

## **Oskarshamn site investigation**

# **Interpretation of borehole geophysical data from the percussion drilled part of the borehole KSH01A**

Håkan Mattsson, GeoVista AB

January 2004

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



ISSN 1651-4416

SKB P-04-27

## **Oskarshamn site investigation**

# **Interpretation of borehole geophysical data from the percussion drilled part of the borehole KSH01A**

Håkan Mattsson, GeoVista AB

January 2004

*Keywords:* Borehole, Logging, Geophysics, Geology, Bedrock, Fractures, Pseudo geology, Pseudo bedrock, Pseudo fracture.

This report concerns a study which was conducted for SKB. The conclusions and viewpoints presented in the report are those of the author and do not necessarily coincide with those of the client.

A pdf version of this document can be downloaded from [www.skb.se](http://www.skb.se)

# Abstract

This document reports the results gained from the interpretation of borehole geophysical logging data from the c 100 m deep percussion drilled part of the borehole KSH01A in Simpevarp. The major aim of the project is to create pseudogeology (lithology) and pseudofracture loggings (position of large fractures and estimated fracture frequency) based on geophysical logging data. Since this is the first interpretation of borehole geophysical data during the Oskarshamn site investigation, another purpose of this project is to evaluate the technique of establishing pseudogeological loggings.

In general there is a good correlation between the geological mapping (Boremap) and the geophysical pseudo rock type logging. Most of the borehole is classified as quartzmonzonite to monzodiorite. One exception occurs along the uppermost c 10 m section of the borehole, which is “geophysically” classified mainly as mafic volcanite, in contrast to the geological mapping that indicates quartzmonzonite to monzodiorite. The reason for this discrepancy is high densities of 2,800–2,900 kg/m<sup>3</sup> in combination with low magnetic susceptibilities along the borehole section. On basis of the magnetic susceptibility logging it appears as if the quartzmonzonite to monzodiorite rock type can be divided into two groups represented by high and low magnetization respectively. The low susceptibility group may possibly be related to alteration (oxidation). The estimation of fractures indicates increased fracturing along the sections 12.5–22.5 m and 37.5–47.5 m. It is recommended that the lateral resistivity logging is excluded when interpreting fractures in percussion drilled boreholes due to an inverted anomaly patterns across indicated fractures.

This investigation, together with a compilation of petrophysical data, indicates that it should be possible to use the maximum likelihood method to statistically classify geophysical loggings into pseudo rock types and pseudo fracture loggings.

# Sammanfattning

Föreliggande rapport presenterar tolkning av borrhålsgeofysiska data från den hammarborrade delen av KSH01A (0–100 m) på Simpevarpshalvön. Huvudsyftet med projektet är att ta fram s k pseudogeologiska loggar (litologi och sprickor) baserade på geofysiska loggningsdata. Eftersom denna tolkning av geofysiska data från KSH01A är den första som utförs inom Oskarshamns platsundersökning, presenteras även en kort utvärdering av metoderna för framställning av s k pseudogeologiska loggar.

Generellt sett är överensstämmelsen relativt god mellan pseudogeologisk bergartslogg (litologi) och den geologiska karteringen (Boremap). Den största delen av hålet klassificeras som kvartsmonzonit till monzodiorit. En större avvikelse uppträder längs de översta ca 10 m av borrhålet som geofysiskt klassificeras som basiska vulkanit men som vid den geologiska klassificeringen anges vara kvartsmonzonit till monzodiorit. Den främsta orsaken till denna skillnad är att densiteten längs nämnda borrhålssektion är relativt hög, i snitt 2 800–2 900 kg/m<sup>3</sup>, samtidigt som den magnetiska susceptibiliteten är låg, en kombination som statistiskt sett (i relation till framräknade bergartssignaturer) stämmer bättre för t ex en amfibolit än för kvartsmonzonit till monzodiorit. Sprickberäkningarna indikerar ökad sprickfrekvens längs sektionerna 12,5–22,5 m och 37,5–47,5 m. Vi rekommenderar att loggen lateral resistivitet utesluts vid sprickberäkning eftersom det verkar som om metoden uppvisar positiva anomalier över sprickor, något som inte anses vara rimligt.

Denna undersökning indikerar att det bör vara möjligt att statistiskt (med maximum likelihoodmetoden) klassificera geofysiska loggar till s k pseudogeologiska loggar vilka indikerar bergarter och sprickor/sprickfrekvens.

Ett biresultat av undersökningen är att bergarten kvartsmonzonit till monzodiorit verkar kunna delas in i två skilda grupper, en med hög och en med låg magnetisk susceptibilitet. Låg susceptibilitet kan möjligen kopplas till omvandling (t ex oxidering).

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	7
<b>2</b>	<b>Objective and scope</b>	9
<b>3</b>	<b>Equipment</b>	11
3.1	Description of equipment	11
<b>4</b>	<b>Execution</b>	13
4.1	Handling and preparations of the logging data	13
<b>5</b>	<b>Results</b>	17
5.1	Comparison between logging and petrophysical data	17
5.2	Correction of resistivity loggings and apparent porosity	19
5.3	Vertical temperature gradient	22
5.4	Salinity	22
5.5	Interpretation of rock types	22
5.6	Interpretation of fractures	25
<b>6</b>	<b>Discussion</b>	29
	<b>References</b>	31
<b>Appendix 1</b>	Pseudogeological interpretation of geophysical borehole logging data in the percussion drilled part of KSH01A (0–100 m)	33
<b>Appendix 2</b>	Kort manual för program utvecklade av GeoVista AB för tolkning av geologi från geofysiska loggar	37

# 1 Introduction

SKB performs site investigations for localization of a deep repository for high level radioactive waste. The site investigations are performed at two sites, Forsmark and Simpevarp. This document reports the results gained from the interpretation of borehole geophysical logging data from the c 100 m deep percussion drilled part of the borehole KSH01A in Simpevarp.

Pseudo bedrock loggings and pseudo fracture loggings were created by a combined statistically based interpretation of the different geophysical logging data. Porosity, silicate density, vertical temperature gradient and salinity were also calculated.

The different geophysical logging methods used for the interpretations are density (gamma-gamma), magnetic susceptibility, natural gamma radiation, lateral resistivity, short normal resistivity (16N), single point resistance (SPR), caliper (borehole diameter), fluid resistivity and fluid temperature. The measurements were performed by Malå Geoscience AB/Raycon in September 2002 /1/.

The interpretation presented in this report is performed by GeoVista AB in accordance with the instructions and guidelines from SKB (activity plan AP PS 400-03-008 and method description MD 221.003, SKB internal controlling documents) and under supervision of Leif Stenberg, SKB.

## 2 Objective and scope

The purpose of geophysical measurements in boreholes is to gain knowledge of the physical properties of the bedrock in the vicinity of the borehole. A combined interpretation of the different logging methods (in this case density, magnetic susceptibility and natural gamma radiation), together with petrophysical data and/or data from the bedrock mapping, makes it possible to estimate the physical signature of different rock types. This allows a statistically based bedrock classification (pseudo bedrock logging) of the borehole. The location of fractures is estimated by interpretations of the resistivity loggings (lateral and short normal resistivity (N16)) and single point resistance (SPR) together with the caliper logging data, which results in a so called pseudo fracture logging and a pseudo fracture frequency logging.

The main objective of deriving pseudogeology loggings is to create a tool to be used as supportive information during the geological bedrock logging (Boremap) (rock type, fractures, alteration etc) and as an input parameter in the so called “single-hole interpretation”, which is a combined borehole interpretation of geological logging data (Boremap), geophysical data, radar data and FZI (fracture zone index). A compilation of petrophysical data and their correlation to the logging data of KSH01A (percussion drilled part) is given in Section 5.1. This compilation and evaluation is performed in order to try to establish petrophysical signatures of certain rock types and investigate the possibilities of distinguishing different rock types based on their petrophysical properties. It is also performed in order to compare the logging data of specific rock types to their petrophysical signatures.

Since this is the first interpretation of borehole geophysical data during the site investigation in Simpevarp, another purpose of this project is to evaluate the technique of establishing pseudogeological loggings and also to help implementing the results from this investigation with the tools used for geological bedrock logging (Boremap) and “single-hole interpretation” later on.

## **3 Equipment**

### **3.1 Description of equipment**

The software used for the interpretation are WellCad v3.2 (ALT), which is mainly used for plotting, Grapher v4 (Golden Software), mainly used for plotting and some statistical analyses, and a number of in-house software developed by GeoVista AB on behalf of SKB AB. A description in Swedish of the in-house software is given in Appendix 2.



## 4 Execution

The execution of the interpretation can be summarized in the following five steps:

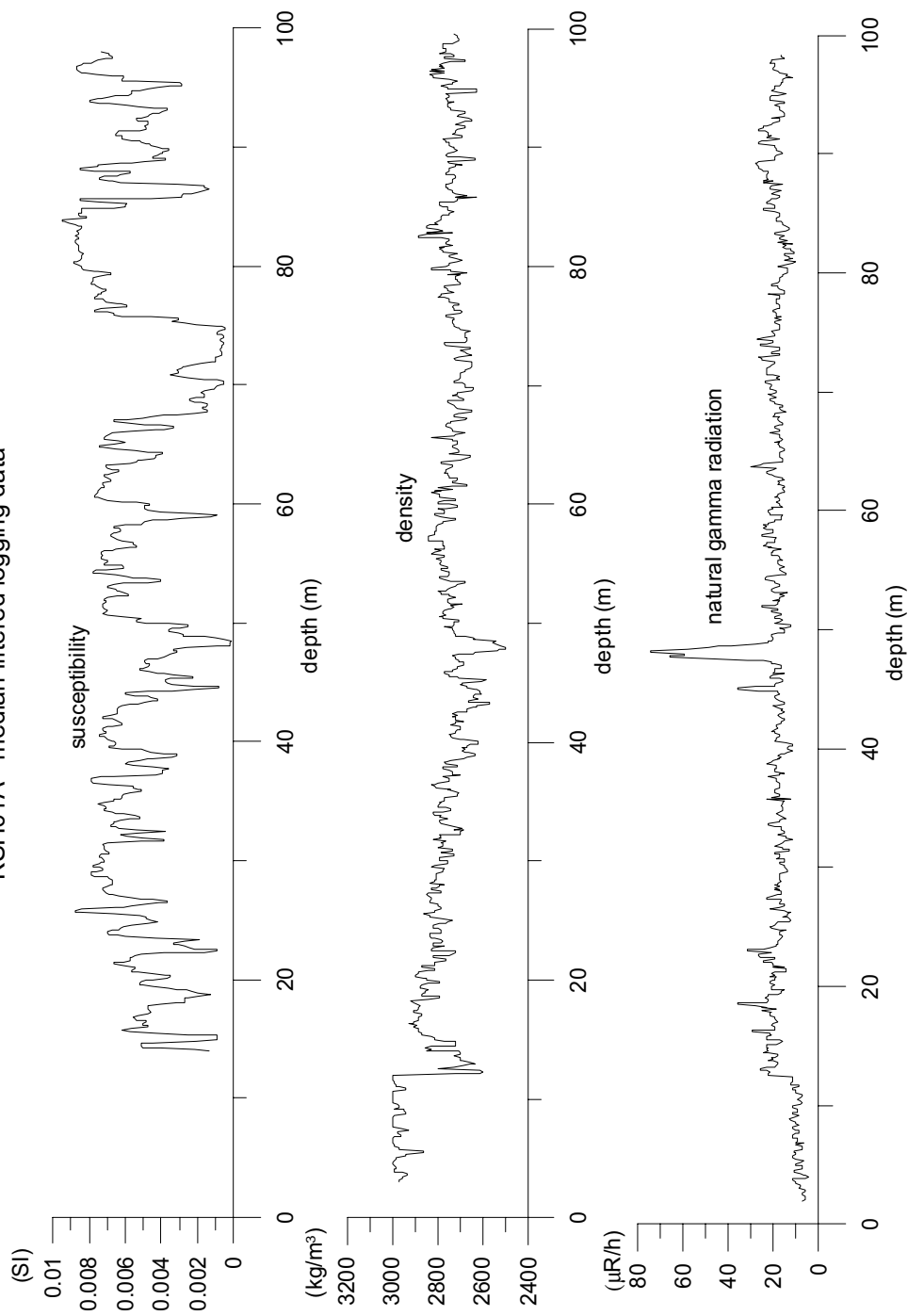
1. Preparations of the logging data (calculations of noise levels, error estimations, re-sampling, drift correction, length adjustment, correction of resistivity loggings for fluid resistivity and borehole diameter, calculation of salinity, calculation of vertical temperature gradient).
2. Interpretation of rock types (classification to pseudo bedrock logging based on analyses of the density, magnetic susceptibility and natural gamma radiation loggings. Calculation of silicate density). Co-variance matrices (rock type signature) are calculated for each rock type respectively. The calculations are performed by using logging data from sections of a mapped borehole as reference. Petrophysical data are also used to support the calculations. The rock type classification is performed by use of the Maximum likelihood method. See Chapter 5 for details regarding KSH01A.
3. Interpretation of fractures (classification to pseudo fracture logging based on analyses of the lateral and normal resistivity, caliper and single point resistance loggings, calculation of apparent porosity). The position of large fractures is estimated/calculated by applying a second derivative filter to the logging data and then locating maxima (or minima depending on the logging method) in the filtered logging. Maxima (or minima) above (below) a certain threshold value are selected as probable fractures. The result is presented as a “mud logg” (column diagram) where column height 0 = no fracture, column height 1 = fracture indicated by one logging method, column height 2 = fracture indicated by two logging methods and so on. The estimated fracture frequency is calculated by applying a power function to the weighted sum of the maxima (minima) derivative loggings. See Chapter 5 for details regarding KSH01A.
4. Report evaluating the results and comparison to data from the preliminary geological bedrock logging (Boremap), (this report).
5. Support during implementation of the results into the software tools used during geological bedrock logging (Boremap) and “single-hole interpretation”.

