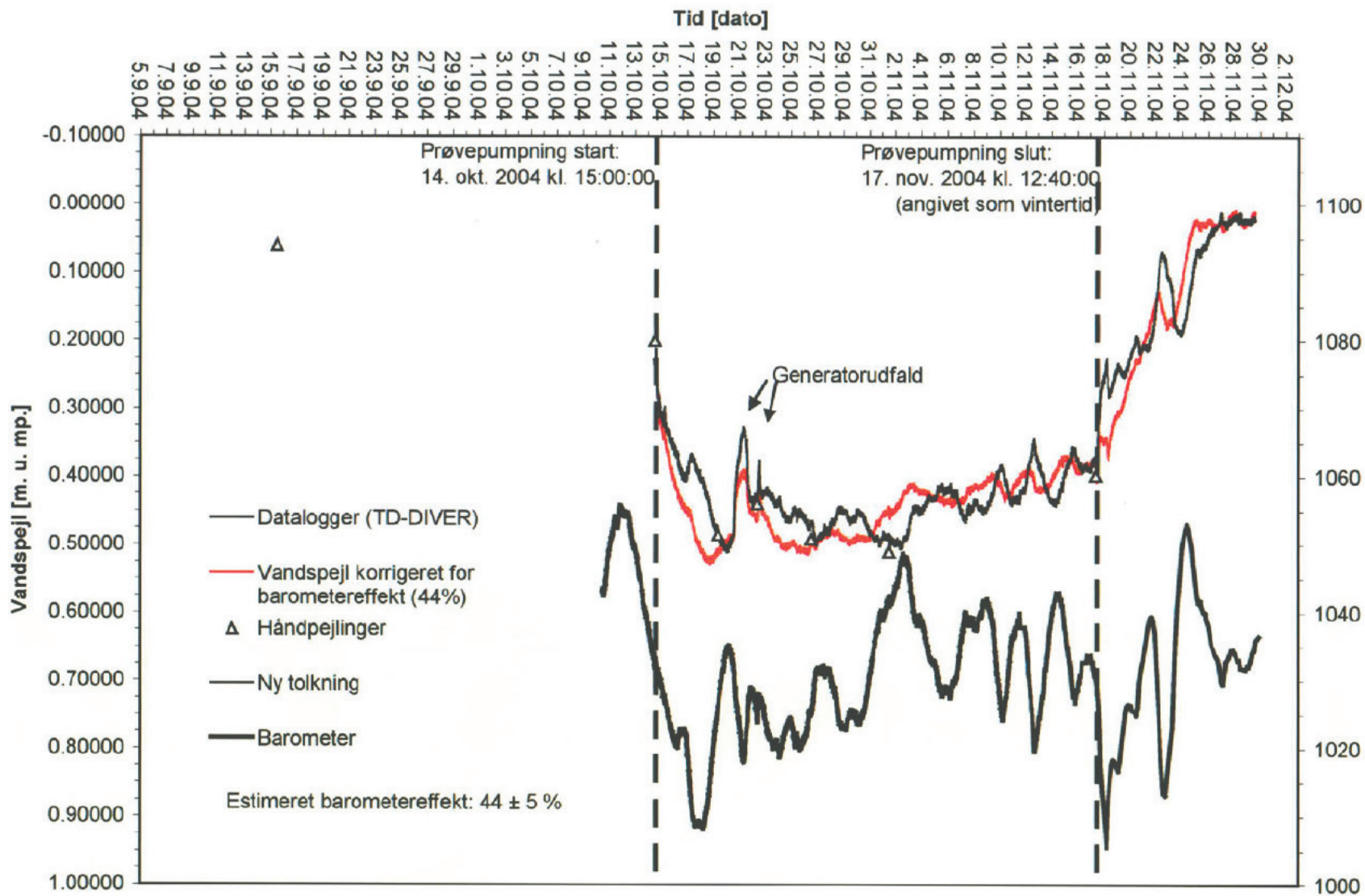
Bilag 4

Bilag 6: Pumpeboring 206.1654 (Ledreborg Kildeplads)

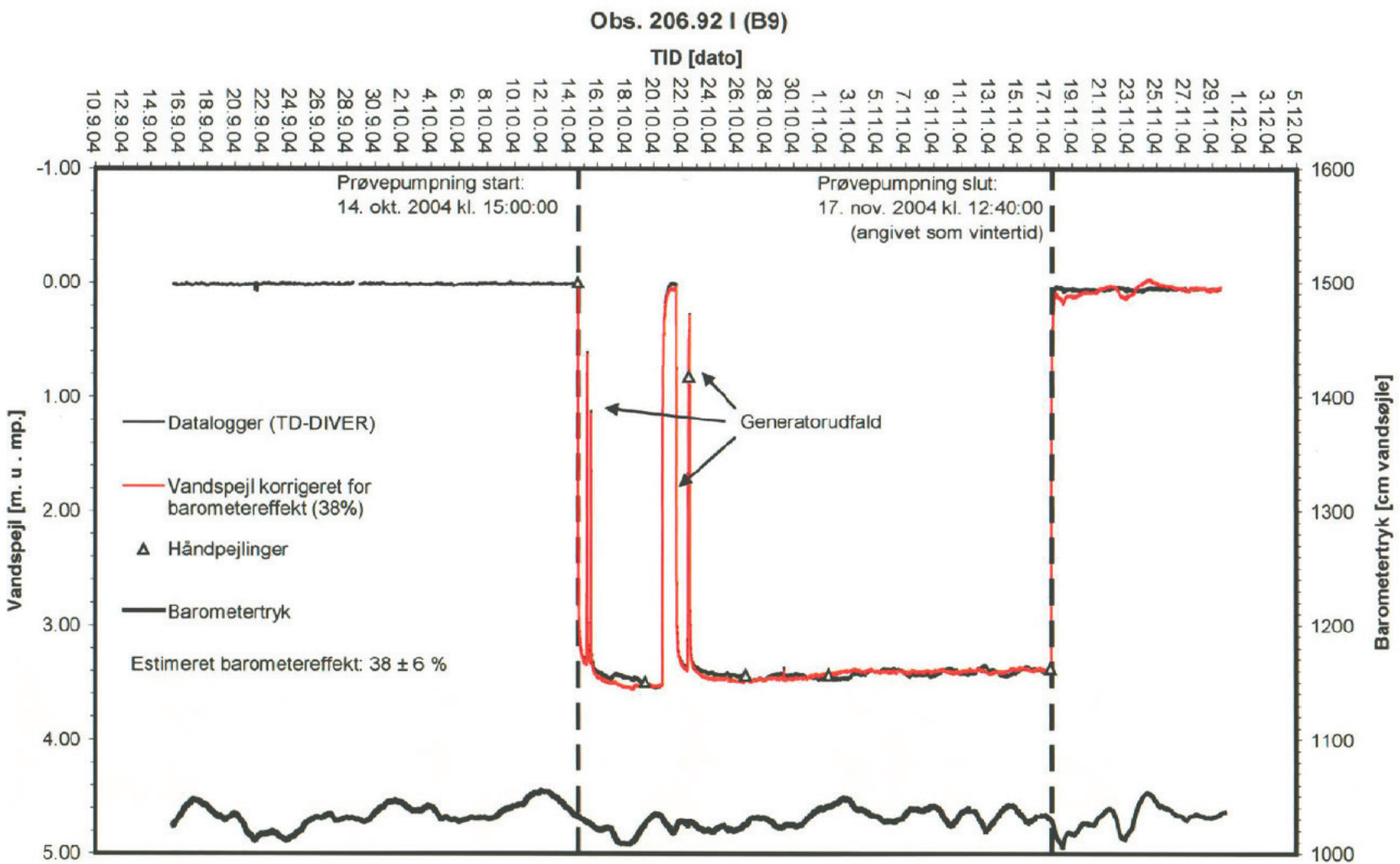


Bilag 7: Obs. 206.1205 (Ledreborg Kildeplads)

