



# Evaluation of a natural stone prospect in Finnish Lapland

– the Mutsoiva massive-type mica schist

---

Risto Vartiainen

# Evaluation of a natural stone prospect in Finnish Lapland – the Mutsoiva massive-type mica schist

**YHTEENVETO:** Kohteelliset rakennuskivitutkimukset Mutsoivan massiivistyyppisellä liuske-esiintymällä Sodankylässä

Risto Vartiainen  
Geological Survey of Finland  
P.O.Box 77  
FIN-96101 Rovaniemi  
E-mail: risto.vartiainen@gtk.fi

ISBN 978-952-68554-3-1  
Layout: Sonck-Koota

Editorial handling: Olavi Selonen (olavi.selonen@abo.fi)

Publisher: The Finnish Natural Stone Association  
P.O.Box 381, FIN-00131 HELSINKI  
[www.suomalainenkivi.fi](http://www.suomalainenkivi.fi)

Front cover. Outcrop of the Mutsoiva massive-type mica schist. Photo: Risto Vartiainen.  
Kansikuva. Mutsoivan massiivisen kiilleliuskeen kalliopaljastuma. Kuva: Risto Vartiainen.

2017

## CONTENTS

1	Introduction .....	2
2	Geological outline.....	2
3	Methods of study .....	3
3.1	Mapping and sampling .....	3
3.2	Geophysical measurements.....	3
3.2.1	Ground penetrating radar (GPR) .....	6
3.3	Diamond core drilling .....	6
3.4	Thermal measurements.....	6
4	Results.....	6
4.1	Lithology, structures and vertical fracturing .....	6
4.2	Test processing .....	8
4.3	Geophysical measurements.....	8
4.3.1	GPR investigation.....	10
4.4	Drill core investigations.....	11
4.4.1	Lithology and density of horizontal fractures .....	11
4.4.2	Test processing .....	12
4.4.3	Petrophysical measurements .....	12
4.5	Borehole video monitoring .....	12
4.6	Thermal tests.....	12
5	Feasibility of profitable quarrying of the Mutsoiva massive schist .....	12
6	Conclusions.....	13
	Acknowledgements .....	14
	References .....	14
	Yhteenveto: Kohteelliset rakennuskivitutkimukset Mutsoivan massiivistyyppisellä liuske-esiintymällä Sodankylässä .....	16
	Appendices .....	21

## 1 INTRODUCTION

Granite, soapstone, schist, and marble are natural stone types produced in Finland. Granite and marble are quarried as large “rough” blocks, which are later processed into different products in Finland or abroad. Soapstone is also quarried as (small) blocks, but is directly manufactured in processing plants near the quarries for products used mainly in ovens and fireplaces. Schist is extracted as thin slabs and used as such, e.g. in environmental and indoor construction.

Schist in the industrial classification indicates that it easily splits into thin natural slabs. Instead, massive schists (or gneisses) are sound enough to be quarried as large blocks, and are classified as granites. Massive schists are rare stone qualities among the Finnish granites, the most famous being “Lappia Silver”/“Diamond Fall” from eastern Finland and “Silver Flame” from central Finland. During the recent years, the interest for these stones has increased, and prospects have been identified in eastern and northern Finland (e.g. Leinonen 2011, Vartiainen & Lintinen 2014). The popularity of the stones is based on their unique 3D-like appearances, often connected to folding or occurrence of porphyroblasts.

Natural stone evaluation is a step by step process with the aim of locating prospects for natural stone production. The process and the methods has recently been studied, e.g. by Härmä & Selonen (2008), Heikkinen et al. (2012), Selonen et al. (2014), Luodes et al. (2014), Luodes (2015), Luodes et al. (2015), and Sousa et al. (2016). Two main phases can be discerned, a regional exploration phase and a detailed prospect investigation. Methods in the evaluations include, e.g. mapping, sampling, geophysical methods (e.g. ground penetrating radar), and core drilling.

The massive Mutsoiva mica schist is situated in the municipality of Sodankylä in Finnish Lapland (Fig. 1). It was localized during a regional exploration project (“Dimension Stone Project in Central Lapland”) carried out by the Geological Survey of Finland, GTK. The schist was found out to have potential for further investigation due to

its attractive appearance with a silvery lustre on the rock surfaces.

The Mutsoiva mica schist has previously been described in VTT (2004), Vartiainen (2005), Lanne (2007), Vartiainen et al. (2008), and Luodes (2015). In this comprehensive report, the evaluation methods used during the detailed prospect examination in Mutsoiva are described and analysed, especially regarding their suitability for assessment of a massive-type schist. I will also discuss the feasibility of the prospect. A paper on a massive schist as natural stone prospect has not previously been published in Finland.

## 2 GEOLOGICAL OUTLINE

The prospect area\* is covered by a bedrock map in scale of 1:400 000 (Mikkola 1936, 1941) and by a later mapping in scale of 1:100 000, made by the GTK. The results of the mappings are available in the GTK digital map database (Bedrock of Finland - DigiKP) (Fig. 2). The lithological and geological features of the area has been studied by Mattila (1974), the metamorphic facies by Rask (1978), and the tectono-metamorphic evolution by Leppänen (1985) and Hölttä & Väisänen (1999).

The prospect area is located in the eastern part of the Central Lapland schist belt and belongs to the Orakoski formation of the early Proterozoic Sodankylä group (Lehtonen et al. 1998, Hanski & Huhma 2005, Räsänen 2008). The formation consists mainly of arkose and sericite quartzites and stratigraphically overlaying Al-rich mica schists and phyllites (Fig. 2). The bedrock shows polyphase deformation, including amphibolite facies metamorphism (Leppänen 1985, Hölttä & Väisänen 1999). The quartzites and the mica schists are cut by 2.2 Ga old diabase dykes, which are found towards the east of Mutsoiva in nearby outcrops (Leppänen 1985).

---

\* The prospect area is privately owned, and the land-owner has been agreeable to all investigations made in the area.



**Figure 1.** Geographical location of the Mutsoiva mica schist.

**Kuva 1.** Mutsoivan maantieteellinen sijainti.

### 3 METHODS OF STUDY

#### 3.1 Mapping and sampling

The outcrop surfaces which were thinly covered, were exposed manually and by machines, and then washed (Fig. 3). Rock types as well as the type and density of fractures were mapped in detail.

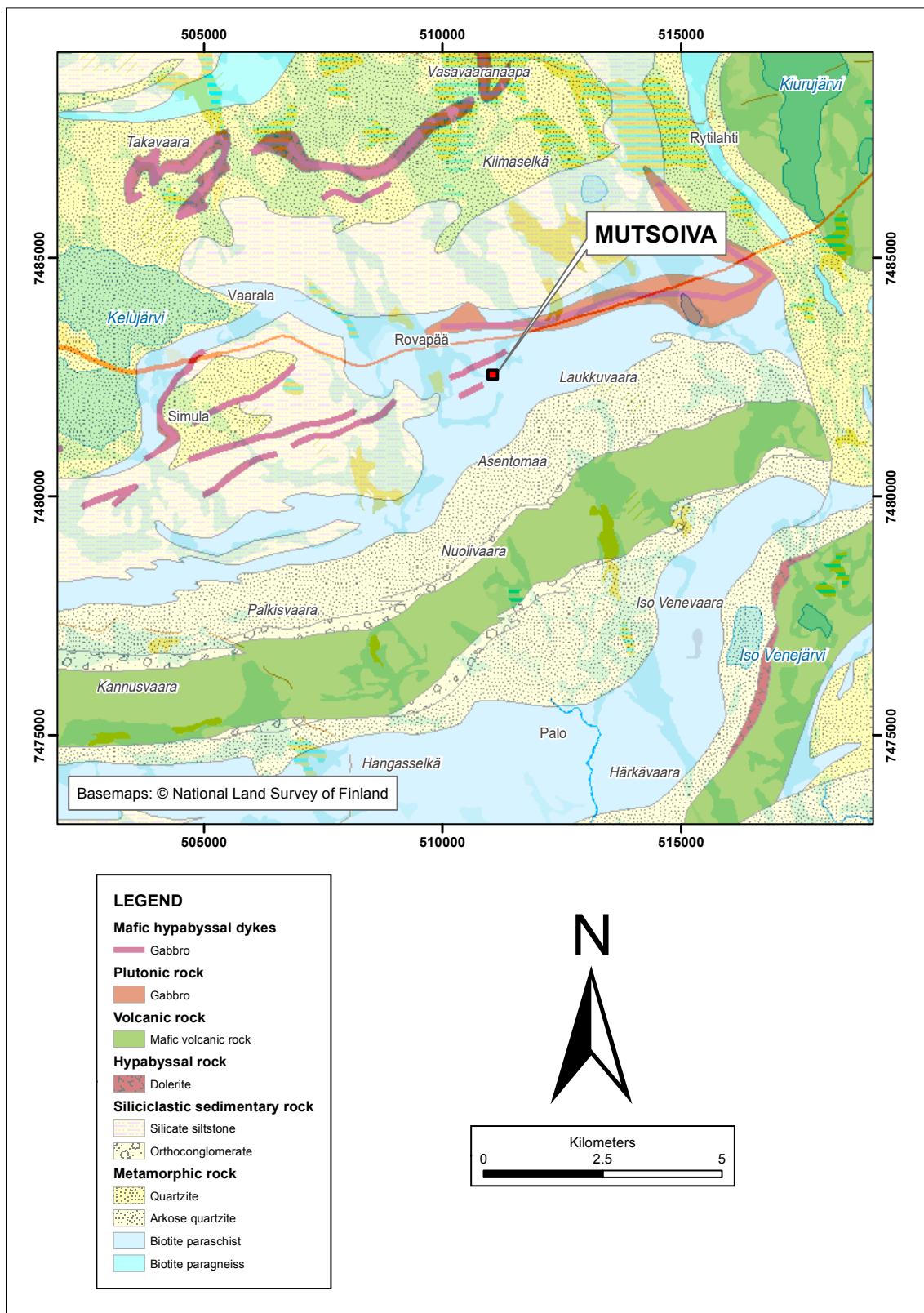
Rock samples loosened by wedging or blasting were taken from four locations (Fig. 4, App. 1). Several test slabs in sizes of A5 to A3 were made from the samples in order to find out the sawability

and machinability of the rock, as well as to study the appearance of the rock and the effect of the different surface treatments on the appearance.

