

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

TUTKIMUSRAPORTTI N:o 19
REPORT OF INVESTIGATION No. 19

Heikki Hirvas, Antti Alfthan, Eelis Pulkkinen,
Risto Puranen ja Risto Tynni

**Raportti malminetsintää palvelevasta
maaperätutkimuksesta Pohjois-Suomessa
vuosina 1972–1976**

Summary: A report on glacial drift investigations for ore
prospecting purposes in northern Finland 1972–1976



Espoo 1977

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS

Tutkimusraportti n:o 19

Heikki Hirvas, Antti Alfthan, Eelis Pulkkinen, Risto Puranen ja Risto Tynni
**RAPORTTI MALMINETSINTÄÄ PALVELEVASTA MAAPERÄTUTKIMUKSESTA
POHJOIS-SUOMESSA VUOSINA 1972 – 1976**

Summary: A report on glacial drift investigations for ore prospecting purposes in northern
Finland 1972 – 1976

Espoo 1977

Kauppa- ja teollisuusministeriö
Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta
Projekti 4

Hirvas, H., Alfthan, A., Pulkkinen, E., Puranen, R. & Tynni, R. 1977: Raportti malminetsintää palvelevasta maaperätutkimuksesta Pohjois-Suomessa vuosina 1972 – 1976. Summary: A report on glacial drift investigations for ore prospecting purposes in northern Finland 1972 – 1976. *Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti n:o 19*. 54 pages, and 33 figures.

The purpose of the study made of Quaternary deposits in Finnish Lapland was to promote ore prospecting by shedding light on the directions and distances of the transport of glacial drift as well as on the effect of the subbottom of till units on the properties of the till. In addition, it was endeavored to develop methods of investigation applicable to ore prospecting in general. The survey program was carried out by digging test pits with a tractor excavator at set intervals, mainly along roadsides. Stratigraphic delineations, totalling 1288, were made of the test pits, in addition to which 2028 fabric analyses and 1343 stone counts were made and 11277 samples of material bound up with the stratigraphy were taken for different laboratory studies. In Northern Finland, evidence exists of at least five stages of glacial transport, differing in age and direction of ice flow. Notably, there occur till beds corresponding to each of these five stages. They are represented best in the broad ice divide of central Lapland, where in places all five till beds occur one on top of another.

With respect to the transport distance of till, it was noted that close to the face of the bedrock and in areas with only a thin soil cover, the proportion of local material is high. The transport distance of till lying less than one meter above the face of the bedrock ranged from less than one kilometer to five kilometers, while that of till separated by more than a meter from the bedrock surface ranged between one and ten kilometers. As for the methods of investigation, it was observed that the ones generally in use – namely, fabric analyses and stone counts – are best suited to studies of the directions of the glacial transport. The most important new method proved to be one involving utilization of the magnetic properties of the till; this method is applicable to both analyses of the till fabric and investigations of the transport distances of glacial drift.

ISBN 951–690–060–7

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
Esipuhe	5
Johdanto	5
Tutkimuksen taustaa	5
Tutkimussuunnitelma	5
Tutkimussuunnitelman toteuttaminen	6
Katsaus tutkimusmenetelmiin	7
Ilmakuvantulkinta ja maastotyöt	7
Moreenin suuntautuneisuus ja kivikoostumus	9
Suuntauslaskut ja mikrosuuntausanalyysit	9
Kivilaskut	11
Hivenmetallimääritykset	11
Raesuuruus- ja humusmääritykset	11
Mikrofossiilimääritykset	11
Magneettisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät	13
Yleistä	13
Suskeptibiliteetti	13
Suskeptibiliteetin anisotropia	15
Remanentti magnetoituminen	18
Tutkimustulokset	20
Virtausvaiheet	20
Yleistä	20
Virtausvaihe I	20
Virtausvaihe II	23
Virtausvaihe III	23
Virtausvaihe IV	24
Virtausvaihe V	25
Stratigrafia	26
Yleistä	26
Moreenipatja I	28
Moreenipatja II	28
Moreenipatja III	28
Moreenipatjat IV ja V	34
Moreeninalaiset orgaanispitoiset kerrostumat	34
Tulosten tarkastelua	35
Moreeniaineksen kulkeutuminen	37
Yleistä	37
Graniittikivien kulkeutuminen Askan alueella	40
Gabrokvien kulkeutuminen Akanvaaran alueella	40
Graniittikivien kulkeutuminen Hautajärven alueella	41
Granuliittikivien kulkeutuminen Kaamasen alueella	44
Kivien pyörityneisyys	45
Tulosten tarkastelua	47
Yhteenveto	49
Summary: A report on glacial drift investigations for ore prospecting purposes in northern Finland 1972 – 1976	51
Kirjallisuutta – References	54

