

Vassingerød, EnOpSol Aps

Borehulslogging 2008 - 2009

10 Boringer: B1 – B10

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen



Vassingerød, EnOpSol Aps

Borehulslogging 2008 - 2009

10 Boringer: B1 – B10

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen

Indhold

1.	Introduktion og undersøgelsesprogram	3
2.	Undersøgelsesresultater	5
2.1	Geologiske forhold	5
2.2	Vandkvalitet	6
2.3	Indstrømningsfordeling i boringer.....	7
3.	Sammenfatning af resultater	9
4.	Bilagsliste	10

1. Introduktion og undersøgelsesprogram

For EnOpSol ApS ved Stig Niemi Sørensen har GEUS udført borehulslogging i 10 nyetablerede borer beliggende ved Nymøllevej / Gl. Vassingerødvej mellem Allerød og Vassingerød. Boringernes placering fremgår af Figur 1 og 2.

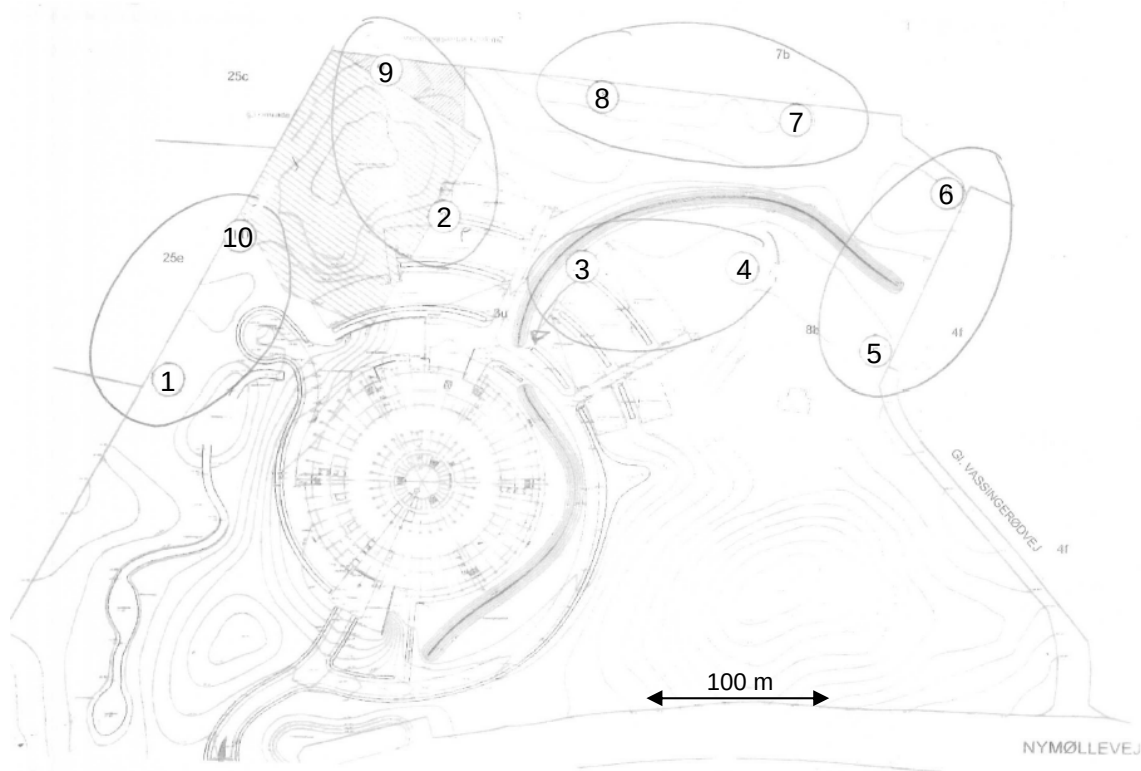
Denne rapport sammenfatter resultaterne af den gennemførte borehulslogging, som er udført i december 2008 samt i september og november 2009.



Figur 1. Oversigtskort over de 10 undersøgte boreringsplacering.

Formålet med undersøgelserne var at bestemme indstrømningsfordelingen til borerne i den gennemborede ca. 50 m tykke kalksektion dels ved hjælp af flow-log uden og med pumpning og dels ved temperatur- og ledningsevne-log uden og med pumpning. Til brug for tolkning af flow-log blev der udført kaliber-log i borerne. Med henblik på kontrol af den geologiske lagfølge udførtes gamma- og induktions-log i alle borer, samt i 2 borer også resistivitets-log. Induktions-log giver sammenholdt med ledningsevne-log tillige mulighed for vurdering af porevandets ledningsevne i kalken. Ved udarbejdelsen af nærværende rapport forelå der endnu ikke en lagfølgebeskrivelse af GEUS på basis af de indsendte boreprøver for B6 og B7. For de øvrige borer har GEUS ikke modtaget boreprøver endnu.

Som hovedregel er borerne ca. 100 m dybe og udført med 225 mm PVC-forerør med bagstøbning til ca. 50 m dybde. Fra 50 – 100 m dybde er borerne åbentstående kalkboringer med en borediameter på 211 mm.



Figur 2. Detailkort med de 10 undersøgte boringers placering og gruppering to og to, jævnfør oplysning fra EnOpSol.

Boringerne B6 og B7 er undersøgt i december 2008, B8 i september 2009, og de øvrige 7 boringer i november 2009. De konkrete undersøgelsesdatoer fremgår af Bilag 1 -10. Det gennemførte undersøgelsesprogram for de enkelte boringer fremgår af Tabel 1.

Tabel 1. Undersøgelsesprogram for de 10 boringer B1 – B10.

Bor.nr.	DGUNr.	Gamma-log	Induktions-log	Resistivitets-log	Kaliber (boringdiam.)	Temp-/EC-log, uden pumpning	Temp-/EC-log, med pumpning	Flow-log, uden pumpning	Flow-log, med pumpning
B1	193.2464	X	X		X	X	X	X	X
B2	193.2460	X	X		X	X	X	X	X
B3	193.2465	X	X		X	X	X	X	X
B4	193.2461	X	X		X	X	X	X	X
B5	193.2462	X	X		X	X	X	X	X
B6	193.2285	X	X	X	X	X	X	X	X
B7	193.2286	X	X	X	X	X	X	X	X
B8	193.2354	X	X		X		X	X	X
B9	193.2355	X	X		X	X	X	X	X
B10	193.2463	X	X		X	X	X	X	X

2. Undersøgelsesresultater

Resultaterne fra den geofysiske borehulslogging af de 10 borer, B1 – B10, er sammenstillet med ét grafisk plot for hver boring. Disse plot indeholdende alle de gennemførte målinger samt en vurdering af indstrømningsfordelingen i den pågældende boring. De grafiske plot fra de enkelte borer ses i Bilag 1 – 10.

For fire centrale log-typer er der foretaget en sammenstilling af logs fra alle de 10 borer i fire plots som indeholder henholdsvis alle gamma-log, induktions-log, ledningsevne-log under pumpning og flow-log (Bilag 11 – 14). De nævnte logs er vist to og to efter den gruppering af borer som fremgår af Figur 2. Det vil sige at f.eks. gamma-logs fra B1 og B10 er vist i samme kolonne i Bilag 11. De 10 logs er afbildet i et vest-øst profil således at de vestligst beliggende borer er afbildet til venstre på plottet og de østligste borer til højre. Grupperingen på Figur 2 viser hvorledes borerne parvis vil blive anvendt i driftssituationen som respektive oppumpnings- og injektionsboring.

Beskrivelsen af undersøgelsesresultaterne er i det følgende sammenfattet i tre afsnit som beskriver henholdsvis de geologiske forhold, vandkvaliteten (vandets ledningsevne) og indstrømningsfordelingen i borerne.

2.1 Geologiske forhold

De udførte gamma-logs viser forholdsvis høje værdier i de øverste 8 – 10 meter under terræn (kote 30 – 36 m) svarende til at der her optræder moræneler. Herunder ses sand-grus lagene med en væsentlig lavere gamma-stråling, som aftager jævnt mod større dybde indtil toppen af kalken i 45 – 48 m dybde (kote -3 - -6 m). Denne variation i sand-grus lagenes gamma-stråling afspejler en variation i deres mineralogiske sammensætning, eksempelvis aftagende indhold af gnejs og granit korn og stigende indhold af kalk mod dybden, eller aftagende indhold af ler og silt partikler. De to vestligste borer (B1 og B10) afviger dog fra de øvrige ved at de nederste ca. 10 m af grus lagene viser en mod dybden stigende gamma stråling. Bortset fra de to østligste borer (B5 og B6) ses der nederst i gruslagene som overgang til kalken en forhøjet gamma stråling (gamma peak) (Bilag 11). Denne må formodes at være et lerlag nederst i sand-grus formationen idet der i samme dybde på Induktionslogs ses en tilsvarende forhøjet ledningsevne (Bilag 12).