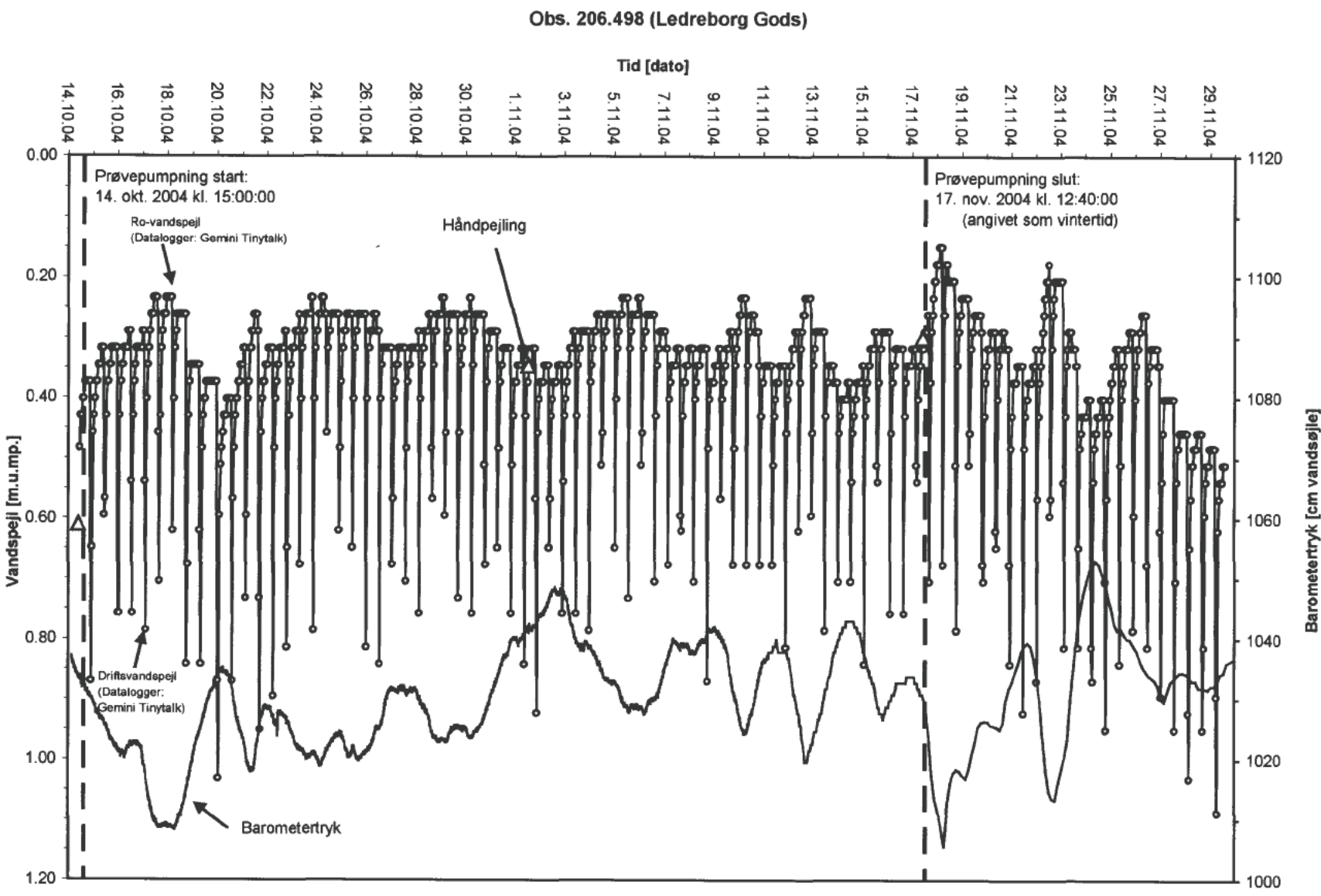
Obs. 206.1205 (Ledreborg Kildeplads, B6A)



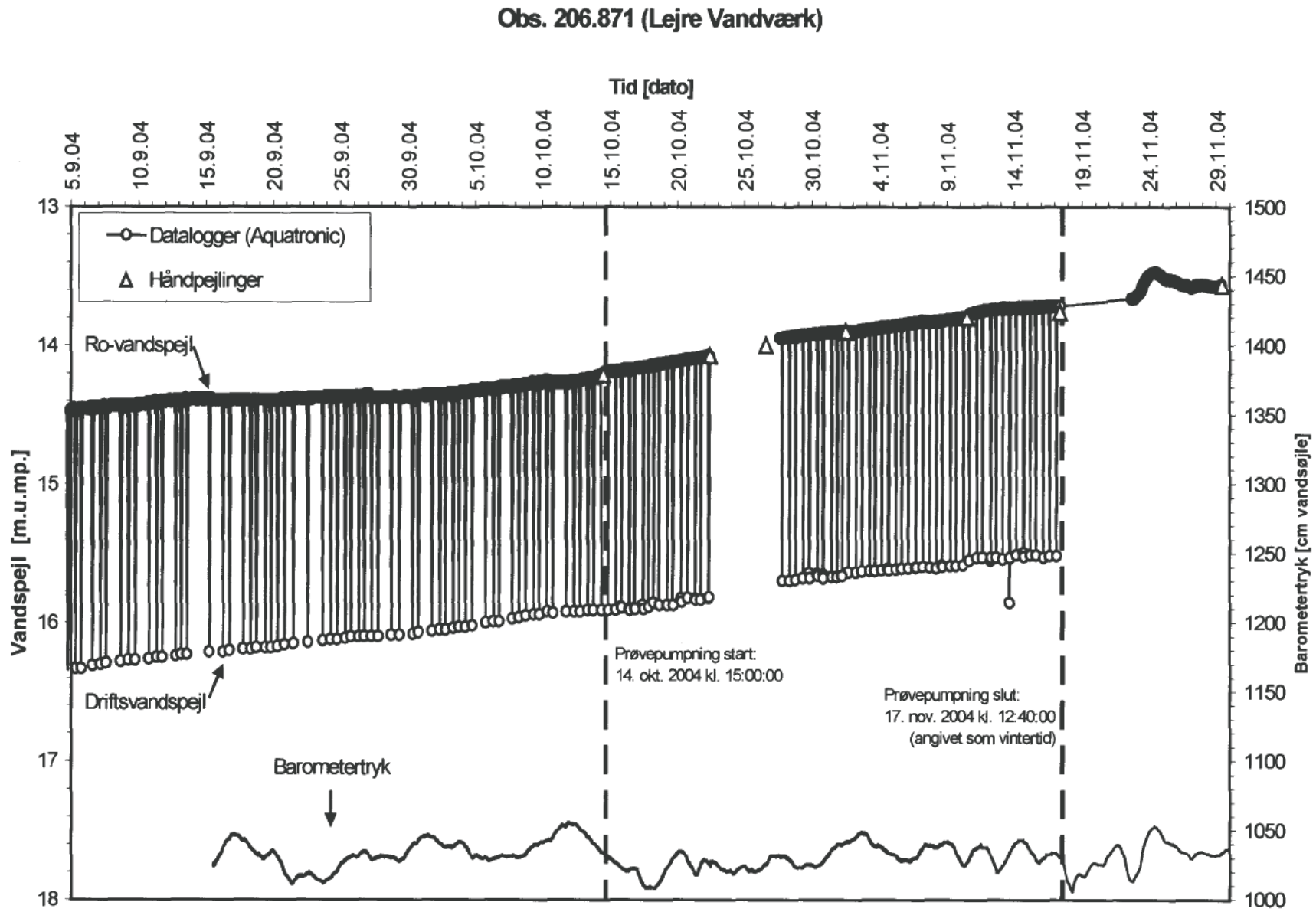
Bilag 8: Obs. 206.92 I (Ledrøborg Kildeplads)



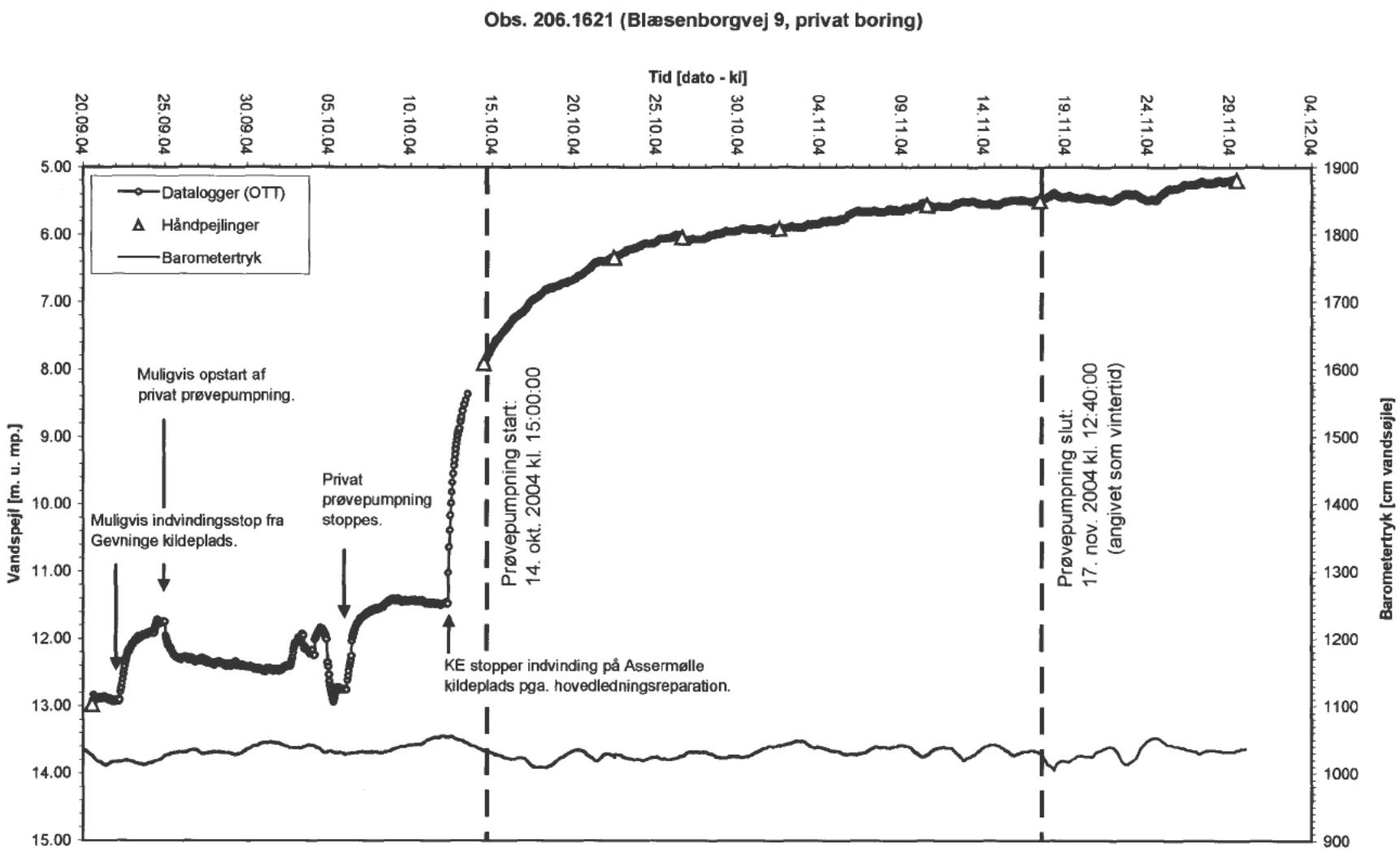
Bilag 9: Obs. 206.498 (Ledreborg Gods)