ESIPUHE

Projektin raportti on laadittu yhteistyönä siten, että kustakin osatehtävästä vastaava tutkija on laatinut asianomaisen käsikirjoituksen. Tehtävien jako on seuraava: FM H. Hirvas, mannerjäätikön virtausvaiheet ja stratigrafia, FT R. Tynni, mikrofossiilitutkimukset, FL R. Puranen, magneettisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät, FM A. Alfthan ja FM E. Pulkkinen, kulkeutumismatkatutkimukset.

FM H. Hirvas, joka vuodesta 1974 on toiminut projektin johtajana, on koonnut ja tasoittanut materiaalin niin, että vältetään tarpeettomat toistot. Tutkimukset aloitettiin FT R. Kujansuun johdolla, joka joutui luopumaan projektin johtotehtävistä muiden tehtävien takia. Tämän jälkeen hän on toiminut projektin valvojana ja tieteellisenä neuvonantajana. Haluamme kohdistaa erityiset kiitoksemme valtioneurologi Kujansuulle siitä ensiarvoisen tärkeästä tuesta ja asiantuntemuksesta, jota hän aina on ollut valmis antamaan.

JOHDANTO

Tutkimuksen taustaa

Pohjois-Suomessa malmilohkareiden emäkallion jäljittäminen on ollut vaikeata, koska mannerjäätikön virtaussuunnat ovat vaihdelleet suuresti jäätiköitymisen eri vaiheissa ja kallioperän ainekset ovat kulkeutuneet eri suuntiin. Monin paikoin moreeni on niin lyhytmatkaista, että se on käytännöllisesti katsoen täysin paikallista tai vain muutamia metrejä siirtynyttä rapakalliota. Toisaalta Keski-Lapin moreeni sisältää Kittilästä itärajalta saakka mm. punaista jaspiskvartsiittia, mikä on osoitus varsin pitkästä kulkeutumismatkasta. Vanhan rapautumiskuoren esiintyminen Keski-Lapissa osoittaa, että mannerjäätikkö on kuluttanut alustaa melko vähän.

Pohjois-Suomen malminetsintä ja siihen liittyvä muu geologinen tutkimus, erityisesti systemaattinen geokemiallinen tutkimus ja kartoitus ovat vilkastuneet viime vuosina merkittävästi. Näytteenoton suunnittelua ja tulosten tulkintaa varten tämä tutkimustoiminta tarvitsee tuekseen entistä tarkempaa tietoa maaperästä. Erityisesti tarvitaan tietoja mannerjäätikön virtauksista ja moreeniaineksen sekä lohkaroiden kulkeutumisesta sekä maakerrösten ikärakenteesta.