Den omtrentlige overgang fra de kvartære lag til top af kalk er på Bilag 11 og 12 markeret med stiplet linie, idet kalken giver sig til kende ved et markant fald i gamma strålingen. Et yderligere fald i gamma strålingen ses ca. 8-10 m nede i kalken netop i den dybde hvortil PVC-foringsrørene er ført ned og bagstøbt med cement, Den tilsyneladende lidt højere gamma stråling (5-8 API) i de øverste 8-10 m af kalken skyldes således gamma stråling fra cement bagstøbningen.

I omkring 68 – 71 m dybde (kote -24 - -30 m) ses yderligere en markant peak på alle gamma-logs. Beliggenheden af denne peak ses på induktions-logs at modsvares af en dobbelt-horisont med lav ledningsevne, hvorfor den sandsynligvis optræder i relation til en "hard-

ground" horisont med forhøjet uranindhold. Denne markante horisont sammenholdt med de forholdsvis ens gamma-logs i kalk sektionen fra boring til boring viser, at kalkmagasinet er ret ensartet i det gennemborede område (Bilag 11).

Induktions-loggene fra de 10 boringer viser en generelt væsentlig højere formationsledningsevne i den kvartære lagserie end der ses i den gennemborede kalksektion. Det er her værd at bemærke, at ledningsevnen i den øvre og nedre del af sand-grus formationen endvidere er højere end i moræneleret, og har en variation som er helt anderledes end variationen i gamma strålingen omtalt ovenfor. Dette indikerer en variation i ledningsevnen i porevandet i sand-grus lagene med stærkt forhøjet ledningsevne i såvel de øverste som de nederste ca. 10 m af disse.

Formationsledningsevnen ned gennem kalken øges generelt fra ca. 10-20 mS/m i den øvre del til ca. 20-30 mS/m i den nedre del, hvilket afspejler et med dybden jævnt stigende kloridindhold i porevandet. Herudover ses der i den enkelte boring fluktuationer i formationsledningsevnen på maksimalt ca. 10 mS/m, som afspejler variation i kalk lagenes porøsitet. Kun boring B1 afviger væsentligt fra dette mønster, idet ledningsevnen i kalken dels er generelt højere end i de øvrige boringer og ikke øges mod større dybde, og dels viser større fluktuationer end de ovenfor nævnte 10 mS/m.

2.2 Vandkvalitet

Ved at anvende den for Danien kalk normale formationsfaktor 5 (porøsitetsafhængig), kan de generelt lave formationsledningsevner på 10 – 20 mS/m i størstedelen af kalk sektionen omregnes til en ledningsevne i formationsvandet på 50 – 100 mS/m. En ledningsevne i denne størrelsesorden svarer efter danske erfaringer til et kloridindhold i porevandet på 50 – 300 mg/l¹. Kun i den nederste del af kalken samt i boring B1 beliggende længst mod vest i området, hvor formationsledningsevnen er ca. 30 mS/m, vil porevandet i kalken være op mod 150 mS/m. Denne forholdsvis høje ledningsevne i formationsvandet i B1 kunne indikere en forureningspåvirkning fra vest. Sammenlignes de 10 induktions-logs forløb i kalk sektionen, synes ledningsevnen generelt at øges mod syd og vest i området (Bilag 12).

De ovenfor omtalte forhøjede ledningsevner i de kvartære sand-grus lag i dybdeniveauerne mellem kote 5 og -5 m, og mellem kote 35 og 20 m kunne ligeledes være indikation på en forureningspåvirkning, da der ikke ses forhøjet gammastråling i disse niveauer.

Målingerne af vandets ledningsevne under pumpning ("Fluid EC", Bilag 13) afspejler naturligvis kun vandet fra kalk sektionen, idet de kvartære sand-grus lag er afspærret med PVC-foringsrøret. Den resulterende ledningsevne af blandingsvandet fra kalken ses i hver enkelt boring ovenover den øverste indstrømning lige under forerøret at variere fra kun ca. 40 mS/m i B7 og B5 til ca. 90 mS/m i boringerne B1 og B10 placeret længst mod vest i området og endog 100 mS/m i B3. Da porevandet i den nederste del af kalken har ledningsevne

¹ Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 2. Undersøgelse af saltvandsgrænsen ved hjælp af geofysisk borehulslogging. K. Klitten & C.S. Wittrup. GEUS Rapport 2006/17.

på 100 - 150 mS/m, vil det endelige niveau for den resulterende ledningsevne af blandingsvandet afhænge af, hvor meget den nedre del af kalken bidrager med til indstrømningen.

De ekstraordinære høje ledningsevner på over 150 mS/m som er målt helt i bunden af borerne skyldes sandsynligvis rester fra udsyring af borerne og/eller lerholdigt slam i bunden af borerne, da induktions-logs ikke viser ekstraordinært forhøjede formationsledningsevne i disse dybdeniveauer. Disse eventuelle syrerester betyder dog ikke noget for det producerede vands ledningsevne, idet ledningsevnen som det ses af loggene straks nedsættes væsentlig allerede efter de første indstrømninger nederst i borerne.

2.3 Indstrømningsfordeling i borer

Bestemmelse af indstrømningsfordelingen i borerne er foretaget ved at omregne indstrømningsmålingerne målt med flow-propel i rotationer pr. minut til en procentvis indstrømningsfordeling i boringen i forhold til strømningen i forerøret, som sættes til 100 %.

I Bilag 14 er de 10 flow-logs sammenstillet. Der ses at optræde flere forskellige indstrømningsmønstre. Alle borer med undtagelse af B1 har markante indstrømningshorisonter (sprækker) hvor mindst 30 – 40 % af den samlede indstrømning finder sted. Herudover er indstrømningerne forholdsvis jævnt fordelt i alle dybdeniveauer bortset fra i borerne B2, B8 og B9. I disse tre borer ses der store sektioner i kalken uden indstrømninger, og hvor hovedparten af indstrømningen sker enten i den nederste del eller i både denne del og den øverste del.

I Tabel 2 er indstrømningsprocenterne opgjort på 10-meter dybdeintervaller for hver af de 10 borer. Desuden er summen af indstrømningsprocent-point i det pågældende dybdeinterval beregnet. Dette viser at for alle borer under ét sker ca. 40 % af den totale indstrømning i de øverste 20 m under forerøret fra 50 – 70 m dybde, og ca. 50 % af den samlede indstrømning sker i de nederste 20 m af borerne fra 80 – 100 m dybde.

Tabel 2. Indstrømningsfordeling i boring B1 – B10 opgjort på 10-meter dybdeintervaller. Bund af forerør er mellem 50 – 56 m dybde, "X" angiver boring med forerør til 60 m dybde (B1 og B5). "SUM" er summen af indstrømningsprocent-point i det pågældende dybdeinterval for alle 10 borer.

Dybde (m u.t)	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)	B5 (%)	B6 (%)	B7 (%)	B8 (%)	B9 (%)	B10 (%)	SUM	%
50-60	X	12	31	15	X	15	70	40	0	10	193	19
60-70	35	0	6	0	40	74	2	5	8	14	184	18
70-80	50	0	5	22	8	2	11	0	0	15	113	11
80-90	15	52	38	18	9	3	4	0	19	21	179	18
90-100	0	36	20	45	43	6	13	55	73	40	331	33
											1.000	100

Tabellen viser også, at i borerne B2, B3, B4, B5, B8, B9 og B10 sker mere end 50 % af indstrømningen i de nederste 20 m, hvorimod B6 og B7 får mere end 50 % af indstrømningen indenfor de øverste 20 m af kalken. Endelig får boring B1 ca. 50 % af indstrømningen fra de midterste 10 m af kalk sektionen.

3. Sammenfatning af resultater

Størstedelen af grundvandets strømning i kalken skyldes horisontale og vertikale sprækkesystemer. De vandførende horisontale sprækker, som er truffet i borerne, er observeret som indstrømningszoner ved flow-loggen. I forbindelse med anvendelse af grundvandsmagasinet i kalken til køling om sommeren og eventuel opvarmning om vinteren, er det en stor fordel, at fordelingen af de horisontale sprækker er uens og forskellig i de undersøgte borer, hvorved risikoen for hurtig kortslutning ("gennemslag") mindskes. For yderligere at mindske risikoen for gennemslag bør borerne matches med så forskellig indstrømningsfordeling som muligt. Ved at betragte flow-logs på Bilag 14 kunne det derfor overvejes at matche B2 med B3, B9 med B8 samt B4 med B7, men fastholde B6 med B5 og B1 med B10.