Bilag 10: Obs. 206.871 (Lejre Vandværk)

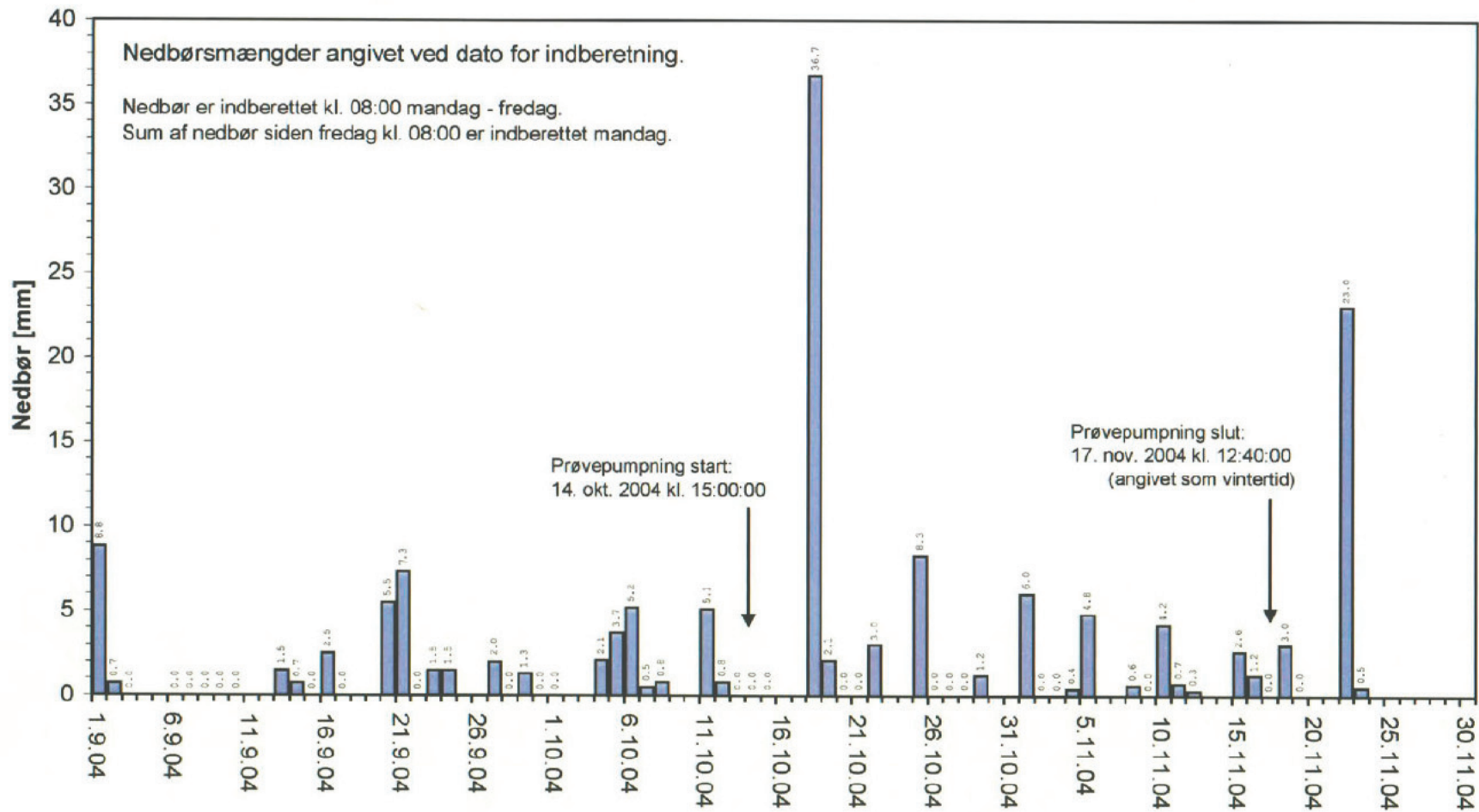


Bilag 11: Obs. 206.1621 (Blæsenborgvej 9, privat boring)