Tutkimussuunnitelma

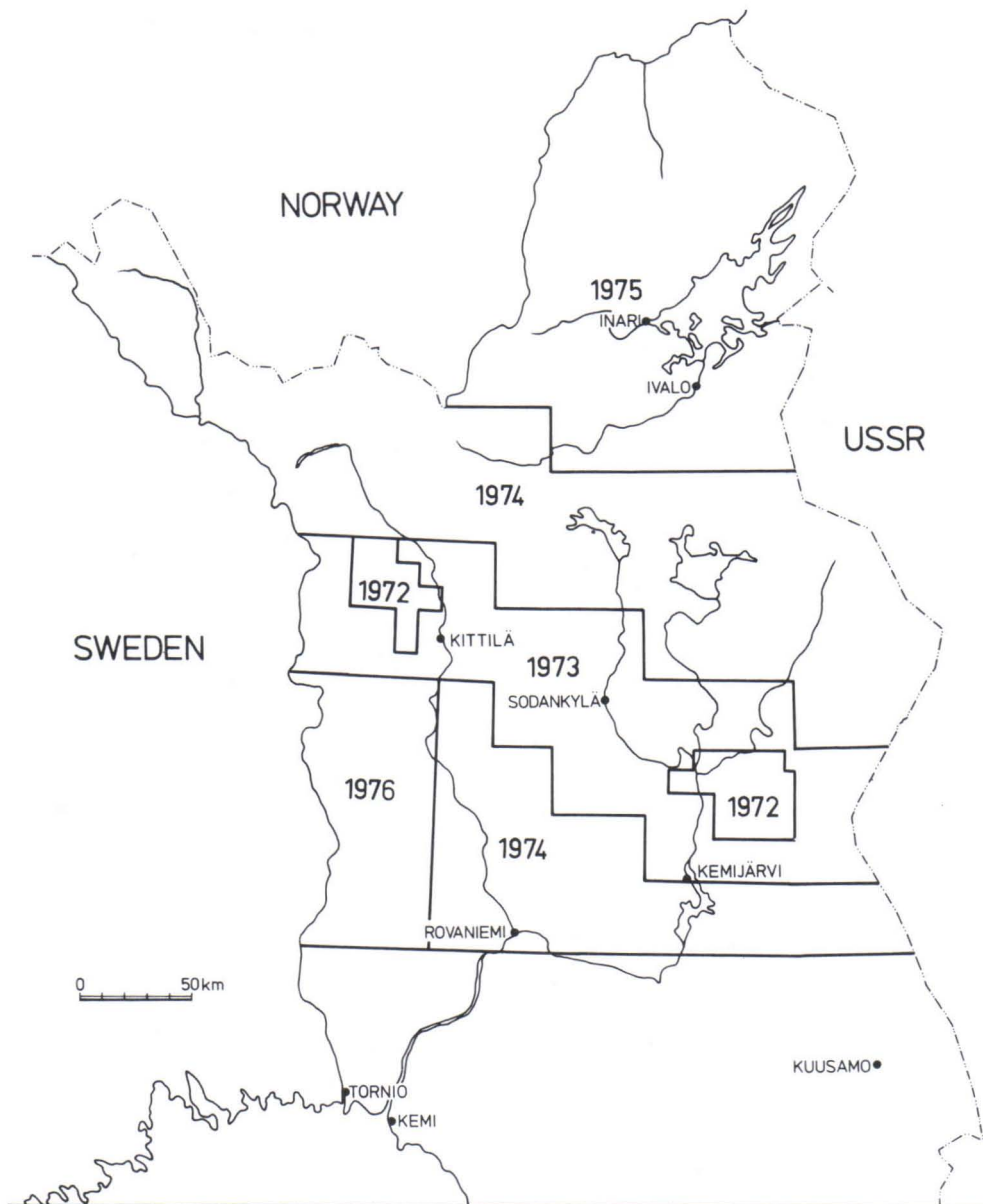
Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta asetti 24.5.1972 pitämässään kokouksessa työryhmän laatimaan tutkimussuunnitelman malminetsintää palvelevaksi maaperätutkimukseksi Pohjois-Suomessa. Työryhmään kuuluivat FT Heikki Wennervirta Outokumpu Oy:stä, FM Kari Airas Rautaruukki Oy:stä ja FT Raimo Kujansuu Geologisesta tutkimuslaitoksesta. Ryhmä laati 3.6.1972 tutkimussuunnitelman, jonka Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta hyväksyi 7.6.1972 muutoksitta.

Hyväksytyyn suunnitelmaan mukaan malminetsintää palvelemaan maaperätutkimukseen kuului: 1) monipuolinen moreenitutkimus, 2) maaperän kerrostumisalustan tutkiminen, 3) malminetsinnan yleiseen käyttöön soveltuvien tutkimusmenetelmien kehittäminen.

Tutkimuksen käyntiin saamiseksi ehdotettiin, että työt aloitettaisiin Kittilän Pahtavuoman ja Sallan Ahvenselän alueilla, joilla tutkimussuunnitelman mukaisia töitä jo suoritettiin. Tutkimusta jatkettaisiin näiden alueiden välisellä malmigeologisesti kriittisellä Keski-Lapin liuskevyöhykkeellä ja lopuksi se laajennettaisiin käsittämään koko Lappia. Tutkimuksen arvioitiin valmistuvan vuoden 1975 kevääseen mennessä.