Den forholdsvis lave ledningsevne (50 mS/m), som kan konstateres i kalkens formationsvand næsten helt til bund af enkelte af borerne, tyder på en forholdsvis hurtig nedsivning af nedbøren. Dette indikerer, at kalkens vertikale sprækkesystemer generelt må være veludviklet, hvilket ligeledes er fordelagtigt for en udnyttelse af kalkmagasinet som kølemedie. Når dette ikke har resulteret i en lav ledningsevne i kalkens formationsvand i alle borer skyldes det, at formationsvandets ledningsevne i disse formodes at være påvirket af en grundvandsforurening, som også ses såvel i den øvre som den nedre del af sand-grus formationen.

Endelig skal det anføres, at den forhøjede ledningsevne på 100-150 mS/m i de nederste ca. 10 m af kalken indikerer, at det saltvandspåvirkede grundvand ved overgangen til de underliggende Kridttidsaflejringer (Skrivekridt), ligger forholdsvis nært under bunden af borerne. Dybden til Kridtet kan vurderes ud fra sammenligning af gamma-logs, induktionslogs (og resistivitets-logs) i de undersøgte borer med tilsvarende logs i boring DGU nr. 200.4220 på Bjellekær kildeplads og DGU nr. 200.4344 på Egholm kildeplads, hvor grænsen mellem de to bjergarter er gennemboret. Bjellekær kildeplads ligger ca. 9 km syd for B1 – B10, og Egholm kildeplads ligger ca. 8,5 km sydvest for B1 – B10. Ud fra denne sammenligning skønnes det, at Kridtet kan forventes 10-15 m under bunden af borerne B1 – B10.

En bestemmelse af kalkmagasinet's totale tykkelse har betydning for estimering af dets varmelagringskapacitet, hvorfor det anbefales at bore mindst en efterfølgende boring nogle få meter ned i Kridtet. Der vil ikke være nogen risiko for, at det saltholdige grundvand i Kridtet i større omfang vil blive inddraget i oppumpning fra Danienkalken, idet såvel den vertikale som den horisontale permeabilitet i sidstnævnte er 100 til 1000 gange større end i Kridtet.

4. Bilagsliste

Bilag 1: GEUS borehulslogs fra boring B1, DGU nr. 193.2464

Bilag 2: GEUS borehulslogs fra boring B2, DGU nr. 193.2460

Bilag 3: GEUS borehulslogs fra boring B3, DGU nr. 193.2465

Bilag 4: GEUS borehulslogs fra boring B4, DGU nr. 193.2461

Bilag 5: GEUS borehulslogs fra boring B5, DGU nr. 193.2462

Bilag 6: GEUS borehulslogs fra boring B6, DGU nr. 193.2285

Bilag 7: GEUS borehulslogs fra boring B7, DGU nr. 193.2286

Bilag 8: GEUS borehulslogs fra boring B8, DGU nr. 193.2354

Bilag 9: GEUS borehulslogs fra boring B9, DGU nr. 193.2355

Bilag 10: GEUS borehulslogs fra boring B10, DGU nr. 193.2463

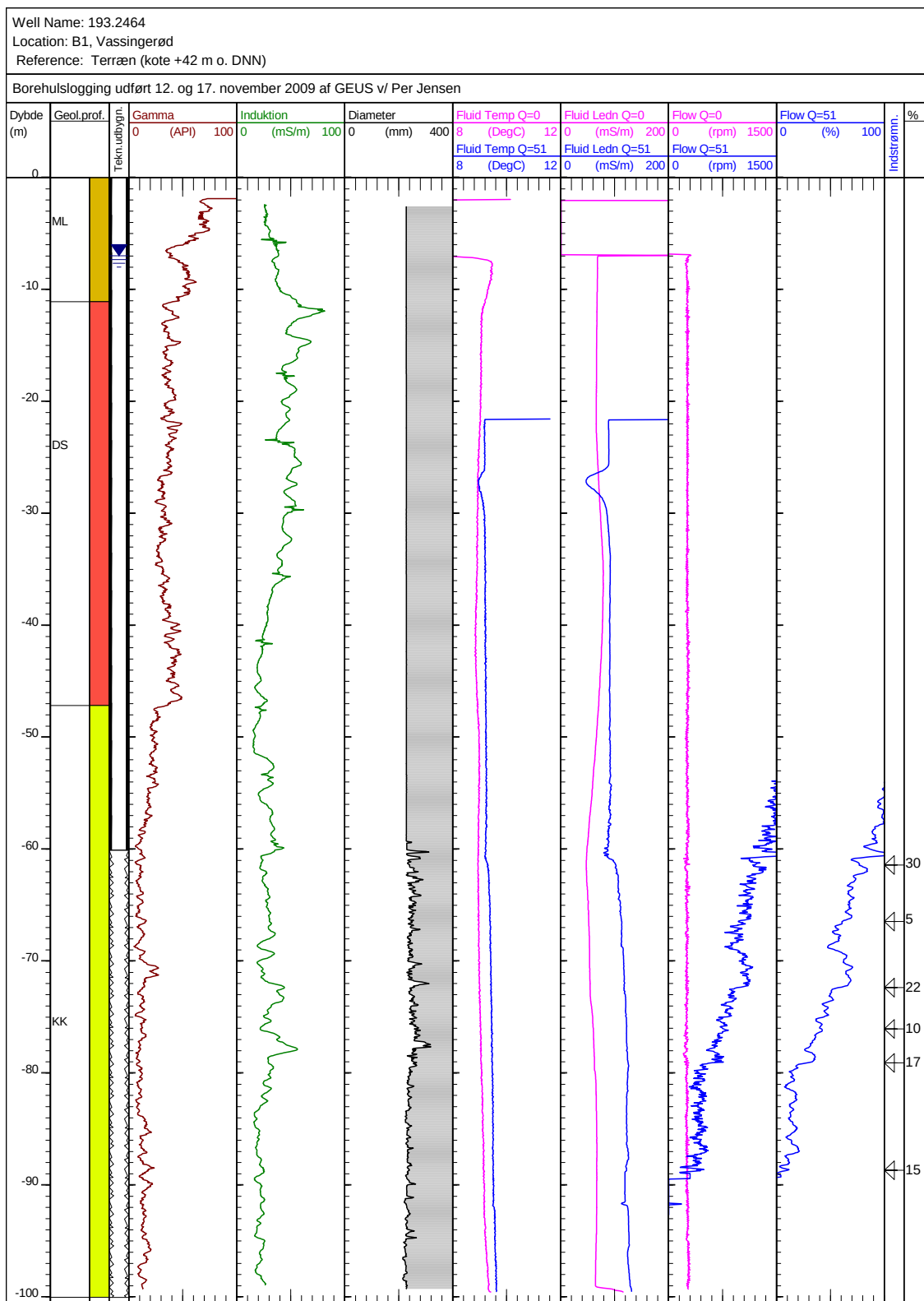
Bilag 11: Sammenstilling af gamma-logs fra borerne B1- B10

Bilag 12: Sammenstilling af induktions-logs fra borerne B1- B10

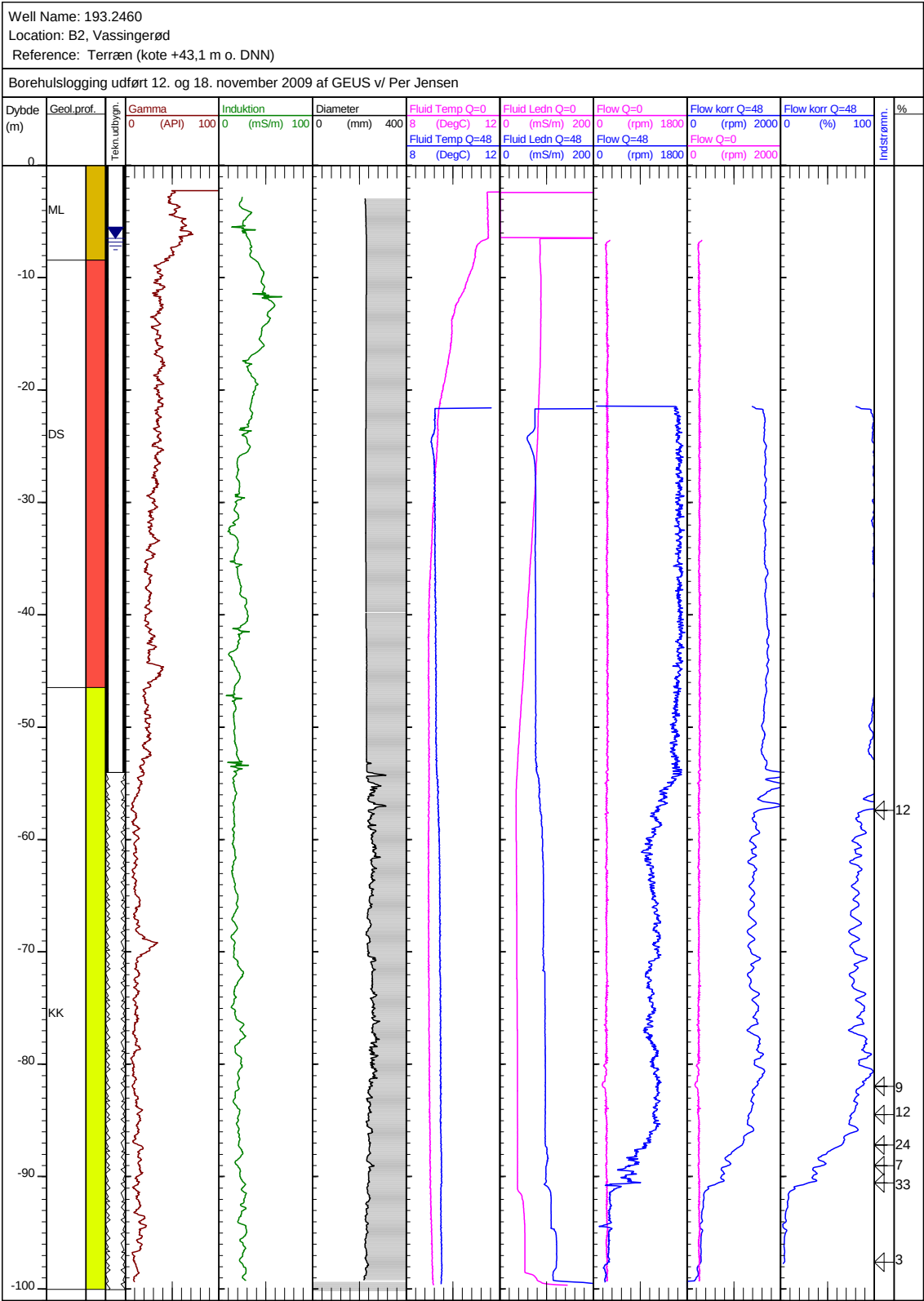
Bilag 13: Sammenstilling af ledningsevne-logs fra borerne B1- B10