### 4.1 Handling and preparations of the logging data

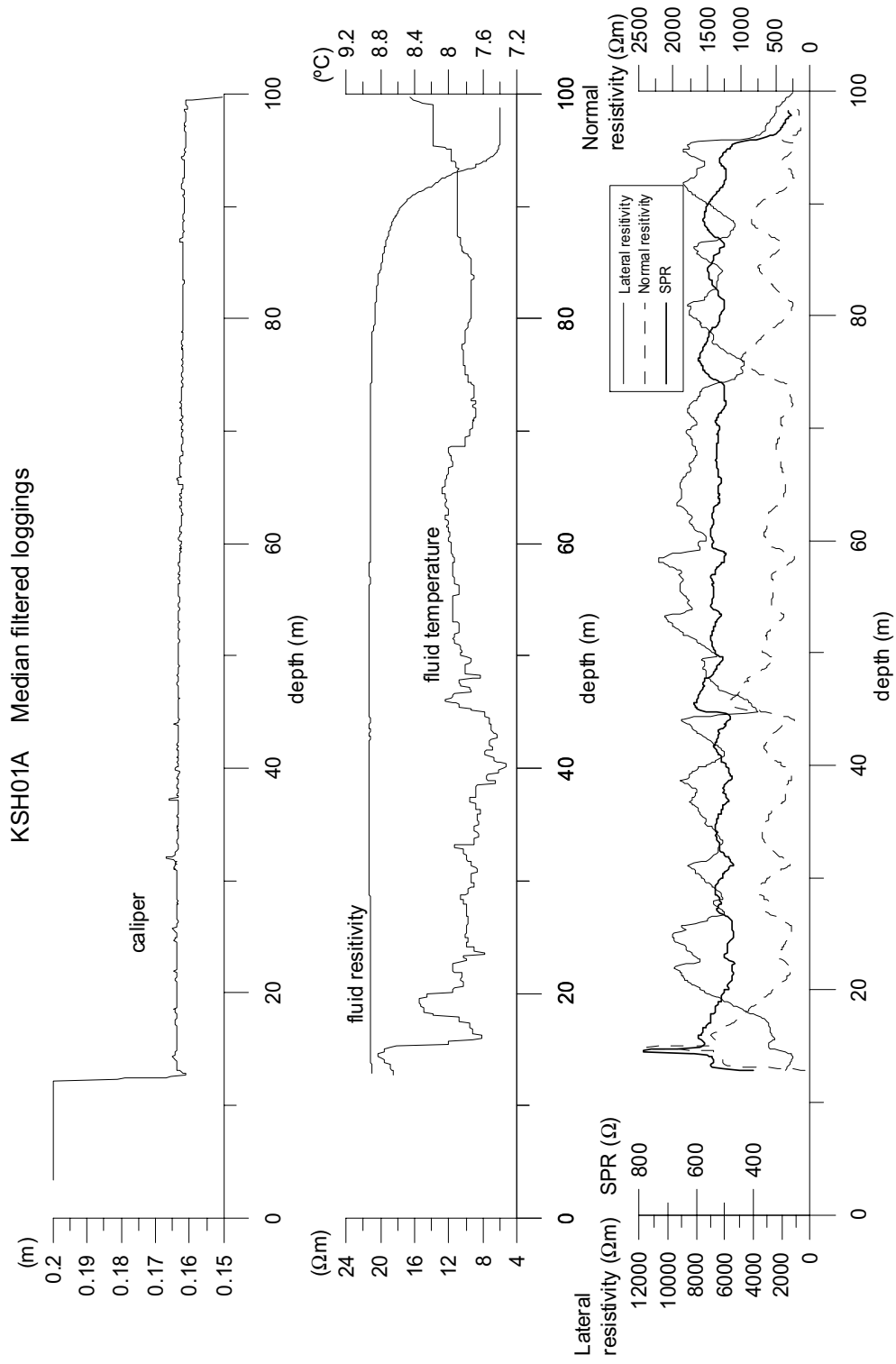
All logging data were downloaded from the SKB database SICADA via the internet. Data from each method were stored on tab-separated ASCII-files and the two columns containing section coordinate and the corresponding data values were then saved separately as standard ASCII-files. The data processing was performed on the latter files (Figures 4-1a and b). Rock type information from the preliminary geological bedrock logging (Boremap) was delivered via email.

The data were checked for spikes and/or other obvious incorrect data points. No such data were detected. According to information from the performance of the logging measurements the depth from the ground surface down to solid rock is c 12 m, i.e. casing length. Logging data from the uppermost 14 m of the borehole were therefore excluded to avoid erroneous results.

KSH01A median filtered logging data



**Figure 4-1a.** Borehole geophysical data (magnetic susceptibility, density and natural gamma radiation) from the percussion drilled part of KSH01A.



**Figure 4-1b.** Borehole geophysical data (caliper, fluid resistivity, fluid temperature, single point resistance (SPR), lateral and normal resistivity) from the percussion drilled part of KSH01A.

Noise levels for all logging methods were calculated over the entire borehole-length and in 40 m long sections. The results are presented in Table 4-1. The density and natural gamma radiation loggings have noise levels above the recommended maximum level, but after median filtering of these loggings the noise levels decrease significantly (density noise after median filtering = 10 kg/m<sup>3</sup> and natural gamma noise after median filtering = 0.8 µR/h. Both values were calculated for the entire borehole).

An ocular inspection and comparison of the depth of significant anomalies in the data clearly indicates that there is a depth mismatch between the magnetic susceptibility logging and the density and natural gamma radiation loggings. The mismatch is depth dependent and averages at c 0.2 m. A depth correction of the susceptibility logging was performed in WellCad with the natural gamma radiation logging as reference. There are also indications of a slight mismatch between anomalies in the geophysical loggings and rock boundaries indicated in the geological bedrock logging (Boremap). No correction was however made for this possible mismatch since the geological bedrock logging (Boremap) is only preliminary.

**Table 4-1. Noise levels in geophysical logging data from the percussion drilled part of the borehole KSH01A.**

Logging method	Noise level (entire hole)	Noise level (40 m sections)	Recommended max noise level
Density (kg/m <sup>3</sup> )	23.2	10–50 m = 23.1 50–90 m = 21.8	3–5
Magnetic susceptibility (SI)	9*10 <sup>-5</sup>	10–50 m = 9*10 <sup>-5</sup> 50–90 m = 8*10 <sup>-5</sup>	1*10 <sup>-4</sup>
Natural gamma radiation (µR/h)	2.0	10–50 m = 1.8 50–90 m = 2.0	0.3
Lateral resistivity (%)	0.6	10–50 m = 0.7 50–90 m = 0.4	2
Normal resistivity (%)	1.0	10–50 m = 1.6 50–90 m = 0.5	2
Single point resistance (%)	0.2	10–50 m = 0.3 50–90 m = 0.1	No value
Fluid resistivity (%)	0.1	10–50 m = 0.1 50–90 m = 0.1	2
Fluid temperature (°C)	0.01	10–50 m = 0.02 50–90 m = 0.01	0.01
Caliper (m)	0.00014	10–50 m = 0.00016 50–90 m = 0.00014	0.0005

## 5 Results

### 5.1 Comparison between logging and petrophysical data

A preliminary compilation of some petrophysical parameters for a selection of rock types was performed on data from the petrophysical sampling executed by GeoVista AB 2002 /2/, on data from a SKB-report by Nisca /3/ and on data from core samples from the two cored boreholes KLX01 and KAS02 /4/ (Table 5-1).

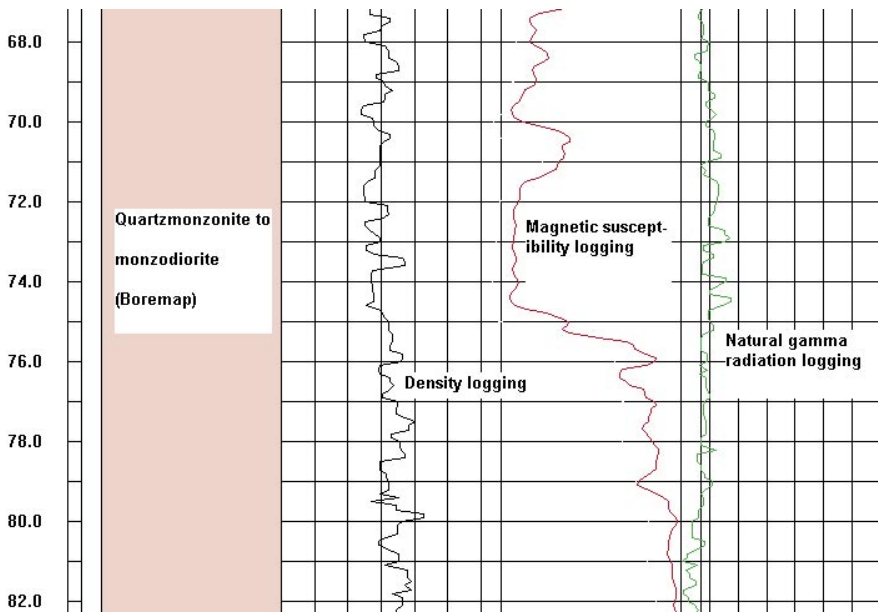
The density and the porosity data agree fairly well for each rock type respectively between the four samplings, ref A–D in Table 5-1. The magnetic susceptibility data from the two surface samplings (ref A and B) are consistent. Significantly lower values, approximately one order of magnitude, are seen in the magnetic susceptibility measured on mafic volcanite samples from KLX01 and KAS02 compared to the surface samplings. However, these differences may partly be explained by the uncertainty in composition of these rocks. The “mafic volcanic” rock samples from KLX01 indicate both diorite and basaltic mineral compositions when plotting them in a density – susceptibility classification diagram. Their magnetic susceptibilities vary greatly and the magnetization of some samples is completely governed by paramagnetic minerals (no presence of magnetite, pyrrhotite or hematite), whereas others have susceptibilities corresponding to a magnetite content of as much as 1–10 volume percent. The mafic rock samples from the surface sampling during 2002 seem to have a more pure basic composition and they most likely originated from a gabbroic rock. The data from the resistivity measurements agree fairly well within each rock type since the values generally fall within the same order of magnitude.