Tutkimussuunnitelman toteuttaminen

Kauppa- ja teollisuusministeriön myönnettyä tarvittavat määrärahat tutkimukset käynnistyivät vuonna 1972 Kittilän Pahtavuoman ja Sallan Ahvenselän alueella (kuva 1). ^{KA}



Kuva 1. Malminetsintää palvelevan maaperätutkimus-projektin tutkimusalueet Pohjois-Suomessa v. 1972 – 1976.

Fig. 1. The areas of glacial drift investigations for ore prospecting purposes in northern Finland, 1972 – 1976.

Alueet yhdistettiin vuonna 1973 suorittamalla tutkimuksia Keski-Lapin liuskealueella. Tutkimusten laajentaminen käsittämään koko Lappia, n. 78000 km², toteutettiin siten, että vuonna 1974 oli vuorossa Keski- ja Länsi-Lapin pohjoisosat sekä Etelä-Lappi, vuonna 1975 Pohjois-Lappi ja vuonna 1976 Länsi-Lapin eteläosat. Kulkeutumismatkatutkimuksia tehtiin tarkoin valituilla linjoilla, jotka sijaitsivat vuonna 1973 Sodankylän Askassa, vuonna 1974 Sallan Akanvaarassa, 1975 Sallan Hautajärvellä ja 1976 Inarin Kaamasessa. Kustannustason jyrkän kohoamisen vuoksi suunniteltua aikataulua jouduttiin hidastamaan siten, että tutkimus valmistui vuoden 1976 loppuun mennessä.

Tutkimussuunnitelman toteuttamiseksi kaivettiin traktorikaivureilla kaikkiaan 1288 tutkimuskuoppaa, joista 373 läpäisi koko kvartaaripeitteen. Tutkimuskuopista tehtiin stratigrafiset kuvaukset, 2028 suuntaanalyysia, 1343 kivilaskua, otettiin kaikkiaan 11277 erilaista ainesnäytettä, joista 6351 hivenmetalli-, 3020 raesuuruus- ja 759 mikrosuuntausmääriä varten ja loput 1147 erikoistutkimuksia varten. Projektin edistyessä kerätyn havainto- ja määritysaineiston lisäksi saatiin käyttöön Outokumpu Oy:n ja Rautaruukki Oy:n arkistoissa olevat maaperätiedot. Geologinen tutkimuslaitos luovutti projektin käyttöön Lappia koskevien tietojen lisäksi toimitilat, piirustus-, toimisto-, laboratorio- sekä ennenkaikkea tutkija-apua ja osallistui tutkimuksiin myös budjetti-varoillaan.

Tutkimustuloksista laadittiin vuosittain väliraportit, jotka toimitettiin tarvitsijoille. Vuosiraporttien lisäksi on tulosaineistoa julkistettu tavanomaista julkaisumenettelyä käyttäen. Aineistoa on annettu myös yliopistoihin edelleen tutkittavaksi ja niiden pohjalta on tehty tai parhaillaan on tekeillä viisi pro gradu-tutkielmaa, kaksi Oulun yliopiston ja kolme Turun yliopiston maaperägeologian laitoksissa.

Tiukkatahtinen työskentely ei ole antanut tilaisuutta keskittyä riittävästi teoreettisiin kysymyksiin, joten projektin tieteelliset tulokset samoin kuin eräät menetelmätutkimukset julkaistaan erikseen myöhemmin.

Päätavoitteena ollut moreenitutkimus on antanut täsmällisen kuvan mannerjäätikön virtausvaiheista ja samalla ratkaisevasti täydentänyt kvartaaristratigrafisia ja -kronologisia tietoja. Menetelmiä on kehitetty niin, että ne entistä paremmin palvelevat käytännön malminetsintää.

Tutkimusaineisto on arkistoitu Geologisen tutkimuslaitoksen arkistoon.