The mineralogical composition of the rock was determined by point counting (500 points per thin section).

#### 3.2 Geophysical measurements

The prospect was investigated with magnetic, electromagnetic VLF-R and EM31, and seismic ground survey methods in order to examine the



**Figure 2.** Location of the study area on a general geological map. Bedrock of Finland - DigiKP. Digital map database. Version 2.1. Geological Survey of Finland, GTK.

**Kuva 2.** Tutkimusalueen sijainti yleisgeologisella kartalla. Suomen kallioperä - DigiKP. Digitaalinen karttatiotokanta. Versio 2.1. Geologian tutkimuskeskus, GTK.



**Figure 3.** Washing of the outcrop surface. Photo: Risto Vartiainen.

**Kuva 3.** Kalliointojen pesua. Kuva: Risto Vartiainen.



**Figure 4.** Sampling by blasting. Photo: Risto Vartiainen.

**Kuva 4.** Näytteenottoa räjäytämillä. Kuva: Risto Vartiainen.

soundness of the rock and the applicability of the methods while studying the properties of a massive-type schist prospect. The magnetic and the VLF-R measurements were carried out along traverses with 5 m point interval and 20 m traverse interval (App. 1). The area of the systematic measurements was 100 x 160 m (App. 1). Additional measurements were done along two 500 m long traverses, reaching over the whole prospect area, and crosscutting each other (App. 1).

Seismic ground surveys were done along five traverses, the length of which varied 100–300 m (App. 1). Geophones were in general five meters apart, except for the vicinity of the blasting points, where they were 2.5 meters apart.

### 3.2.1 Ground penetrating radar (GPR)

The subsurface fracturing of the prospect was also studied with a ground penetrating radar (GPR) along the same traverses as for the other geophysical methods (App. 2). 518 meters of GPR measurements were conducted along seven traverses both parallel and perpendicular to the schistosity of the mica schist. Equipment was GSSI SIR-3000 central unit with 200 MHz antenna with depth penetration of 8–10 m.

### 3.3 Diamond core drilling

A total of twelve cored boreholes were drilled for study of the appearance and the soundness of the prospect. The aim was to place them along the same traverses as for the geophysical methods but it was not always possible due to topographical reasons (App. 2). Altogether 260 meters were drilled to the depths of 17.20–31.70 m. All the boreholes were drilled in direction from north to south with a dip of 80°. Hole diameter was 76 mm. The drill core samples were logged in detail and results were shown in fracture histograms to describe the soundness of the rock in each drill hole.

All the fractures and their character (rust, weathering etc.) were observed as well as the dip relative to the plane perpendicular to the hole

direction. Histograms were designed to show the fracture density by each meter of the drill core. The real dip direction could not be measured because no oriented samples were taken. In the histograms, all fractures are shown as horizontal fractures.

Several samples almost from every drill core were cut parallel to the schistosity in order to assess the intensity of the lustre of the rock. The samples were mainly matt polished, on some samples also brushing and polishing was tested.

Petrophysical measurements were carried out on the drill cores. Density, magnetic susceptibility and intensity of remanent magnetization, and electrical resistivity (0.1, 10, and 500 Hz) were measured after each meter of the drill core. Resistivity could not be measured in some of the samples.

Fractures were also monitored by video in three drill holes and the results were compared with observations made from the core samples. Fracture histograms were constructed in the same manner as for the fractures from the drill cores, and the histograms were compared with each other.

### 3.4 Thermal measurements

In order to study the suitability of the Mutsoiva mica schist for use in ovens and fireplaces, thermal tests were carried out at the VTT Technical research centre of Finland LTD.

## 4 RESULTS

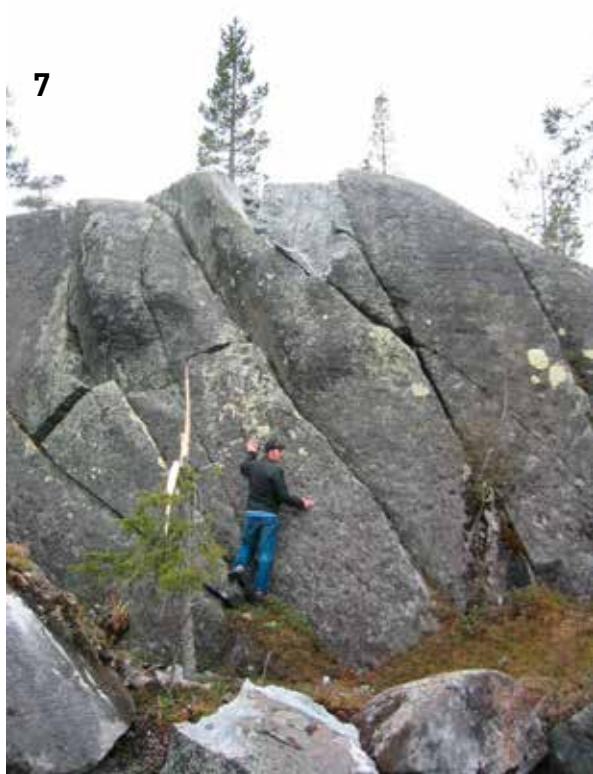
### 4.1 Lithology, structures and vertical fracturing

The Mutsoiva prospect area measures approx. 300 x 100 m. The prospect can be easily reached from the main road. The distance to the nearest forest road is approx. 60 m, to the nearest village approx. 10 km, and to the municipality centre of Sodankylä approx. 35 km (Fig. 1).

The prospect area is relatively well-exposed and comprises smooth, even, and rounded outcrop

surfaces (Fig. 5), but also some blocky and covered parts. The most central parts of the prospect are totally exposed, or covered only by a thin cover of soil (Fig. 6). The elevation from the lowest to the highest point of the prospect is approx. 20 m. The outcrop surfaces are in general rounded, except for the absolute eastern part where a precipice rises with an elevation of 7–8 m (Fig. 7).

The Mutsoiva prospect is a porphyroblast bearing mica schist. The main minerals of the rock are muscovite, quartz, plagioclase, and chlorite (Table 1). The porphyroblasts are composed of kyanite, plagioclase, or staurolite. The rock contains visible magnetite and is typically magnetic measured with a hand-held magnetometer. The Mohs hardness (4.7) is relatively low due to the high amount of muscovite and chlorite.



**Figure 5.** Smooth and rounded outcrop surfaces of the Mutsoiva mica schist. The picture is taken towards the west. Photo: Risto Vartiainen.

**Kuva 5.** Mutsoivan kiilleiuskeen tasaisia ja laakeita kallionpintoja. Kuva länteen päin. Kuva: Risto Vartiainen.

**Figure 6.** The central parts of the Mutsoiva mica schist are totally exposed or covered only by a thin soil cover. Note the rectangular pattern of vertical fracturing. The picture is taken towards the southeast. Photo: Risto Vartiainen.

**Kuva 6.** Mutsoivan kiilleiuske-esiintymän keskeiset osat ovat täysin paljastuneita tai vain ohuen sammaleen peitossa. Huomaa suorakulmainen pystyrakoilu. Kuva kaakkoon päin. Kuva: Risto Vartiainen.

**Figure 7.** The steep rock face in the eastern part of the Mutsoiva prospect. Note the curving of the longitudinal vertical fractures. The picture is taken towards the west. Photo: Risto Vartiainen.

**Kuva 7.** Mutsoivan itäosan jyrkänne, jossa näkyy joidenkin pitkittäisrakojen kaartumista. Kuva länteen päin. Kuva: Risto Vartiainen.

**Table 1.** Mineral composition and Mohs hardness of the Mutsoiva mica schist.**Taulukko 1.** *Mutsoivan kiileliuskeen mineraalikoostumus ja Mohs -kovaus.*

Mineral	%	Mohs hardness
Muscovite	32.6	2.5
Quartz	27.4	7.0
Plagioclase	16.0	6.0
Chlorite	11.2	2.5
Opaques	5.6	5.0
Kyanite	5.2	5.0
Staurolite	2.0	7.0
Total	100	

The bedding of the Mutsoiva mica schist strikes SW–NE, and dips vertically (Fig. 8). The rock contains a relatively distinct schistosity parallel to the bedding, but also a weaker cutting schistosity with a strike of approx. 90°. The planes of schistosity are almost always bent into small scale folds.

The general colour of the rock is grey with a silvery lustre on the schistosity planes caused by the small scale folding and the high amount of mica (muscovite).

The vertical fracturing of the rock is typically rectangular (Fig. 6). The longitudinal fractures occur along the elongated outcrop (SW–NE) with the dip direction of 335. The dip is 80–85N, but can also be 80–85S, in places even 155/75. The dip direction of the perpendicular fractures to the longitudinal ones is in general 65/85. Even if the dip of the both fracture directions is more or less vertical, the longitudinal fractures seem to curve deeper down in the outcrop; the dip changes from 85–90° at the surface into 40–50° in the depth of 6–7 meters from the surface (Fig. 7). In places, the vertical fractures can have multiple directions, and the third direction, only occasionally visible, varies from 100/75 to 225/85. The spacing of the longitudinal fractures is 0.5–3 m and of the perpendicular fractures 1–5 m.

The same kind of rock type as in Mutsoiva was found in the adjacent areas as large outcrops but

these are less interesting as natural stone due to a high number of quartz veins cutting them.

#### 4.2 Test processing

The processing tests show that the lustre of the Mutsoiva mica schist appears on the sawed and matt polished surfaces; it is not necessary to polish the rock into a glossy finish to produce it (Fig. 9). However, it is important to cut the rock in the right direction, because the tests indicate that the lustre is as most visible when the rock is cut along either the main or the weaker schistosity.

The sawability of the Mutsoiva mica schist is good even if the quartz content is relatively high (30 %).