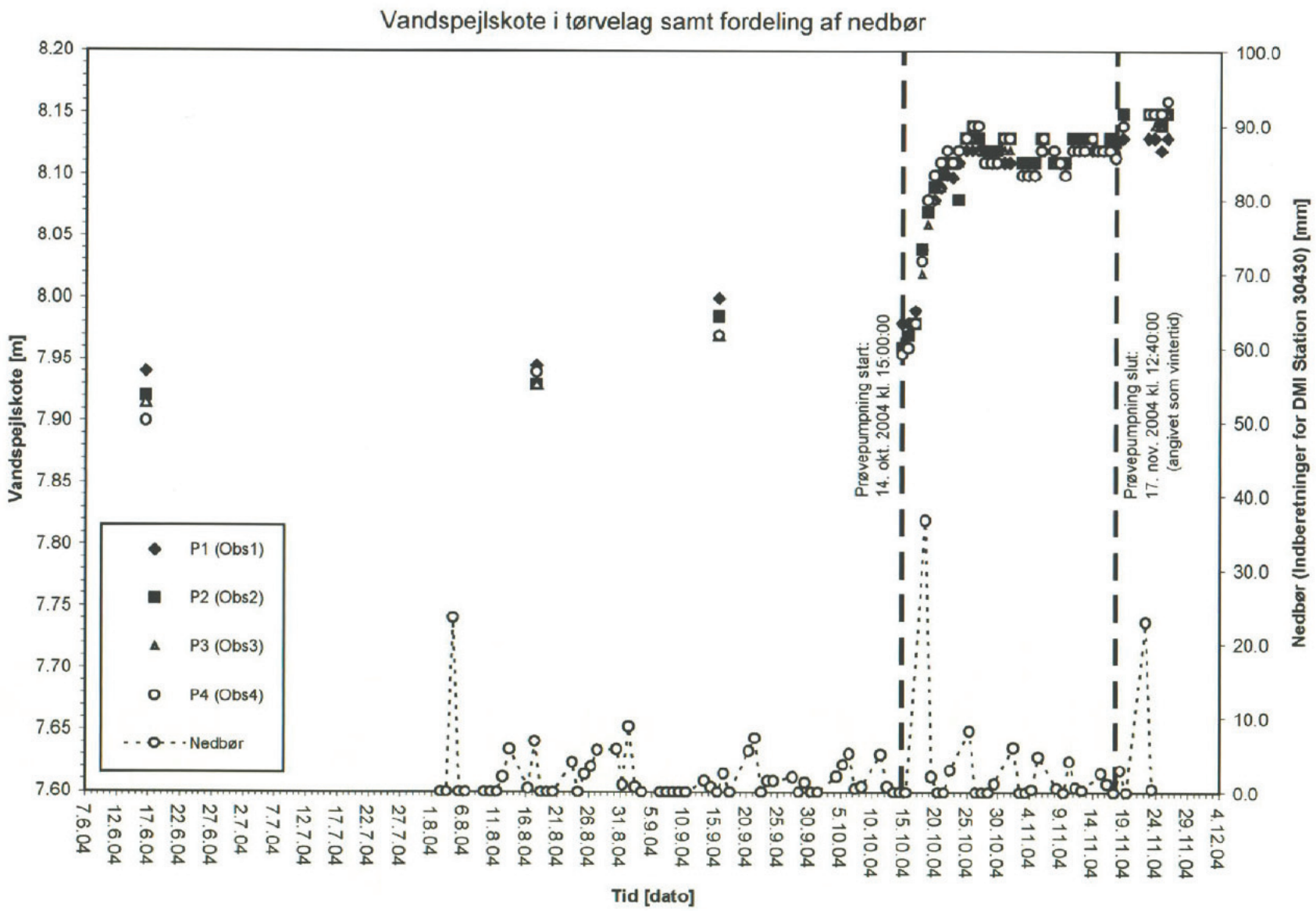


Bilag 12: Nedbør

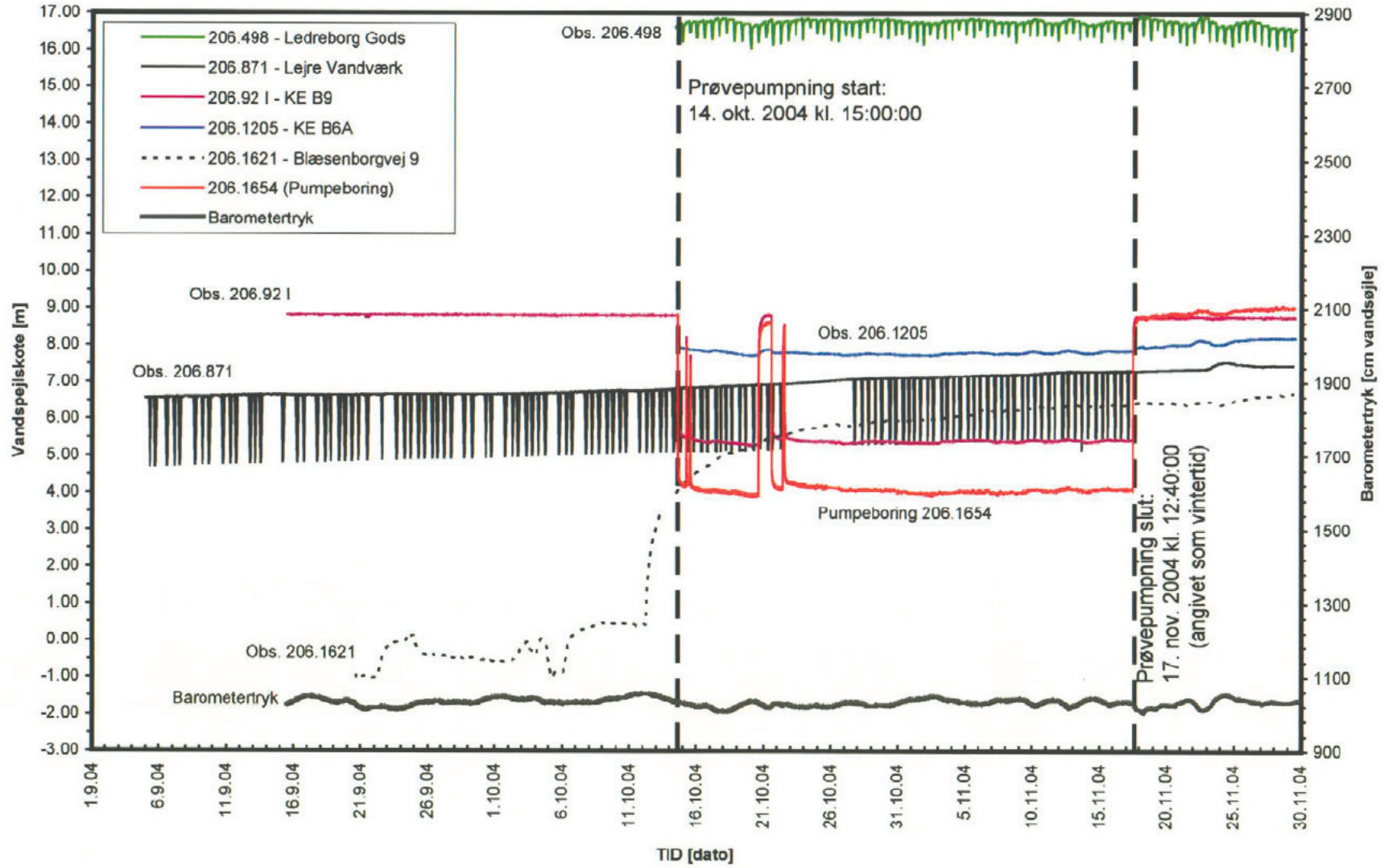
Indberettet nedbør - DMI Station 30430 (KE Partner A/S, Lejre)



Bilag 13: Nedbørfordeling og vandspejlskote i tørvelag

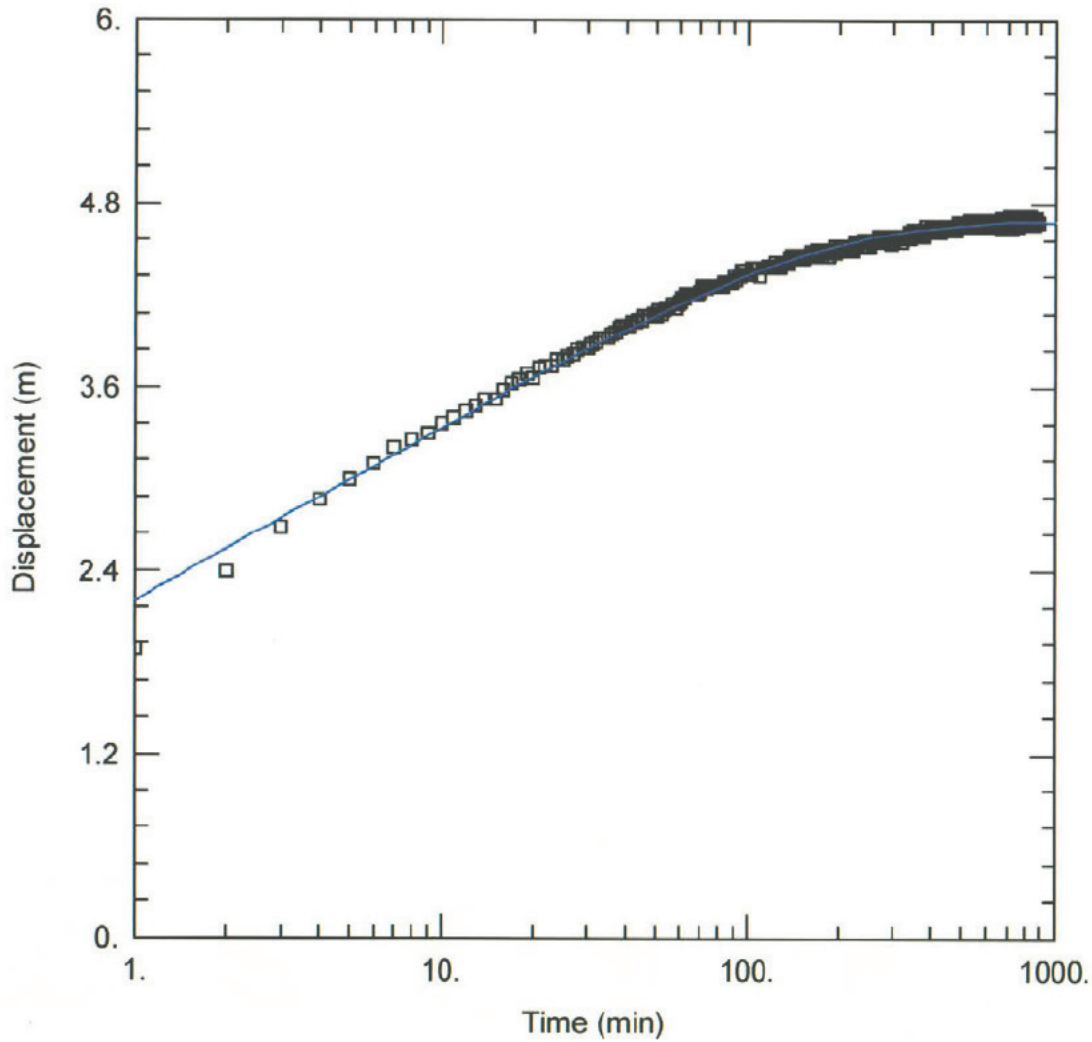


Vandspejlskoter i pumpe- og observationsboringer



Bilag 14: Vandspejlskoter i pumpe- og observationsboringer

Bilag 15A: Pumpeb. 206.1654 Øvre: Hantush-Jacob (1955)



Obs. Wells

□ 206.1654

Aquifer Model

Leaky

Solution

Hantush-Jacob

Parameters

T = 0.0006614 m²/sec

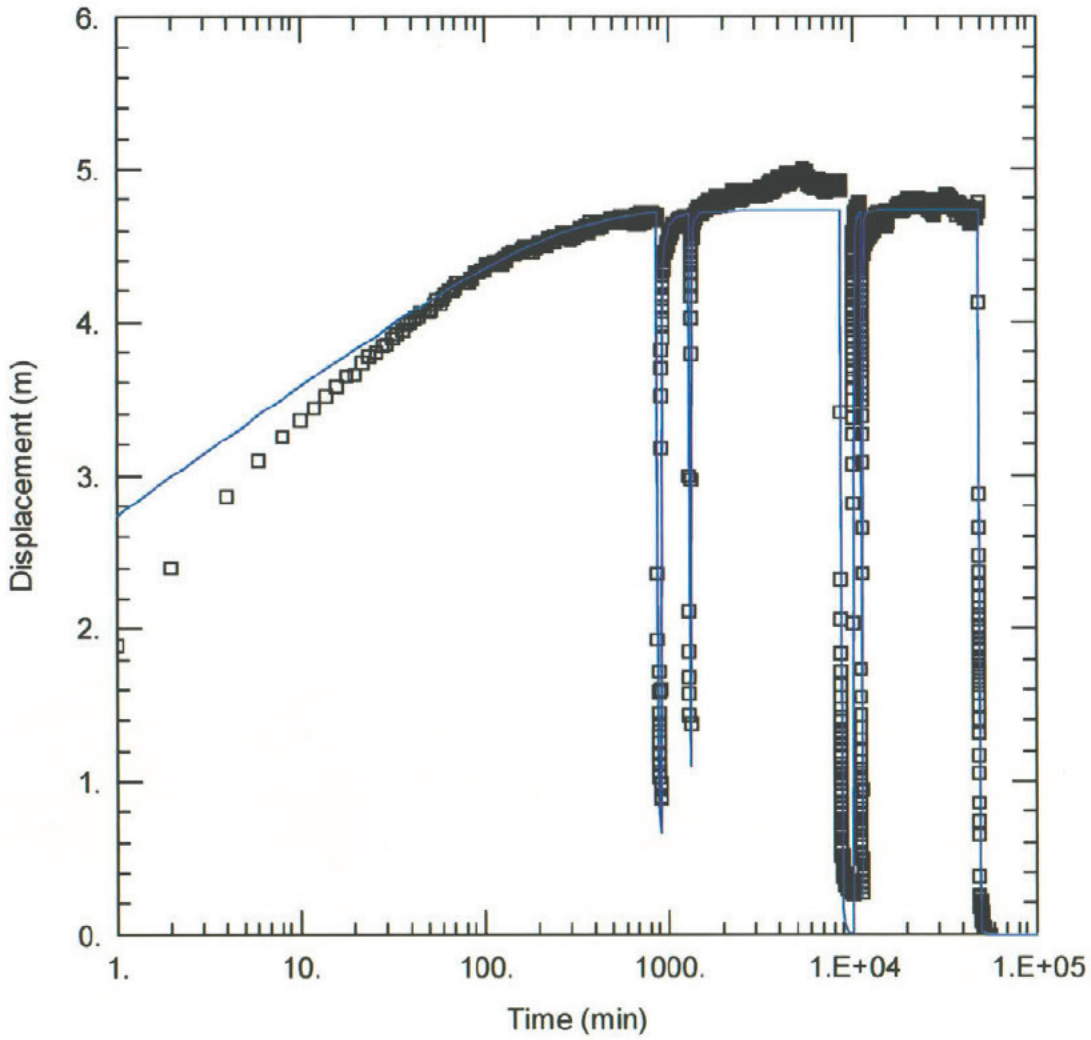
S = 0.02792

r/B = 0.01054

Kz/Kr = 0.1

b = 20. m

Bilag 15B: Pumpeb. 206.1654 Øvre: Hantush-Jacob (1955)



