

Smålyngen Vest Kildeplads Bornholms Vand A/S

Borehulslogging i 247.710 og 711

Kurt Klitten & Per Jensen

Smålyngen Vest Kildeplads Bornholms Vand A/S

Borehulslogging i 247.710 og 711

Kurt Klitten & Per Jensen

Indhold

1	Introduktion og undersøgelsesprogram	4
2	Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer	7
2.1	Grammegårdsvej - DGU nr. 247.711	7
2.1.1	Tekniske forhold	7
2.1.2	Gamma-log, resistivitets-log og lagfølge	7
2.1.3	Temperatur-log uden og med pumpning	9
2.1.4	Ledningsevne-log uden og med pumpning	9
2.1.5	Flow-log og indstrømningsfordeling	10
2.2	Trassevejen - DGU nr. 247.710	11
2.2.1	Tekniske forhold	11
2.2.2	Gamma-log, resistivitets-log og lagfølge	11
2.2.3	Temperatur-log uden og med pumpning	13
2.2.4	Ledningsevne-log uden og med pumpning	13
2.2.5	Flow-log og indstrømningsfordeling	13
3	Log-stratigrafisk korrelation af kildepladsens boringer og indstrømningsfordeling	16
3.1	Korrelation af gamma-logs	16
3.2	Log-stratigrafi og indstrømningsfordeling	17
4	Reference liste	20
5	Bilags liste	21

1 Introduktion og undersøgelsesprogram

Som led i en igangværende videnskabelig udredning af log-stratigrafien i Hardeberga Formationen (Balka Sandstenen) og i Nexø Sandstenen på Bornholm, som udføres af Arne Thorshøj Nielsen, Afd. for Geovidenskaber og Naturressourcer ved Københavns Universitet og Kurt Klitten, Hydrologisk Afd. ved Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser (GEUS) blev der i juni i år rettet henvendelse til Bornholms Vand A/S om tilladelse til udførelse af Gamma- og Resistivitets-logging af de to nyeste borer, 247.710 og 247.711 på Smålyngen Vest kildeplads forinden disse blev taget i brug som indvindingsboringer.

Tilladelse blev givet fra Bornholms Vand A/S sammen med et ønske om, at der også blev udført flow-logging i de to borer for bestemmelse af indstrømningsfordelingen under pumpning. Som anbefalet af Hans Ole Hansen, konsulent for Bornholms Vand, blev en aftale herom indgået 24. juli mellem Bornholms Vand A/S og Kurt Klitten, GEUS med tilsagn fra Bornholms Vand om dækning af ekstraudgifter som følge af udvidelsen af logging programmet.

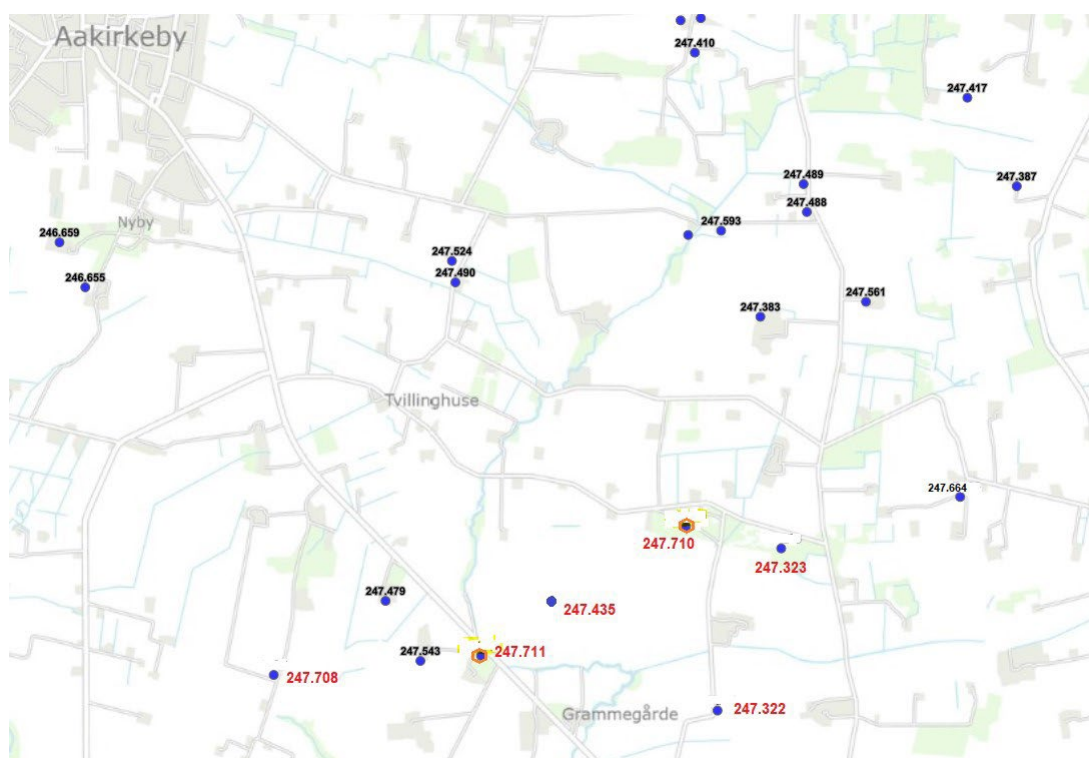


Fig. 1: De to nye logging-undersøgte borer på Smålyngen Vest kildeplads er vist med orange sekskant omkring blå prik. De fire øvrige borer angivet med blå prik og røde numre på kortet, er andre indvindingsboringer på kildepladsen registreret i GEUS's Jupiter boringsdatabase såvel som i GERDA geofysikdatabase med indberettede logging-undersøgelser.

Logging-undersøgelsen i de to nyeste borer blev udført i dagene 14. og 15. august 2024 af Kurt Klitten med assistance af GEUS tekniker Per Jensen. På samme kildeplads er der tidligere foretaget borehuls-logging i en ældre indvindingsboring DGU nr. 247.323 dels af T. Sørensen i 1975, og dels af GEUS i 2002, og endelig igen i 2018 af VCS. Endvidere udførte GEO i 2022 borehuls-logging i den ny boring 247.708 også beliggende på Smålyngen Vest kildeplads (se figur ovenfor). I to andre borer af ældre dato, 247.322 og 247.435, foreligger der ligeledes logs af T. Sørensen fra 1975, og i begge har VCS for nylig (2019) igen udført logging. I den ene, 247.322, var der allerede i 2002 foretaget omfattende logging af GEUS. Logging-resultaterne fra de tre nævnte ældre borer er i nærværende rapport sammenstillet med resultaterne fra de tre nyeste borer på kildepladsen Smålyngen Vest med henblik på at få præciseret stratigrafien af de gennemborede bjergarter i de enkelte borer, men også for at få et overblik over, fra hvilke stratigrafiske enheder der sker indstrømning til hver enkelt boring under pumpning. Der foreligger ligeledes logging-resultater fra flere andre af Smålyngen Vandværks indvindingsboringer på kildepladserne Smålyngen Midt, Smålyngen Øst samt Nexø Vest og Nexø Midt, men det har ikke været hensigten at inddrage disse i nærværende rapport.

Indvindingen på kildepladsen Smålyngen Vest sker fra Balka sandstenen (Hardeberga Formationen), som i boring DGU nr. 247.710 træffes lige under terræn, hvilket vil sige omkring kote +44 m. I den anden af de ny borer, 247.711, optrådte sandstenen først i ca. 32 m dybde (dvs kote +2,2 m), idet den var overlejt først af 26 m Læså Formation (Grønne skifre) og øverst af 6 m kvartære aflejringer. I begge borer har man villet undgå indstrømning af eventuelt forurenat (nitrat og pesticider) vand fra de øvre dele af lagfølgen, hvorfor de blev udbygget med rustfrit stålforingsrør til henholdsvis ca. 36 m (247.711) og ca. 25 meter dybde (247.710). Under disse dybder står borerne uden forerør, dvs. åbne.

Det normale GEUS logging program for vandindvindingsboringer omfatter en verifikation af den geologiske lagfølge i de enkelte borer ved hjælp af gamma-log, induktions-log eller resistivitets-log. Programmet omfatter endvidere en fastsættelse af indstrømningen i de enkelte indstrømningszoner ved hjælp af flow-log under pumpning fra boringen, samt en kaliber-log. Sidstnævnte er ofte nødvendig, fordi variation i borehullets diameter og især forholdet imellem diameteren i forerøret og den gennemsnitlige diameter i bjergarten lige under forerøret vil influere stærkt på flow-loggens resultater. Kaliber-loggen giver tillige information om eventuelle uregelmæssigheder i forerørets diameter, og disse kan i ældre borer være indikation på gennemtæring. Forud for en flow-log udføres der altid en kalibreringstest af flow-log sonden ved at køre den ned gennem hele boringen uden pumpning og med tre forskellige nedsænkningshastigheder, hvoraf den sidste er den samme som ved efterfølgende flow-logging under pumpning. En eventuel intern strømning imellem zoner i bjergarten eller mellem to filtre med forskelligt vandtryk vil også blive identificeret ved en sådan kalibrerings flow-log uden pumpning.

Endelig omfatter programmet også ledningsevne & temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen, hvilket giver information om indstrømninger med eventuelle væsentlige grundvandskemiske eller temperaturmæssige forskelle og der-

med eventuel verifikation af indstrømningszoner identificeret ved flow-log under pumpning, og om eventuel intern strømning i boringen uden pumpning.

I tabel 1.1 ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der blev udført i hver af de to nyeste borer i ifølge aftale med Bornholms Vand. Desværre kunne kaliber-log kun udføres i den ene (247.711), idet sonden næste dag ikke fungerede som den skulle. Heldigvis var der kun skiftet borekrone-diameter en gang i netop denne boring (247.710), hvorimod dette var foretaget 4 gange i 247.711, hvorfor kaliber-log i sidstnævnte var vigtig for korrektion af flow-log. I begge borerne blev flow-loggen foretaget med en pumpeydelse på ca. 6 m³/t. Mht indstrømningsprocentiske størrelse bestemt ved flowlogging er det GEUS's erfaring, at den relative indstrømningsfordeling som regel er uafhængig af størrelsen på pumpeydelsen. Ved store pumpeydelser kan der dog ved trykfølsom sprække-permeabilitet i kalk og andre faste bjergarter ske ændringer i indstrømningsfordelingen. Kildeplads Smålyngen Vest var tilsyneladende i drift under logging arbejdet, dvs. der er foregået pumpning fra enkelte af de øvrige indvindingsboringer. Dette kan også give anledning til en ændret indstrømningsfordeling i de undersøgte to nye borer i forhold til en Flow-log foretaget uden samtidig indvinding fra nærliggende borer.