#### 4.3 Geophysical measurements

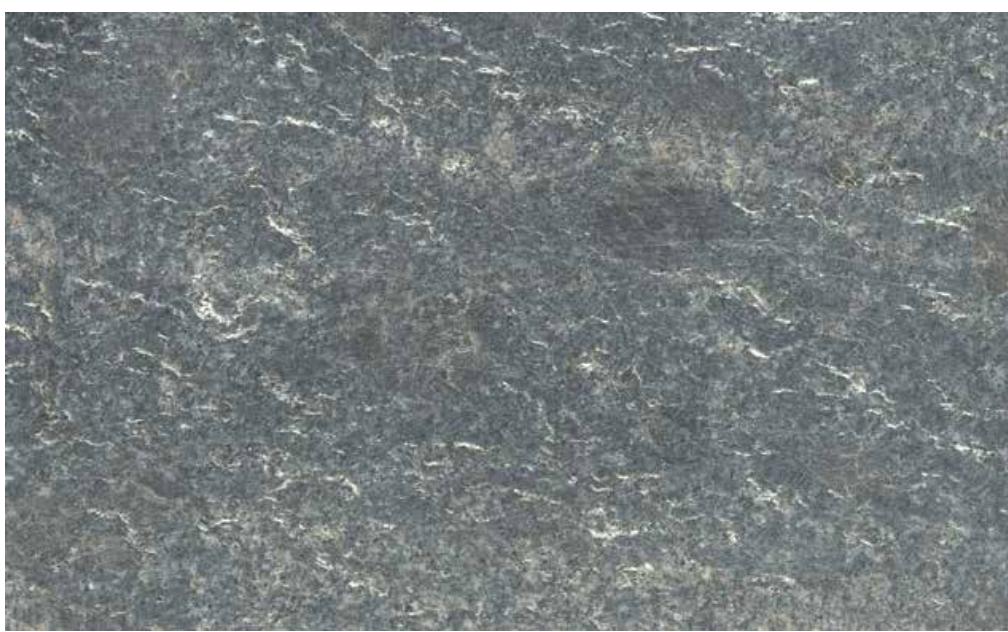
According to the VLF-R measurements the rock is in general sound, but the results indicate that there could be a crushed fracture zone in the southern part of the prospect area, which could diminish the size of the usable part of the prospect.

The ground aeromagnetic data indicate that the prospect area is situated in a local minimum inside of a strong anomaly zone. There are rather large variations in the magnetic properties of the rock, and distinctly high magnetic areas are discernible in the western and eastern parts of the prospect.



**Figure 8.** Vertical bedding in the Mutsoiva mica schist. The picture is taken towards the west.  
Photo: Risto Vartiainen.

**Kuva 8.** Mutsoivan kerroksellista kiilleliusketta. Kuva länteen päin. Kuva: Risto Vartiainen.



**Figure 9.** Matt polished mica schist of Mutsoiva. Area covered by the picture is approx. 15 x 10 cm. Photo scanned from sample.

**Kuva 9.** Mutsoivan mattahiotta kiilleliusketta. Kuvan ala noin 15 x 10 cm. Kuva skannattu suoraan näytteestä.

The results imply that the most magnetic parts of the prospect also are the soundest. However, this correlation is more likely apparent than real (cf. Chapter 4.4.3).

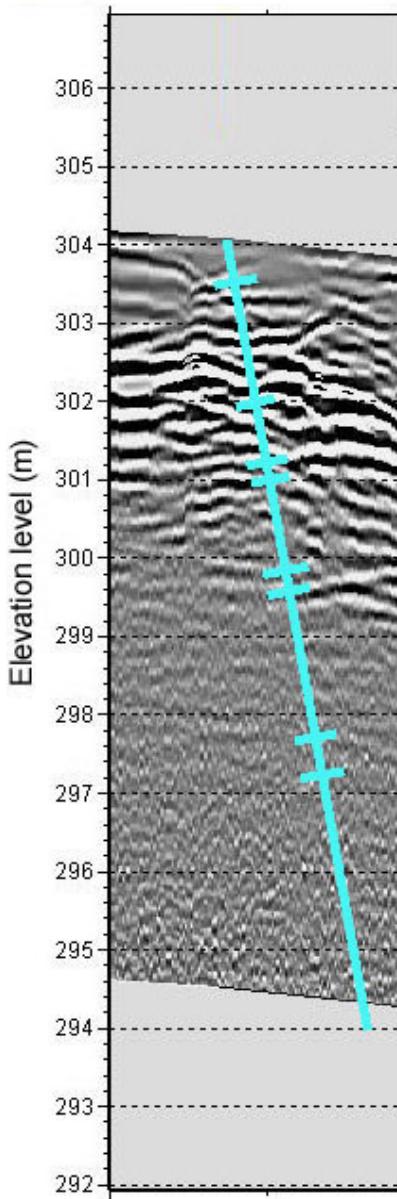
There are quite large sporadic variations in the seismic transport velocities, but this is probably due to fractures near the outcrop surface and to topographical variations. The mean seismic velocities were in general over 5000 m/s, but diminished in the assumed weakness zones to less than 4500 m/s.

The results of the geophysical measurements show that the resolution of the methods was not good enough for assessing the soundness or the homogeneity of the mica schist, but the VLF-R could be used to evaluate the common soundness of the prospect to some extent. Furthermore, the topographical variations of the outcrop surfaces set challenges for the execution of the measurements as well as for the interpretations of them. For details of the geophysical investigations, see Lanne (2007).

#### 4.3.1 GPR investigation

Based on the GPR measurements, a horizontal fracturing (sheeting), following the surface of the outcrop, is a typical feature for the prospect. Especially, close to the outcrop surface (at a depth of 2–3 m) a fractured zone can be discerned, composed of several horizontal fractures (App. 3). Beneath this zone, the rock is less fractured, but occasional distinct horizontal fractures are observed. Clear vertical fractures are few, but reflections of them are often reached up to the outcrop surface. The cross-cutting points of vertical and horizontal fractures, filled with water or dampness, are shown as strong reflections, especially if they occur near the outcrop surface.

The fracture locations in the drill cores can be compared with those in the GPR profiles only to the depth of ten meters because of the modest depth penetration of the GPR signal, due to the attenuation effect of conductivity caused by magnetite. Generally, the fracture information obtained from the GPR and the drill cores correlates well (Fig. 10). Especially, the fractured



**Figure 10.** Correlation of the results of the core drilling and the GPR measurements on an N–S oriented traverse. The light blue lines indicate locations of the fractures in the drill core. The dip of the drill hole is 80° towards the south. Adopted from Luodes (2015).

**Kuva 10.** Kairasydänhavaintojen ja maatutkailuotauksen vertailua pohjois–etelä-suuntaisella tutkimusuralla. Rakojen sijainti kairasydämässä on merkity vaalean sinisillä viivoilla. Kairareikä kaatuu etelään 80 asteen kaateella. Luodes (2015) mukaan.

zone near the outcrop surface can be identified by both methods.

The investigation implies that the GPR can be used for assessing the general soundness of the massive-type schist prospect. The method will produce relevant information especially on the directions and density of horizontal fractures. The GPR cannot detect fractures without dampness on the fractures surfaces, unless they are very close to the outcrop surface. The overall soundness of the rock could be quite well estimated from the regional fracture intensity on the GPR profiles. For details of the GPR investigations, see Luodes (2015).

#### 4.4 Drill core investigations

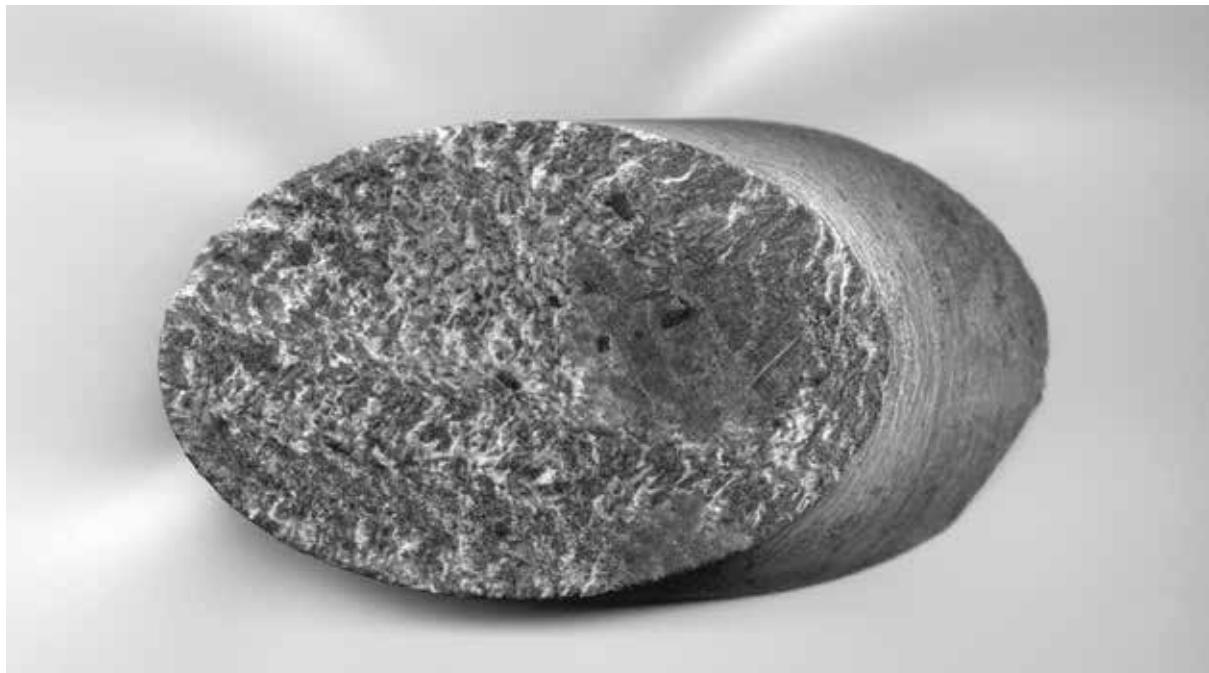
##### 4.4.1 Lithology and density of horizontal fractures

The main part of the Mutsoiva prospect consists of mica schist, but some 0.5–2 m thick layers of amphibolite can occur, some of which could be dykes. In places, also coarse gneiss-like layers and occasional quartz veins with thickness of 5–50 cm are found.

Based on the drilling, the rock is soundest in the western and the eastern parts of the prospect. In the west, the soundest rock is found in the area of the drill holes R501, R502, R503, R504 and R512 (App. 2), in which the mean density of the horizontal fractures is  $\leq 1.5$  fractures/m. The most sound rock is found in the area of the holes R503 (density of 0.8 fractures/m) and R512 (0.9 fractures/m) (Apps 2 and 4).

In the east, only one borehole was drilled, but the rock seems to be relatively sound (density of 1.2 fractures/m). In the easternmost part of the prospect (the precipice), the rock is rather sparsely fractured as assessed by eye, but the area is inaccessible to drilling equipment.