**Table 5-1. Petrophysical parameters for a selection of rock types in the Simpevarp area. Reference A = sampling 2002 /2/, reference B = sampling Nisca /3/, reference C = data from KLX01 /4/ and reference D = data from KAS02 /4/.**

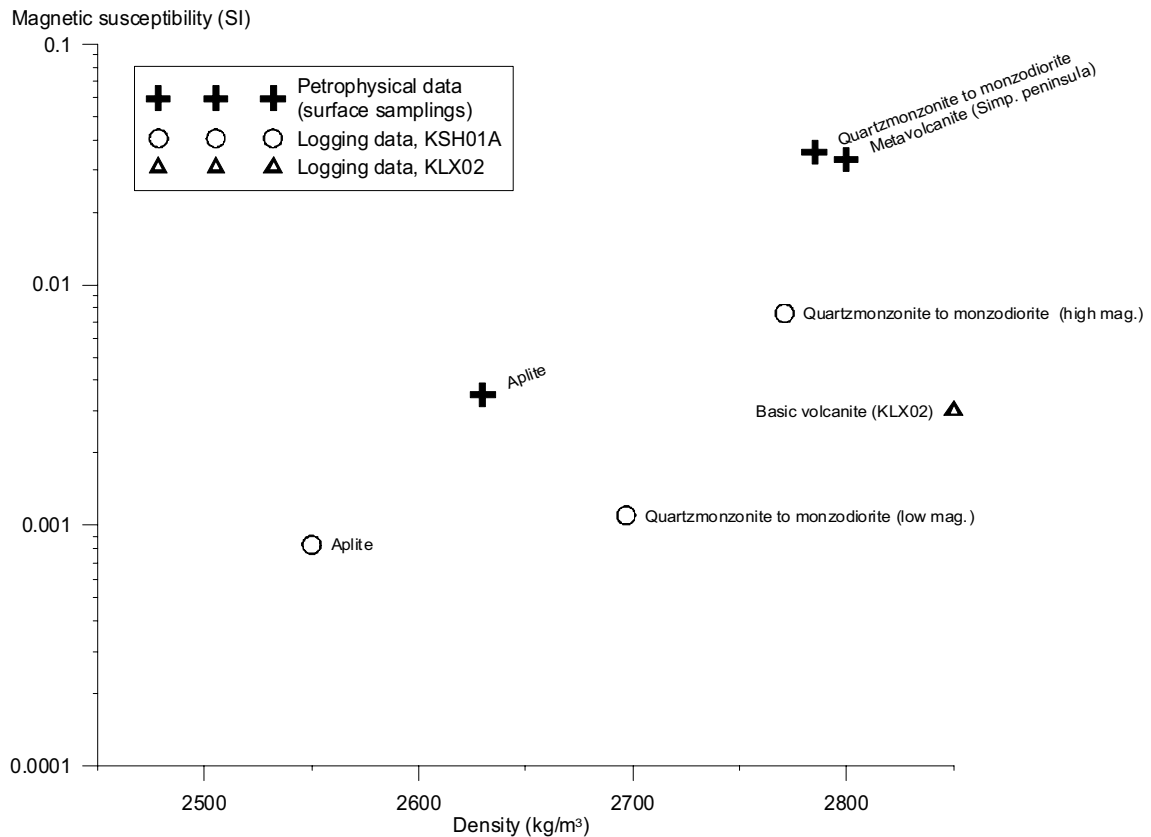
Rock type	Reference	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Magnetic susceptibility (SI) std in decades	Electric resistivity (kΩm) std in decades	Porosity (%) std in decades
Porphyritic granite	A	2,690 std = 35	0.024 std = 0.20	16.2 std = 0.2	0.6 std = 0.1
	B	2,700 std = 40	0.020 std = 0.34	no data	no data
	C	2,670 std = 10	0.022 std = 0.10	10.7 std = 0.1	0.3 std = 0.1
	D	no data	no data	no data	no data
Quartzmonzonite to monzodiorite	A	2,790 std = 33	0.036 std = 0.14	15.4 std = 0.2	0.5 std = 0.1
	B	2,780 std = 30	0.035 std = 0.73	no data	no data
	C	no data	no data	no data	no data
	D	2,780 std = 20	0.021 std = 0.2	7.2 std = 0.2	0.3 std = 0.2
Metavolcanic rock (Simpevarp peninsula ref 1)	A	2,800 std = 52	0.033 std = 0.84	54.6 std = 0.4	0.3 std = 0.2
	B	2,810 std = 70	0.009 std = 0.53	no data	no data
	C	no data	no data	no data	no data
	D	no data	no data	no data	no data
Gabbro/mafic rock (interm. to mafic volcanite ref 3 and 4)	A	2,967 std = 33	0.037 std = 0.75	19.9 std = 0.2	0.3 std = 0.1
	B	2,910 std = 60	0.058 std = 0.41	no data	no data
	C	2,930 std = 50	0.003 std = 0.60	25.4 std = 0.2	0.1 std = 0.2
	D	2,900 std = 60	0.004 std = 0.7	10.0 std = 0.8	0.2 std = 0.7
Fine grained granite (aplite dykes in ref 1 and 4)	A	2,620 std = 6	0.005 std = 0.25	27.9 std = 0.2	0.6 std = 0.1
	B	2,640 std = 20	0.002 std = 0.85	no data	no data
	C	no data	no data	no data	no data
	D	2,640 std = 20	0.004 std = 0.6	14.7 std = 0.3	0.3 std = 0.3

According to the preliminary geological logging (Boremap) of the percussion drilled part of KSH01A the bedrock of the borehole is completely dominated by quartzmonzonite to monzodiorite, with the exception of a few c 0.1–1.0 m wide aplite dykes and one pegmatite dyke that crosscuts the investigated section. An inspection of the density, magnetic susceptibility and natural gamma radiation loggings however seems to indicate that the “quartzmonzonite to monzodiorite” displays two significantly different signals in magnetic susceptibility (Figure 5-1). During “training” of the rock classification software and when comparing logging data to petrophysical data the quartzmonzonite to monzodiorite is therefore divided into a “low magnetic” and a “high magnetic” part. If desirable, these two parts can be plotted as one and the same rock type after the performance of the classification. However, without this kind of division the magnetic susceptibility logging would be more or less useless as a rock type indicator in this and in future investigations. It is also possible that the difference in magnetic susceptibility within the quartzmonzonite to monzodiorite may be of geological significance. It could, for example, indicate chemical alteration or low degree of deformation

The density and magnetic susceptibility data from the two surface samplings /2/ and /3/ and logging data from KSH01A show only moderate correlation between the different data sets (Figure 5-2). The density of the “high magnetic” quartzmonzonite to monzodiorite (geophysical logging data) is in good accordance with the petrophysical measurements, but the magnetic susceptibility is c four times lower. The “low magnetic” quartzmonzonite to monzodiorite has c eight times lower susceptibility than the “high magnetic” and note that also the density is clearly lower ( $\rho_{highmag} = 2,785 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{lowmag} = 2,700 \text{ kg/m}^3$ ). It appears as if by shifting the logging data to higher susceptibilities (3–4 times higher) and higher densities (+ 30–60 kg) we could increase the correlation between logging and petrophysical data. One reason for the discrepancies may possibly be the unusually wide borehole diameter, which may affect the signals read by the logging tools.



**Figure 5-1.** Geophysical logging data and preliminary geological logging (Boremap) data from the section 68–83 m of KSH01A (percussion drilled part).



**Figure 5-2.** Diagram presenting petrophysical data (crosses) and logging data (rings KSH01A and triangle KLX02) for some rock types related to the investigation of the borehole KSH01A.

## 5.2 Correction of resistivity loggings and apparent porosity

The data of the resistivity loggings are corrected for the influence of the borehole diameter and the borehole fluid resistivity. Corrected normal and lateral resistivity loggings are shown in Figure 5-3 (top graph). The average level of the corrected normal resistivity is = 500  $\Omega\text{m}$  and for the lateral resistivity it is = 8,300  $\Omega\text{m}$ . The corrected lateral resistivity agrees well with the petrophysical data that indicate c 7,000–15,000  $\Omega\text{m}$  for the quartzmonzonite to monzodiorite, whereas the normal resistivity is significantly lower.

The lateral and normal resistivity loggings show almost perfect negative correlation before as well as after the performance of the correction, i.e. positive anomalies in the lateral resistivity logging corresponds to negative anomalies in the normal resistivity logging. The reason for this is not fully understood. In the “normal” case both loggings should have minima at, or near, a low resistivity zone, for example a water-filled fracture (even though the anomaly of the lateral resistivity is asymmetric). In this case one of the loggings seems to indicate maxima instead. When comparing the position of caliper anomalies to anomalies in the lateral and resistivity loggings, it appears as if the normal logging identifies the position of a fracture with a minimum and the lateral with a maximum.

In resistivity logging measurements it is important that the measurement probe is positioned in the centre of the borehole, and this becomes even more important if the borehole diameter is large and the electrode distance is comparatively short, which is the case for percussion drilled boreholes. A deviation in the probe position may in such cases give rise to erroneous data readings.

The apparent porosity is calculated during the correction of the lateral and normal resistivity loggings. The calculation is based on Archie's law ( $\sigma_3 = a \sigma_w \phi^m + \sigma_m$ ). A least squares curve fit on resistivity and porosity data measured on the rock samples is required to determine the three unknown constants "a", "m" and " $\sigma_s$ ". A curve fit was performed on the data from the petrophysical sampling 2002 /2/ and the constants were estimated at