Tabel 1.1: Logging undersøgelser på Smålyngen Vest kildeplads

Boring:	Trasse- vejen	Gramme -gårdsvej	Å2 Dale- gårdsvej	Å4b			Å8			Å3	
DGU nr.	247.710	247.711	247.708	247.323			247.322			247.435	
Logging år:	2024	2024	2022	1975	2002	2018	1975	2002	2019	1975	2019
Log. operatør:	GEUS	GEUS	GEO	TS	GEUS	VCS	TS	GEUS	VCS	TS	VCS
Log metoder											
Gamma	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	(X)
Induktion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistivitet	X	X	-	X	X	-	X	X	-	X	-
Temp. & Ledn.	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-
Temp. & Ledn. Pumpning	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-
Kaliber	-	X	X	-	X	X	-	X	X	-	(X)
Flow uden pumpning	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	(X)
Flow ved pumpning	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	(X)
Video	-	-	-	-	-	X	-	-	(X)	-	(X)

2 Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer

2.1 Grammegårdsvej - DGU nr. 247.711

2.1.1 Tekniske forhold

Boringen er udført af firmaet Awell og blev afsluttet i september 2023. Boringen blev udført som en ODEX-boring og rapporteret afsluttet med 10" rustfrit stålforerør ($\phi_i=256$ mm) til 37,3 m dybde inden et 14" jernrør ($\phi_i=355$ mm) til 33,5 m, og med cement/lerspærre i intervallet 33,5 til 37,3 m. Herunder som åben boring med 240 mm borekrone til 46 m, med 203 mm borekrone til 54,5 m, 178 mm borekrone til 68,5 m og endelig 160 mm borekrone til slutdybde 80 m. Terrænkoten ved boringen er oplyst til +34,23 m.

Logging blev gennemført 14. august 2024. Kaliber-loggen bekræftede stort set ovennævnte diameter-skift, Fig. 2, bortset fra, at 240 mm borekrone øjensynlig blev anvendt fra 38,3 m, og at stålforerøret med $\phi_i=256$ mm kun når ned til 36,7 m. I dybde intervallet fra 36,7 m til 38,3 m er diameteren derfor ifølge kalender-loggen væsentlig større, 325 mm.

Boringen er artesisk med rovandstand 1,3 meter over terræn. Overløb er forhindret ved, at det inderste stålforerør er forlænget til 1,4 m over terræn. Boringen er efter afslutning af borearbejdet blevet renpumpet med 29 m³/t, som resulterede i 18,5 meter sænkning efter 60 minutter (ref. HOH febr. 2024) svarende til en specifik kapacitet på godt 1,6 m³/t/m. Temperatur- og ledningsevne-log samt flow-log under pumpning med en ydelse på 6 m³/t blev udført med en Grundfos SQ8 pumpe anbragt 20 m under terræn, hvorved det var sikret, at vandspejlet under loggingen ikke ville blive sænket til pumpen.

2.1.2 Gamma-log, resistivitets-log og lagfølge

Alle de anvendte logging-sonder har indbygget en gamma-strålingsdetektor, således at der kan udføres dybde-kontrol ved sammenligning af Gamma-log fra de forskellige måle-sonder, se Fig. 2. Gamma-loggen, viser uanset sonde-type øverst et lidt lavere strålingsniveau i de 6 m moræneler, end hvad der ses i Læså formationen (Grønne Skifre) nedenunder. Sidstnævnte underlejes af Hardeberga formationen (Balka sandsten), som giver sig til kende i 32 m dybde på gamma-loggen ved et markant skifte fra en forholdsvis ensartet gamma-stråling i Læså formationen til en meget varierende gamma-stråling i Hardeberga formationen. Sidstnævnte er inddelt i fire Members (A.T. Nielsen & N.H. Schovsbo; 2007) begyndende øverst med Tobisvik (75-76 m) over Brantevik (4-5 m), dernæst Vik (10-12 m) og med Hadeborg (17-18 m) nederst. Hver af disse fire Members

har et karakteristisk og let genkendeligt gamma-strålingsmønster (publikation under udarbejdelse: A. Thorshøj Nielsen & K. Klitten) på basis af hvilket det for eksempel kan vurderes, at nærværende boring 247-711 i 80 m slutdybde endnu ikke har gennemboret Tobisvik Member. Sidstnævnte kan også på basis af gamma-strålingsmønstret yderligere underdeles i tre units, Øvre (21-24 m), Mellem (16-19) og Nedre Tobisvik (30-35 m) (publikation under udarbejdelse: A. Thorshøj Nielsen & K. Klitten), hvoraf det kan konkluderes, at boringen ved slutdybden på 80 m kun er nået ca. 10 m i Nedre Tobisvik. Følgelig kan det forventes, at der vil være yderligere ca. 20-25 m at bore før næste Member, Brantevik, ville være nået (se også Fig. 4).

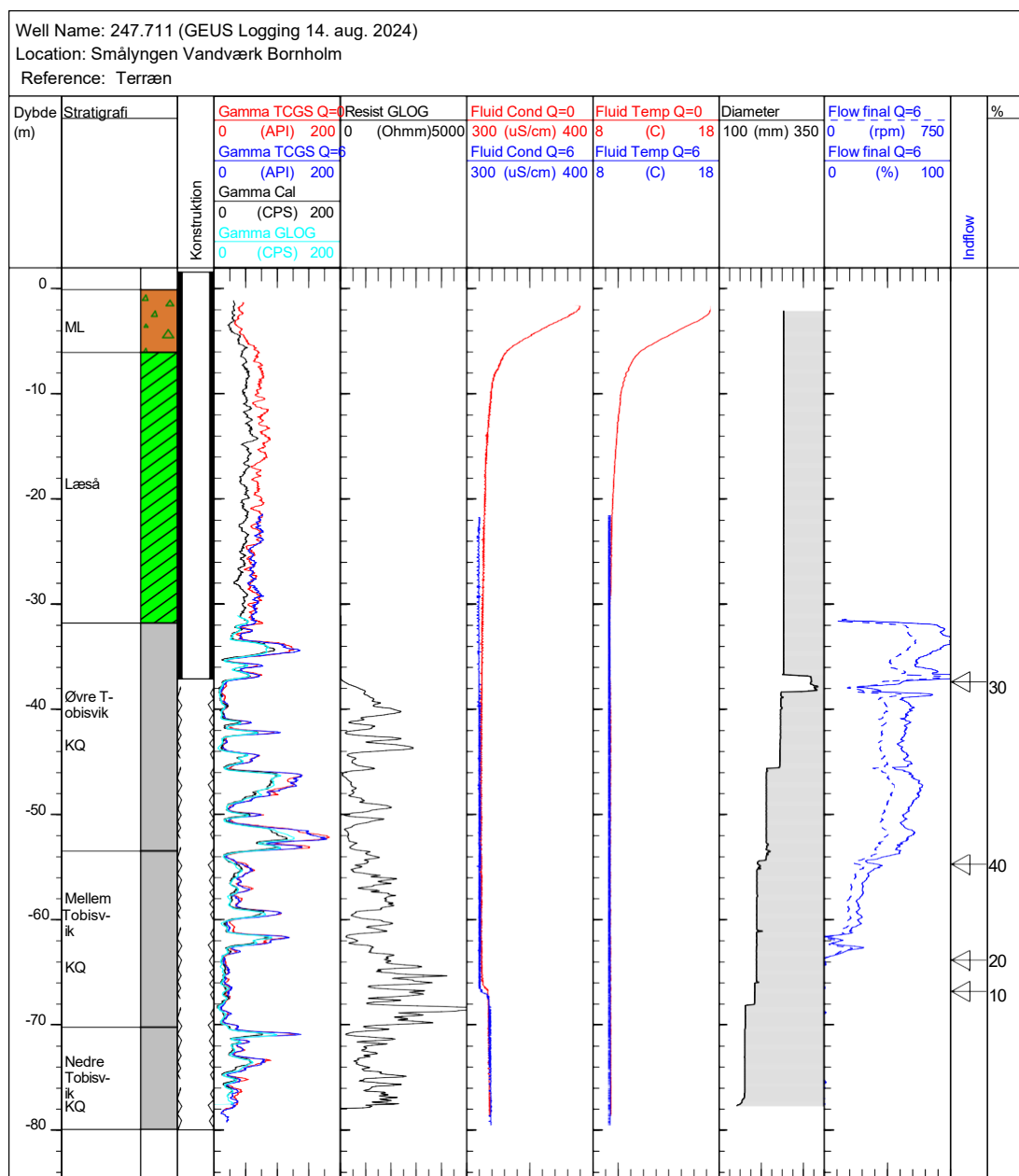


Fig. 2: Temperatur- og ledningsevne-log uden ($Q=0 \text{ m}^3/\text{t}$) og med pumpning ($Q=6 \text{ m}^3/\text{t}$), fokuseret Resistivitets-log, Kaliber-log, og resulterende Flow-log ($Q=6 \text{ m}^3/\text{t}$), alle med tilhørende Gamma-log i boring 247-711. Flow-log uden og med pumpning med tilhørende Gamma-log, samt forskellige faser i Flow-log data processing ses i Bilag 1.

Resistivitet-loggen, Fig. 2, viser en variation, som generelt er i modfase til variationen på gamma-loggen, dvs høj resistivitet ved lav gamma-stråling og omvendt. Resistivitets-sonden giver først målbare værdier ca. 1 m efter overgang fra stålør til åben boring, og bekræfter derfor tydeligt, at stålforerøret er ført ned til 36,7 m dybde. De høje resistiviteter og lave gamma-værdier afspejler de kvartsitiske lag i Hardeberga formationen (Balka sandstenen), medens de lave resistiviteter og tilhørende høje gamma-værdier reflekterer skiferlag eller bioturberet lag. Fra den videnskabelige undersøgelsesboring Borggård (247.627) vides det, at skiferlag er mest dominerende i de to Members, Brantevik og Hadeborg, medens de kvartsitiske lag er de dominerende i de to øvrige Members, Tobisvik og Vik (A.T. Nielsen & K. Klitten; 2006) (A.T. Nielsen & N.H. Schovsbo; 2007).