Obs. Wells

□ 206.1654

Aquifer Model

Leaky

Solution

Hantush-Jacob

Parameters

T = 0.0009021 m²/sec

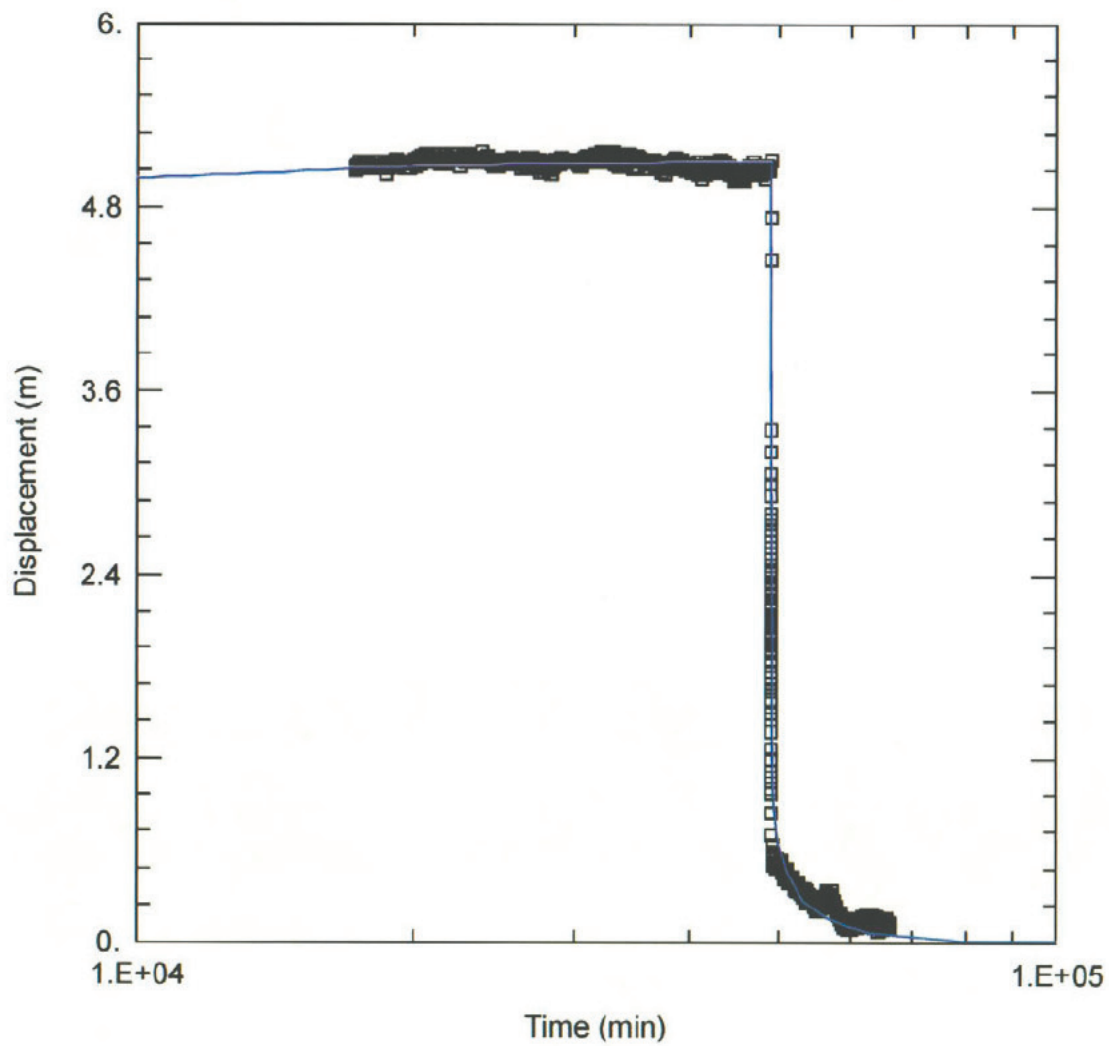
S = 0.001763

r/B = 0.001819

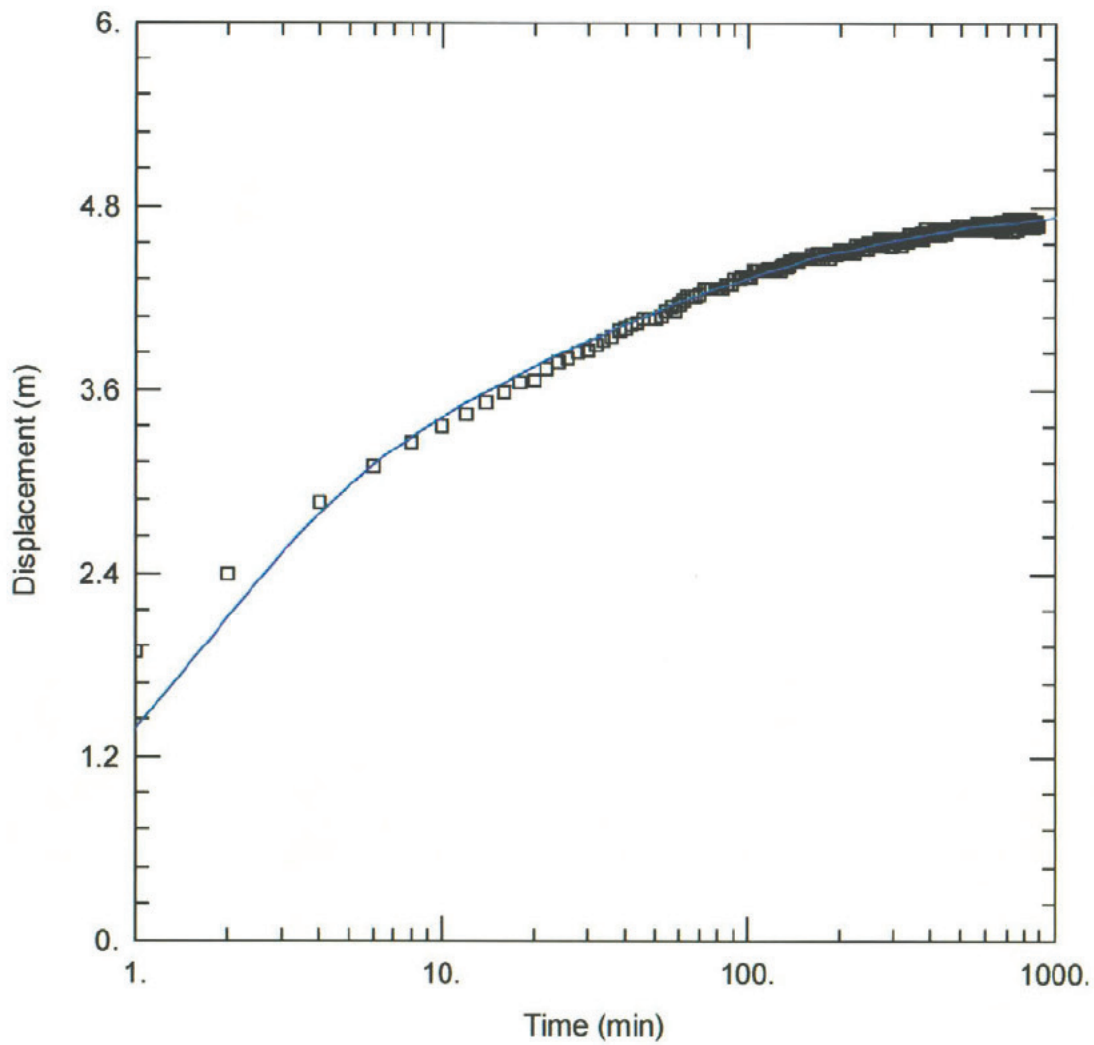
Kz/Kr = 0.1

b = 20. m

Bilag 15C: Pumpeb. 206.1654 Øvre: Hantush-Jacob (1955)



Bilag 16A: Pumpeb. 206.1654 Nedre: Moench (slab blocks)