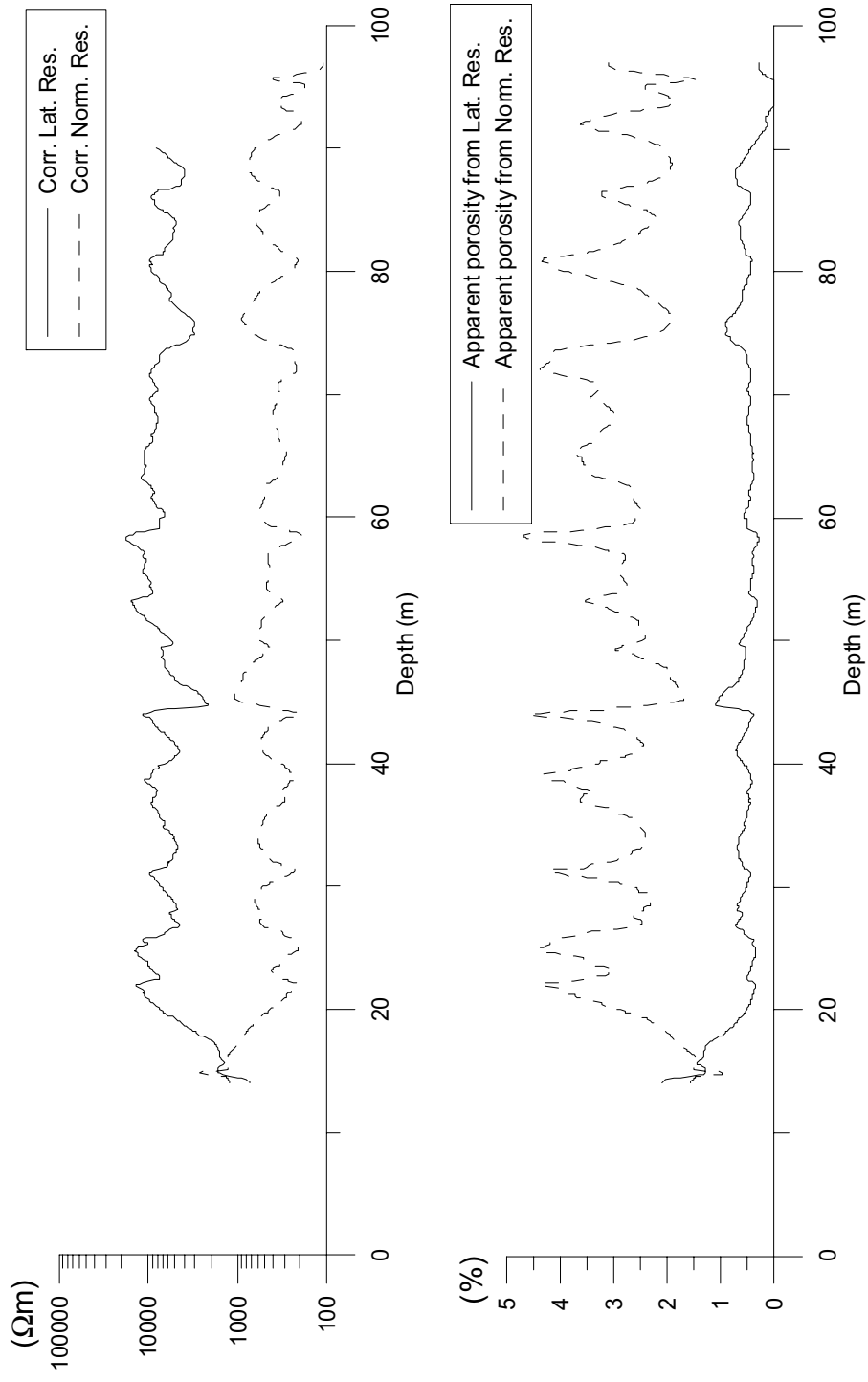
$$a = 20$$

$$m = 1.7$$

$$\sigma_s = 10-5 \text{ S/m}$$

The estimated porosity loggings are presented in Figure 5-3 (bottom graph). The apparent porosity based on the lateral resistivity data is in fairly good accordance with petrophysical data (0.5–1%). At 95 m depth the apparent porosity drops to zero as a result of a major peak in the corrected lateral resistivity (cut out in Figure 5-3), which is created by the large decrease in fluid resistivity at that depth (Figure 4-1b). This decrease is most likely caused by the presence of saline water in the borehole. The drop in resistivity is so large and occurs over such a short distance that the correction method does not manage to compensate for it. The porosities estimated from the normal resistivity logging are 3–8 times larger than those estimated from the lateral resistivity logging and measured on petrophysical samples.





**Figure 5-3.** Corrected resistivity and apparent porosity calculated from the normal and lateral resistivity loggings from KSH01A.

### 5.3 Vertical temperature gradient

The vertical temperature gradient was calculated from the fluid temperature logging for 9 m sections /5/ (Figure 5-4). The data are rather noisy, which may indicate that the borehole was not in thermal equilibrium when the measurements were performed. The gradient anomaly at c 45 m depth may be related to the increased fracturing which is indicated for this section of the borehole. The average temperature gradient over the entire borehole is close to zero.

### 5.4 Salinity

The water salinity is calculated as ppm NaCl in water following the simple relation from Crain's Petrophysical Handbook where:

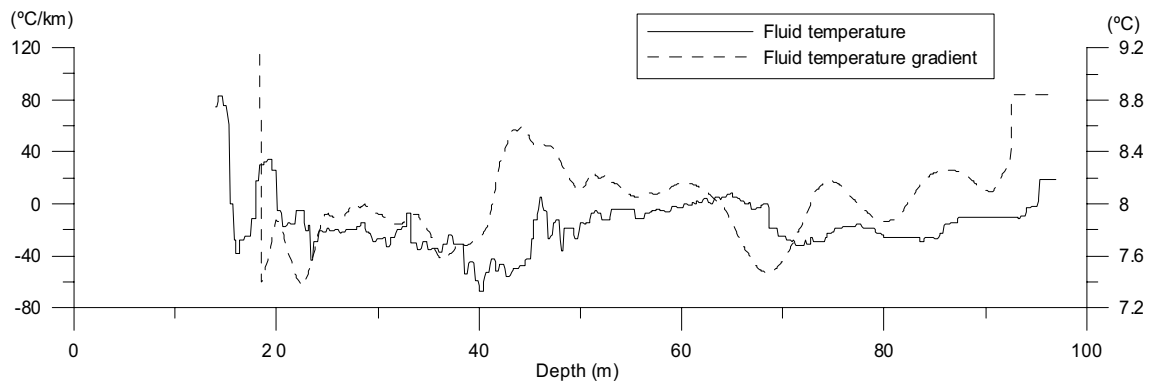
$$WS = \frac{400000}{(1.8t + 32)^{0.88} \sqrt{\rho}}$$

WS = Water salinity (ppm NaCl),  $t$  = temperature (°C) and  $\rho$  = resistivity ( $\Omega$ m). The estimated salinity (Figure 5-5) averages at c 270 ppm NaCl for the uppermost 80 m of the borehole, and at c 90 m depth it increases rapidly to c 1,100 ppm NaCl, most likely indicating the presence of saline water.

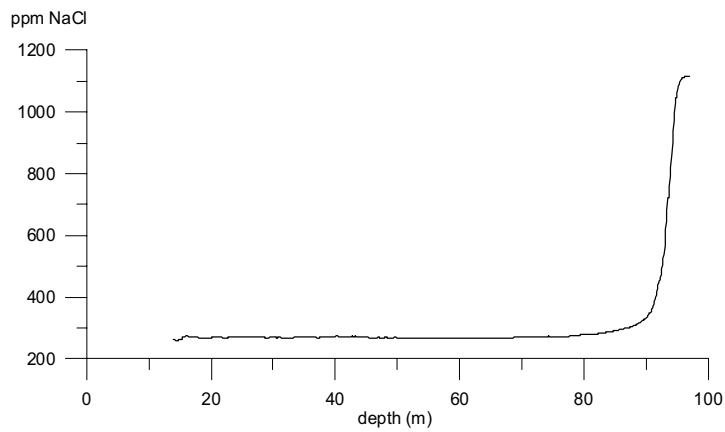
### 5.5 Interpretation of rock types

The interpretation of rock types was performed by the use of so called maximum likelihood classification. The thresh-method was excluded due to the rather poor correlation between geophysical logging and petrophysical data. As stated before the quartzmonzonite to monzodiorite was divided into a low magnetic and a high magnetic part. Co-variance matrices were calculated by the use of so called training sections, which means that the signature of different rock types is defined by letting the software "practice" on "known" rock types along a certain section of a borehole. The selected training sections for KSH01A were

- High magnetic quartzmonzonite to monzodiorite: 27.5–31 m, 51–53 m, 60.5–63 m and 80–84 m.
- Low magnetic quartzmonzonite to monzodiorite: 67.5–69.5 m and 72–74.5 m.
- Aplite dyke (fine-grained granite): 47.5–48.2 m.



**Figure 5-4.** Vertical fluid temperature gradient and borehole fluid temperature for KSH01A (percussion drilled part).



**Figure 5-5.** Calculated salinity in ppm NaCl for the percussion drilled part of KSH01A.

This means that the above listed rock types are the only possible rock types that can come out of the classification. To allow a possible classification of a more mafic rock type a co-variance matrix was therefore also calculated for mafic volcanite rock of KLX02. The training sections of this rock were chosen on the basis of the rock classification (geological mapping), which was downloaded together with the geophysical logging data from SICADA. The calculated co-variance matrices for all used rock types are listed below.

---

Quartzmonzonite to monzodiorite		
0.052486	0.196834	-0.241074
0.055284	0.024614	-0.034032
0.024614	0.233199	0.000391
-0.034032	0.000391	0.073852
Quartzmonzonite to monzodiorite (low magnetic)		
-1.803361	-0.712372	0.136903
0.025008	0.018734	-0.033255
0.018734	0.175232	-0.041362
-0.033255	-0.041362	0.125991
Fine-grained granite		
-1.876511	-2.535494	4.316596
0.089125	0.189585	-0.388281
0.189585	0.449777	-0.739472
-0.388281	-0.739472	2.025803
Mafic volcanite		
-1.277308	1.141177	0.135216
0.483601	0.024566	-0.046657
0.024566	0.30584	-0.157647
-0.046657	-0.157647	0.161276

---

The results of the maximum likelihood classification are presented in Figure 5-6 together with the calculated silicate density and the preliminary geological (Boremap) rock classification. The colors of the rock types follow the SKB standard, except that the occurrence of low magnetic quartzmonzonite to monzodiorite is indicated by blue dots. Unclassified sections are indicated by white color.

Almost the entire borehole has been classified and only a few short none-classified sections appear in scattered places. In general there is a good accordance between the preliminary geological (Boremap) logging and the geophysical pseudo bedrock logging, even though the pseudo logging shows a more varying pattern. Most of the borehole is classified as quartzmonzonite to monzodiorite, see also Appendix 1. The most obvious exception occurs along the uppermost c 10 m section of the borehole, which is classified mainly as mafic volcanite, in contrast to the preliminary geological (Boremap) logging that indicates quartzmonzonite to monzodiorite. The geophysical classification solely depends on the high density values of 2,850–2,900 kg/m<sup>3</sup> that rule out any other rock type than mafic volcanite. The high densities along this section are also the reason for the failure of identifying the three uppermost occurring aplite dykes, even though the dykes give rise to significant positive anomalies in the natural gamma logging. The following two dykes, at c 45 m and 48 m depth are correctly identified. The thin pegmatite dyke at depth 94 m can not be identified since no covariance matrix exists for this rock type. It should be noted that there is an obvious correlation between “wrong” bedrock classification and the occurrence of fractures (the interpretation of fractures is presented in section 5.6). Fractures will of course alter the physical properties of the rocks (lower density and generally lower magnetic susceptibility), which then affects the result of the geophysical classification. The geophysical pseudo bedrock classification logging should therefore always be viewed together with the pseudo fracture logging.

## 5.6 Interpretation of fractures

The interpretation of large fractures (pseudo fractures) was performed by identifying anomalies in the normal resistivity logging, the caliper logging and the single point resistance (SPR) logging respectively (the lateral logging was excluded due to the results presented in section 5.2). The position of large fractures is estimated/calculated by applying a second derivative filter to the logging data and then locating maxima (or minima depending on the logging method) in the filtered logging. Maxima (or minima) above (below) a certain threshold value (Table 5-2) are selected as probable fractures. The result is presented as a “mud logg” (column diagram) where column height 0 = no fracture, column height 1 = fracture indicated by one logging method, column height 2 = fracture indicated by two logging methods and so on. The estimated fracture frequency is calculated by applying a power function to the weighted sum (Table 5-2) of the maxima (minima) derivative loggings. The power function used for KSH01A is:

$$\text{Pseudo fracture frequency} = 2.2 * \text{weightsum}^{0.6}$$

The result is presented as a litho-logging in WellCad where the fracture frequency is divided into three different levels indicated by colors:

White = 0–3 fractures/m (see note below)  
 Light grey = 3–6 fractures/m  
 Dark grey = More than 6 fractures/m

The width of the colored section also indicates variation in pseudo fracture frequency within each level (Figure 5-6, column Integr. Pseu. Fract, see also Appendix 1).