2.1.3 Temperatur-log uden og med pumpning

Temperatur-loggen uden og med pumpning er overraskende identiske med en konstant temperatur på 9,3 C⁰ fra bunden og op til ca. 22 m, dvs til ca. 15 m oppe i stålforerøret. Herfra og op til ca. 6 m under terræn stiger temperaturen i det stagnerende vand som forventet svagt til ca. 11,5 C⁰, hvorefter den stiger mere markant til 17,3 C⁰ tæt ved terræn. Dette variationsmønster i stålforerøret er normalt for sommersæsonen, hvorimod den konstante temperatur i den åbne del af boringen uden pumpning (første logging) såvel som med pumpning er unormalt, og indikerer en opadgående strømning fra den nedre del af boringen og op til lige under forerøret. Eventuelle indstrømninger i forskellige dybder sker således med vand med samme temperatur, idet disse indstrømninger ikke giver sig til kende ved små fald eller stigninger i temperaturen på det opadstrømmende vand.

2.1.4 Ledningsevne-log uden og med pumpning

Ledningsevne-log uden og med pumpning er ligesom ved temperatur-logs identiske i den åbne del af boringen, og bekræfter dermed, at der også uden pumpning er tale om en opadgående strømning fra bunden af boringen og op til lige under forerøret. Ledningsevnen ses at være generelt lav, 320 µS/cm nederst i boringen, og falder yderligere til 310 µS/cm i 66,5 m indikerende indstrømning i denne dybde af vand med mindre ledningsevne end de 320 µS/cm observeret nederst. Eventuelle indstrømninger højere oppe i "Balka-sandstenen" i situationen med pumpning giver sig ikke til kende ved ændringer i ledningsevnen.

Den højere ledningsevne, som observeres på loggen uden pumpning i den øverste del af forerøret svarer stort set til den observerede stigning i temperaturen, idet ledningsevnen vokser ca. 2 % for hver grad temperaturen stiger. Ledningsevnen på 310 µS/cm ved temperatur 9,3 C⁰ i det opadstrømmende vand under pumpning svarer til en ledningsevne på ca. 400 µS/cm ved 20 C⁰. Til sammenligning er ledningsevnen bestemt til 420 µS/cm ved 20 C⁰ af vandprøvetageren før prøvepumpning 31. oktober 2023, og til 410 µS/cm ved 20 C⁰ 7. november 2023, dvs. efter prøvepumpningen.

2.1.5 Flow-log og indstrømningsfordeling

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 7 m/min og med en pumpeydelse på 6 m³/t. Forinden udførtes flow-log uden pumpning med trinvis ændret nedsænkningshastighed på henholdsvis 3 m/min, 5 m/min og 7 m/min til henholdsvis dybderne ca. 10 m dybde, videre til ca. 23 m og derfra til slutdybden ca. 78 m med henblik på at opstille en kalibreringsformel til sammenhængen mellem hastighed og rotationer (resultat: $Y=0,1509 \cdot X^{3,8342}$ hvor Y = rotationer/min og X = hastighed m/min). Samtidig med HRFM-sondens måling af propellens omdrejningstal (Flow Rot i rot./min), og af formationens Gamma-stråling registreres også nedsænkningshastigheden (Log-speed i m/min) med henblik på opstilling af ovennævnte kalibreringsformel. Hertil anvendes kun sammenhængende hastigheder og omdrejningstal fra dybdesektionen med forerør, hvor det kan forudsættes, at der ikke forekommer intern strømning, dvs kun omdrejningstal som følge af sondens nedadgående bevægelse.

Flow-log uden pumpning (Flow Rot Q=0 på Bilag 1) viser fra ca. 23 m dybde og ned til slutdybde 78 m konstant nedsænkningshastighed 7 m/min og konstant tælleantal 240 rpm uanset diametervariation, og dermed ingen tegn på indstrømning og opadrettet intern strømning. Den mulige indstrømning i 66,5 m dybde og opadrettede intern strømning omtalt ovenfor under såvel Temperatur- som Ledningsevne-log uden pumpning må således være meget svag, idet den ikke er verificeret ved Flow-log uden pumpning.

Efter korrektion af Flow-log under pumpning (Bilag 1) ved at fratrække rotations-tælleantal svarende til logging hastigheden (Speed Flow Q=6 på Bilag 1) ud fra kalibreringsformel ovenfor, og derefter en korrektion for diameter-variation (Flow diam norm Q=6 på Bilag 1) ud fra Kaliber-log ved normering til den mindste diameter i nederste sektion af boringen, nås der frem til loggen "Flow final Q=6" i enhed rpm. Denne omsættes endelig til "Flow final Q=6" i enhed % (100 pct i forerøret), som viser, at indstrømningen hovedsagelig sker fra de fire zoner, vist i følgende tabel:

Tabel 2.1: Indstrømningsfordeling og stratigrafi i 247.711

Dybde (m)	Indstrømning (%)	Stratigrafisk enhed
37	30	Øvre Tobisvik
54	40	Mellem Tobisvik
63,5	20	Mellem Tobisvik
66,5	<10	Mellem Tobisvik

Indstrømningen i 66,5 m dybde er observeret på Ledningsevne-loggen, men ses ikke på Flow-loggen, idet den mindste registrerbare strømningshastighed med den aktuelle HRFM-sonde er 100 cm/min. Diameter i denne dybde er 180 mm og med parabelformet hastighedsprofil svarer denne mindste-hastighed til en vandmængde på 0,6 m³/t, dvs ca. 10 % af Q, som sandsynlig maksimal indstrømning i denne dybde.

Afslutningsvis må det konstateres at være særdeles heldigt, at det indre stålforerør ikke er ført ned til 38 m dybde, hvilket jævnfør ovenstående tabel ville have forringet boringens specifikke kapacitet med 30 %.

2.2 Trassevejen - DGU nr. 247.710

2.2.1 Tekniske forhold

Også denne boring er udført af firmaet Awell og blev ligeledes afsluttet i september 2023. Boringen blev udført som en ODEX-boring og rapporteret afsluttet med 10" rustfrit stålforerør ($\varnothing_i=256$ mm) til 25,0 m dybde indeni et 14" jernrør ($\varnothing_i=355$ mm) til 12,0 m, og med cement/lerspærre i intervallet fra terræn til 25,0 m. Herunder som åben boring med 240 mm borekrone til 34 m, og med 180 mm borekrone til slutdybde 80 m. Terrænkoten ved boringen er oplyst til +44,05 m.

Logging blev gennemført 15. august 2024. Kaliber-log kunne desværre ikke gennemføres pga problem med at få sondens 3 måle-arme slået ud. Konstruktion og diameter variation kunne derfor ikke bekræftes.

Boringen er artesisk med oprindelig rovandstand 1,7 meter over terræn. Overløb er minimeret ved, at det inderste stålforerør er forlænget til 1,4 m over terræn. Under logging forekom der ikke overløb, idet vandstanden kun var ca. 1 m over terræn. Boringen var efter afslutning af borearbejdet blevet renpumpet med 38 m³/t, som resulterede i 7,52 meter sænkning efter 60 minutter (ref. HOH febr. 2024) svarende til en specifik kapacitet på 5,05 m³/t/m. Temperatur- og Ledningsevne-log samt Flow-log under pumpning med en ydelse på 6 m³/t blev udført med en Grundfos SQ8 pumpe anbragt 15 m under terræn, hvorved det var sikret, at vandspejlet under loggingen ikke ville blive sænket til pumpen.

2.2.2 Gamma-log, resistivitets-log og lagfølge

Hardeberga formationen (Balka sandsten) blev truffet meget nær terræn, kun dækket af ca. 1 m kvartært ler og grus, og Gamma-loggen, Fig. 3, viser da også fra denne dybde og ned til 20,5 m overvejende ganske lave værdier. Fra 20,5 m dybde og til ca. 26 m ses en meget markant gamma-peak, som ved korrelation med Borggård-boringen 247.627 nu vides (publikation under udarbejdelse: A. Thorshøj Nielsen & K. Klitten) at reflektere det ca. 5 m tykke regionalt udbredte skiferlag, Brantevik Member (A.T. Nielsen & N.H. Schovsbo; 2007). Derfor kan det konkluderes, at det er den nederste del af Tobisvik Member, som forekommer fra tæt ved terræn og ned til ca 20,5 m. Den meget lave gamma-stråling i dybdeintervallet 26-36 m lige under Brantevik Member reflekterer Vik Member, hvorunder den skiferholdige Hadeborg Member ses som et 20 m tykt interval med høj og ret varierende gamma-stråling. Grænsen til den underlejrende Nexø sandsten ses som et meget markant skifte i 56 m dybde til en lavere, men stærkt fluktuerende gamma-stråling. Se også korrelationen til Gamma-log i Borggård boringen, 247.627, på Fig. 4.