Bilag 14: Sammenstilling af flow-logs fra borerne B1- B10

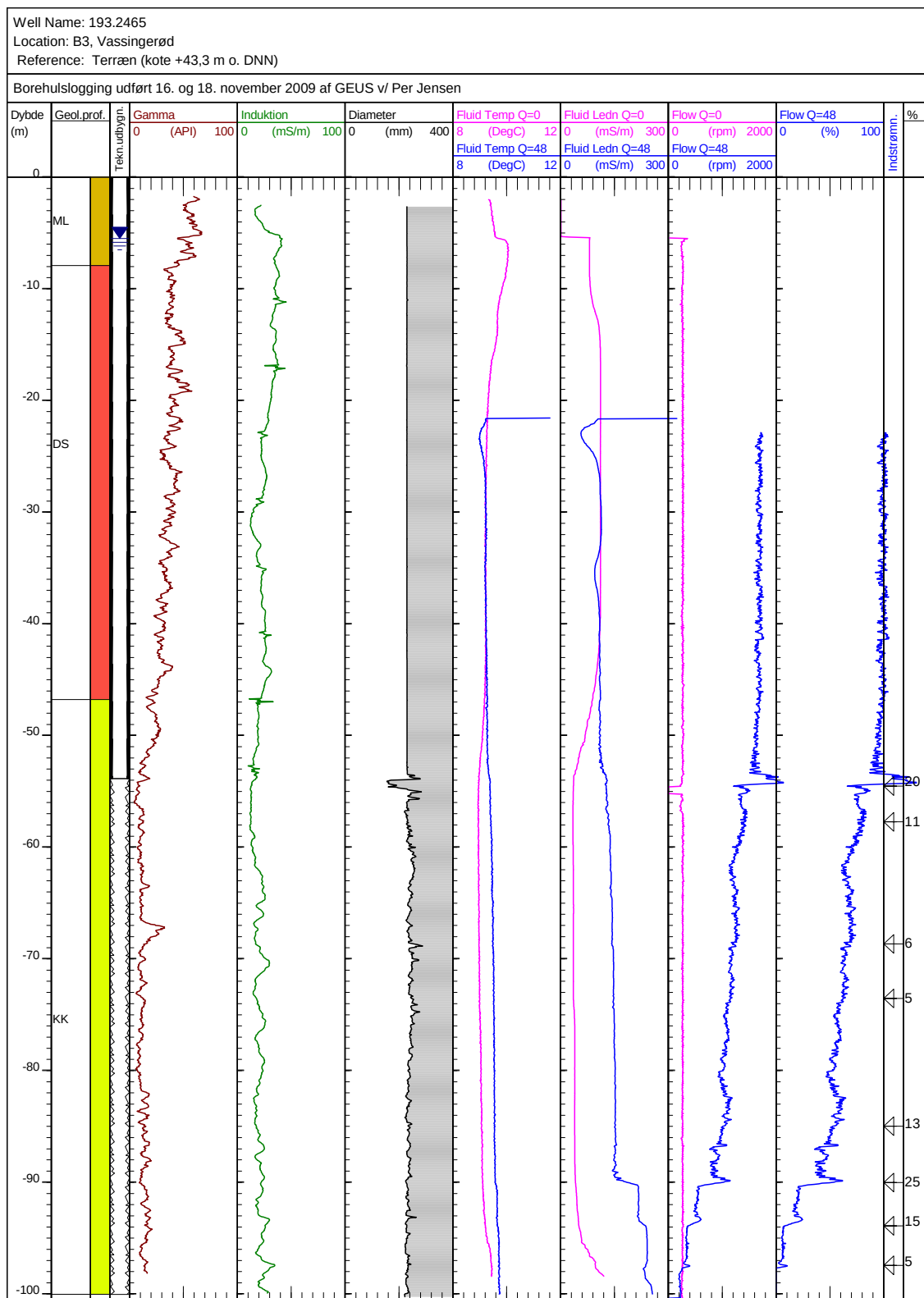
Bilag 1



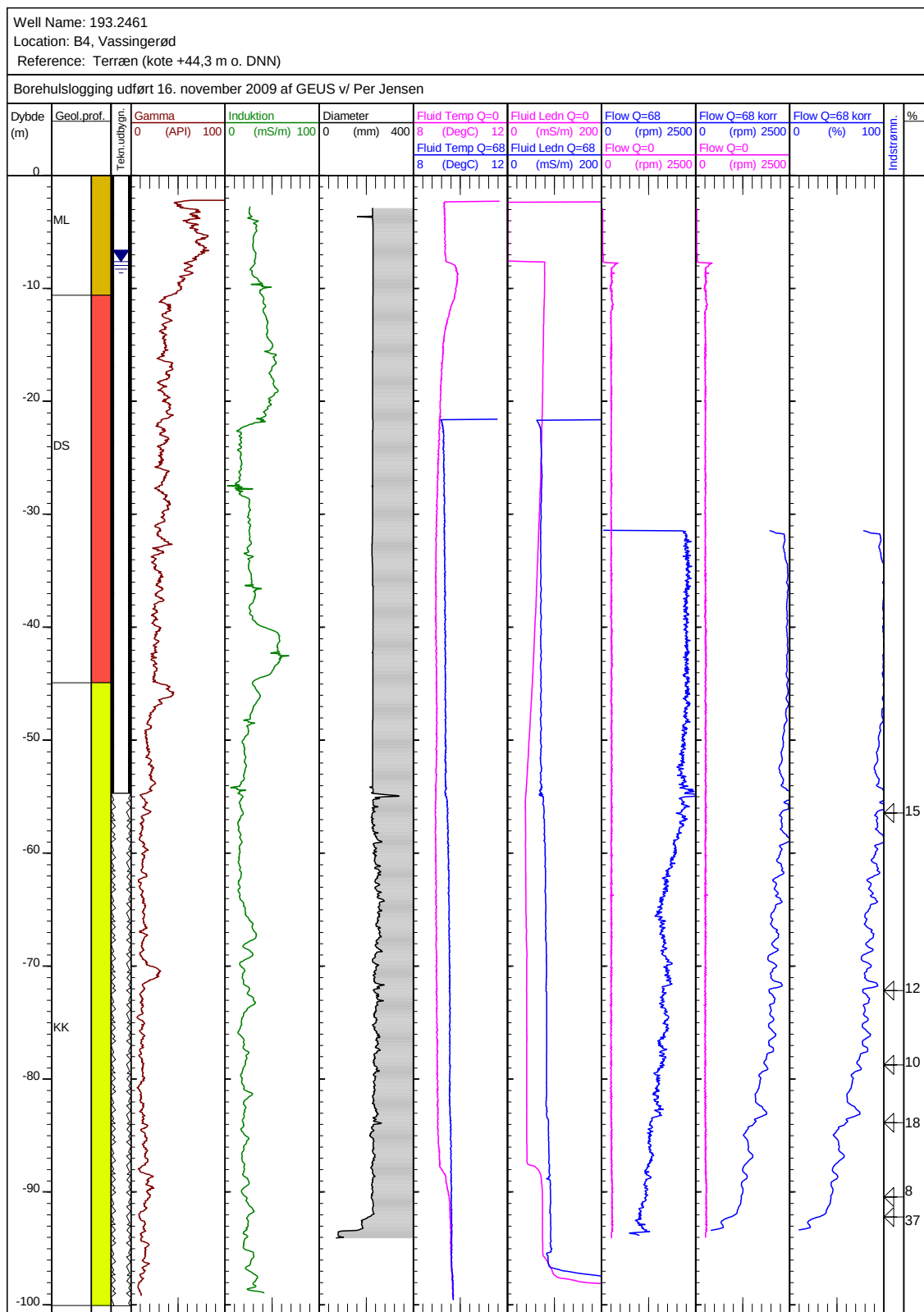