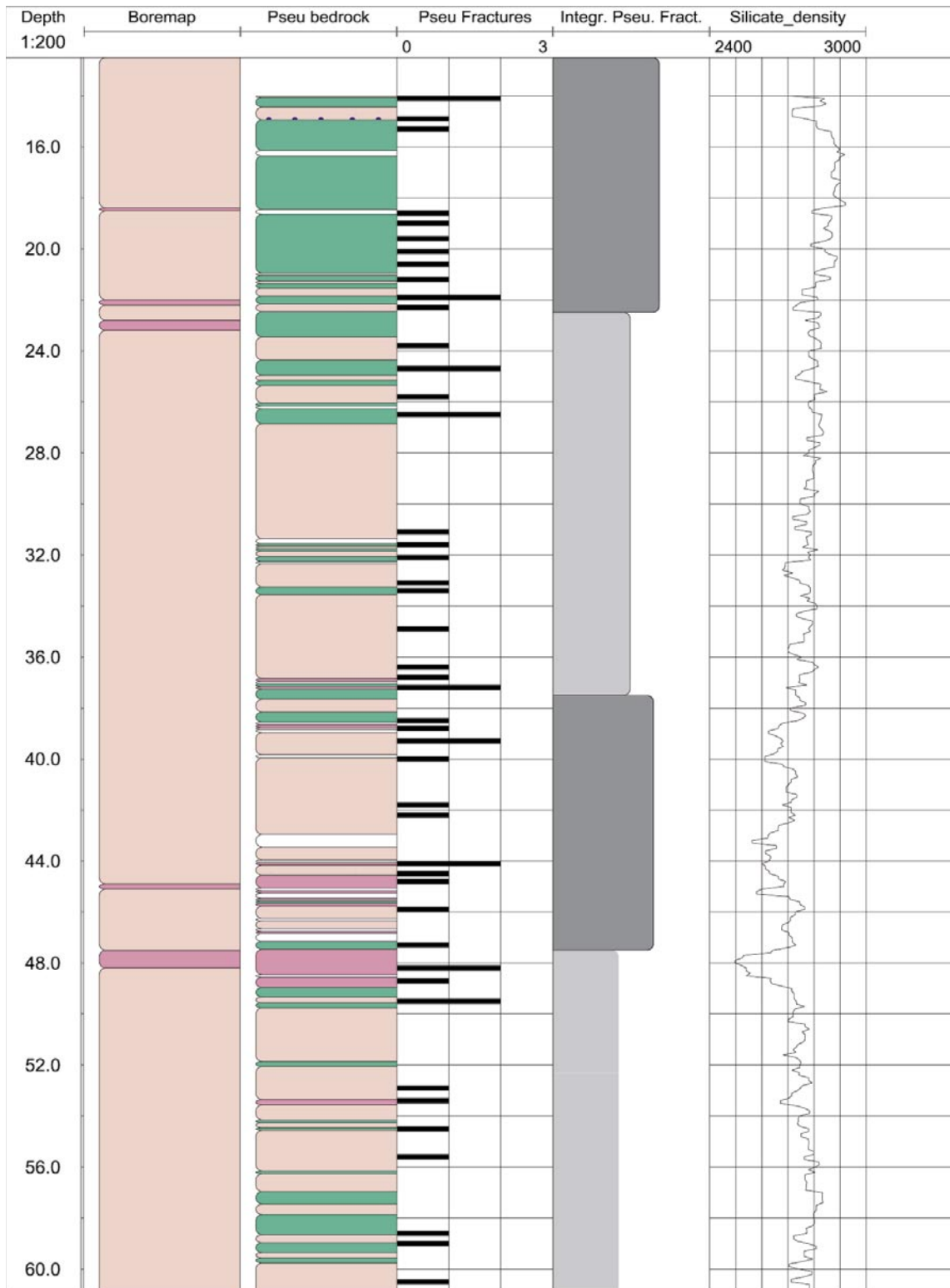
**Table 5-2. Threshold values and weights used for estimating position of fractures and calculate pseudo fracture frequency, respectively.**

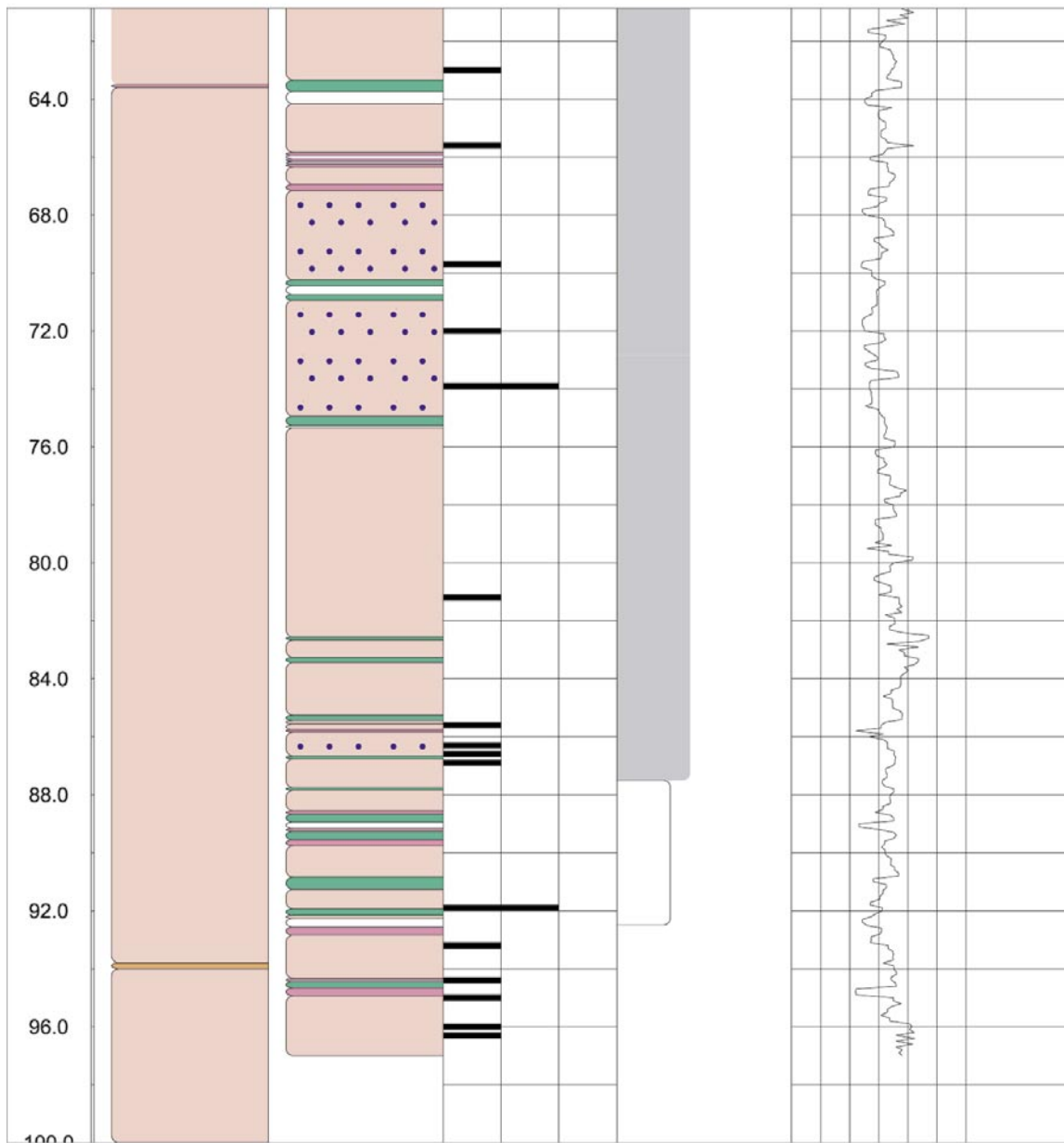
Parameter	SPR	Normal resistivity	Caliper
Threshold value	0.3	1.5	0.2
Weight	1.0	0.1	Not used

**NOTE!**

The estimation of pseudo fracture frequency requires a calculation of the relation (a power function) between the estimated fracture frequency (from geophysical loggings) and the true fracture frequency from geological mapping. This relation has been established by the use of existing data from KLX01. However, KLX01 is a cored borehole with a significantly smaller diameter than KSH01A, and KLX01 is situated in a slightly different geological environment. The pseudo fracture frequency presented in Figure 5-6 must therefore be regarded as a qualitative indication of how the fracture frequency varies with depth along the investigated section of KSH01A. A calculation of a power function valid for percussion drilled boreholes will be performed as soon as geological fracture frequency data (from e.g. BIPS-logging) are available.

The delivered data have been inserted in the database (SICADA) of SKB. The SICADA reference to the present activity is field note no 264.





**Figure 5-6.** Preliminary geological (Boremap) bedrock logging, geophysical pseudo bedrock logging (Maximum likelihood method), pseudo fracture logging, pseudo fracture frequency logging and silicate density for the percussion drilled part of KSH01A. See also Appendix 1.

## 6 Discussion

The compilation of petrophysical data from previous investigations /2, 3 and 4/ shows a fairly good correlation between the different data sets, and it indicates that fine grained granite dykes (aplites), basic (mafic) volcanites and porphyritic granites should be possible to identify on basis of their differences in physical properties. Quartzmonzonite to monzodiorite and meta-volcanite from the Simpevarp peninsula should also be able to identify, but these two rock types can not be separated from each other. However, the comparison between logging data from KSH01A (percussion drilled part) and petrophysical data indicates a rather poor correlation. It is possible that the wide borehole diameter in combination with a coarse inner surface created by the percussion drilling technique leads to uncertain data reading since the logging equipment used for these investigations was developed for narrower diameters and cored boreholes. We therefore suggest that in the interpretation of future percussion drilled bore holes the main emphasis should be put on signature differences in logging data created by the use of training sections, and less weight is put to the true petrophysical signature of each rock type. This means that the classification procedure requires training sections as soon as a new rock type occurs in a borehole. However, the number of “unknown” rock types is probably limited and ought to be covered after a few more boreholes. As a result of this investigation signatures already exist for aplite dykes, mafic volcanic rocks and quartzmonzonite to monzodiorite (including meta-volcanite from the Simpevarp peninsula).

Since the lateral resistivity logging indicates positive anomalies when passing over fracture zones and it is also negatively correlated to the SPR and normal resistivity loggings we suggest after discussions with SKB that the lateral resistivity logging is excluded when interpreting fractures in percussion drilled boreholes. However, the lateral resistivity logging seems to indicate the correct level of resistivity of the bedrock, which the normal logging does not, and is therefore needed in estimating the average porosity of different sections of the borehole. Care must thus be taken when looking at high frequency variations in porosity since porosity peaks probably correspond to lower true porosity values, and vice versa, due to the inverted behavior of the lateral resistivity logging discussed above.