It seems that between the two soundest areas, the eastern and the western parts, there is a more fractured zone, as well as to the south of the western part. This correlates well with the grade of exposure: the sound eastern and western parts have been less prone to weathering and are topographically higher than the surroundings. The more fractured rocks are topographically lower and covered with more soil.



**Figure 11.** Matt polished drill core sample, cut parallel to the schistosity. The small scale folding of the mica rich rock creates the silvery lustre. Diameter of the core is approx. six cm. Photo scanned from sample.

**Kuva 11.** Liuskeisuuden suuntaan mattahiottu kairasydännäyte. Hopeanhöhtoinen välke johtuu killerikkaan kiven pienois-poimutuksesta. Sydämen halkaisija on noin kuusi cm. Kuva scannattu suoraan näytteestä.

#### 4.4.2 Test processing

All the drill core test samples were processed parallel to the schistosity. Polishing and brushing were tested on some of the samples, but the best and the most attractive lustre was obtained by matt polishing (Fig. 11). The lustre can also be seen on the natural and often folded split surfaces.

#### 4.4.3 Petrophysical measurements

The magnetite content is clearly featured in the petrophysical properties of the mica schist. The susceptibility is approx. 0.1 SI units, which correspond to approx. 1–2 % of magnetite content in the rock. The petrophysical properties, including susceptibility, are rather homogeneous, even though large variations were observed by the magnetic ground survey (cf. Chapter 4.3). Nor do these properties vary with depth in the drill cores.

Even if the prospect area is well-exposed, the depth of the soil cover is in places 1.80–3.80 m as observed by drilling. The main reason for the variations in the magnetic field is probably that in a strongly magnetic environment the soil covered holes on the outcrop surface produce local minimums into the general high level of the magnetic field. The observed variations in the magnetic field are hence mainly caused by the soil covers, and not by the variations of the properties in the rock.

The magnetite content influences the density and the electrical properties of rocks. The measured densities, approx. 2800 kg/m<sup>3</sup>, are typical for mica schists. The conductivity values are in the same level as is the resistivity measured with the VLF-R: several thousands of Ohm meters.

#### 4.5 Borehole video monitoring

The borehole video monitoring is not yet a standard method in natural stone investigations. Results in this study however indicate usefulness of the method. The fractures were generally well-discriminable in the videos. The comparison of histograms based on drill core logging and on

video monitoring show that the fracture locations correlate very well (App. 5). In cases, the depths of fractures and dykes seen in the video did not match with the drill core observations. The only explanation for this is that the drill cores were wrongly placed in the storage boxes.

Some technical problems arose: the monitoring did not succeed completely in any of the holes because of the muddiness of the water. This occurred in spite of the fact that holes were washed with fresh and clean water. The time interval between the washing and the monitoring was three months. The problem would have been probably avoided if the monitoring would have been done immediately after washing, as originally planned. Due to the structure of the equipment, the first 1.5 meters of each hole could not be monitored.

Using the video monitoring, it would be possible to observe the strike and dip of the individual fractures, but because of the high amount of work with questionable benefit for the study, this was not done.

#### 4.6 Thermal tests

VTT's research shows that the thermal expansion of the Mutsoiva mica schist is relatively straightforward up to temperatures of 500–550 °C. Thereafter, the rock was found to experience intensive, jump-like expansion phases. The first of these, approx. at the temperatures of 550–570 °C, was presumably caused by volume growth related to the change in the crystal structure of quartz. The next two phases, in the temperature zones 850–1000 °C and 1310–1360 °C, were probably caused by decomposition of the schistose structure of the rock, and reactions between minerals. For details, see VTT (2004).

### 5 FEASIBILITY OF PROFITABLE QUARRYING OF THE MUTSOIVA MASSIVE SCHIST

The Mutsoiva mica schist is not prone to split into thin slabs along schistosity, and cannot be used for production of natural slabs. However, the rock

could be quarried in the same way as granites: as “rough” blocks and further processed into slabs and other products with different surface finishes.

Stones with an interesting appearance are very sought-after in the natural stone market. The Mutsoiva massive schist has a very attractive appearance with a silvery lustre due to the small scale folding of the mica rich rock. The finishing tests indicate that the lustre is visible on the sawed, brushed, matt polished, and polished surfaces. The best lustre, revealing the exiting appearance of the stone, is obtained merely by using matt polishing, which is cheaper in production compared to polishing into a glossy finish. In order to get a good product it is however important to cut the rock parallel to the schistosity. Attractive uses for a stone like this could be found, e.g. in interior design in domestic markets.

The cleavability of the mica schist (e.g. with a guillotine) was not examined in this study, but based on observations on drill core samples, the unfinished raw surface of the rock could be quite elegant as the lustrous small scale folding is also clearly visible on the natural split surface. Hence, a possible product of the Mutsoiva schist could be, e.g. a split faced tile for rubble walls or for other applications in environmental construction.

The spacing of the vertical fractures varies between 0.5 and 5 m in different subareas of the prospect. The spacing of horizontal fractures is around one meter. The surface parts of the outcrop seem to be more fractured than the deeper parts. Fracture observations indicate an extractable block size of approx. 3 x 2 x 1 m. The small/medium block size is compensated by the interesting appearance of the rock, adding value to the product. Careful extraction with, e.g. diamond wire sawing could further support the profitability of this prospective quarry.

Based on the results of the thermal tests, the Mutsoiva mica schist is suitable for use as components of ovens and fireplaces, exposed to temperatures less than 500 °C. This limit excludes the use of the rock in internal structures of heat-retaining fireplaces; instead, it could be used, e.g. in fireplace facings.

The geological setting of the bedrock east of Mutsoiva indicates possibilities for identifying new prospects of schist and massive schist. Currently, a prospecting project (“Natural stone and aggregate project in eastern Lapland”) carried out by the GTK, is focused on these areas (Vartiainen & Lintinen 2016).

## 6 CONCLUSIONS

1. The resolution of the geophysical ground survey methods was not good enough for evaluating the quality or soundness of the prospect, but the VLF-R measurements could be used to assess the general soundness to some extent. More reliable information could be achieved by using a ground penetrating radar (GPR), especially on the amount of horizontal fractures, but not on individual fractures if they are not filled with water.
2. Reliable and detailed knowledge on the quality of the prospect was obtained by diamond core drilling and observations based on the drill core samples, but great care is demanded in drilling and handling the samples.
3. The observations made from core samples can be confirmed by using borehole video monitoring if there are any problems in distinguishing the natural fractures from man-made ones. However, the proper technical execution of the monitoring must be ensured.
4. The appearance of the Mutsoiva massive-type mica schist is commercially interesting because of the silvery lustre on the rock surfaces. The rock is suitable for extraction of dimensioned “rough” blocks, which are further processed, e.g. into cut-to-size slabs for interior design, or, e.g. into split face tiles for environmental or indoor construction in domestic markets.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Erkki Lanne (GTK) was responsible for the geophysical studies, except for the GPR investigations, which were carried out by Hannu Luodes (GTK) and Heikki Sutinen (GTK). Panu Lintinen, Ilkka Keskitalo, and Pertti Telkkälä (all from GTK) assisted at the site. Pertti Telkkälä (GTK) constructed the histograms and Kirsti Kesksaari (GTK) helped in compiling maps. Olavi Selonen (Åbo Akademi University) edited the text of the report and prof. Carl Ehlers (Åbo Akademi University) checked the English language. Their contributions are highly appreciated.

Finally, I wish to thank the Finnish Natural Stone Association for the possibility to publish this report.

## REFERENCES

- Hanski, E. & Huhma, H. 2005.** Central Lapland greenstone belt. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, O.T. (eds.) Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V. Amsterdam, Netherlands. 139–194.
- Härmä, P. & Selonen, O. 2008.** Surface weathering of rapakivi granite outcrops – implications for natural stone exploration and quality evaluation. Estonian Journal of Earth Sciences, 57, (3), 135–148.
- Heikkilä, E., Saksa, P., Kurkela, S., Vuento, A. & Ruotsalainen, M. 2012.** Kallion rikkoisuuden geofysikaiset tutkimukset graniittilouhimolla 2011. Saimaan ammattikorkeakoulu. Etelä-Karjalan kiviklusteri -projekti. Pöyry Finland Oy. 57 p. (in Finnish).
- Hölttä, P. & Väisänen, M. 1999.** Metamorphism of the central Lapland greenstone belt. In: Geodynamic evolution and metallogeny of the Central Lapland, Kuhmo and Suomussalmi greenstone belts, Finland : joint field excursion and workshop of the GEODE subprojects: Archaean Greenstone Belts and Ore Deposits : Palaeoproterozoic Greenstone Belts and Ore Deposits, 11–16 September 1999. Turun yliopiston geologian ja mineralogian osaston julkaisuja 42. University of Turku. Turku, Finland. 17.
- Lanne, E. 2007.** Sodankylän Mutsoivan luonnonkiviesiintymän geofysikaaliset tutkimukset 2005–2006. Arkistoraportti Q19/3731/2007/20/10. Geological Survey of Finland. Rovaniemi, Finland. 13 p. (in Finnish with an English summary).
- Lehtonen, M., Airo, M.-L., Eilu, P., Hanski, E., Kortelainen, V., Lanne, E., Manninen, T., Rastas, P., Räsänen, J. & Virransalo, P. 1998.** Kittilän vihreäkivialueen geologia: Lapin vulkaaniittiprojekti. Summary: The Stratigraphy, petrology and geochemistry of the Kittilä greenstone area, northern Finland: a report of the Lapland Volcanite Project. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 140. Espoo, Finland. 144 p. (in Finnish with an English summary).
- Leinonen, S. 2011.** Pohjois-Karjalan kovankiven teollisuuden kehittämishanke, Kovakivi 2009–2010. Loppuraportti. Geological Survey of Finland. Kuopio, Finland. 63 p. (in Finnish).
- Leppänen, T. 1985.** Savukosken Kiurujärven alueen kallioperän rakenne ja metamorfoosi. MSc thesis, University of Oulu. Oulu, Finland. (in Finnish).
- Luodes, H. 2015.** Ground penetrating radar and assessment of natural stone. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 223. Espoo, Finland. 46 p.
- Luodes, H., Härmä, P., Pirinen, H. & Selonen, O. 2015.** Assessment of potential natural stone deposits. In: G. Lollino et al. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – Volume 5, 243–246.
- Luodes, H., Huotari-Halkosaari, T., Sutinen, H., Härmä, P. & Selonen, O. 2014.** Document of best practices on natural stone evaluation and research. ENPI Report. 22 p. Available at [http://projects.gtk.fi/export/sites/projects/ENPI/results/documents/Document\\_of\\_best\\_practices\\_on\\_natural\\_stone.pdf](http://projects.gtk.fi/export/sites/projects/ENPI/results/documents/Document_of_best_practices_on_natural_stone.pdf)
- Mattila, H. 1974.** Karelidit Savukosken Tanhuan alueella, Keski-Lapissa. MSc thesis, University of Oulu. Oulu, Finland. (in Finnish).
- Mikkola, E. 1936.** Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartta, lehti C7 Sodankylä. The general geological map of Finland 1:400 000, maps of Pre-Quaternary rocks, sheet C7 Sodankylä. Geological Commission of Finland. Helsinki, Finland.