Bilag 2



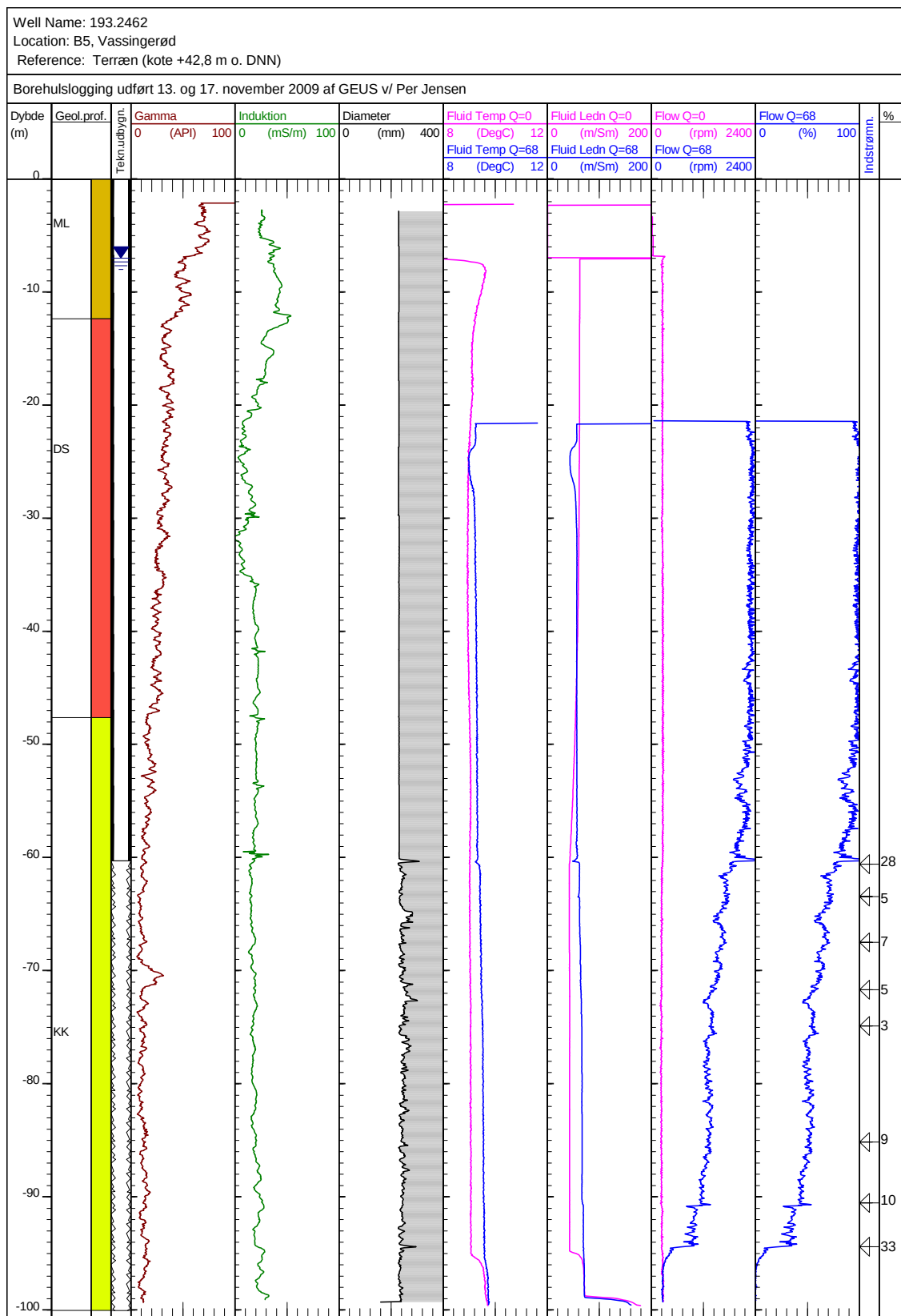
Bilag 3



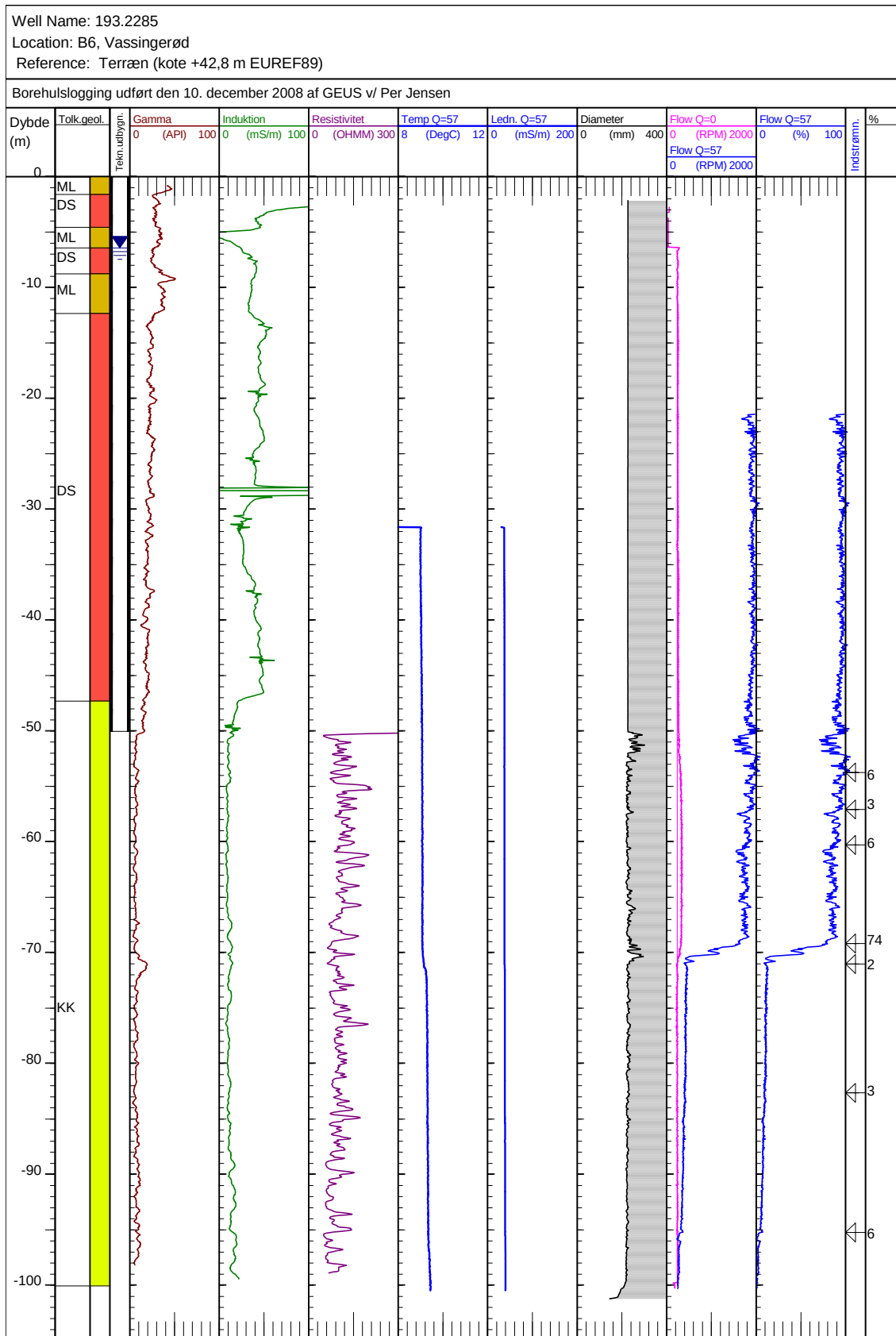
Bilag 4