Obs. Wells

□ 206.1654

Aquifer Model

Fractured

Solution

Moench w/slab blocks

Parameters

$K = 1.402E-05$ m/sec

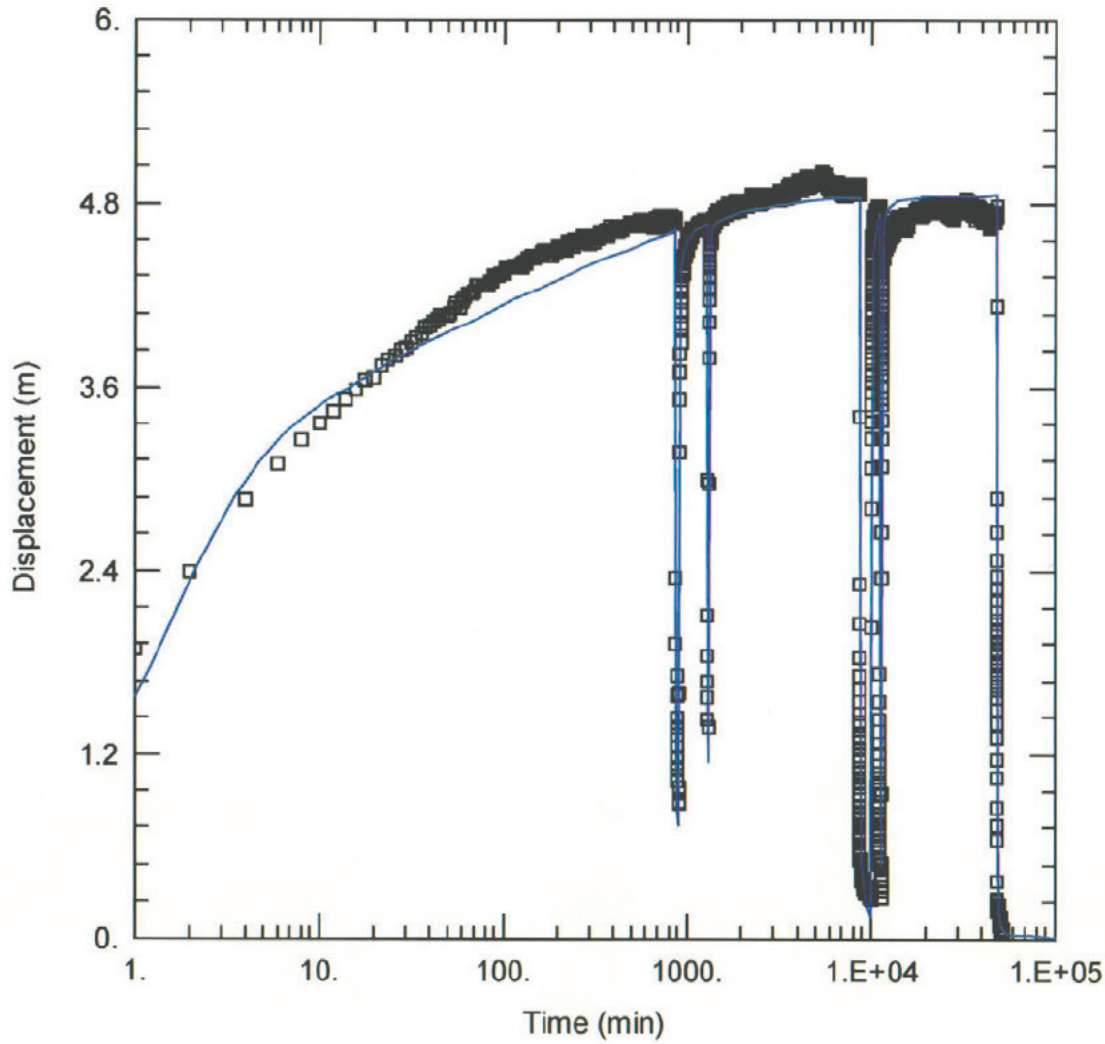
$S_s = 5.283E-05$ m⁻¹

$K' = 2.39E-08$ m/sec

$S_s' = 0.001$ m⁻¹

$S_w = 0.$

$S_f = 1.$



Obs. Wells

□ 206.1654

Aquifer Model

Fractured

Solution

Moench w/slab blocks

Parameters

$K = 2.181E-05$ m/sec

$Ss = 5.253E-07$ m⁻¹

$K' = 2.106E-11$ m/sec

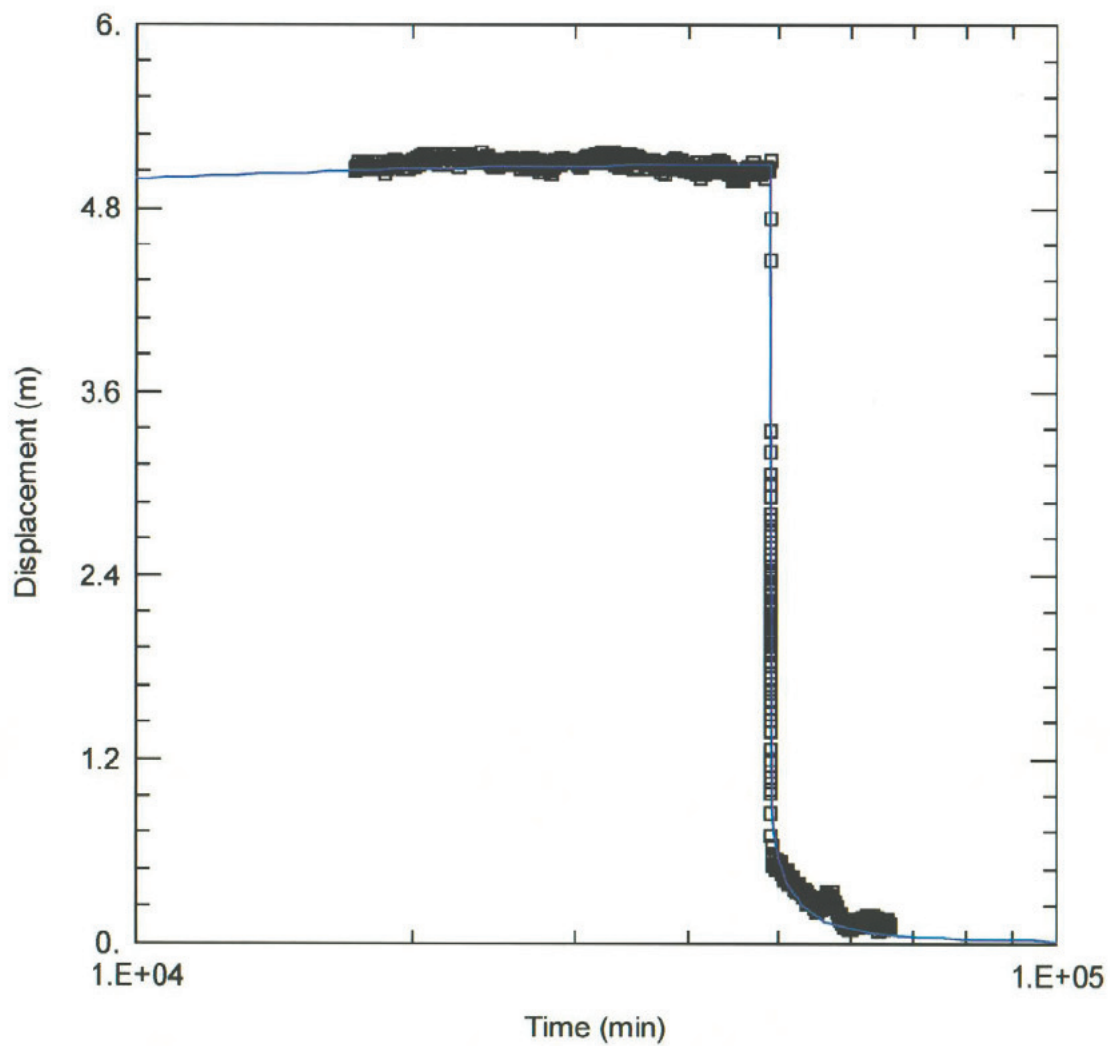
$Ss' = 0.001$ m⁻¹

$Sw = 0.$

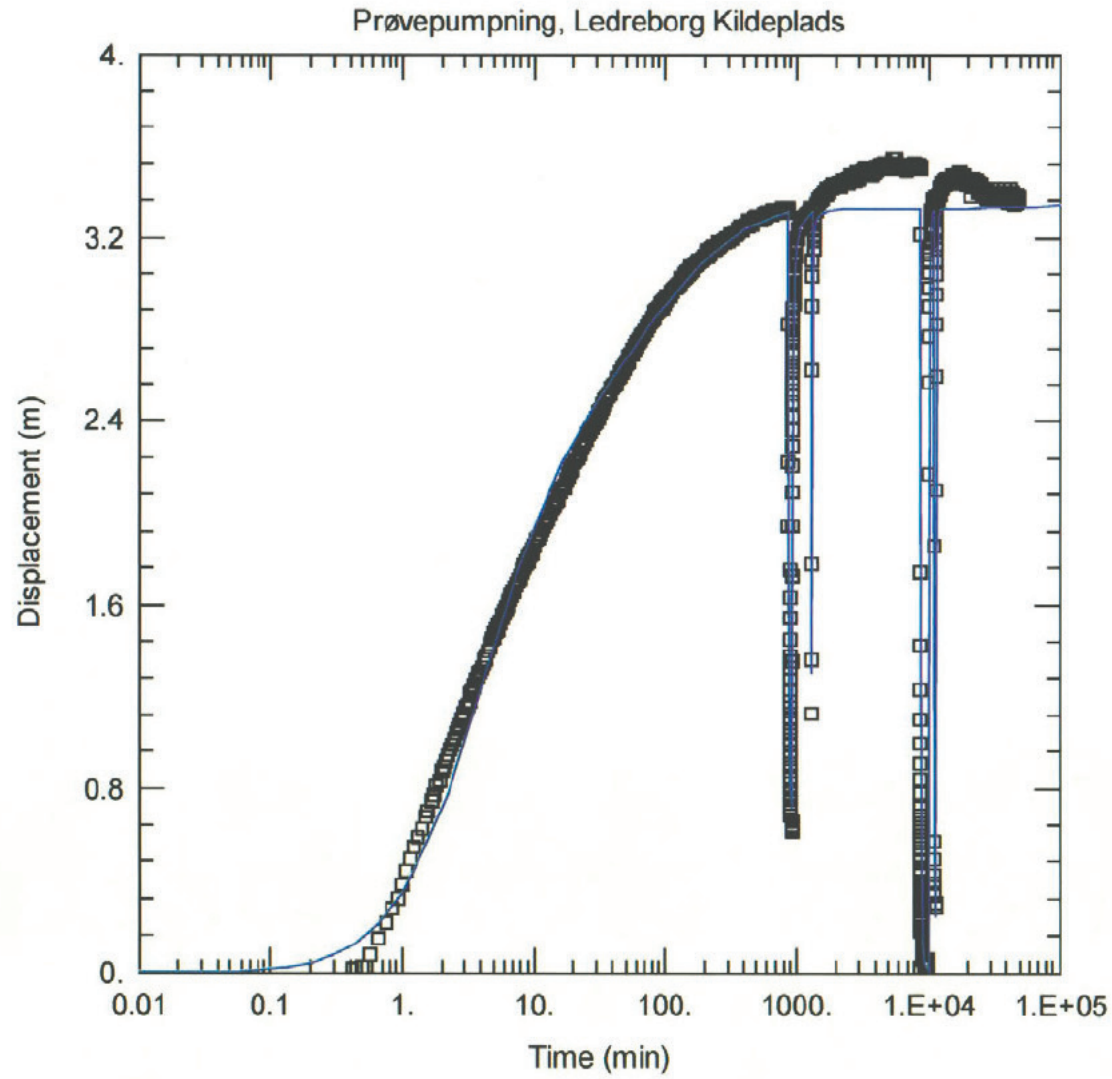
$Sf = 1.$

Bilag 16B: Pumpeb. 206.1654 Nedre: Moench (slab blocks)