- Mikkola, E. 1941.** Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartan selitys, lehdet B7 - C7 - D7 Muonio - Sodankylä - Tuntsajoki. The general geological map of Finland 1:400 000, Explanation to the map of rocks, sheets B7 - C7 - D7 Muonio - Sodankylä - Tuntsajoki. Geological Commission of Finland. Helsinki, Finland. (in Finnish with an English summary).
- Räsänen, J. 2008.** Keski-Lapin liuskevyöhykkeen geologinen kehitys Sodankylän liuskealueella. Arkistoraportti K21.42/2008/25. Geological Survey of Finland. Rovaniemi, Finland. 22 p. (in Finnish).
- Rask, M. 1978.** Kivilajeista ja metapeliittien progressiivisesta metamorfoosista Sodankylän Kelujärven alueella Keski-Lapissa. MSc thesis, University of Helsinki. Helsinki, Finland. (in Finnish).
- Selonen, O., Ehlers, C., Luodes, H. & Härmä, P. 2014.** Exploration methods for granitic natural stones - geological and topographical aspects from case studies in Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 86, 5–22.
- Sousa, L.M.O., Oliveira, A.S. & Alves, I.M.C. 2016.** Influence of fracture system on the exploitation of building stones: the case of the Mondim de Basto granite (north Portugal). Environmental Earth Sciences 75:39. doi:10.1007/s12665-015-4824-6.
- Vartiainen, R. 2005.** Keski-Lapin rakennuskivi-projekti 2002–2004. Loppuraportti. Arkistoraportti M10.1/2005/1/86. Geological Survey of Finland. Rovaniemi, Finland. 9 p. (in Finnish).
- Vartiainen, R. & Lintinen, P. 2014.** Länsi-Lapin luonnonkivi- ja kiviainesprojekti 2011–2014. Loppuraportti. Raportti 41/2014. Geological Survey of Finland. Rovaniemi, Finland. 18 p. (in Finnish).
- Vartiainen, R. & Lintinen, P. 2016.** ILLKKA – Itä-Lapin luonnonkivi- ja kiviainesprojekti. Väliraportti vuoden 2015 tutkimuksista. Raportti 16/2016. Geological Survey of Finland. Rovaniemi, Finland. 13 p. (in Finnish).
- Vartiainen, R., Lanne, E. & Luodes, H. 2008.** Rakennuskivistutkimukset Sodankylän Mutsoivassa 2002–2007. Arkistoraportti M19/3731/2007/10/66. Geological Survey of Finland. Rovaniemi, Finland. 43 p. (in Finnish with an English summary).
- VTT, 2004.** Kiilleliuskeen soveltuvuus uuni- ja tulisijakäytöön. Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. Tutkimusselostus Nro RTE4001/04. Esbo, Finland. (in Finnish).

## YHTEENVETO: Kohteelliset rakennuskivitutkimukset Mutsoivan massiivistyyppisellä liuske-esiintymällä Sodankylässä

### 1 Johdanto

Mutsoivan massiivistyyppinen kiilleliuske-esiintymä paikannettiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Keski-Lapin rakennuskiviprojektiin tuloksena. Alueellisen kartoitustyön perusteella kivi todettiin pintaosistaan varsin ehyeksi, ja kiven mattahiotun pinnan hopeanhohtoista välkettä pidettiin kiinnostavana. Tämän vuoksi kivi valittiin tarkemman tutkimuksen kohteeksi.

Mutsoivan kohde sijaitsee Sodankylän kunnassa, lähellä Sodankylän ja Savukosken rajaa. Tutkittu kallioalue on kooltaan noin 300 x 100 metriä ja sinne on hyvät kulkuyhteydet Sodankylä–Tanhua-tieltä (tie nro 967). Matkaa lähimmälle metsääutioille on noin 60 metriä, Kelujärven kylään noin 10 kilometriä ja Sodankylän kirkonkylään noin 35 kilometriä (Kuva 1).

Tässä raportissa kuvataan kohteelle tehdyt tutkimustoimenpiteet ja arvioidaan niiden soveltuvuutta massiivisen liuskeen rakennuskivimaisuuksien selvittämiseen. Lisäksi arvioidaan koteen käytökelpoisuutta rakennuskivenä.

### 2 Geologinen ympäristö

Tutkimusalue sijaitsee Keski-Lapin liuskealueen itäosassa ja kuuluu sen varhaisproterotsooisesta Sodankylä-ryhmän Orakosken muodostumaan. Muodostuman kivilajit ovat lähinnä arkoosi- ja serisiittikvartsiitteja ja stratigrafisesti niiden päällä olevia alumiinirikkaita kiilleliuskeita ja fylliittejä (Kuva 2). Kallioperä on deformatiointunut useassa eri vaiheessa, joihin liittyy amfiboliittifasien metamorfoosia. Kvartsiitteja ja kiilleliuskeita leikkiaavat 2,2 miljardin vuoden ikäiset diabaasisjuonet, joita tavataan mm. Mutsoivan itäpuolella.

Alueelta on saatavilla E. Mikkolan 1:400 000 -mittakaavainen kallioperäkartta ja sen selitys. Alueen kallioperäkartoitus on tehty myöhemmin

mittakaavassa 1:100 000 ja kartoitusten tulokset on yhdistetty GTK:n digitaaliseen karttatietokantaan (Suomen kallioperä - DigiKP).

### 3 Tutkimusmenetelmät

#### 3.1 Kartoitus ja näytteenotto

Kallio puhdistettiin poistamalla ohuita maapeitteitä käsityökaluilla ja koneellisesti sekä pesemällä kallionpintaa (Kuva 3). Koekappaleita otettiin kiilaamalla tai räjäyttämällä (Kuva 4) neljästä eri paikasta (Liite 1). Koepaloista teetettiin useita A5–A3 -kokoisia koelevyjä, minkä tarkoituksesta oli selvittää kiven sahattavuutta ja työstättävyyttä sekä erilaisten pintakäsittelyjen vaikutusta kiven ulkonäköön.

Mutsoivan kiilleliuskeen mineraalkoostumus määritettiin point counter -menetelmällä (500 pistettä/ohuthie).

#### 3.2 Geofysikaaliset maastomittaukset

Mutsoivassa geofysikaalisina menetelminä käytettiin magnetometrausta, sähkömagneettisia VLF-R - ja EM31 -menetelmiä sekä refraktioseismistä menetelmää. Tutkimusalueella tehtiin magneettisia ja VLF-R -mittauksia linjoittain käyttäen viiden metrin pisteväliä ja 20 metrin linjaväliä (Liite 1). Systeemattisen mittausalueen ala oli 100 x 160 metriä (Liite 1). Lisäksi tutkimusalueen yli mitattiin kaksi 500 metrin pituista, ristikäistä linjaa (Liite 1).

Seismisiä luotauksia tehtiin viidellä linjalla, joiden pituudet vaihtelivat 100–300 metriin (Liite 1). Geofonivälit olivat yleensä 5 metriä, räjäytyspisteiden läheisyydessä 2,5 metriä.

##### 3.2.1 Maatutkaluotaukset

Liuske-esiintymän eheyttä arvioitiin maatutkaluotauksilla, joissa hyödynnettiin samaa linjastoa kuin muissakin geofysiikan mittauksissa (Liite 2). Tutkausta tehtiin seitsemällä eri linjalla yhteensä 518 metriä. Maatutkalaitteiston oli kalusto, joka koostuu GSSI SIR-3000 keskusyksiköstä ja 200

MHz:n antennista. Tutkasignaalit tunkeutuvuus tällä kalustolla on 8–10 m.

### 3.3 Kairaus

Mutsoivassa toteutettiin 12 reiän kairausohjelma. Kairauspisteet pyrittiin sijoittamaan edelläkuvaatuille geofysiikan mittauslinjoille, mutta maastolisista syistä se ei aina ollut mahdollista (Liite 2). Kairausmetrimäärä oli yhteensä 260 metriä ja reikäsyvyyydet vaihtelivat 17,20–31,70 metriin. Kaikki reiät kairattiin pohjoisesta etelään päin 80°:n kaateella, kairauksessa käytettiin teräkokoa T76.

Kairasydämistä havainnoitiin kaikki raot ja niiden luonne (ruosteinen/rapautunut ym.) sekä raon astekulma reikäsuunnan kohtisuoraan tasoon nähdien. Havainnoista piirrettiin yksittäiset reikäkuvat, joissa rakotihleys on kuvattu histogrammeina, tasametreittäin. Todellista kaadesuuntaa ei ole voitu mitata, koska suunnattuja näytteitä ei otettu, ja raot on piirretty kuvii vaakarakoina.

Kairasydämistä sahattiin useita liuskeisuuden suuntaisia näytteitä lähes kaikista reiästä kivessä olevan välkkeen määärän ja yleisyyden arvioimiseksi. Näytteet mattahiottiin, joihinkin näytteisiin kokeiltiin myös harjausta tai kiillotusta.

Kairasydännäytteistä mitattiin tiheys, magneettisuus (suskeettivisuus ja remanenssin itseisarvo) sekä ominaisvastus kolmella taajuudella (0,1, 10 ja 500 Hz). Mittaukset tehtiin metrin välein kairasydännäytteistä otetuista paloista. Muutamista näytteistä ei saatu mitatuksi ominaisvastusta.