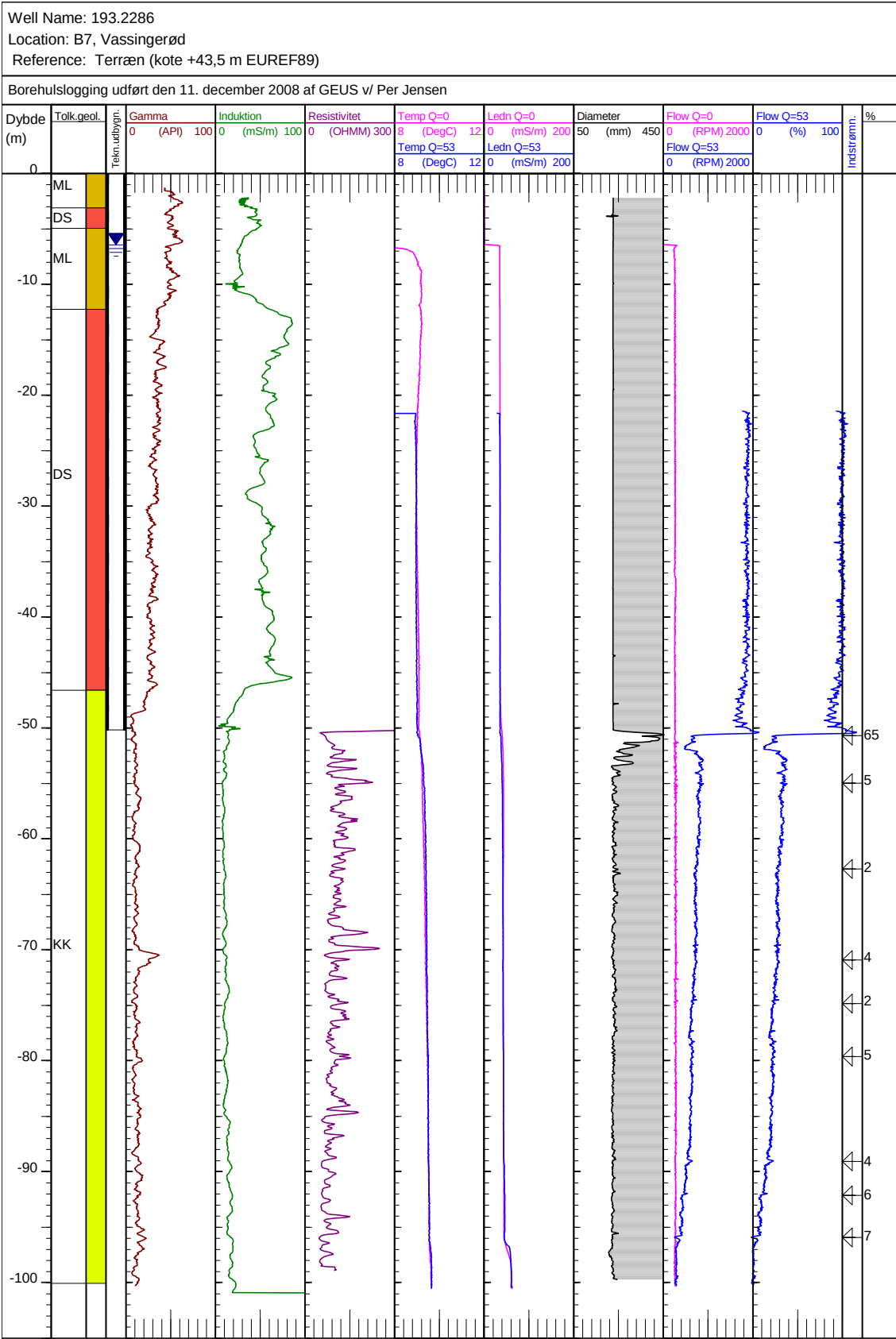
Bilag 5



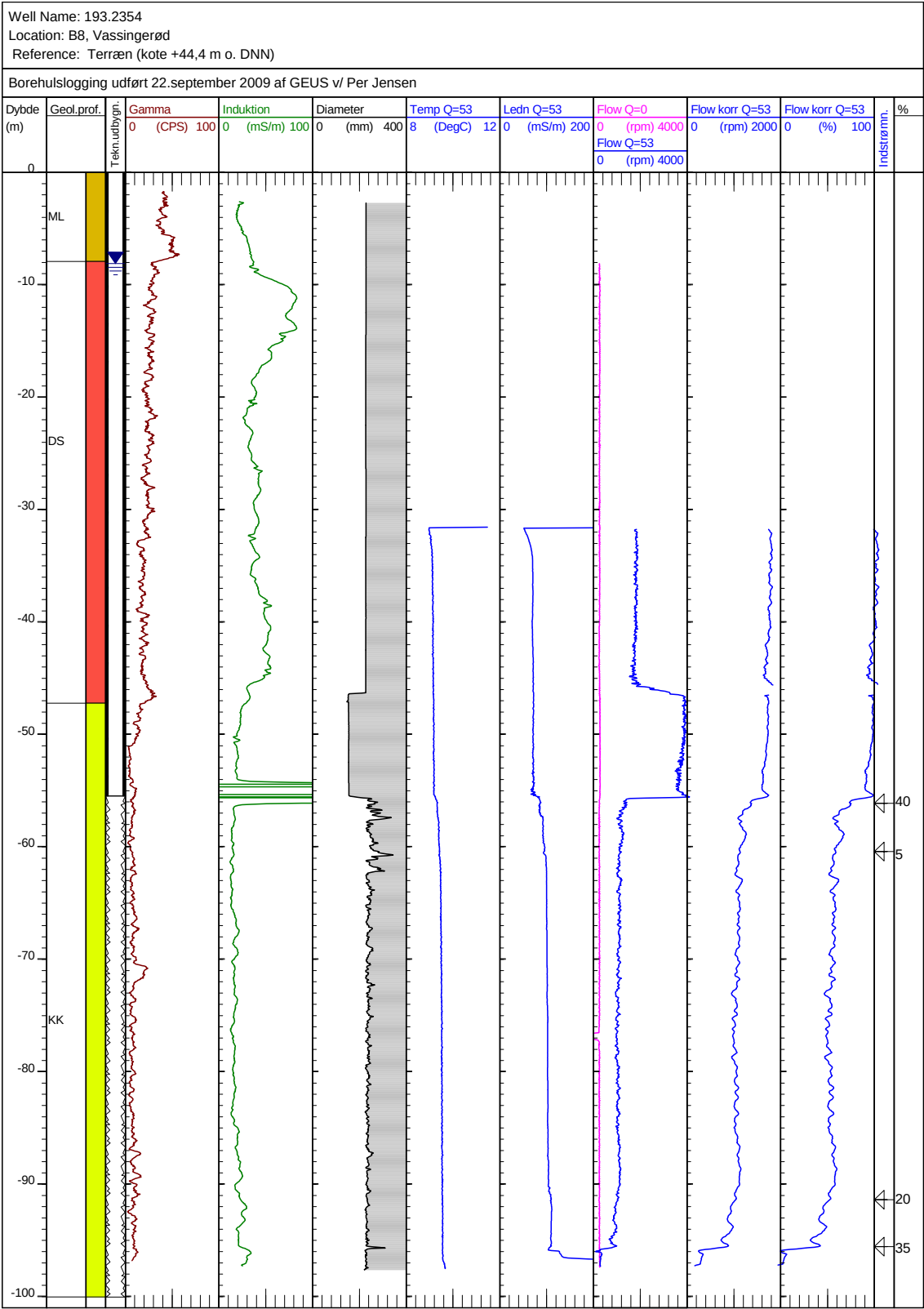
Bilag 6



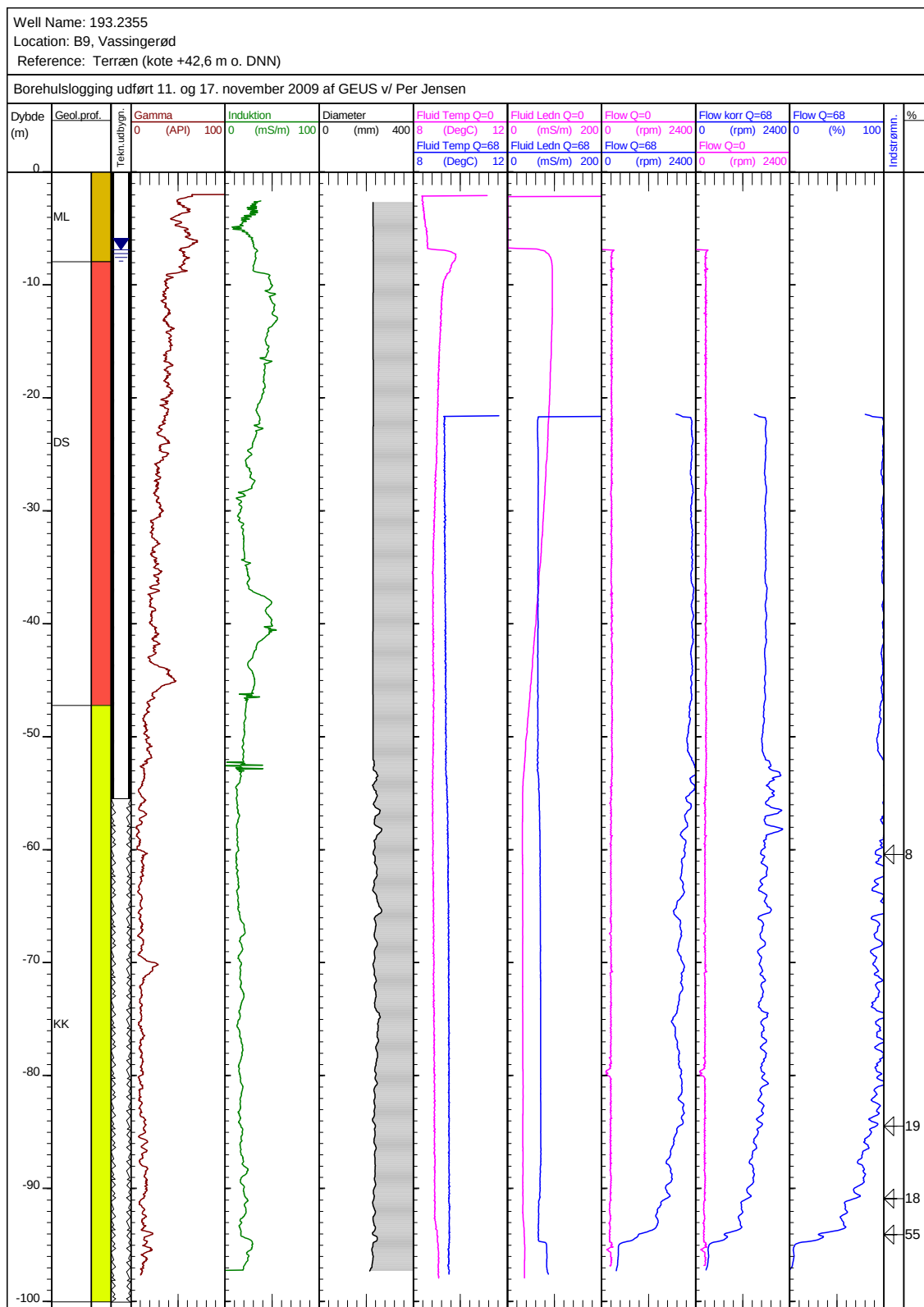