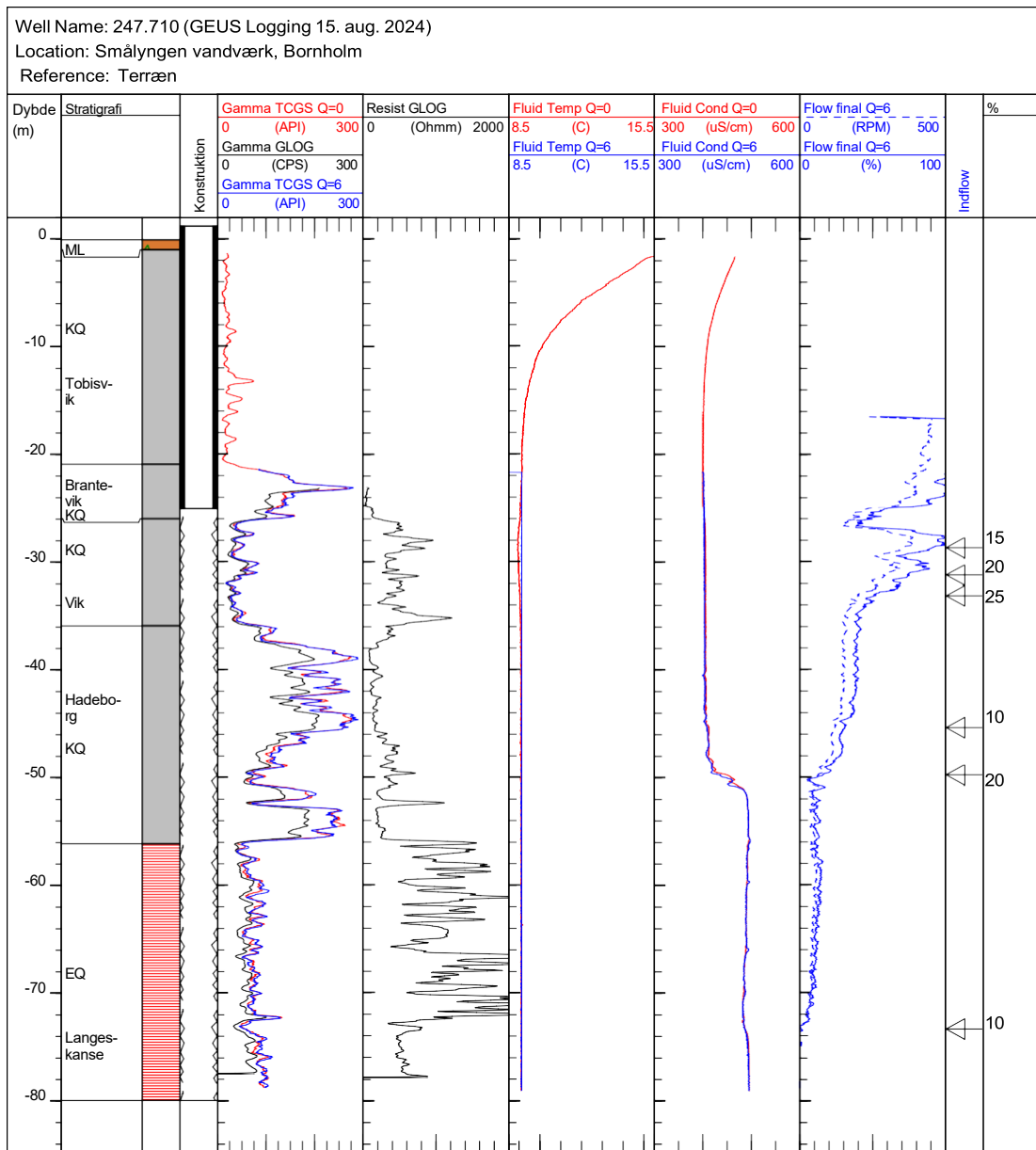


Fig. 3: Temperatur- og Ledningsevne-log uden og med pumpning ($Q=0$ og $Q=6 \text{ m}^3/\text{t}$), fokuseret Resistivitets-log, og resulterende Flow-log ($Q=6 \text{ m}^3/\text{t}$), alle med tilhørende Gamma-log i boring 247-710. Flow-log uden og med pumpning med tilhørende Gamma-log, samt forskellige faser i processering af Flow-log data ses i Bilag 2.

Resistivitets-loggen, Fig. 3, viser en variation, som generelt er i modfase til variationen på Gamma-loggen, dvs høj resistivitet ved lav gamma-stråling og omvendt. Resistivitetssonden giver først målbare værdier ca. 1 m efter overgangen fra stålrør til åben boring, og bekræfter derfor, at stålforerøret er ført ned til 25 m dybde. De høje resistiviteter og lave gamma-værdier afspejler de kvartsitiske lag i såvel Hardeberga formationen (Balka sandstenen) som i Nexø sandstenen, medens de lave resistiviteter og tilhørende høje gamma-værdier reflekterer skiferholdige lag (eller bioturberede lag i øvre del af Balka sandstenen). Log-mønstrene illustrerer tydeligt, at skiferlag er mest dominerende i de to Members, Brantevik og Hadeborg, medens de kvartsitiske lag er de dominerende i

de to øvrige Members, Tobisvik og Vik, samt i den øverste del af Nexø sandstenen, Langeskanse Member.

2.2.3 Temperatur-log uden og med pumpning

Temperatur-loggen uden og med pumpning er overraskende identiske med en konstant temperatur på 9,1 C⁰ fra bunden og op til forerøret i 25 m. Herfra og op til ca. 10 m under terræn stiger temperaturen i det stagnerende vand som forventet svagt til ca. 10 C⁰, hvorefter den stiger mere markant til 15,7 C⁰ tæt ved terræn. Dette variationsmønster i stålforerøret er normalt for sommersæsonen, hvorimod den konstante temperatur i den åbne del af boringen (første log-run) uden såvel som med pumpning er unormalt, og indikerer en opadgående strømning fra den nedre del af boringen og op til lige under forerøret. Eventuelle indstrømninger i forskellige dybder sker således med vand med samme temperatur, idet disse indstrømninger ikke giver sig til kende ved små fald eller stigninger i temperaturen på det opadstrømmende vand. Dog anes der en lidt mindre temperatur i dybdeintervallet 33 til 25 m, herom se nedenfor.

2.2.4 Ledningsevne-log uden og med pumpning

Ledningsevne-log uden og med pumpning er ligesom ved temperatur-logs identiske i den åbne del af boringen, og bekræfter dermed, at der i begge tilfælde er tale om en opadgående strømning fra bunden af boringen og op til lige under forerøret. Ledningsevnen, som er ca. 500 µS/cm nederst i boringen, falder en smule i ca. 73 m dybde og falder mere markant i ca. 50 m dybde til ca. 400 µS/cm, og igen et lille fald i 45 m dybde. De tre fald indikerer indstrømning i de nævnte dybder af vand med mindre ledningsevne end de 500 µS/cm, som observeres nederst, dvs. en indstrømning fra Nexø sandstenen i 73 m dybde samt to indstrømninger fra den kvartsitiske midterste del af Hadeborg Member i henholdsvis 50 m og 45 m dybde. Eventuelle andre indstrømninger højere oppe i "Balka-sandstenen" i situationen med pumpning giver sig således ikke til kende ved ændringer i ledningsevnen.

Den højere ledningsevne, som observeres på loggen uden pumpning i den øverste del af forerøret svarer stort set til den observerede stigning i temperaturen, idet ledningsevnen vokser ca. 2 % for hver grad temperaturen stiger. Ledningsevnen på ca. 400 µS/cm ved temperatur 9,1 C⁰ i det opadstrømmende vand under pumpning svarer til en ledningsevne på ca. 490 µS/cm ved 20 C⁰. Til sammenligning er ledningsevnen bestemt til 540 µS/cm af vandprøvetageren både før og efter prøvepumpning henholdsvis 3. oktober og 19. oktober 2023.

2.2.5 Flow-log og indstrømningsfordeling

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af HRFM-sonden på 7 m/min og med en pumpeydelse på 6 m³/t. Forinden udførtes flow-log uden pumpning med trinvis ændret nedsænkningshastighed på henholdsvis 3 m/min, 5 m/min og 7 m/min til henholdsvis dybderne ca. 11 m dybde, videre til ca. 27 m

og derfra til slutdybden ca. 78 m med henblik på at verificere den fra boring 247.711 opstillede kalibreringsformel til sammenhængen mellem hastighed og rotationer. Dette var ikke muligt, fordi sidste trin med 7 m/min først blev påbegyndt nedenfor forerøret, og der her viste sig at være usædvanlig kompleks intern strømning i hele den åbne del af boringen (omtales yderligere nedenfor). Kalibreringsformel $Y=0,1509 * X^{3,8342}$ fra boring 247.711 vil derfor blive benyttet (hvor Y = rotationer/min og X = hastighed m/min). Under flow-logging med HRFM-sonden måles som nævnt ovenfor under boring 247.711 såvel nedsænkningshastighed (Log-speed i m/min) som propellens omdrejningstal (Flow Rot i rot./min), og samtidig en Gamma-log til dybde-kontrol ved sammenligning med Gamma-log fra øvrige logging-sonder.

Flow-log uden pumpning (Flow Rot $Q=0$ på Bilag 2) viser i dybden fra ca. 27 m og ned til slutdybde 78 m konstant nedsænkningshastighed 7 m/min, men absolut ikke det samme konstante tælleantal 240 rpm som ved boring 247.711. Derimod stiger tælleantallet pludselig i ca. 34 m dybde fra at være ca. 270 rpm til 400 rpm, som derefter i dybderne 44 m og 50 m falder til henholdsvis 350 og 300 rpm, og som derefter først i 73 m dybde falder yderligere til de oprindelige 270 rpm. Dermed er der klare tegn på indstrømning og opadrettet intern strømning fra alle de nævnte dybder. Dette bevidnes endnu bedre ved at korrigere Flow-log uden pumpning "Flow Rot $Q=0$ " med rotations-tælleantal udelukkende forårsaget af logging hastigheden, dvs. "Speed Flow Rot $Q=0$ " på Bilag 2 beregnet ud fra kalibreringsformlen ovenfor, som fratrækkes fra "Flow Rot $Q=0$ ". Den resulterende log "Flow 0 Speed Korr" på Bilag 2 ville have vist værdier omkring 0, hvis der ikke var tale om intern opadrettet strømning.

På samme måde korrigeres Flow-log under pumpning (Flow Rot $Q=6$ på Bilag 2) ved at fratrække rotations-tælleantal svarende til logging hastigheden (Speed Flow Rot $Q=6$ på Bilag 2) ud fra kalibreringsformel ovenfor. Den resulterende "Flow 6 Speed Korr" ses på Bilag 2 fra bunden af boringen og op til 34 m dybde i store træk at have samme forløb, men med lidt højere værdier end den hastighedskorrigerede Flow-log uden pumpning, "Flow 0 Speed Korr", dvs den opadrettede strømning fra 73 m med yderligere indstrømning i 50 m og 44 m er med pumpning af 6 m³/t kun lidt højere end uden pumpning. Den store forskel på de to situationer ses kun i intervallet fra 34 m og op til forerøret i 25 m. Strømningssituationen her uden pumpning er ganske kompleks, og kan kun forklares ved også at inddrage temperatur-loggen uden pumpning. Således er temperaturen fra 34 m og op til 25 m overraskende lidt lavere end henholdsvis under 34 m og ovenover 25 m (ses pga ændret skala på Bilag 2, men var ikke tydelig på Fig. 3 ovenfor). Dette, sammen med den hastighedskorrigerede Flow-log uden pumpning (Flow 0 Speed Korr) indikerer, at alt det opadstrømmende vand fra 73 m, 50 m og 44 m i situationen uden pumpning strømmer ud af boringen i 34 m dybde, og at der indstrømmer vand i 33 m dybde med lavere temperatur, som også strømmer opad og ud i 25 m dybde. Denne komplekse interne strømning må formodes at være forårsaget af påvirkning fra igangværende pumpning i den nærliggende indvindingsboring 247.323, som indvinder fra den samme sektion af Balka sandstenen som 247.710 (se korrelationen på Fig. 4).