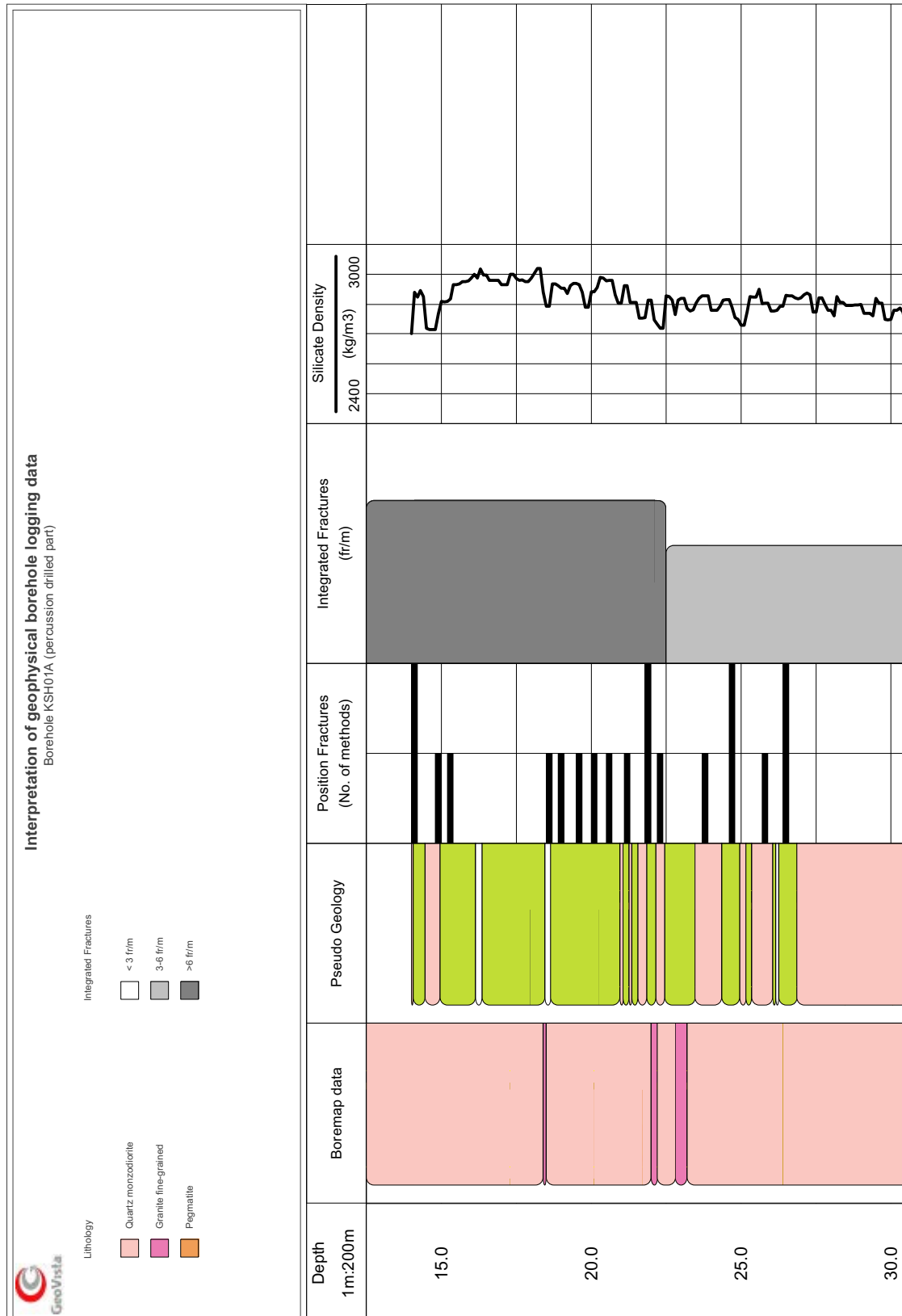
A suggestion of improvement for future classifications is to add a manual interpretation as a last stage before delivering the results. In such interpretation, which must be brief, obvious miss-interpretations due to shortcomings of the automatic classification should be manually corrected. One such example is the failure of identifying thin aplite dykes due to the inertia of the density logging in spite of the clear radiation signature of these rocks.

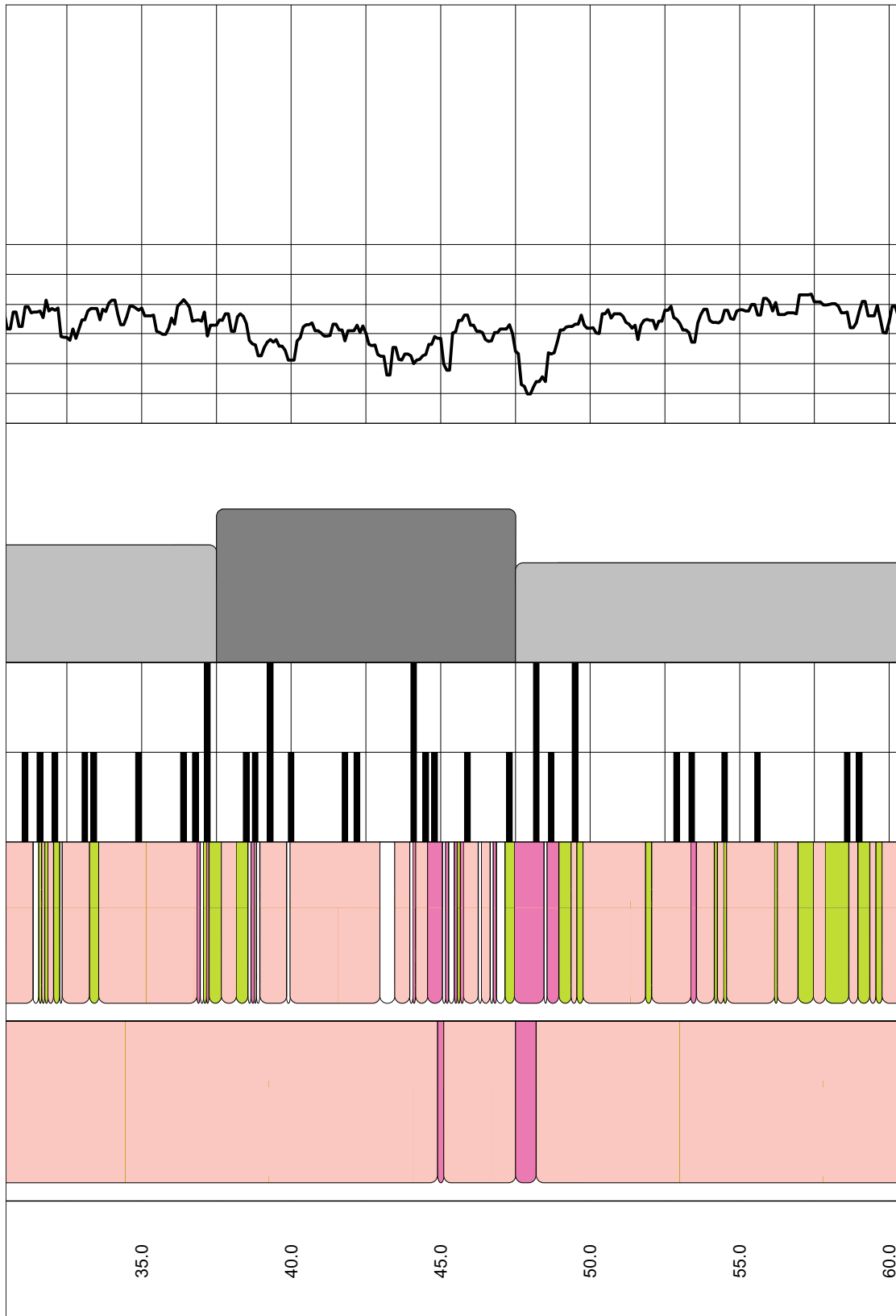


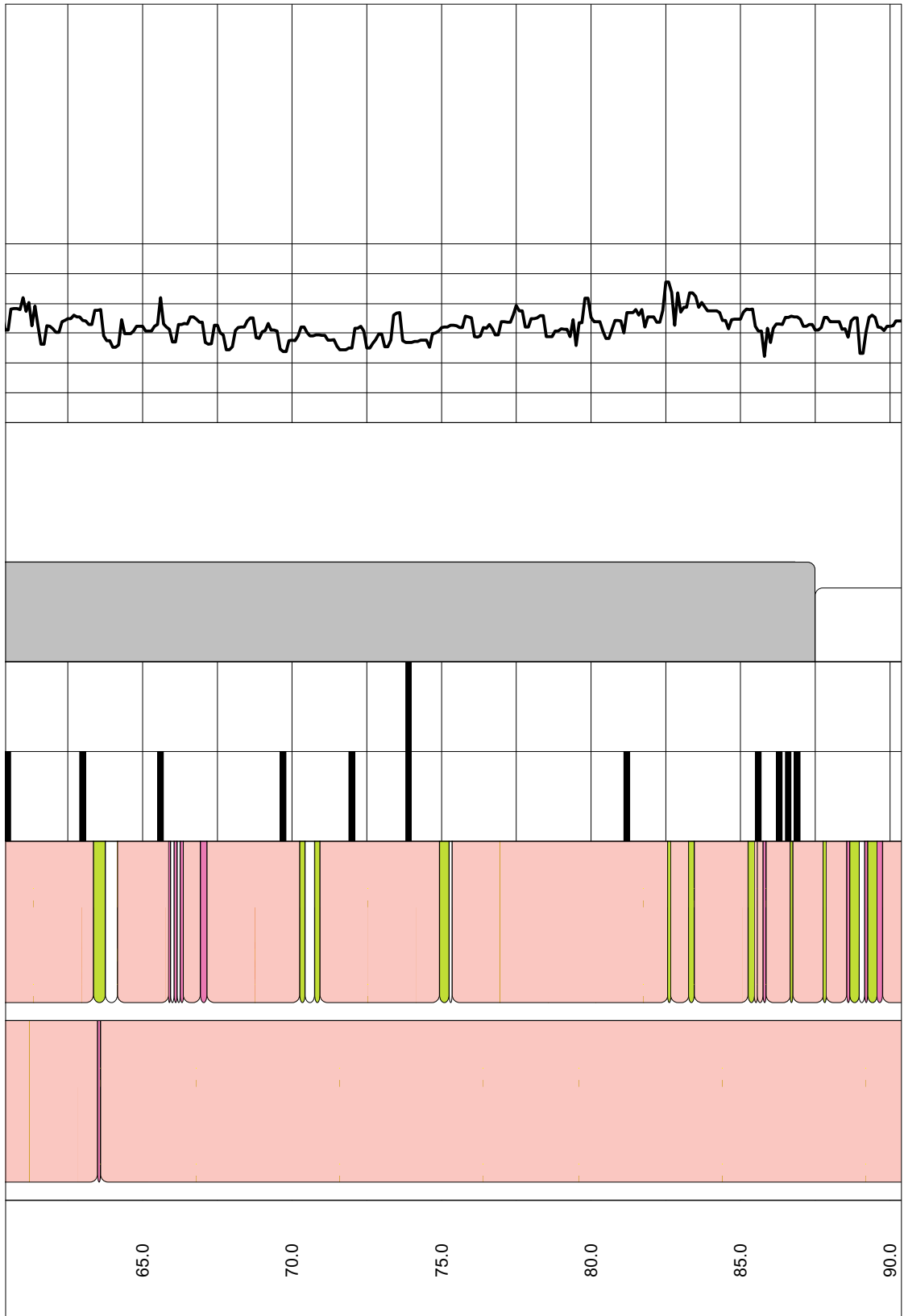
## References

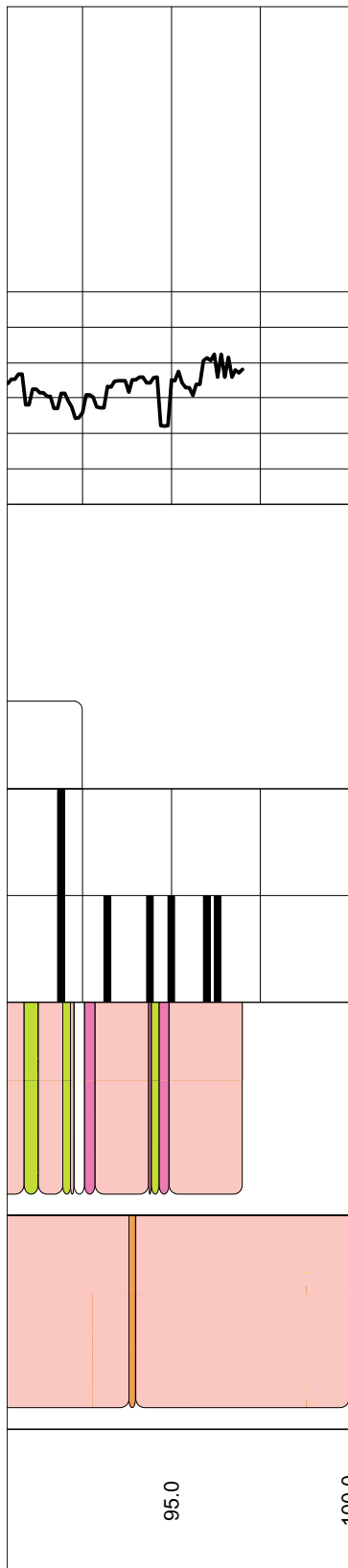
- /1/ Nilsson P, Gustafsson C, 2003.** Geophysical, radar and BIPS logging in borehole KSH01A, HSH01, HSH02 and HSH03. SKB P-03-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /2/ Mattsson H, Thunehed H, 2003.** Measurements of petrophysical parameters on rock samples during autumn 2002. SKB P-03-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /3/ Nisca D, 1987.** Aerogeophysical interpretation bedrock and tectonic analysis. SKB HRL Progress Report 25-87-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /4/ Nisca, D, 1988.** Geophysical laboratory measurements on core samples from KLX01, Laxemar and KAS02, Äspö. SKB HRL Progress Report 25-88-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /5/ Sehlstedt S, 1988.** Description of geophysical data on the SKB data base GEOTAB. SKB TR 88-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Pseudogeological interpretation of geophysical borehole logging data in the percussion drilled part of KSH01A (0–100 m)**