Bilag 7



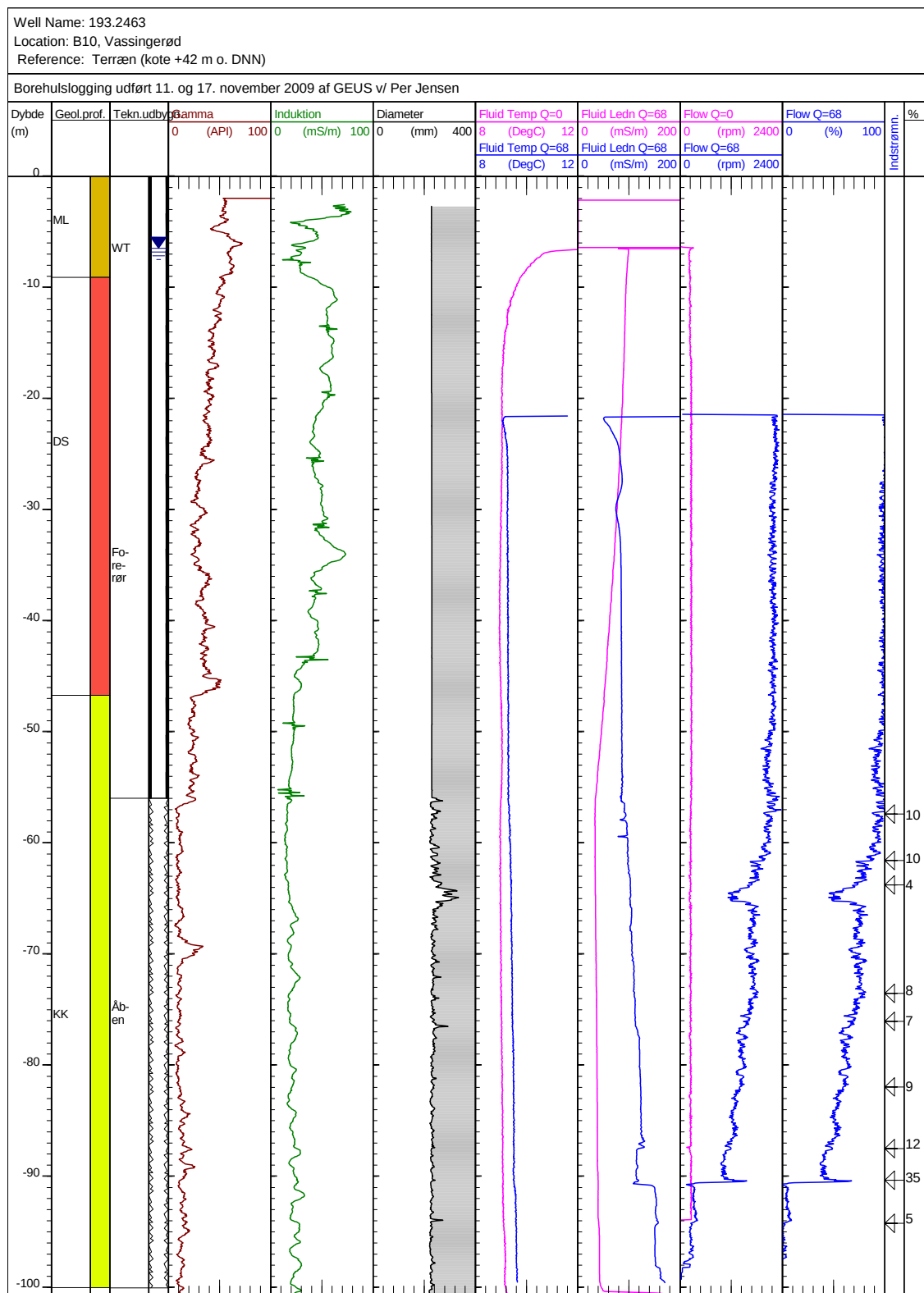
Bilag 8



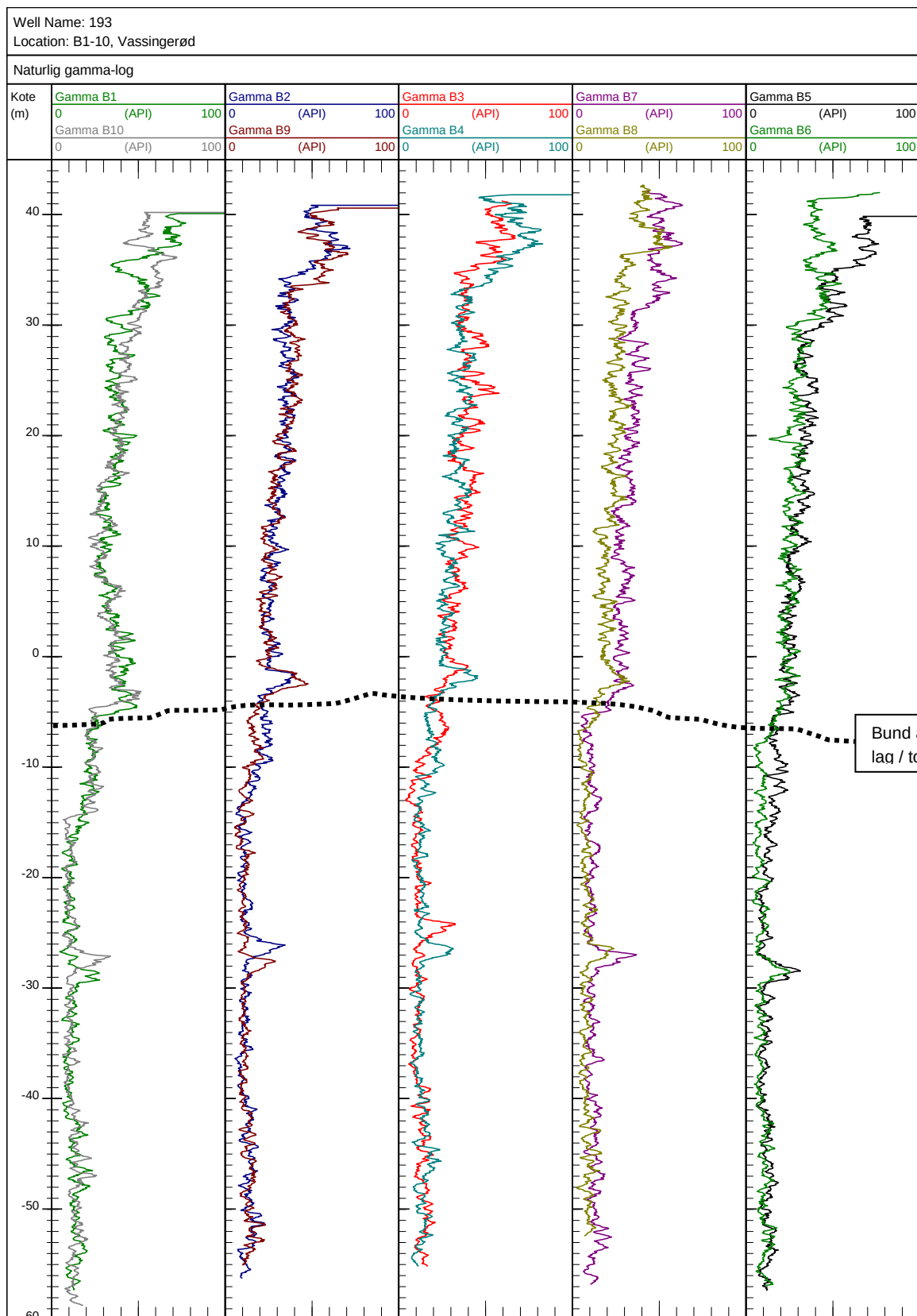
Bilag 9