Reikävideointi tehtiin kolmesta reiästä. Reikävideoiden tuloksia verrattiin kairasydämistä tehtyihin rakohavaintoihin vertaamalla kolmen reiän rako-histogrammeja toisiinsa.

### 3.4 Lämpötekniiset tutkimukset

Mutsoivan kivistä tehtiin lämpötekniisiä tutkimuksia VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntateknikan osastolla. Tutkimuksen tarkoituksesta oli saada arvio kiven soveltuudesta uuni- ja tulisijakäyttöön.

## 4 Tutkimustulokset

### 4.1 Litologia, rakenteet ja pystyrakoilu

Tutkimusalue on melko hyvin paljastunutta ja koostuu silokalliomaista, tasaisista ja laakeista kallionpinnoista (Kuva 5), mutta myös lohikareikkoisista ja peitteisistä osista. Kallioalueen keskeiset osat ovat täysin paljastuneita tai vain ohuen sammaleen peitossa (Kuva 6). Korkeuseroalueen korkeimman ja matalimman kohdan välillä on noin 20 metriä. Yleensä kalliot ovat loivapiirteisiä, mutta aivan tutkimusalueen itäpäässä on jyrkkäne, jossa korkeuseroa on 7–8 metriä (Kuva 7).

Kivilaji on porfyroblastista kiilleliusketta, jonka päämineraalit ovat muskoviitti, kvartsi, plagioklaasi ja kloriitti (Taulukko 1). Porfyroblastit ovat kyanittia, plagioklaasia tai stauroliittia. Kivessä on silmin nähtävä magnetiittipirote ja kivi on selvästi magneettinen käsimagneetillakin testattaessa. Mineraalikoostumuksesta laskettu Mohs -kovuus on 4,7 eli suhteellisen pieni, johtuen suuresta muskoviitti- ja kloriittimäärästä.

Kivi on selvästi kerroksellista (Kuva 8), kerrossuunta on lounais–koillinen, ja kaade on pysty. Kivessä on selvähkö kerroksellisuuden suuntainen liuskeisuus, mutta myös heikompi kerroksellisuus ja liuskeisuussuuntaa leikkaava toinen liuskeisuus (kulku-suunta noin 90°). Liuskepinnat ovat lähes aina pienoispoimuttuneita.

Kiven yleisväri on harmaa ja sen liuskepinoilla on pienoispoimutuksesta ja suuresta kiillemäärästä johtuen usein hopeanhontoinen väike.

Kivessä on melko selväpiirteinen suorakulmainen pystyrakoilu (Kuva 6). Pitkittäisrakoilu on rinteen suuntainen (lounais–koillinen) ja sen kaadesuunta on keskimäärin 335. Kaade on yleensä 80–85 pohjoiseen, mutta voi paikojellen olla saman verran myös etelään, paikoin jopa 155/75. Pitkittäisrakoilua vastaan kohtisuoran poikittaisrakoilun kaadesuunta on keskimäärin 65/85. Vaikka molempien rako suuntien kaade on likimain pysty, pitkittäisrakoilu näyttää ainakin itäjyrkänteellä tehtyjen havaintojen mukaan kaartuvan syvemällä, ja kaade muuttuu vähitellen pintaosan

85–90 astesta 6–7 metrin syvyydessä 40–50 asteseen (Kuva 7). Paikoittain on myös sekarakolia ja tämä kolmas, vain paikotellen näkyvä rakkosuunta, vaihtelee ollen paikoin 100/75, paikoin 225/85. Pitkittäisrakojen väli on 0,5–3 m ja poikittaisrakojen väli 1–5 m.

## 4.2 Koepalat ja -työstöt

Koehiontojen perusteella Mutsoivan kivi on helppo sahattava, vaikka siinä onkin melko paljon kvartisia, lähes 30 %. Kivessä olevan välkkeen (Kuva 9) esillesaamiseksi kiveä ei tarvitse kiillottaa vaan se voidaan jättää matta- tai sahapintaiseksi. Sahaussuunta on ensiarvoisen tärkeää, koska välkeänäkyy koehiontojen mukaan parhaiten jomman-kumman liuskeisuuden suunnassa.

## 4.3 Geofysikaaliset maastomittaukset

VLF-R -mittausten mukaan kivi on yleisesti ottaen ehyttä, mutta alueen eteläosassa saattaa olla esiintymän kokoa rajoittava murrosvyöhyke.

Matalalentoaineiston mukaan tutkimuskohde sijaitsee voimakkaan anomaliavyöhykkeen pakkisessa minimissä. Kohdetutkimusten mukaan magneettisissa ominaisuuksissa oli melko suurta vaihtelua ja alueen länsi- ja itäosassa erottuvat selvät, ympäristöään magneettisemmat alueet. Ehyimmän kiven ja magneettisuuden välillä näyttäisi olevan selvä yhteys: kairauksen perusteella ehyimmäksi havaittu ja magneettisimmaksi osoittautunut alue korreloivat melko selvästi keskenään. Tämä korrelaatio on kuitenkin näennäinen ja erot johtuvat magneettikentän heikkenemisestä peitteisillä alueilla (vrt. Luku 4.4.3).

Seismisten mittausten mukaan kulkuaajoissa oli melko suurta satunnaisvaihtelua, mutta se aiheutunee aivan pinnassa olevasta rakoilusta ja kallion pinnan topografiavaihtelusta.

Tutkimustulokset osoittavat, että käytettyjen geofysikaalien mittausmenetelmien erottelukyky ei riitä kiven eheyden tai tasalaatusuuden tutkimiseen, joskin VLF-R -mittauksilla voidaan arvioida kallion yleistä ehyttä.

## 4.3.1 Maatutkaluotaus

Kallion pinnalta tehtyjen maatutkamittausten perusteella esiintymälle on tyypillistä vaakasuuntainen rakoilu, joka seuraa kallion pinnan muotoa. Erityisesti esiintymän pintaosassa, noin 2–3 metrin syvyydellä, erottuu rikkonainen vyöhyke, joka koostuu useista vaakaraoista (Liite 3). Tämän vyöhykkeen alapuolella rakoilu on vähäisempää, mutta selkeitä vaakarakopintoja on sielläkin paikotellen.

Selkeitä pystyrakoja on harvakseltaan ja niiden heijasteet ulottuvat usein kallion pinnalle asti. Pysty- ja vaakarakojen leikkauskohdat, joihin on kerwynyt vettä tai kosteutta, erottuvat etenkin esiintymän pintaosissa voimakkaina heijasteina.

Maatutkaluotauksesta ja kairarei'istä saatua rakoilutulkintaa voidaan verrata maatutkan rajallisesta syvysulottuvuudesta johtuen vain noin 10 metrin syvyyteen. Yleisesti voidaan todeta, että maatutkaluotauksen ja kairauksen antama rakoilutieto sopivat melko hyvin yhteen (Kuva 10). Erityisesti kallion pintaosien, muutamaan metriin ulottuva rikkonainen vyöhyke näkyy hyvin kummallakin menetelmällä.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että maatutkaluotusta voidaan käyttää esiintymän yleisen eheyden arvioinnissa. Sen avulla saadaan kuva etenkin vaakarakoilusta ja sen suunnista sekä raktiheydestä. Maatutkamittaiksilla ei voida esiintymän pintaosaa lukuun ottamatta havaita rakoja, joiden rakopinnoilla ei ole kosteutta.

## 4.4 Kairasydämistä tehdyt tutkimukset

### 4.4.1 Litologia ja vaakarakoilu

Kairatusta kivistä valtaosa on kiilleliusketta, mutta siellä tällä tavataan 0,5–2 metrin paksuisia amphiboliittivälikerroksia, karkeita gneissimäisiä kerroksia sekä 5–50 cm paksuja kvartsijuonia.

Kairausten perusteella kivi on ehyintä tutkimusalueen länsiosassa ja toisaalta sen itäosassa. Länsiosassa ehyintä kiveä on reikien R501, R502, R503, R504 ja R512 alueella (Liite 2). Näissä kes-

kimääriäinen reikäkohtainen raktiheys on 1,5 rakoa/metri tai pienempi. Kaikkein ehyintä kivi on reikien R503 (raktiheys 0,8 rakoa/metri) (Liite 2 ja 4) ja R512 alueella (0,9 rakoa/metri). Itäisemmässä osassa reikiä on vain yksi, mutta kairauksen perusteella kivi on suhteellisen ehyttä myös siellä (raktiheys 1,2 rakoa/metri). Aivan tutkimusalueen itäreunalla, jyrkänteiden alueella kivi on silmämääriäisestikin arvion mukaan melko ehyttä, mutta kairakoneella ei ko. alueelle ollut mahdollista mennä.

Kahden ehyemmän, läntisen ja itäisen alueen välissä näyttäisi jäävän hieman rikkonaisemman kiven alue, samoin kuin läntisemmän alueen eteläpuolelle. Tämä sopii hyvin kuvaan myös paljastuneisuuden kanssa: itäinen ja läntinen alue ovat ehyempänä paremmin kestäneet rapautumista ja ovat ympäristöään jonkin verran korkeampia, ja rikkonaisemat alueet puolestaan peitteisempiä ja hiukan matalampia.

#### 4.4.2 Koehionnat

Kaikki kairasydänten näytepalaat sahattiin ja hiottiin liuskeisuuden suuntaiseksi. Useimmissa tapauksissa kiilleliuskeeseen saatiin varsin näyttävästi näköinen pinta pelkällä mattahionnalla (Kuva 11). Joihinkin näytteisiin kokeiltiin myös kiillotusta ja harjausta, mutta parhaiten välke saatettiin esiin mattahionnalla.

#### 4.4.3 Petrofysikaaliset mittaukset

Kiven magnetiittipitoisuus näkyy selvästi petrofysikaalisissa ominaisuuksissa. Suskeettivisuusarvot ovat luokkaa 0,1 SI-yksikköä, mikä vastaa noin 1–2 prosentin magnetiittipitoisuutta. Kivi on petrofysikaalisilta ominaisuuksiltaan varsin homogeenista, myös suskeettivisuusarvojen osalta, mikä ei selitä maanpintamagnetometrauksessa havaittuja kentän suuria vaihteluja. Myöskään syvyyssuunnassa ei petrofysikaalisissa suureissa ollut havaittavissa merkittäviä eroja.