Bilag 16C: Pumpeb. 206.1654 Nedre: Moench (slab blocks)



Bilag 17: Obs. 206.92 I: Moench (1984) w/ slab blocks



Obs. Wells

□ 206.92 I

Aquifer Model

Fractured

Solution

Moench w/slab blocks

Parameters

$K = 1.975E-05$ m/sec

$Ss = 8.78E-09$ m⁻¹

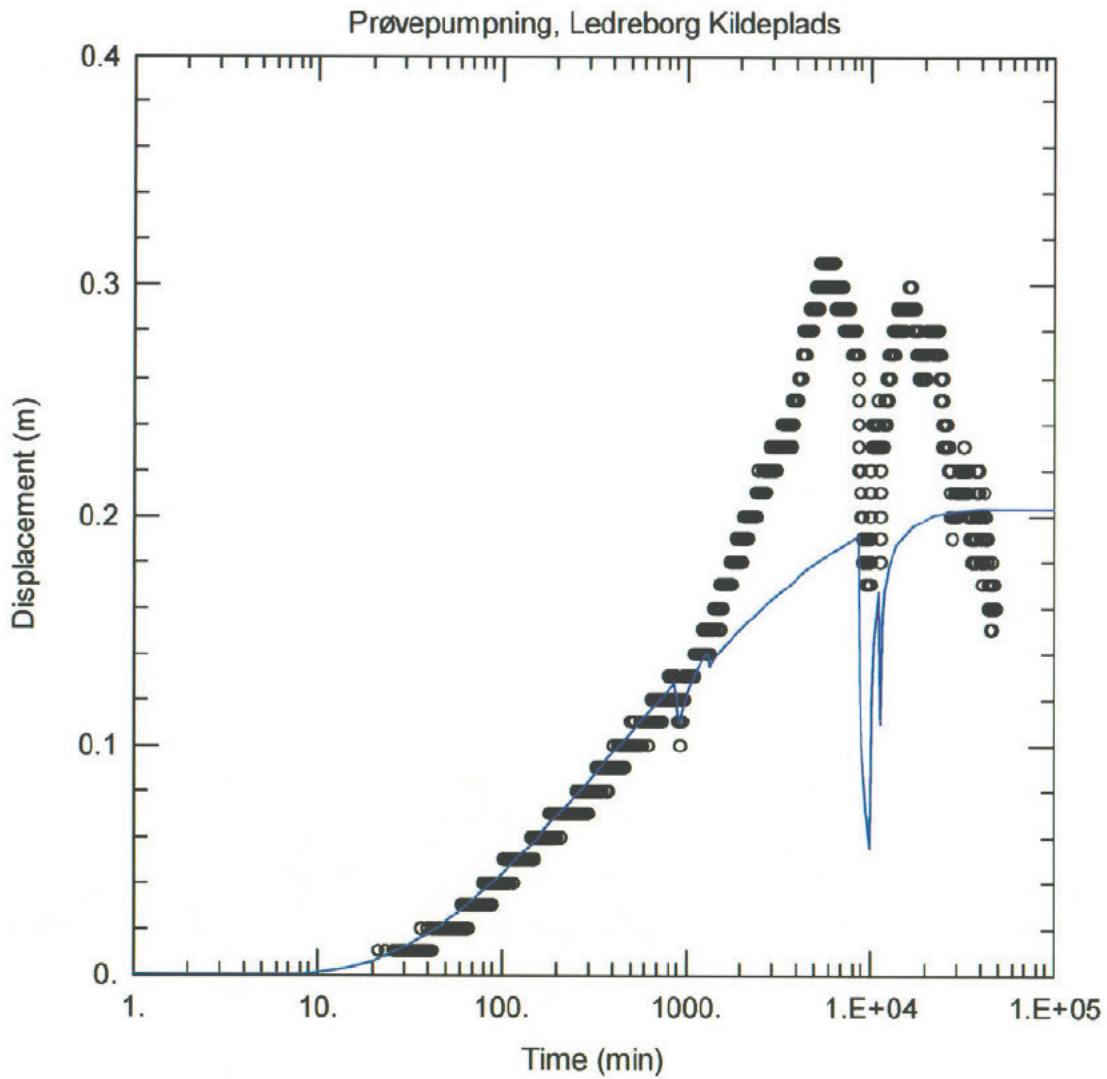
$K' = 2.197E-12$ m/sec

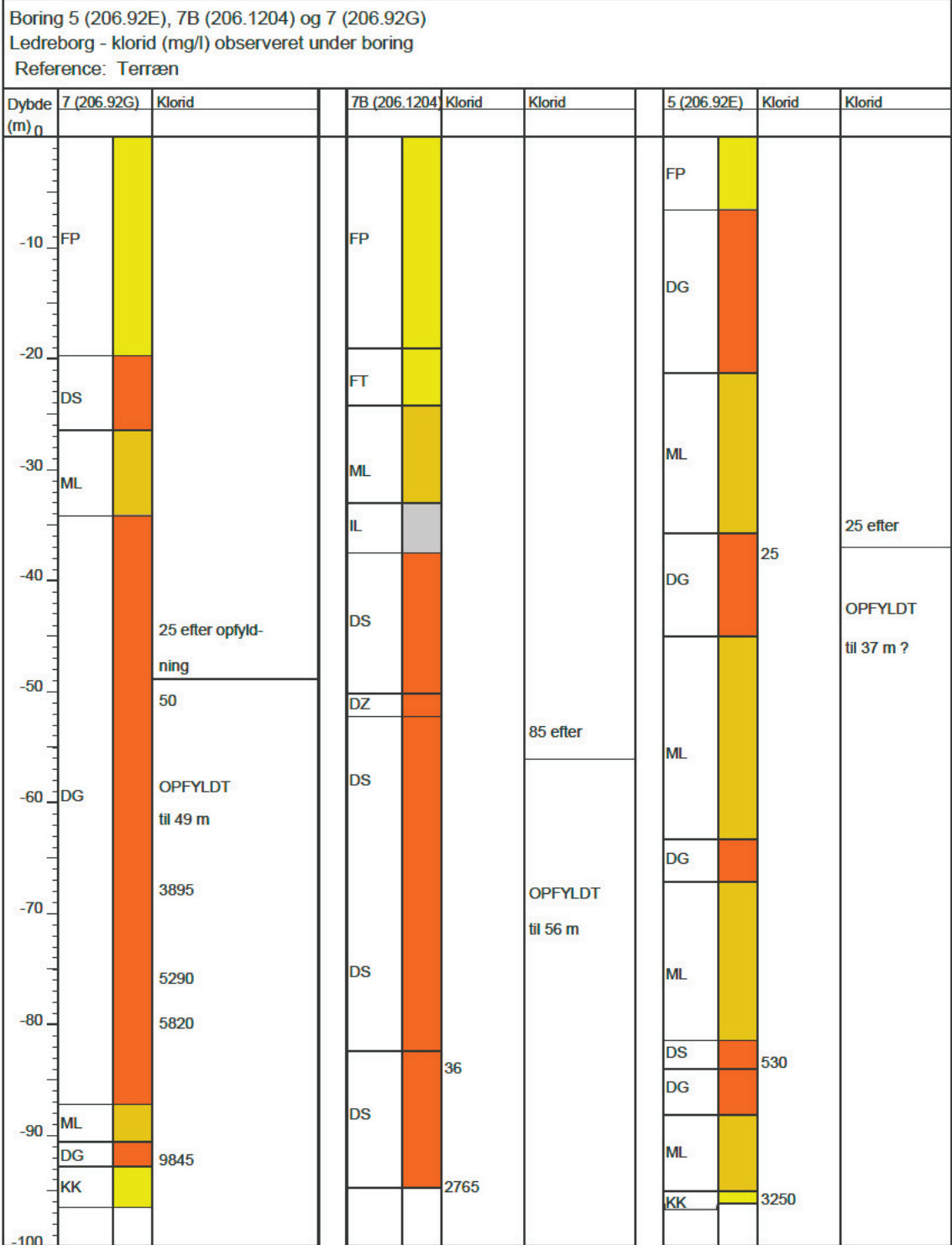
$Ss' = 0.001$ m⁻¹

$Sw = 0.$

$Sf = 1.$

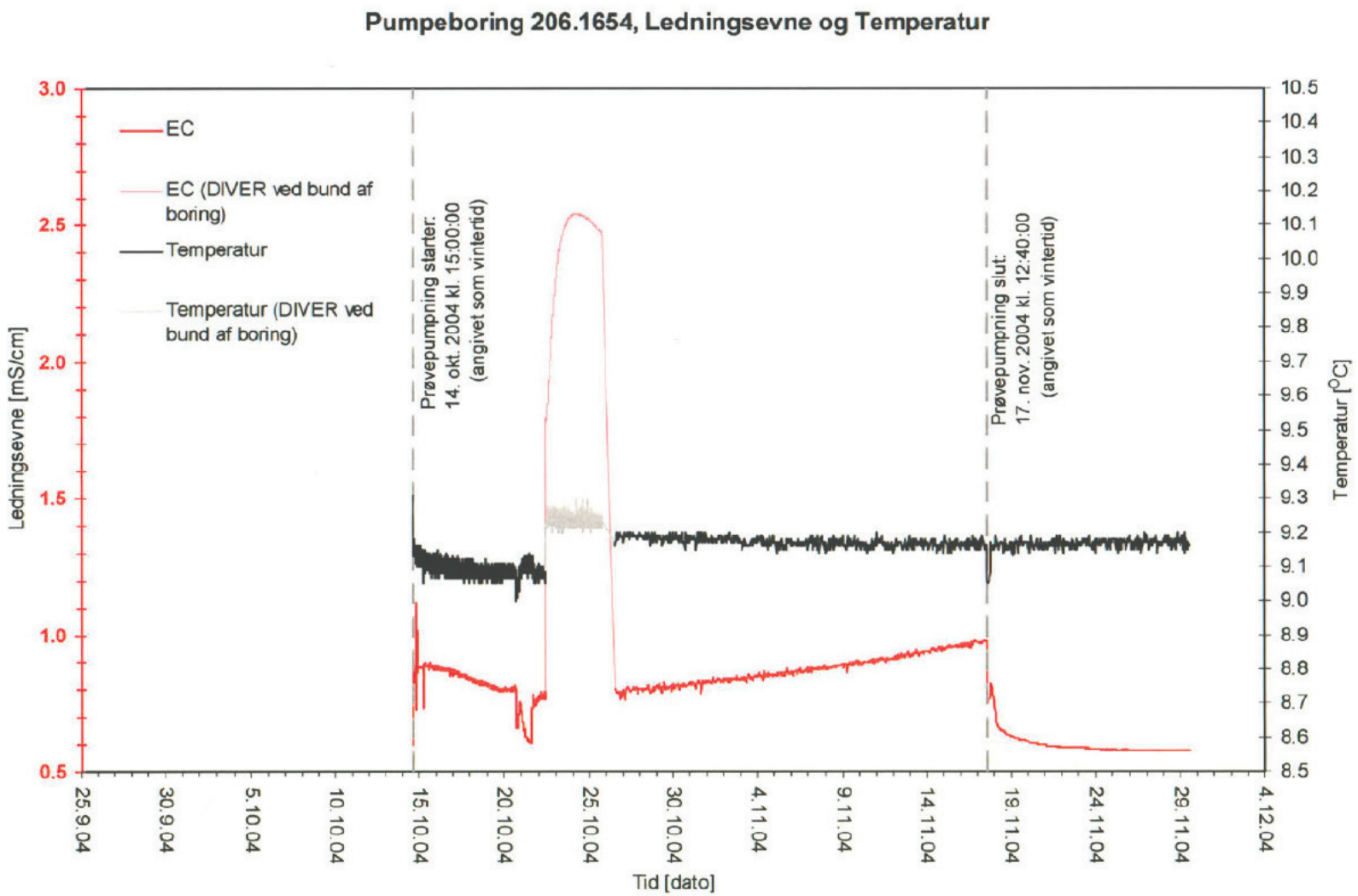
Bilag 18: Obs. 206.1205: Hantush-Jacob (1955) tolkning





Bilag 19

Bilag 20: Pumpeboring 206.1654, EC og temperatur



Analyserapport nr.

Københavns Energi
 Vandkvalitetssektionen
 Att.: Ann-Katrin Pedersen
 Vognmagergade 8
 1149 København K

UDTAGN. TIDSPUNKT: 17/11/2004 kl. 9.50
 MODTAGET PÅ LAB.: 17/11/2004 kl. 13.35

UDTAGET AF : KE/JJ
 SAGSNR. : 213.037.04
 ANALYSE BEGYNDT: 17/11/2004
 UDSKRIVNINGSDATO: 09/12/2004

REKVIRENT: Københavns Energi Vandkvalitetssektionen
 PRØVESTED: Ledreborg Kildeplads UB1
 (29630)

PRØVE NR.:	22256/04 Rekv. nr. for-	ENHED	ANALYSEMETODE
α Temperatur, prøvetagning	8.6	°C	Feltmåling
α Lugt (338)	Normal		Subjektiv vurdering
α Farve (338)	Ingen		Visuel vurdering
α Udseende (338)	Klar		Subjektiv vurdering
pH ved 12°C (338)	7.2		DS 287
Ledningsevne, 12°C (338)	67	mS/m	DS 288
Inddampningsrest (338)	582	mg/l	DS 204
Calcium	109	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.
Magnesium	29	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.
Natrium	43	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.
Kalium	4.3	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.
Ammonium (338)	0.39	mg NH4/l	DS 224
Jern	0.50	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.
Mangan	0.014	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.
Hydrogencarbonat	385	mg/l	DS 253
Chlorid (338)	83	mg Cl/l	DS/EN ISO 10304
Sulfat (338)	62	mg SO4/l	DS/EN ISO 10304
Nitrat (338)	<0.01	mg NO3/l	DS 223
Nitrit (338)	<0.01	mg NO2/l	DS 222
Phosphor, total (338)	<0.01	mg P/l	DS 292
Fluorid (338)	0.73	mg F/l	DS/EN ISO 10304
Ilt, opløst, (338)	0.39	mg O2/l	DS 2206
Sulfid	0.009	mg/l	DS 278
Methan ved 10°C	<0.01	mg/l	ML-G1343 mod. GC-FID
Alkalinitet (338)	6.31	mmol H+/l	DS 253
Alkalinitet, phenolph.PA (338)	0	mmol H+/l	DS 253
Hårdhed, total	3.91	mmol/l	DS 250
Hårdhed, total	21.9	°dH	DS 250
Hårdhed, permanent	4.2	°dH	Beregnet
Hårdhed, carbonat	17.7	°dH	Beregnet
Kalkfældning ved 12°C	0.4	°dH	DS 236
Natriumhydrogencarbonat	0	mg/l	Beregnet
Carbonat	0	mg/l	DS 253
Carbondioxid ved 12°C	45	mg/l	DS 236
Aggressiv kuldioxid (338)	<2	mg CO2/l	DS 236
α Detergenter(401)	<3	µg/l	DS 237
NVOC	1.22	mg/l	DS/EN 1484

PRØVE NR.:	22256/04	ENHED	ANALYSEMETODE
	Rekv. nr. for-		
Kiselsyre (338)	24	mg/l	Grasshoff 1979
Pentanekstraherbare i vand			ML-G1370
C6 til nC10	<5	µg/l	GC-FID
>nC10 til nC25	<5	µg/l	GC-FID
>nC25 til nC35	<10	µg/l	GC-FID
Total kulbrinter - olie	<10	µg/l	GC-FID
Alkylbenzener P&T GC-MS			ML-G1590
Benzen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Toluen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Ethylbenzen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
m+p-Xylen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
o-Xylen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Naphthalen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