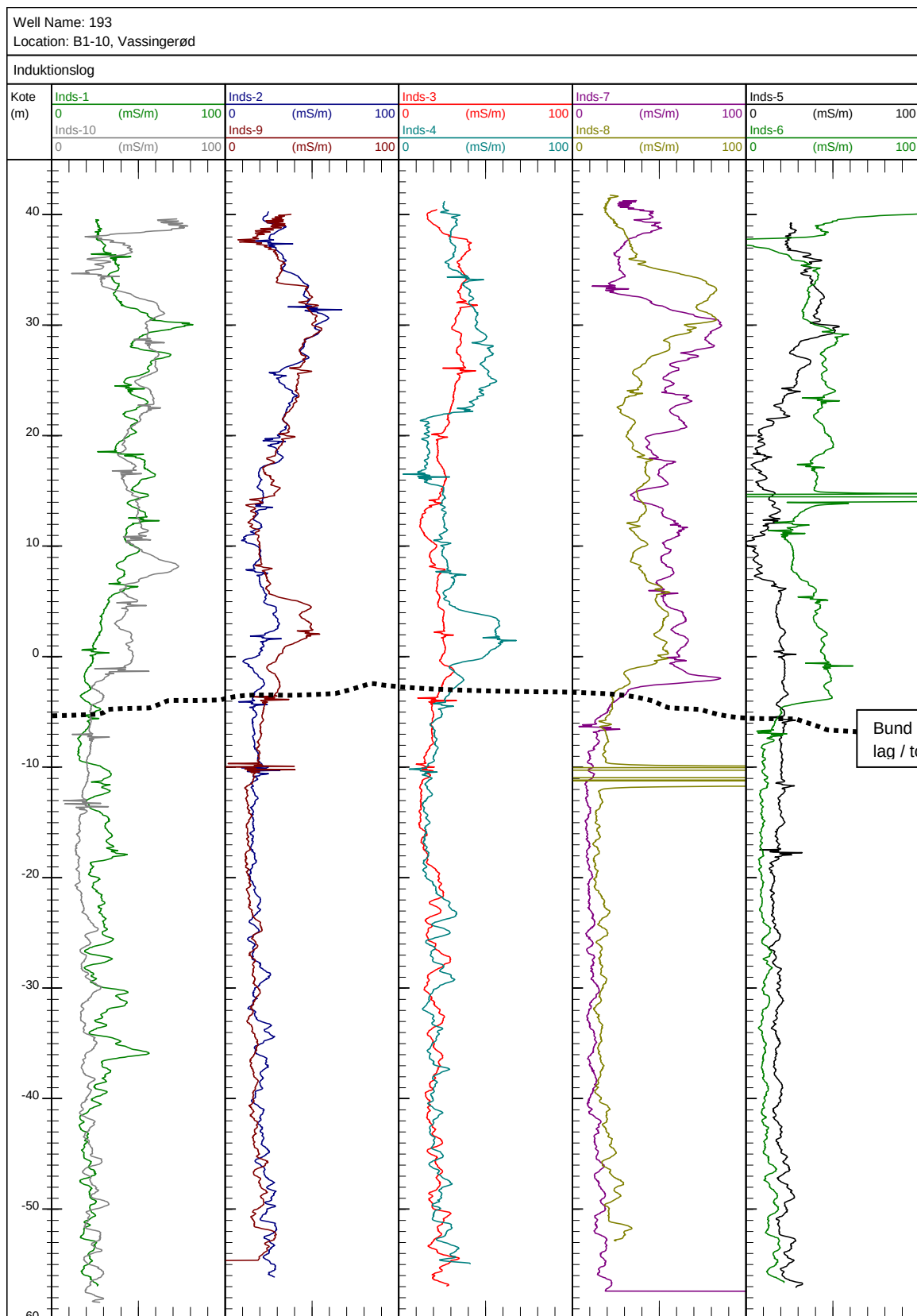
Bilag 10



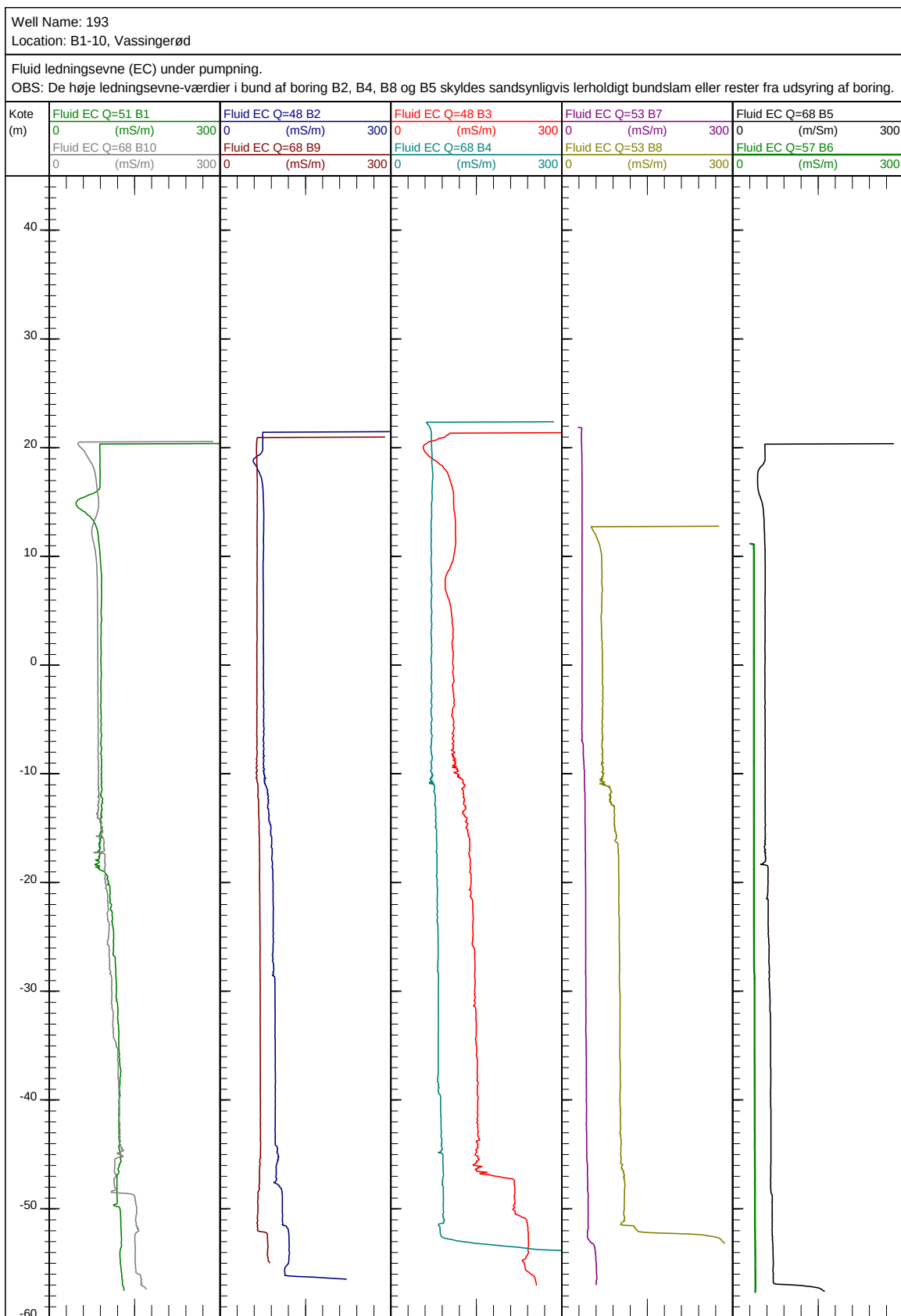
Bilag 11



Bilag 12



Bilag 13



Bilag 14