### Kort manual för program utvecklade av GeoVista AB för tolkning av geologi från geofysiska loggar

#### GeoVista AB Hans Thunehed

##### Allmänt:

Programmen är skrivna i Fortran 90 och kompilerade och länkade med Compaq Visual Fortran version 6.6. Programmen är utvecklade som s.k. Quick-Win-applikationer och startas därför lämpligen från ett kommandofönster (DOS-Prompt) genom att namnet på programmet skrivs. För att detta ska fungera måste programmet finnas på aktuell filkatalog eller (bättre) så kopieras alla program till en katalog som anges i PATH-variabeln i autoexec.bat. Indata och utdata från programmet är i huvudsak namn på datafiler. Dessa måste anges med fullständig sökväg (t.ex. c:\data\testomrade\bearb\ABC01\sonic.dat) eller (bättre) så körs programmet från den katalog där datafilerna finns.

Nedan följer en kort beskrivning och instruktion för respektive program (i bokstavsordning).

#### *4thdiff*

Detta program uppskattar brusnivåer i data genom beräkning av normerad fjärdedifferens. Beräkningen kan göras för delsektioner av borrhålet. Användaren anger längden på sektionerna i antal mätpunkter (t.ex. 500 punkter och 0.1 m punktavstånd ger sektionenslängd 50 m). Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionenskoordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. I en utdatafil skrivs följande ut: sektionernas start-, slut- och mittkoordinat samt fjärdedifferensens varians och standardavvikelse.

#### *Average*

Detta program medelvärdesfilterar data och uppskattar dessutom brusnivåer i data genom beräkning av residualen efter filtrering. Brusuppskattningen kan göras för delsektioner av borrhålet. Användaren anger längden på sektionerna i antal mätpunkter (t.ex. 500 punkter och 0.1 m punktavstånd ger sektionenslängd 50 m). Filtrering i linjär eller logaritmisk skala anges. Vid filtrering i logaritmisk skala fås variansen i dekader och standardavvikelsen i % i utdatafilen.

Det är möjligt att undvika att kraftiga geologiska anomalier och outliers påverkar brusuppskattningen genom att ett visst antal % av de största och minsta (negativa) residualvärdena stryks. Filtrets längd anges av användaren. Filtret kan antingen vara ett rent medelvärdesfilter eller ett filter med högre vikt för centrala punkter ("tapered filter", relativa vikter = 1,2,3 ... (filterlängd/2+0.5) ... 3,2,1).

Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionenskoordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Två utdatafiler anges. I den ena hamnar den filtrerade datakolumnen. I den andra utdatafilen skrivs följande ut: sektionernas start-, slut- och mittkoordinat samt residualens varians och standardavvikelse.

### ***Calib***

Detta program kalibrerar mätdata genom att ett regressions samband mellan loggdata och petrofysiska (eller andra tillämpbara) mätningar beräknas. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionsskoordinat. Eventuella textrader i filen ignoreras. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Dessutom anges en kalibreringsfil. Denna utgörs av en ASCII tabellfil där den första kolumnen utgörs av okalibrerade loggdata vid provtagningspunkter och den andra kolumnen utgörs av petrofysiska mätningar på kärnan (eller motsvarande). Användaren anger om minsta-kvadrat-summa eller minsta-absolutvärde-summa ska användas som norm vid anpassningen av kalibreringssamband. Den senare är mer okänslig för outliers. Dessutom väljer man mellan linjär, linjär genom origo eller kvadratisk (endast minsta-kvadrat) anpassning. Regressionskoefficienternas värde skrivs ut på skärmen och därefter kalibreras angiven kolumn i indatafilen och resultatet skrivs ut på en utdatafil. Notera att kalibreringsfilen kan bygga på mätdata från ett annat borrhål.

### ***Despike***

Detta program söker efter outliers i data och ersätter dessa med interpolerade värden från omgivningen. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionsskoordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Algoritmen baserar sig på beräkning av andraderivata (krökning). Flera på varandra följande felaktiga men ungefär lika stora mätvärden hanteras därför inte. Den filtrerade datakolumnen skrivs ut på en utdatafil.

### ***Drift\_susc***

Detta program uppskattar drift i susceptibilitetsloggdata orsakad av t.ex. temperaturvariationer och korrigerar för denna drift. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionsskoordinat. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Algoritmen förutsätter att petrofysiska data finns tillgängliga. Dessa ska finnas i en fil med tre kolumner: 1/ sektionsskoordinat 2/ Uppmätt susceptibilitet på kärnan 3/ Värde från susceptibilitetsloggen. Programmet förutsätter att loggen redan är kalibrerad. Den korrigerade datakolumnen skrivs ut på en utdatafil. Notera att loggen kan vara kalibrerad med hjälp av data från ett annat hål. För att algoritmen ska lyckas identifiera driften är det viktigt att petrofysiska data från lågmagnetiska prover finns från olika delar av hålet.

### ***Fract\_det***

Detta program identifierar anomalier som kan vara orsakade av sprickor. Det kan användas på loggar där sprickor ger upphov till mer eller mindre symmetriska anomalier som sammanfaller med sprickan i fråga. Exempel på sådana loggar är sonic, caliper och single point resistance (SPR). Resistivitetsdata ska inte vara logaritmerade. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionsskoordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Algoritmen baserar sig på beräkning av andraderivata (krökning). Algoritmen arbetar i följande steg där delresultaten skrivs ut på en utdatafil: 1/ Andraderivatans beräknas genom filtrering och normeras mot sin egen standardavvikelse 2/ Värdena filtreras med ett medelvärdesfilter 3/ Alla punkter i närheten av ( $\pm 4$  mätpunkter) lokala maxima sätts till noll. 4/ Lokala maxima jämförs med ett tröskelvärde. Om värdet är större än tröskelvärdet blir resultatet 1 annars 0. Utdatafilen har kolumner för sektionsskoordinat, originaldata samt resultaten av de fyra stegen ovan.

### ***Fract\_group***

De sprickor som identifierats med hjälp av *fract\_det*, *fract\_latres* och *fract\_normres* vägs samman med detta program. I en listfil anges indata som: en rad med namn på utdatafil från något av ovanstående program och en rad som anger i vilken kolumn binära sprickdata finns och vilket viktffaktor som ska multipliceras med dessa binära data. Dessa uppgifter kan sedan upprepas ett godtyckligt antal gånger. Det är t.ex. möjligt att använda sonicloggen två gånger med olika tröskelvärden och eventuellt med olika vikter för att skilja kraftiga anomalier från svagare.

Exempel på listfil:

```
spr1_5.dat    - namn på indatafil
6            - kolumnnummer med binära sprickdata
1           - viktffaktor
spr2_0.dat    - namn på nästa indatafil osv...
```

Filerna behöver inte täcka exakt samma del av borrhålet. Den första filen i listan används dock för initiering av vissa interna parametrar och måste därför täcka större delen av aktuellt område i hålet. Om sprickidentifiering har gjorts på närliggande ( $\pm 2$ ) mätpunkter slås de samman till den mittersta positionen.

### ***Fract\_latres***

Detta program identifierar anomalier i lateral resistivitet som kan vara orsakade av sprickor. Denna logg ger upphov till asymmetriska anomalier och ett dekonvolveringsfilter har beräknats. En förutsättning för att filtret ska fungera är att avståndet mellan strömelektroden och den närmaste potentialelektroden är 16 gånger mätpunktsavståndet. Nya filterkoefficienter måste beräknas för andra geometrier. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionskoordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Resistivitetsdata ska inte vara logaritmerade, detta görs internt i programmet. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Algoritmen arbetar i följande steg där delresultaten skrivs ut på en utdatafil: 1/ Filtrering sker och resultatet normeras mot sin egen standardavvikelse 2/ Värdena filtreras med ett medelvärdesfilter 3/ Alla punkter i närheten av ( $\pm 4$  mätpunkter) lokala maxima sätts till noll. 4/ Lokala maxima jämförs med ett tröskelvärde. Om värdet är större än tröskelvärdet blir resultatet 1 annars 0. Utdatafilen har kolumner för sektionskoordinat, originaldata samt resultaten av de fyra stegen ovan.

### ***Fract\_normres***

Detta program identifierar anomalier i normal resistivitet som kan vara orsakade av sprickor. Denna logg ger upphov till anomalier som består av dubbla kurvaturmaxima. Kurvatur (andradderivata) beräknas genom filtrering. De värden som motsvarar ett avstånd lika med elektrodavståndet multipliceras sedan med varandra. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionskoordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Algoritmen arbetar i följande steg där delresultaten skrivs ut på en utdatafil: 1/ Filtrering och multiplikation sker och resultatet normeras mot sin egen standardavvikelse 2/ Värdena filtreras med ett medelvärdesfilter 3/ Alla punkter i närheten av ( $\pm 4$  mätpunkter) lokala maxima sätts till noll. 4/ Lokala maxima jämförs med ett tröskelvärde. Om värdet är större än tröskelvärdet blir resultatet 1 annars 0. Utdatafilen har kolumner för sektionskoordinat, originaldata samt resultaten av de fyra stegen ovan.



### *Integr\_fract*

Detta program tar fram sektioner med likartad sprickfrekvens från identifierade sprickor med *Fract\_\**-programmen (kolumn 5) via *sumImsect*. Minsta sektionens längd är 5 m varför indata ska vara medelvärdesbildade till samma längd. Kalibreringssambandet mellan indata och karterad sprickfrekvens beskrivs med en power-funktion:

$$\text{Sprickfrekv} = A \cdot \text{indata}^B$$

Koefficienterna A och B är hårdkodade i nuvarande version av programmet. Indatafilen är en ASCII-fil där den första kolumnen utgör koordinat och den andra kolumnen är indata. Indata kan vara ett viktat medelvärde från flera loggmetoder. Utdatafilen är anpassad för plottning i WellCad.

### *Maxlikely*

Detta program utför maximum-likelihood-klassificering av loggdata. Programmet använder sig av  $\gamma$ - $\gamma$ -, naturlig  $\gamma$ -, magn.susc- och soniclogg. Indata specificeras i en listfil. Ett exempel på en sådan kan ses nedan (rader som börjar med \*\* är kommentarer). Indatafilen är en ASCII-fil med kolumner för loggarna ovan och dessutom sektionens koordinat i den första kolumnen. Det kan vara en god idé att medianfiltrera loggarna innan klassificeringen.