Vaikka alue onkin yleensä hyvin paljastunut, on maapeitteitä kairauksen perusteella paikoitellen 1,80–3,80 metriä. Pääasiallisena syynä magneettikentän vaihteluihin onkin luultavimmin se, että

voimakkaasti magneettisessa ympäristössä kallio-pinnan peitteiset kuopat aiheuttavat magneettikentän yleiseen tasoon paikallisia minimejä. Havaitut magneettikentän vaihtelut aiheutuvat siis pääasiassa maapeitteistä, eivät kiven ominaisuuksien vaihtelusta.

Magnetiittipitoisuus vaikuttaa myös kiven tiheyteen ja sähköisiin ominaisuuksiin. Mitatut tiheydet, noin  $2800 \text{ kg/m}^3$ , ovat tyypillisesti arvoja kiilleliuskeelle. Sähköjohtavuusarvot ovat hyvin samansuuntaisia – useita tuhansia ohmimetrejä – kuin VLF-R -mittauksissa havaitut ominaisvastukset.

#### 4.5 Reikävideointi

Reikävideoinnissa raot erottuvat valtaosin erittäin selvästi. Yhdessäkään reiässä ei videointi onnistunut täysin sataprosenttisesti koko reiästä veden sameuden vuoksi. Näin siitäkin huolimatta, että reiät huuhdeltiin puhtaalla vedellä melko perusteellisesti. Huuhtelun ja videoinnin välillä oli tosin noin kolme kuukautta, joten ongelma olisi todennäköisesti poistunut, jos videointi olisi tehty pikimmiten huuhtelun jälkeen – niin kuin alkuperäinen suunnitelma olikin. Laitteen rakenteesta johtuen videointi jäi lisäksi puuttumaan jokaisen reiän alusta noin 1,5 metrin syvyyteen asti.

Yhteenvedona voidaan todeta, että kiven eheys ja rakomäärä ovat sekä reikävideoinnin että kairauksen perusteella laadituissa histogrammeissa kuitakuinkin samat (Liite 5). Useimmista raoista olisi mahdollista saada reikävideon avulla selville myös yksittäisten rakojen suunta ja kaltevuus, mutta suuren työmäärän ja kyseenalaisen hyödyn vuoksi se jäettiin tähän yhteydessä tekemättä.

#### 4.6 Lämpötekniset tutkimukset

VTT:n tekemien tutkimusten mukaan Mutsoivan kiilleliuskeen lämpölaajenemiskäytätyminen on suhteellisen suoraviivasta  $500\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilaan saakka. Tämän jälkeen kivessä todettiin voimakkaita, hypähdyksenomaisia paisumisvaiheita. Näistä ensimmäinen, noin  $550\text{--}570 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa tapahtuva aiheutuu oletettavasti kvartsin

kidemuodon muutokseen liittyvästä tilavuudenkasvusta. Kaksi seuraavaa, lämpötila-alueilla 850–1000 °C ja 1310–1360 °C aiheutuvat luultavasti kiven liuskerakenteen hajoamisesta ja mineraalien välisistä reaktioista.

## 5 Mutsoivan massiivisen liuskeen käyttökelpoisuus

Mutsoivan liuskeella ei ole taipumusta lohjeta liuskeisuuden suuntaisesti eikä kiven käyttö luonnonlaattoina tule sitten kyseeseen. Kivi soveltuu laattatuotantoon graniittisten kivien tapaan eli sahattuna ja tarpeen mukaan pintakäsiteltyä.

Mutsoivan kiilleliuskeen ulkonäkö on kaupallisesti kiinnostava, johtuen kiven pinnoilla esiintyvästä hopeanhointoisesta välkkeestä. Pintakäsiteltyä tallaisen kiven käyttökohteita voisivat olla esim. kotimaan markkinoiden sisustuskivet. Kimaltelu näkyy selvästi myös murrospinnoilla, mikä mahdollistaisi kiven käytön sisustuksessa myös lohkopintaisena sekä esim. ympäristörakentamisessa.

Kiven rakoilun perustella voidaan arvioida, että saatava lohkarekoko voisi olla noin 3 x 2 x 1 m. Pienehkö lohkarekokoa kompensoi kiven jännittävä ulkonäkö, joka lisää tuotteen arvoa. Lisäksi varovainen louhinta, esim. timanttivaijerisahalla, voisi tukea mahdollisen louhimon tuottavuutta.

Lämpöteknisten tutkimusten perusteella Mutsoivan kiilleliuske sopii käytettäväksi uunien ja tulisijojen tai muiden lämmönkestävyyttä edellyttävien sovellusten materiaalina niissä rakenneosissa, jotka eivät altistu yli 500 °C lämpötiloille. Tämä rajaa siten käytön ulkopuolelle tulisijojen sisärakenteet, mutta mahdollistaa käytön esim. tulisijojen ulkopinnoitteissa.

## 6 Johtopäätökset

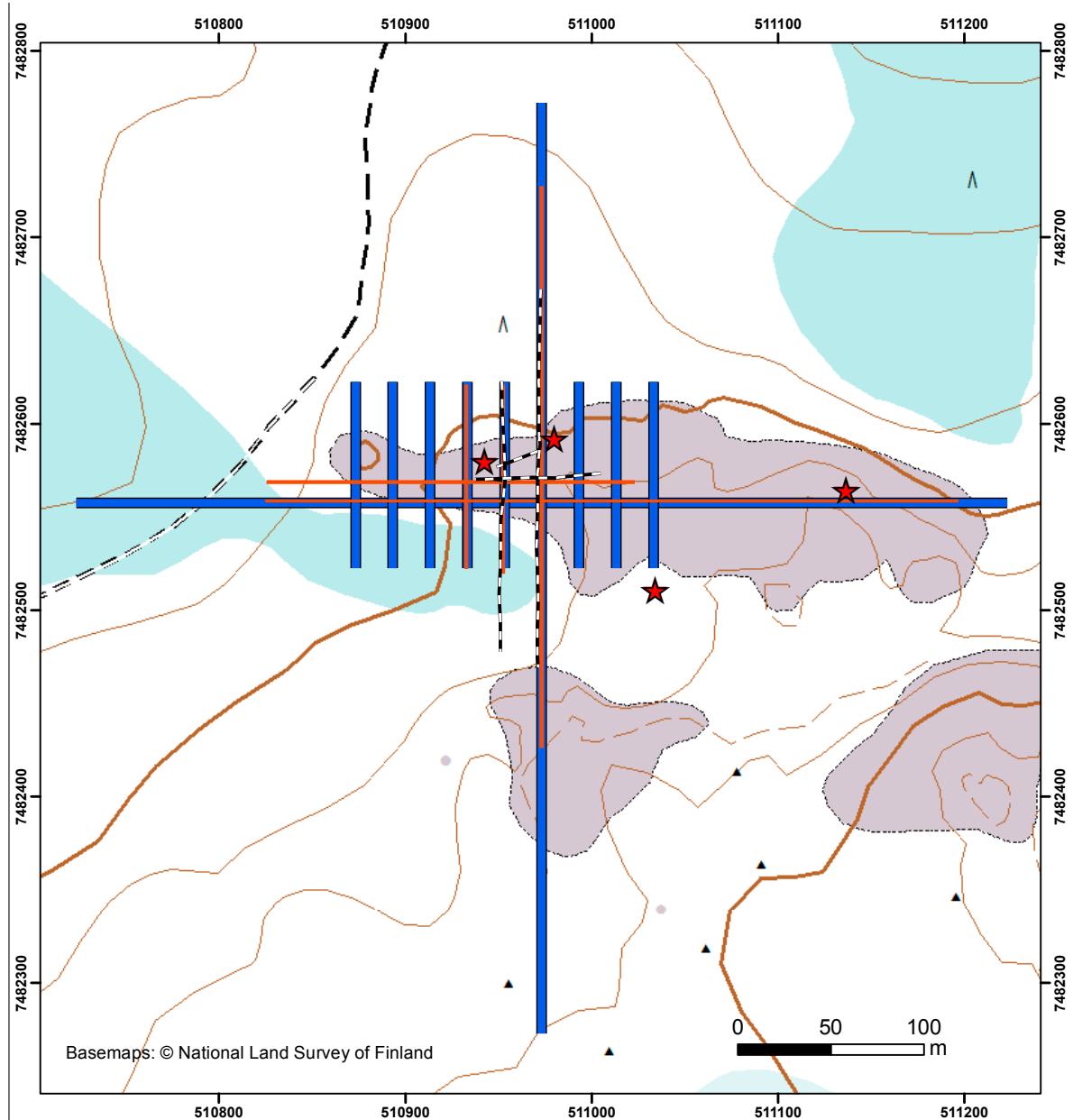
Geofysikaalisten maastomittausten erottelukyky ei riitä massiivistyyppisen liuskeen esiintymäkohtaiseen laatuarviointiin, joskin VLF-R -mittauksilla voidaan arvioida kallion yleistä eheyttä. Maatutkalla saadaan luotettavampi kuva esiintymän yleisestä eheydestä, etenkin vaakarakojen määristä,

mutta ei yksittäisistä raoista. Luotettava ja yksityiskohtainen arvio saadaan syväkairauksella ja kairasydämistä tehdyllä rakohavainnoilla, mutta se edellyttää erityistä huolellisuutta kairauksessa ja näytökäsittelyssä. Reikien videoinnilla voidaan varmistaa kairasydämistä saatu tieto, jos luonnonrakojen ja muista systä tapahtuneiden kairasydänten katkeamisten erottaminen toisistaan on ongelmallista.

Mutsoivan massiivistyyppisen kiilleliuskeen ulkonäkö on kaupallisesti kiinnostava, mikä johtuu kiven pinnoilla esiintyvästä hopeanhointoisesta välkkeestä. Esiintymästä voidaan louhia lohkareita, jotka soveltuват jatkojalostuksessa laattatuotantoon (mm. sisustuskivet) ja lohkopintaisina kappaleina esim. sisustukseen ja ympäristörakentamiseen kotimaan markkinoilla.