Går vi tilbage til den hastigheds-korrigerede Flow-log under pumpning ("Flow 6 Speed Korr") på Bilag 2, så kan den ikke korrigeres for diameter-variation på samme måde som ved forrige boring (hvor kaliber-log blev anvendt til normering til mindste diameter i den

nederste boringssektion), idet det ikke lykkedes at gennemføre en kaliber-log i boring 247.710. I stedet må korrektionen udføres ud fra borefirmaets info om diameter-skifte i henholdsvis 25 m og 34 m dybde, dvs rotationstal i forerørs-sektionen ovenover 25 m normeres fra 256 mm i indre forerør til diameter 180 mm (Flow 1 diam norm) og rotationstal i dybdeintervallet 25-34 m normeres fra 240 mm til 180 mm (Flow 2 diam norm). Disse to sektioner sættes derefter sammen med sektionen nederst i boringen, fra 34 til 78 m (Flow 3 diam norm) til den endelige "Flow final Q=6" i enhed rpm. Denne omsættes endelig til "Flow final Q=6" i enhed % (Pct). Ved tolkningen af sidstnævnte er det nødvendigt også at forholde sig til det uregelmæssige og markante fald i rotationstallene i dybdeinterval 27,0-25,0 m, som vurderes at skyldes ekstraordinær større diameter således som det også var tilfældet i dybdeintervallet 38,3-36,7 m ved den forrige boring. Tolkningen af den endelige Flow-log "Flow final Q=6" resulterer i seks indstrømningszoner, Tabel 2.2, som ikke inkluderer udstrømningszonen i 25 m fra tilfældet uden pumpning. I sidstnævnte zone er der således balance mellem undertryk fra pumpning i en nærliggende boring (sandsynligvis 247.223) og undertryk fra den aktuelle pumpning under Flow-logging.

Tabel 2.2: Indstrømningsfordeling og stratigrafi i 247.710

Dybde (m)	Indstrømning (%)	Stratigrafisk enhed
29	15	Vik
31	20	Vik
33	25	Vik
45	10	Hadeborg
50	20	Hadeborg
73	10	Langeskanse i Nexø sandsten

Indstrømningen i 73 m og 50 m dybde observeres både på Ledningsevne-loggen og på Flow-loggen, medens de øvrige indstrømninger kun observeres på Flow-loggen.

3 Log-stratigrafisk korrelation af kildepladsens boringer og indstrømningsfordeling

3.1 Korrelation af gamma-logs

På Fig. 4 nedenfor er gamma-logs fra de 6 boringer på kildepladsen Smålyngen Vest sammenstillet i retning fra vest mod øst. Alle logs er dybde-justeret i forhold til gamma-log i Borggård boringen, 247.627, således at Brantevik gamma-marker ses i dybdeintervallet 0 til +3,2 m, og for boringer uden denne marker-horisont er midte af MGL-marker (A.T. Nielsen & K. Klitten; 2023) i den nedre del af Norretorp Member (Læså Formationen) placeret i dybden +85 m.

Well Name: 708-711-435-322-710-323 korreleret til 247.627

Smålyngen Vest kildeplads - boringer med Gamma-log

Elevation: 0 Reference: Brantevik-Vik eller Læså nedre grænse

Logs dybde-justeret til enten Brantevik gamma-marker i niveau +3.20 m, eller med midt af MGL marker i Norretorp (Læså formationen) i niveau +85 m.

Farve på log-kurve: Sort = GEUS logging; Rød = andre logging operatører (GEO, VCS eller Tage Sorensen)

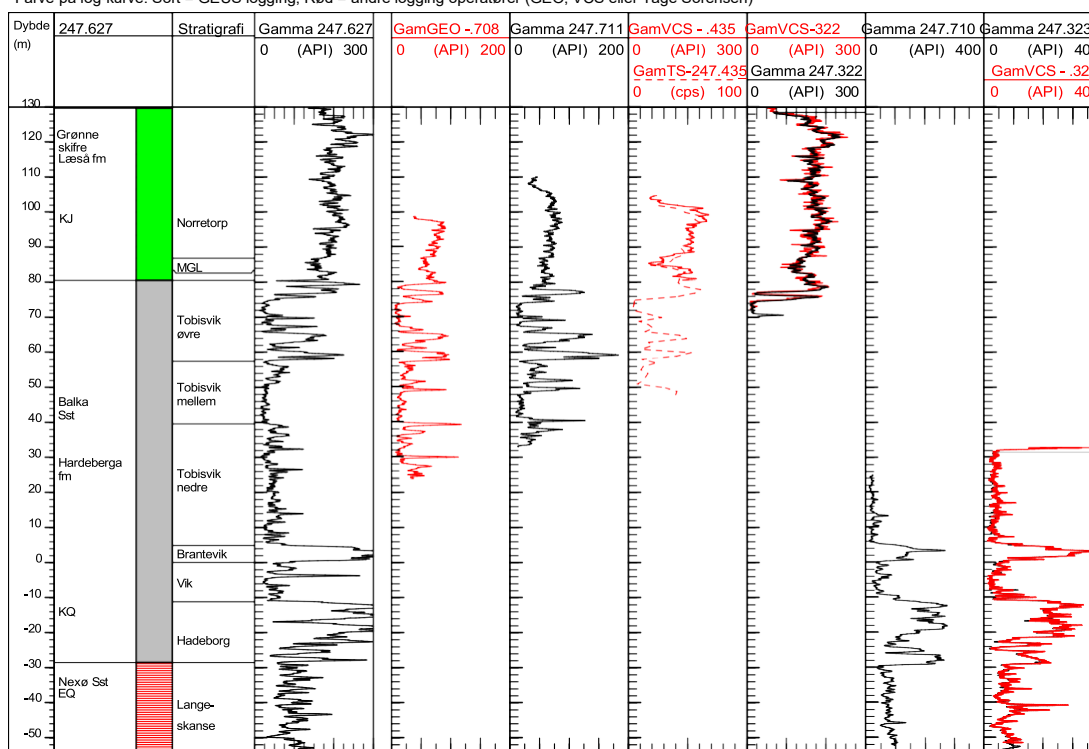


Fig. 4: Gamma-logs fra seks boringer på kildepladsen Smålyngen Vest er sammenlignet med Gamma-log fra den videnskabelige undersøgelsesboring 247.627 ved Borggård øst for Peder-sker.

Log-mønstrene i hver af de seks vandindvindingsboringer er let genkendelige med de respektive sektioner på Gamma-loggen fra 247.627 Borggård, og det er derfor meget entydigt at foretage en stratigrafisk bestemmelse af lagfølgen i hver af disse boringer:

De fire sydvestlige boringer, 247.708; 711; 435; og 322, ses alle at have gennemboret Læså Formationen og nået et stykke ned i Tobisvik Member af Hardeberga Formationen (Balka sandstenen), dybest i 247.708 og mindst i 247.322. Sidstnævnte fra 1974 var i øvrigt den første boring på Sydbornholm, hvor Læså Formationen blev gennemboret, og man kom et stykke ned i Balka sandstenen. Selv om man ikke nåede mere end ca. 10 m ned i denne hårde bjergart, var dette tilstrækkeligt til, at dens betydning som ny reservoirbjergart blev erkendt dels ved det artesiske overtryk og dels ved en uventet høj specifik kapacitet (Sørensen, T. and Hansen, H. O., 1976). De to øvrige og nordlige boringer, 247.710 og 323, ses begge at begynde i den nedre del af Tobisvik Member, samt at have gennemboret Brantevik, Vik og Hadeborg Members i Balka sandstenen, og nået et stykke ned i Nexø Formationen.

3.2 Log-stratigrafi og indstrømningsfordeling

På basis af ovennævnte log-stratigrafiske bestemmelse af lagfølgen i hver af kildepladens seks boringer er det nærliggende i alle boringerne at sammenholde indstrømningsfordelingen fra Flow-logs med stratigrafi således som det er vist i de to nyeste boringer ovenfor i rapporten.

Med reference til rækkefølgen i tabel 3.1 nedenfor gives her nogle kommentarer til de enkelte boringer med hensyn til boringernes specifikke ydelse (kapacitet), indstrømningsfordeling og stratigrafi:

247.708: Boringen blev renpumpet i 2022 med 19,3 m³/t resulterende i 11,77 m sænkning efter 60 min, dvs. en specifik kapacitet på 1,6 m³/t/m (H.O. Hansen, 2024-1). Den efterfølgende prøvepumpning med 13,3 m³/t viste efter 60 min en sænkning på 5,83 m, dvs. en specifik kapacitet på 2,3 m³/t/m (H.O. Hansen, 2024-2). Log-data fra GEO er præsenteret i Bilag 3 på et lidt anderledes format og skala end i GEO's rapport, og sammenstillet med den ny stratigrafiske tolkning. Den resulterende Flow-log fra GEO's rapport er uændret, men indstrømningszoner fra Flow-log er tolket lidt mere detaljeret end i GEO's rapport, idet der er taget hensyn til information fra især ledningsevneloggen Fluid-Cond Q=9, som er udført under pumpning med ydelsen 9,2 m³/t. Af den reviderede tolkning på Bilag 3 fremgår det, at indstrømningen fordeler sig med 38 % i 3 zoner i Tobisvik Øvre, med 56 % i 4 zoner i Tobisvik Mellem, og de resterende 6 % fra 2 zoner i de 20 m Tobisvik Nedre repræsenteret nederst i boringen.

247-711: Boringen blev renpumpet i 2023 med 29 m³/t resulterende i 18,5 m sænkning efter 60 min, dvs. en specifik kapacitet på 1,6 m³/t/m (H.O. Hansen, 2024-1). Den efterfølgende prøvepumpning med 17,6 m³/t viste efter 60 min en sænkning på 6,83 m, dvs. en specifik kapacitet på 2,6 m³/t/m (H.O. Hansen, 2024-2). Log-data fra GEUS er præsenteret i Fig. 2 med tilhørende tolkning af stratigrafi og indstrømning under pumpning. Heraf fremgår, at indstrømningen fordeler sig med 30 % fra en enkelt zone i Tobisvik Øvre, og 70 % i 3 zoner i Tobisvik Mellem, medens ingen indstrømning sker i de 10 m Tobisvik Nedre repræsenteret nederst i boringen.

247-435: Ifølge Jupiter database og (Sørensen & Hansen, 1976) var sænkningen i 1975 11 m efter 336 timers pumpning med ydelsen 54 m³/t, hvilket betyder at boringens specifikke kapacitet var mindst 4,9 m³/t/m. GEUS har ikke udført undersøgelser i denne

boring, hvorimod VCS i 2019 forsøgte video- og logging undersøgelse, som imidlertid ikke kunne nå dybere end til 26 m på grund af blokering, og boringen er derfor ikke prøvepumpet. Flow-log, Gamma-log og Resistivitets-log fra 1975 (Sørensen & Hansen, 1976) er vist på Bilag 6 sammen med den nye stratigrafiske tolkning, hvoraf det fremgår, at 65 % af indstrømningen sker i Tobisvik Øvre, og de resterende 35 % i de 10 m af Tobisvik Mellem, som er repræsenteret nederst i boringen.