1-Methyl-3-ethylbenzen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
1,3,5-Trimethylbenzen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
1,2,4-Trimethylbenzen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
MTBE P&T GC-MS			ML-G1590
Methyl-tert.-butylether	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Chlorerede opløsn. P&T GC-MS			ML-G1590
Trichlormethan (Chloroform)	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
1,1,1-Trichlorethan	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Tetrachlormethan	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Trichlorethen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Tetrachlorethen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
1,2-Dichlorethan	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Chlorerede nedbr.pr. P&T GC-MS			ML-G1590
Vinylchlorid	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
1,1-Dichlorethen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
trans-1,2-Dichlorethen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
cis-1,2-Dichlorethen	<0.02	µg/l	P&T GC-MS
Pesticider, drikkevand (168)			LC/MS GC/MS
4-Chlor-2-methylphenol (168)	<0.010	µg/l	GC/MS
2,4-Dichlorphenol (168)	<0.010	µg/l	GC/MS
Atrazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
BAM: 2,6-Dichlorbenzamid (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Bentazon (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Cyanazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
2,4-D (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Desethylatrazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Desisopropylatrazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Dichlobenil (168)	<0.010	µg/l	GC/MS
Dichlorprop (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Dimethoat (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Hexazinon (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Isoproturon (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
MCPA (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Mechlorprop (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Pendimethalin (168)	<0.010	µg/l	GC/MS
Simazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Terbythylazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
DNOC (168)	<0.010	µg/l	LC/MS

PRØVE NR.:	22256/04	ENHED	ANALYSEMETODE
	Rekv. nr. for-		
Dinoseb (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Diuron (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Metamitron (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
Linuron (168)	<0.010	µg/l	LC/MS
2-Hydroxyatrazin (168)	<0.010	µg/l	LC/MS

TEGNFORKLARING: < Mindre end; > Større end; i.p. Ikke påvist; - Ikke udført; α Analysen er ikke omfattet af en akkreditering.

Et tal i parentes efter analysens navn angiver underleverandørens akkrediteringsnummer. Resultater gælder kun for den analyserede prøve. Oplysning om analysekvalitet, herunder detektionsgrænser og usikkerhed, kan rekvireres ved henvendelse til laboratoriet. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed. Anden gengivelse kræver skriftlig tilladelse.

BEMÆRKNINGER:

Tove Madsen
Tove Madsen