## APPENDICES

**Appendix 1.** Traverses for geophysical measurements and locations for sampling.

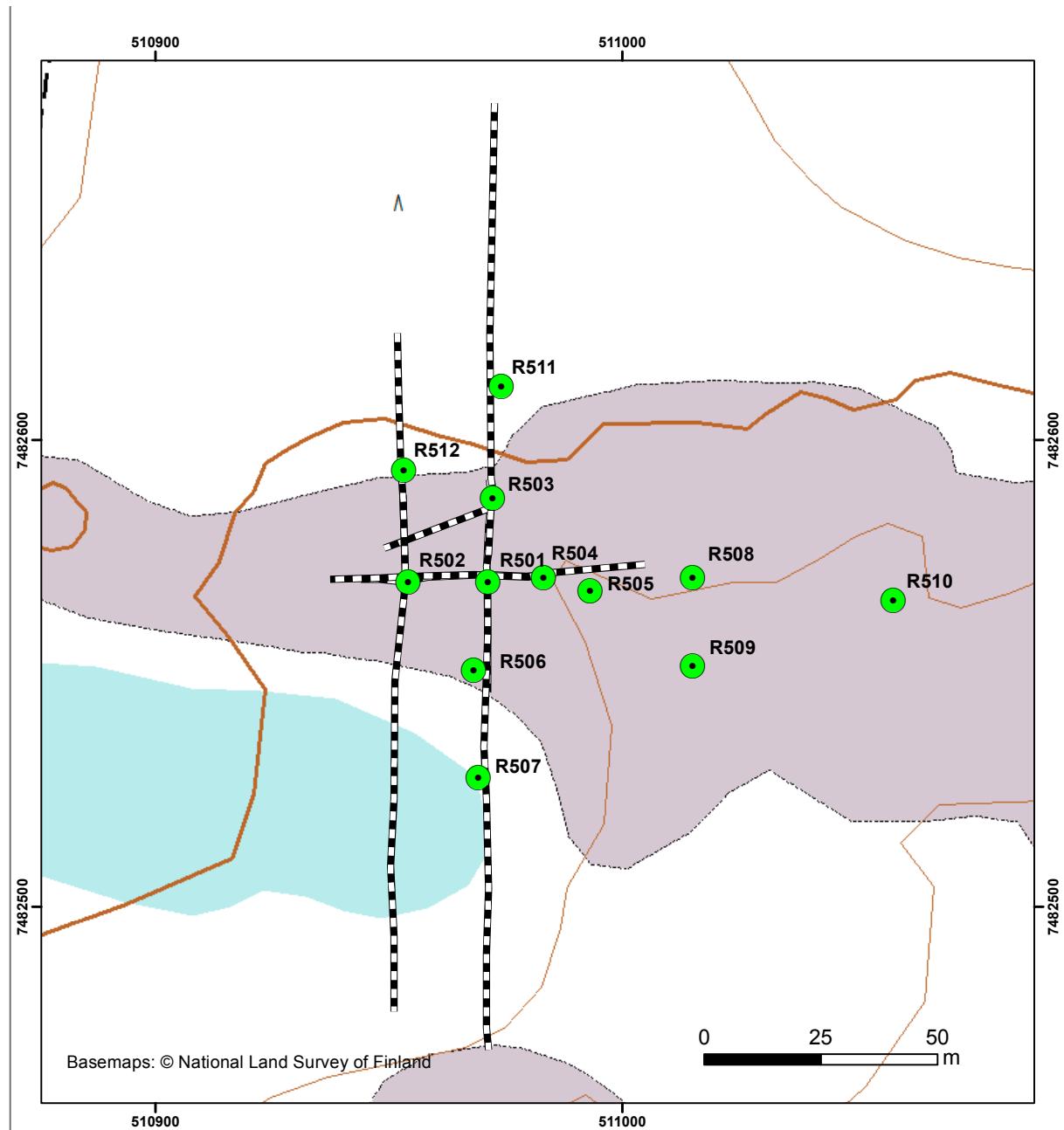
**Legend**

- GPR
- Seismic
- Magnetic and VLF-R
- ★ Test sample

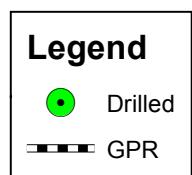
Mutsoiva, Sodankylä



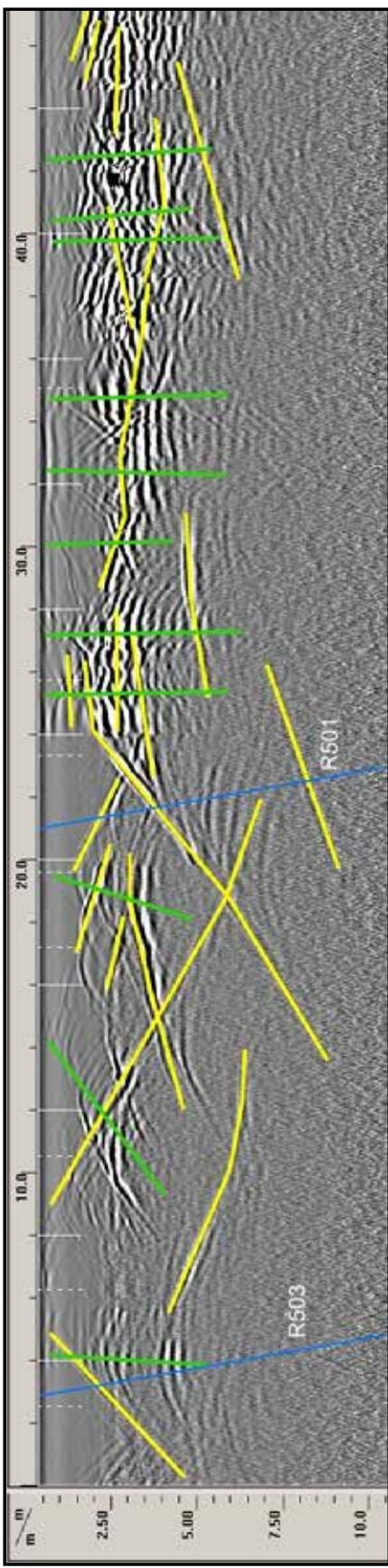
**Appendix 2.** Location of core drill holes and traverses for ground penetrating radar (GPR) measurements.



Mutsoiva, Sodankylä



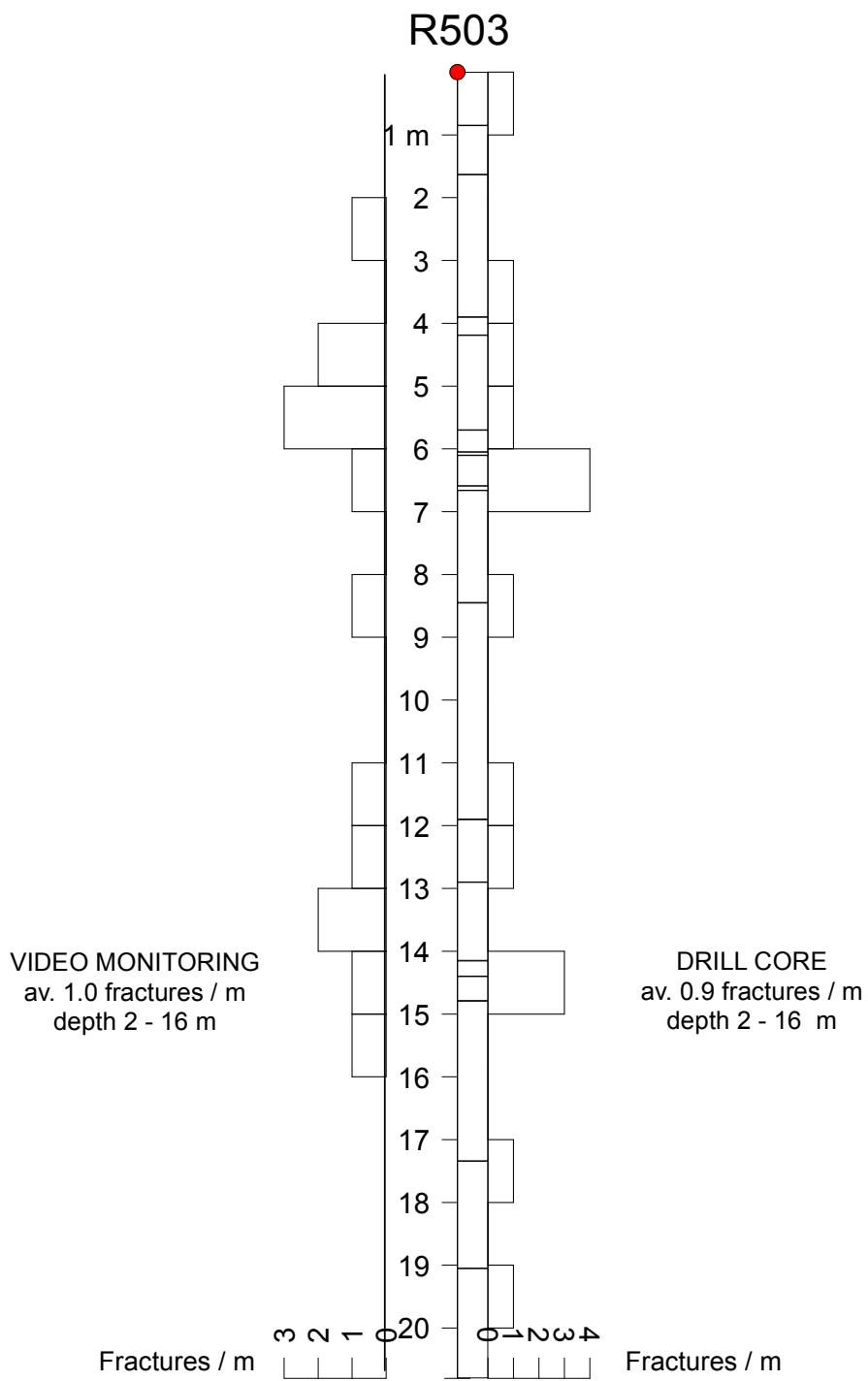
**Appendix 3.** A ground penetrating radar (GPR) profile showing a horizontal fracture zone near the outcrop surface.



**Appendix 4.** A drill core (R503) and a fracture histogram of the same core. (The density of fractures is 0.8 fractures/m when defined for the whole length of the core).



**Appendix 5.** A fracture histogram showing the fracture density defined from the video monitoring and from the drill core. Drill core R503.





Unioninkatu 14, 3. kerros  
PL 381, 00131 Helsinki  
Puh. 09-1299 300  
Fax 09-1299 252  
e-mail: [kiviteollisuusliitto@finstone.fi](mailto:kiviteollisuusliitto@finstone.fi)  
[www.suomalainenkivi.fi](http://www.suomalainenkivi.fi)