247-322: Ifølge Jupiter database og (Sørensen & Hansen, 1976) var sænkningen i 1975 11 m efter 336 timers pumpning med ydelsen 56 m³/t, hvilket betyder at boringens specifikke kapacitet var mindst 5,1 m³/t/m. Ved GEUS logging i 2002 blev den specifikke kapacitet ikke bestemt, hvorimod den af VCS ved video- og logging undersøgelsen i 2019 blev bestemt til 7,1 m³/t/m. Flow-log under overløb, Gamma- og Resistivitets-log, Kaliber-log samt Temperatur- og Ledningsevne-log under overløb (uden pumpning) fra GEUS logging i 2002 er vist på Bilag 4 sammen med den nye stratigrafiske tolkning, hvoraf det fremgår, at hele indstrømningen sker i 3 zoner i de ca. 10 m af Tobisvik Øvre, som boringen er nået ned i. Overløbet på 100 % er målt til ca. 10 m³/t (=35 rpm ved rørdiameter 210 mm med ældre Flow-sonde, IFM 1647). Resultatet af GEUS logging i 2002 stemmer helt overens med resultatet af såvel TS logging i 1974 som VCS logging i 2019 med hensyn til indstrømningsfordeling, se Tabel 3.1 nedenfor.

247-710: Boringen blev renpumpet i 2023 med 38 m³/t resulterende i 7,5 m sænkning efter 60 min, dvs. en specifik kapacitet på 5,1 m³/t/m (H.O. Hansen, 2024-1). Den efterfølgende prøvepumpning med 34 m³/t viste efter 60 min en sænkning på 5,87 m, dvs en specifik kapacitet på 5,8 m³/t/m (H.O. Hansen, 2024-2). Log-data fra GEUS er præsenteret i Fig. 3 med tilhørende tolkning af stratigrafi og indstrømning under pumpning. Heraf fremgår, at indstrømningen fordeler sig med 60 % fra tre zoner i Vik Member, 30 % fra to 3 zoner i Hadeborg Member, og de resterende 10 % i en enkelt zone i de ca. 24 m Langeskanse Member repræsenteret nederst i boringen.

247-323: Ifølge Jupiter database og (Sørensen & Hansen, 1976) var sænkningen i 1975 13 m efter 336 timers pumpning med ydelsen 55 m³/t, hvilket betyder at boringens specifikke kapacitet var mindst 4,2 m³/t/m. Ved GEUS logging i 2002 blev den specifikke kapacitet ikke bestemt, hvorimod den af VCS ved video- og logging undersøgelsen i 2018 blev bestemt til 2,2 m³/t/m. Flow-log under overløb, Gamma- og Resistivitets-log, Kaliber-log samt Temperatur- og Ledningsevne-log under overløb (uden pumpning) fra GEUS logging i 2002 er vist på Bilag 5 sammen med den nye stratigrafiske tolkning, hvoraf det fremgår, at 80 % af indstrømningen sker i 6 zoner i de ca. 24 m af Langeskanse Member i Øvre Nexø, som boringen er nået ned i. De resterende 20 % indstrømmer i en enkelt zone i et ca. 1 m tykt kvartsitisk lag i den nedre del af Hadeborg Member. Den mest overraskende observation fra Flow-loggen er den store udstrømning (65 % af den maksimale interne strømning) i en enkelt zone i den øvre del af Vik Member, samt at de resterende 35 % overløb er målt til at være ca. 10 m³/t (=45 rpm ved rørdiameter 156 mm med ældre Flow-sonde, IFM 1647). Indstrømningsfordelingen fastlagt i denne boring ved tre forskellige logging kampagner, TS logging i 1974, GEUS logging i 2002 og endelig VCS logging i 2018 er meget forskellig således som det fremgår af Tabel 3.1 nedenfor. Dette må formodes at skyldes forskelle i trykforholdene i især forskellige dele af Balka sandstenen i de tre situationer. Således var indvindingen på kildepladsen Smålyngen Vest i 1974 endnu ikke påbegyndt, hvorimod resultatet i 2002 indikerer en igangværende indvinding fra en nærliggende boring, og resultatet fra 2018

tyder på, at indvinding fra nærliggende boring har været stoppet i et stykke tid forud for loggingen.

Tabel 3.1: Indstrømningsfordeling, antal indstrømningszoner og stratigrafi i de åbne sektioner i hver af de seks boringer på kildeplads Smålyngen Vest

Boring	60 min Specifik kapacitet (m ³ /t/m)	Tobisvik Øvre Inflow (%/antal)	Tobisvik Mellem Inflow (%/antal)	Tobisvik Nedre Inflow (%/antal)	Brantevik Inflow (%/antal)	Vik Inflow (%/antal)	Hadeborg Inflow (%/antal)	Lange- skanse Inflow (%/antal)	Flow-log Operatør
247.708	1,6 og 2,3	38/3	56/4	6/2					GEO(2022)
247.711	1,6 og 2,6	30/1	70/3	0/0					GEUS(2024)
247.435	>4,9	65/?	35/?						TS (1974)
247.322	>5,1	100							TS (1974)
	?	100							GEUS(2002)
	7,1	100							VCS(2019)
247.710	5,1 og 5,8			Forerør	Forerør	60/3	30/2	10/1	GEUS(2024)
247.323	>4,2			0/0	0/0	20/?	20/?	60/?	TS (1974)
	?			0/0	0/0	-65/1	20/1	80/6	GEUS(2002)
	2,2			5/?	0/0	75/1	0/0	20/?	VCS(2018)

Det statistiske grundlag for på basis af indstrømningsfordelingen i forhold til de stratigrafiske enheder at fremhæve en bestemt enhed som mere vandførende end de øvrige, er utilstrækkeligt. Men som tabellen ovenfor indikerer, synes Tobisvik Øvre og Mellem at være mere vandførende end Tobisvik Nedre. Det bør også bemærkes, at såvel Vik Member som Langeskanse Member kan have en betragtelig vandføringsevne.

4 Reference liste

I kronologisk rækkefølge:

Sørensen, T. and Hansen, H. O., 1976: "Comprehensive Geohydrological Study of Consolidated Sedimentary Rocks on Bornholm"; Nordic Hydrology, 8, 1977.

Sørensen, T., 1977: "Geofysiske borehuls-logs i Nedre Kambrium på Bornholm"; DGF Årsskrift for 1977, København, Januar 1978.

Nielsen, A. T. & Klitten, K. & Hansen, H. P. Birk, 2006: "Borggård 1 – ny stratigrafisk kerneboring på Bornholm". Geologisk Nyt, 2006-6, København.

Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.H., 2007: "Cambrian to basal Ordovician lithostratigraphy in southern Scandinavia". Bulletin of the Geological Society of Denmark, Vol. 53, 2006.

Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.H., 2011: "The Lower Cambrian of Scandinavia: Depositional environment, sequence stratigraphy and palaeogeography". Earth-Science Reviews 107 (2011), ELSEVIER.

Vand Center Syd, 2018: "Kildeplads Smålyngsværket - Videoinspektion og borehuls-logging i Boring: DGU nr. 247.323, 247.330 og 247.349". Maj 2018.

Vand Center Syd, 2019: "Kildeplads Smålyngen Vest og Midt, Nexø Vest og Midt - Videoinspektion og borehuls-logging i Boring: DGU nr. 247.435, 247.322, 247.664, 247.504, 247.662, 247.604, 247.459, 247.326 og 247.249". April 2019.

Nielsen, A. T. & Klitten, K., 2023: "Wireline log stratigraphy of the lower Cambrian Læså Formation, Bornholm, Denmark". Bulletin of the Geological Society of Denmark, Vol. 72, 2023.

Hansen, H. O., 2024: "Bornholms Vand A/S. Borearbejde ved Smålyngsværket. - Boring 247.708, 247.710 og 247.711". HOHcon, Brønshøj, februar 2024.

Hansen, H. O., 2024: "Bornholms Vand A/S. Kapacitetsforbedring af borerer ved Smålyngsværket og Hasle Vandværk". HOHcon, Brønshøj, oktober 2024.

5 Bilags liste

Bilag 1: Flow-log processering – boring 247.711 (GEUS)

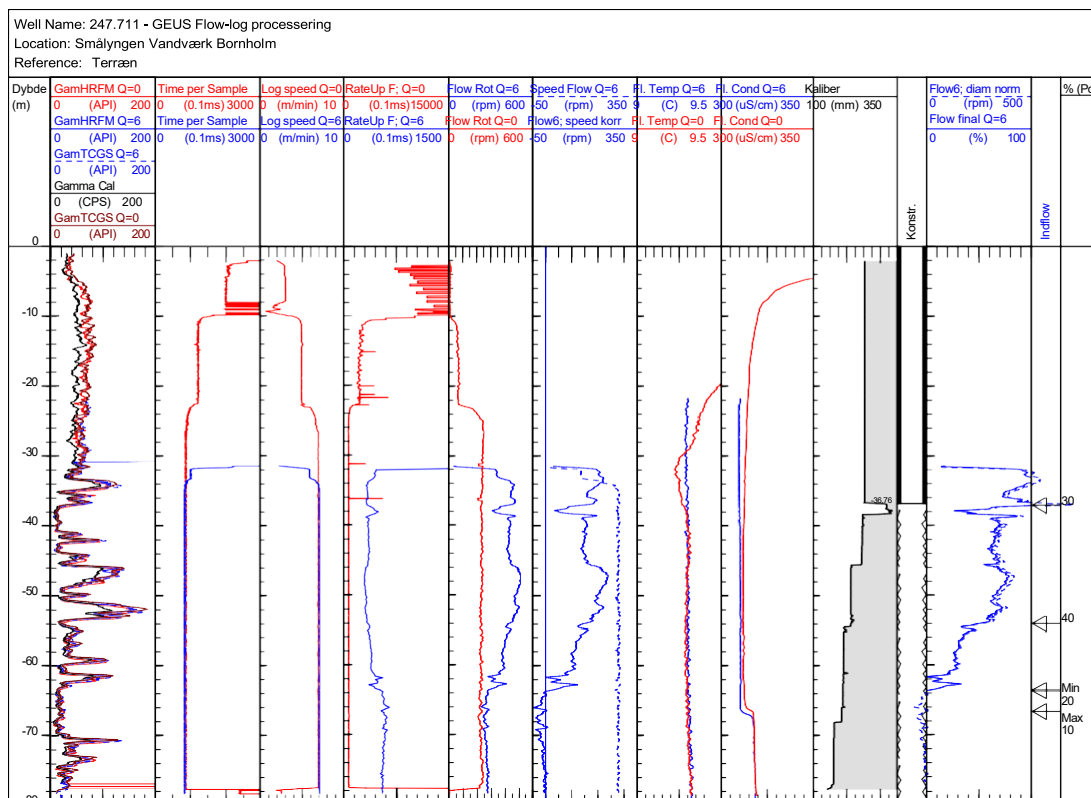
Bilag 2: Flow-log processering – boring 247.710 (GEUS)