För klassificeringen krävs att kovarianser mellan de olika loggtyperna finns beräknade. Dessa kan fås genom att en fil med petrofysikdata anges i listfilen. Denna ska innehålla kolumner för sektionens koordinat, magn. susc., densitet, naturlig  $\gamma$ -strålning, sonic och bergartskod. Om petrofysikdata inte finns för någon av loggarna (t.ex. naturlig  $\gamma$ -strålning) kan de ersättas med mätvärden från loggdata på positioner med kända bergarter ("training areas"). Programmet beräknar sedan skalerade kovariansmatriser för samtliga bergartstyper och sparar dessa under ett filnamn som anges i listfilen. För att klassificeringar från olika borrhål ska vara helt jämförbara är det dock att föredra att samma kovariansmatriser används för alla hål. Om en existerande kovariansfil finns med det namn som anges i listfilen så läses data från denna.

Om kovariansdata läses från fil krävs inte någon petrofysikfil. I så fall anges den med namnet None i listfilen. Om en petrofysikfil ändå anges används positionerna för provtagning för att normera probability-värden. Detta kan krävas eftersom petrofysikdata inte är normalfördelade vilket egentligen är en förutsättning för metoden. Programmet kommer att uppdateras så att denna normering görs på samma sätt för alla hål i ett undersökningsområde. Detta kräver dock utvärdering av ett eller ett par hål först.

Probability (sannolikhets) värden skrivs ut kolumnvis för alla bergarter i den fil som anges i listfilen. I den andra utdatafilen delas den loggande sektionen in i delar beroende på vilken bergart som har det högsta probability-värdet. Om alla bergarter har låga värden anges endast *uncl* (unclassified).

Exempel på listfil:

```
klx01.dat      - namn på indatafil med loggdata
prob.dat      - namn på utdatafil med sannolik bergart
maxlikely.dat - namn på utdatafil med bergartsklassificering
covar.dat     - namn på covariansmatris-filen (skapas om den ej finns)
** Training data; petrophysical measurements on samples
** or training sections in borehole:
** 1st column: coord, 2nd: susc, 3rd: dens, 4th: nat-gamma, 5th: sonic
samples.dat
```

\*\*\*\*\*

\*\* Column numbers in input file for density, suscept,  
\*\* nat-gamma and sonic logs. Coordinate is assumed to  
\*\* be first column  
2,3,4,5

### ***Median***

Detta program medianvärdesfilterar data och uppskattar dessutom brusnivåer i data genom beräkning av residualen efter filtrering. Brusuppskattningen kan göras för delsektioner av borrhålet. Användaren anger längden på sektionerna i antal mätpunkter (t.ex. 500 punkter och 0.1 m punktavstånd ger sektionslängd 50 m). Det är möjligt att undvika att kraftiga geologiska anomalier och outliers påverkar brusuppskattningen genom att ett visst antal % av de största och minsta (negativa) residualvärdena stryks. Filtrets längd anges av användaren. Indatafilen ska vara en ASCII-fil i tabellformat där den första kolumnen utgör sektionens koordinat. Ekvidistant sampling är underförstådd. Godtycklig kolumn i datafilen kan hanteras. Eventuella textrader i filen ignoreras. Två utdatafiler anges. I den ena hamnar den filtrerade datakolumnen. I den andra utdatafilen skrivs följande ut: sektionernas start-, slut- och mittkoordinat samt residualens varians och standardavvikelse.

### ***Rho3\_appror***

Detta program korrigerar resistivetsloggar för avvikelse från den idealiserade geometri som används vid beräkning av skenbar resistivitet. Korrektion görs alltså för sondens ( $\rho_1$ ) och borrhålsvätskans ( $\rho_2$ ) resistivitet och att elektroderna är ringformade och inte punkter. Den verkliga resistiviteten av berggrunden ( $\rho_3$ ) beräknas alltså. Ett par antaganden har dock gjorts: 1/ Bergmassan betraktas som homogen och isotrop 2/ Cylindrisk symmetri förutsätts, d.v.s. sonden är centrerad i borrhålet och håldiametern är konstant. Med hjälp av data om vätskans resistivitet beräknas dessutom en skenbar porositet med hjälp av Archie's lag. Detta förutsätter att en anpassning till denna har gjorts med hjälp av petrofysikdata. Programmet använder en enkel pol-pol-konfiguration för beräkningarna. Eftersom alla andra konfigurationer kan fås genom superposition från pol-pol har programmet förberetts för att kunna räkna på alla förekommande elektrodkonfigurationer. Tester har dock bara kunnat göras på normal och lateral konfiguration.

Programmet läser information om mätsystem och data från några filer. På aktuell katalog ska en fil med namnet *log\_electrodes.dat* finnas. Den innehåller information om elektrodkonfigurationen. Ett exempel följer nedan:

```
1
0.0
1.0
2
1.6256, 1.7272
0.0437
```

Den första raden anger antalet strömelektroder i sonden medan den andra raden anger positionen av dessa elektroder relativt en godtycklig referenspunkt (i meter). Den tredje raden anger den relativa strömstyrkan för respektive strömelektrod (alltid 1.0 utom för fokuserade loggar). Den fjärde raden anger antalet potentialelektroder och den femte positionen av dessa relativt samma referens som strömelektroderna. Den sista raden anger sondens diameter (i meter).

På aktuell katalog ska dessutom en fil med namnet *datstruc.dat* finnas. Exempel följer nedan

klx01lat.dat

1  
4  
3  
4  
2

Den första raden anger namnet på filen med mätdata. Nästa rad anger antalet rader i början på mätdatafilen som inte ska användas (kommentarer, mätningar ovan gvy etc.). Tredje raden anger antalet kolumner i mätdatafilen och sedan följer kolumnnummer för skenbar resistivitet, vätskeresistivitet och borrhålsdiameter. Den första kolumnen förutsätts ange sektionens koordinat.

På aktuell katalog ska också en fil finnas (*inArchie.dat*) som anger de konstanter i Archie's lag som erhållits vid anpassning till petrofysikdata. Filen har tre rader för  $a$ ,  $\sigma_s$  och meter i Archie's lag (se nedan). Värdet för  $\sigma_3$  tas från korrigerade loggdata och  $\sigma_w$  från vätskeresistivitetsloggen.

$$\sigma_3 = a \cdot \sigma_w \cdot \phi^m + \sigma_s \quad (\text{Archie's lag})$$

där  $\sigma_3$  är bergets bulkkonduktivitet (i den berörda volymen),  $\sigma_w$  är porvätskans konduktivitet,  $\phi$  är porositeten,  $\sigma_s$  är ytkonduktivitet medan  $a$  och  $m$  är konstanter. Programmet räknar ut porositeten som kan betecknas som skenbar på grund av de förenklingar och anpassningar som gjorts.

Användaren anger en utdatafil där korrigerade resistivitetsvärden och skenbar porositet skrivs ut.

### **Resamp**

Detta program samplar om data. Nya koordinater kan antingen anges som start- och slutvärde och ekvidistant intervall eller så kan koordinater läsas från en mall ("template"). Efterfrågade koordinater som ligger utanför det intervall som täcks av indata ignoreras.

Programmet frågar efter en indatafil där den första kolumnen utgörs av sektionens koordinat (förutsätts vara ekvidistant eller åtminstone nära). Flera av de följande kolumnerna kan samplas om samtidigt. Sedan anges vilken av de två optionerna ovan som önskas. Om ett "template" ska användas anges ett filnamn. Denna fil behöver bara bestå av en kolumn som utgörs av koordinater där nya värden efterfrågas. En utdatafil anges där omsamlade data skrivs ut.

### **Sildens**

Detta program beräknar silikatdensitet utgående från  $\gamma$ - $\gamma$ - och magnetisk susceptibilitetsloggar. En indatafil och kolumnnummer anges. Silikatdensitet skrivs ut på en utfil.

### **SumImsect**

Detta program medelvärdebildar och sektionerar värden i en kolumn i en indatafil och skriver ut resultatet i en utdatafil. Medelvärdesbildningen görs i valfri sektionenslängd. En undre tröskelgräns på hur små värden som ska tas med i beräkningen kan anges. Den typiska användningen av programmet är att preparera indata till *Integr\_fract*.

## ***Thresh***

Detta program utför klassificering av loggdata baserat på tröskelvärden. Programmet använder sig av  $\gamma$ - $\gamma$ -, naturlig  $\gamma$ - och magn.susc-logg. Indata specificeras i en listfil. Ett exempel på en sådan kan ses nedan (rader som börjar med \*\* är kommentarer). Indatafilen är en ASCII-fil med kolumner för loggarna ovan och dessutom sektionenkoordinat i den första kolumnen. Det kan vara en god idé att medianfiltrera loggarna innan klassificeringen.

```
** Input file name
klx01.dat
** Output file of threshold classification
pseudo_geol.dat
** File with threshold values
thresh.dat
** Column numbers for density, susceptibility and natural gamma logs in input file
** Coordinate is assumed to be in first column
2,3,4
```

Tröskelvärdena specificeras i en textfil. Ett exempel kan ses nedan:

densmin	densmax	suscmin	suscmax	gammamin	gammamax	code
+2658	-2813	+0.004	null	+10.3	-35.7	PSE
+2783	-2977	null	-0.005	null	-18.5	VB
+2571	-2704	null	-0.005	+30.3	null	HSC
null	null	null	-0.004	null	null	PSEIm
null	null	null	null	null	null	uncl

Varje rad svarar mot en möjlig bergart. Ordningen i filen är hierarkisk så att en mätpunkt som uppfyller två eller flera bergarters tröskelvärden tilldelas den kod som står först i listan av dessa. Filen ska tolkas på följande sätt: Mätvärdet jämförs med respektive tröskelvärde. I detta fall ska densiteten vara större än (eller lika med) 2658 och mindre än (eller lika med) 2813 för att uppfylla densitetsvillkoret för granit, PSE. Om "null" är angivet som tröskelvärde bortfaller motsvarande villkor. Om alla villkor är uppfyllda för den bergart som står först i listan tilldelas mätpunkten denna kod, om inte går man vidare till nästa rad i listan. Den sista raden i listan bör bestå av enbart null-värden och ha en kod för oklassificerade data för att fånga upp mätpunkter som inte passar ihop med någon bergart i listan. Mätpunkter som gränsar till varandra och som har tilldelats samma kod grupperas ihop till sektioner och dessa sektioner skrivs ut på utdatafilen.

## ***Train\_sect***

Detta program skapar kovariansmatriser för senare användning med *Maxlikely*. Dessutom beräknas P-värden (sannolikhet) för att en viss bergartstyp ska finnas på en viss position. Den typiska användningen av detta program är att ta fram petrofysisk information direkt från borrhålsloggar för bergarter, omvandlingar mm. som där vanlig petrofysik saknas. Programmet styrs med hjälp av en listfil enligt nedan (rader som börjar med \*\* är kommentarer). En indatafil innehåller loggdata medan en annan anger en eller flera sektioner längs borrhålet där aktuell bergart förekommer. En utdatafil med P-värden skapas och i en annan utdatafil skrivs medelvärden och kovarianser ut (viktade). Dessutom skrivs petrofysikdata för träningssektionerna ut för att möjliggöra uppritning av scattergram.

Listfil:

\*\*\*\*\*

\*\* File with borehole geophysical data:

klx01.dat

\*\*\*\*\*

\*\* File with secup, seclo for training sections:

PSElm\_train.dat

\*\*\*\*\*

\*\* Output file for covariance and pseudo-petrophysical data:

PSElm\_cv.dat

\*\*\*\*\*

\*\* Output file for P-values:

P\_PSElm.dat

\*\*\*\*\*

\*\* Column numbers in input file for density, suscept,  
\*\* nat-gamma and sonic logs. Coordinate is assumed to  
\*\* be first column  
2,3,4,5