Bilag 3: Revideret log figur – boring 247.708 (GEO)

Bilag 4: Revideret log figur – boring 247.322 (GEUS)

Bilag 5: Revideret log figur – boring 247.323 (GEUS)

Bilag 6: Revideret log figur – boring 247.435 (TS og VCS)

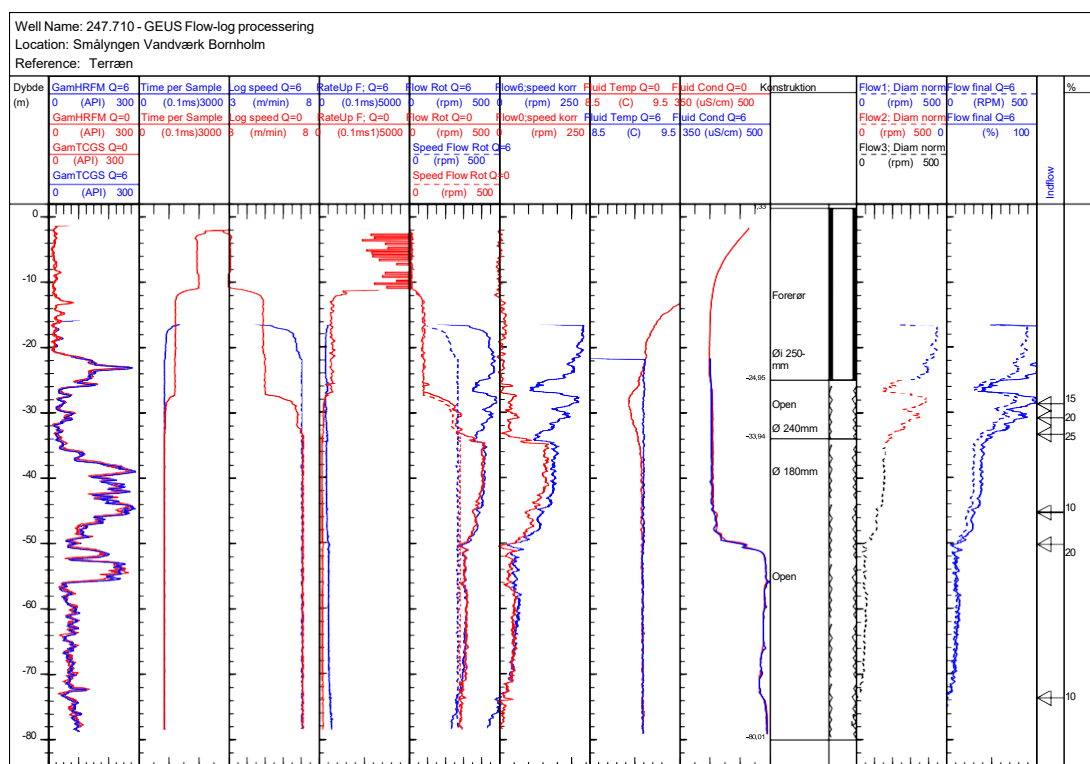


Flow-log data processing:

1. Transformation af målt tid, log "Time per sample" (0,1 msec) per 10 mm kabel bevægelse, (Log søjle2), til logging hastighed "Log speed" (m/min), (Log søjle 3), ved at dividere $60 \cdot 100$ med "Time per sample".
2. Transformation af målt tid, log "Rate up fast" (msec) for $\frac{1}{4}$ propel rotation, (Log søjle 4), til antal rotationer per minut "Flow Rot" (rpm), (Log søjle 5), ved at dividere $60 \cdot 1.000/4$ med "Rate up fast".
3. Fremstilling af kalibreringsformel for sammenhæng mellem "Log speed", (Log søjle 3), og "Flow Rot Q=0", (Log søjle 5), ved anvendelse af mindst 3 væsentlig forskellige værdier for hastighed og rotationer fra dybdesektionen med forerør uden pumpning. Resultat: $Y = 0,1509 \cdot X^{3,8342}$ hvor Y = rotationer/min og X = hastighed m/min.
4. Anvendelse af kalibreringsformlen til beregning af antal rotationer under pumpning, som logging hastigheden alene forårsager, "Speed Flow Q=6", (Log søjle 6).
5. Korrektion af "Flow Rot Q=6", (Log søjle 5), ved subtraktion af "Speed Flow Q=6", (Log søjle 6), så der fremstår en ny log, "Flow Q=6 speed korr", (Log søjle 6).

6. Næstsidste trin i processering af flow-log data er korrektion for diameter variationen fra "Kaliber-log", (Log søjle 9), dvs. en normering af loggen "Flow Q=6 speed korr" til enten den i reglen større diameter i forerøret ($D^{\text{forerør}}$), eller til diameteren (d^{nederst}) i den nederste sektion af boringen, som oftest er den mindste. I førstnævnte tilfælde multipliceres ovennævnte log fra trin 5, "Flow Q=6 speed korr", med $(\text{Kaliber-log}/D^{\text{forerør}})^2$, hvorved rotationstallet i de åbne sektioner nedenunder forerøret mindskes. I andet tilfælde multipliceres i stedet med $(\text{Kaliber-log}/d^{\text{nederst}})^2$, hvorved rotationstallet øges i forerøret og i de åbne sektioner ovenover den nederste sektion. Den resulterende log, "Flow diam norm Q=6", ses i Log søjle 10. Ovennævnte korrektionsmetode bygger på antagelsen, at Flow udtrykt ved antal rotationer er proportionalt med tværsnitsarealet i boringen, hvilket også synes at være tilfældet for diameter variationer op til en vis størrelsesorden. Ved pludselig og meget stor forøgelse af diameteren (kaviteter, hulrum) er det erfaringen, at proportionaliteten ikke er gældende, idet korrektionsmetoden ikke er tilstrækkelig til at udjævne en anormalitet på en log-kurve.

7. Sidste trin i processering er omsætning af enheden rpm for den diameter-korrigerede log, "Flow diam norm Q=6", til procentisk akkumuleret flow, hvor flow i forerør fastsættes til 100 % under antagelse af, at der ikke sker indstrømning i forerøret. Omsætningen sker ved at multiplicere med 100 og dividere med det gennemsnitlige rotationstal i forerørs-sektionen fra loggen "Flow diam norm Q=6". På basis af den resulterende log "Flow final Q=6" i enhed % (Log søjle 10) kombineret med sammenligning med Temperatur- og Ledningsevne-log under pumpning, "Fluid Temp Q=6" og "Fluid Cond Q=6" (Log søjle 7 og 8), kan indstrømningszoner identificeres og den procentiske størrelsesorden af indstrømning i de enkelte zoner angives.



Flow-log data processing:

1. og 2: Samme proces som beskrevet i forrige bilag.
3. Fremstilling af kalibreringsformel for sammenhæng mellem "Log speed", (Log søjle 3), og "Flow Rot Q=0", (Log søjle 5) kan ikke gennemføres, dels fordi der ikke er tilstrækkelig med hastighedsskift i forerørs-sektionen (kun to hastigheder), og dels fordi "Flow Rot Q=0" tydeligvis indikerer intern strømning i boringen i situationen uden pumpning. Kalibreringsformlen $Y = 0,1509 \cdot X^{3,8342}$, (hvor Y = rotationer/min og X = hastighed m/min.) fra forrige boring (247.711) vil derfor også blive anvendt ved nærværende borings Flow-log.
4. Samme proces som beskrevet i forrige bilag, men hertil yderligere at kalibreringsformlen anvendes til beregning af antal rotationer uden pumpning, "Speed Flow Q=0", (Log søjle 5), idet "Flow Rot Q=0" (log søjle 5) tydeligt indikerer intern strømning som nævnt ovenfor, dvs. flere rotationer end hvad logging hastigheden alene forårsager.
5. Korrektion af "Flow Rot Q=6" og af "Flow Rot Q=0", (begge Log søjle 5), ved subtraktion af henholdsvis "Speed Flow Q=6" og af "Speed Flow Q=0", (begge Log søjle 5), så der fremstår to nye log, "Flow Q=6 speed korr" og "Flow Q=0 speed korr", (begge Log søjle 6). En sammenligning af disse to logs illustrerer størrelsesorden af den interne strømning samt ind- og udstrømningszoner.
6. Næstsidste trin i processing af flow-log data er korrektion for diameter variation, men i dette tilfælde uden "Kaliber-log" benyttes i stedet oplysninger om diameter varia-

tion fra borefirma, "Konstruktion", (Log søjle 9). Korrektionen, dvs. en normering af loggen "Flow Q=6 speed korr" til enten den i reglen større diameter i forerøret ($D^{\text{forerør}}$), eller til diameteren (d^{nederst}) i den nederste sektion af boringen, som oftest er den mindste. I førstnævnte tilfælde multipliceres ovennævnte log fra trin 5, "Flow Q=6 speed korr", med $(\text{diameter}/D^{\text{forerør}})^2$ for hver enkelt åben sektion nedenunder forerøret, hvorved rotationsstal i disse mindskes. I andet tilfælde multipliceres i stedet med $(\text{diameter}/d^{\text{nederst}})^2$ i forerøret og i hver enkelt åben sektion ovenover den nederste sektion, hvorved rotationstal i disse øges. De således korrigerede logs i sektioner, "Flow1-2-3 diam norm Q=6", ses i Log søjle 10. Disse logs sammensættes derefter til den endelige flow-log, "Flow final Q=6" (Log søjle 11).

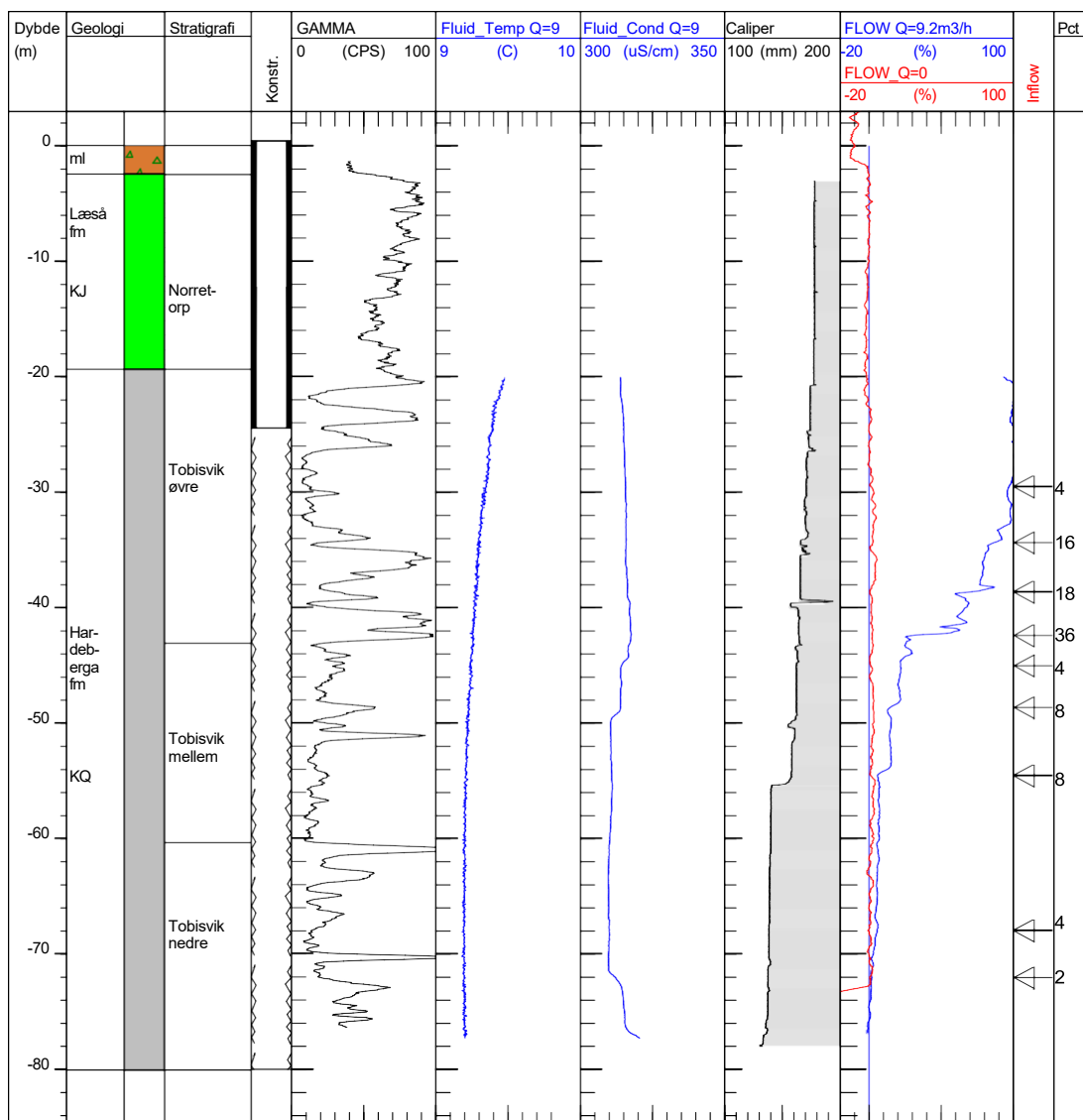
7. Sidste trin i processering er omsætning af enheden rpm for den diameter-korrigerede log, "Flow final Q=6", til procentisk akkumuleret flow, således som beskrevet i forrige bilag.

BILAG 3

Well Name: 247.708 (Å2)

Logging: GEO 11-10-2022.

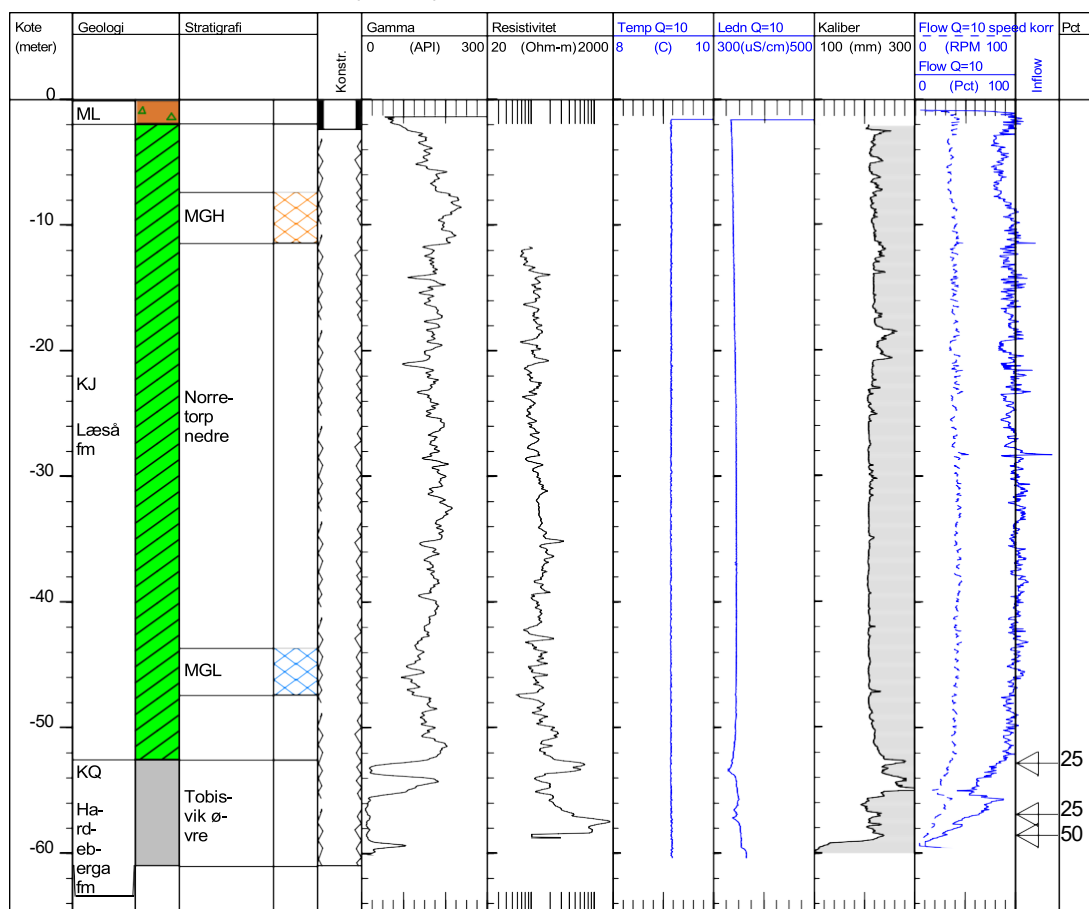
Reference: Terrain = 0 m (+32,3 m)



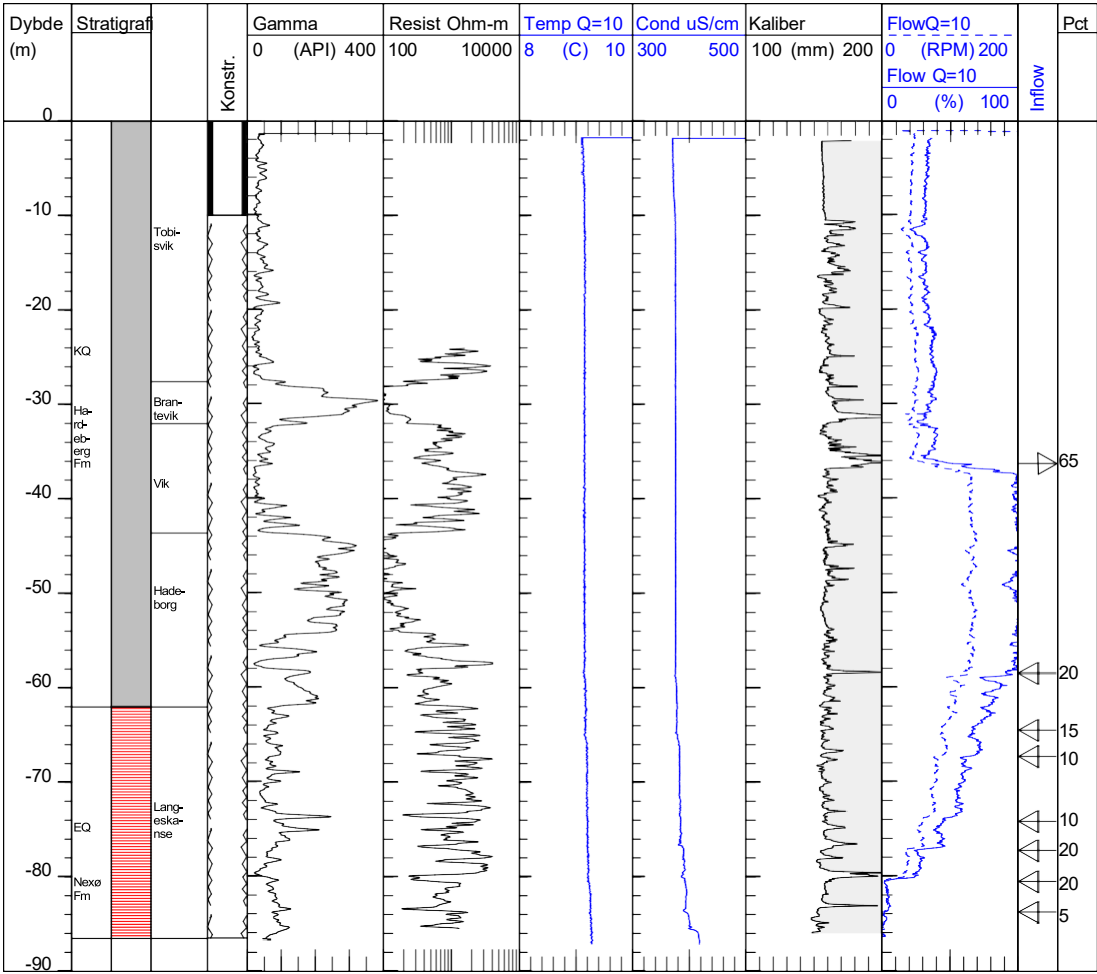
Well Name: 247.322

GEUS logging: Maj 2002 - Artesisk overløb 10 m³/t.

Reference: Terrain = 0 m (+35,9)



Well Name: 247.323
GEUS Logging: Maj 2002. - artesisk overløb 10 m3/t
Reference: Terrain = 0 m (+42.16 m)



Well Name: 247-435 Smålyngen
Logging: T Sørensen 1975 og VCS 2019
Reference: Terrain = 0 m (+36.75 m)