KATSAUS TUTKIMUSMENETELMIIN

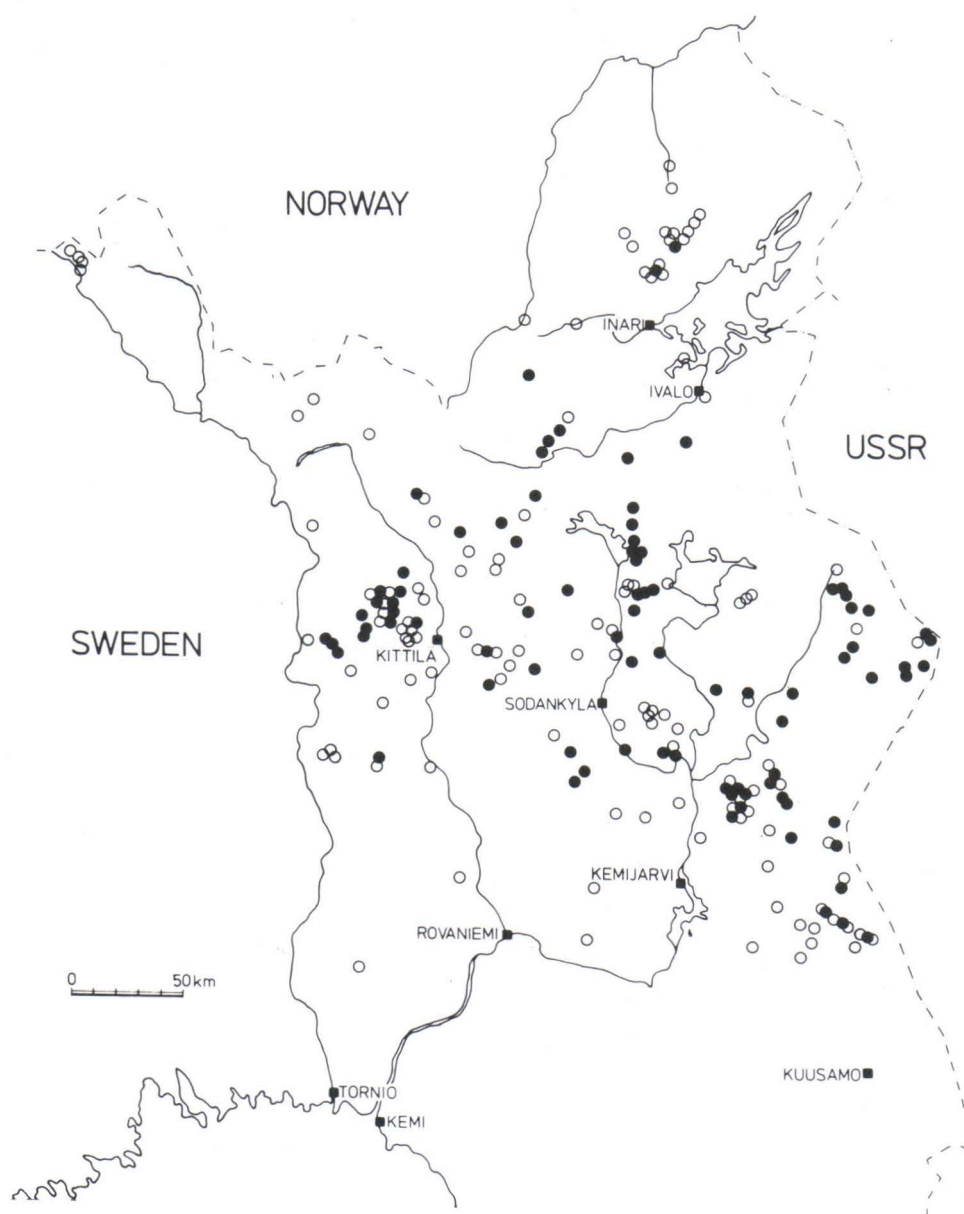
Ilmakuvantulkinta ja maastotyöt

Tutkimusalueista laadittiin ilmakuvia tulkitsemalla esikartat maastotöiden suunnittelua varten. Ilmakuvista rajattiin ja luokiteltiin eri maaperämuodostumat sekä määritettiin kuvista esiin saatavat mannerjäätikön virtaussuunnat. Pyrkimyksenä oli suunnitella kaivutyöt niin, että tutkimuskuopat sijoitettaisiin havaintojen teon ja näytteenoton kannalta mahdollisimman edustavasti ja monipuolisesti. Tätä varten moreenimuodostumat luokiteltiin seuraavasti: pohjamoreeni, drumliinit, fluting-selänteet, kumpumoreenit.

Mannerjäätikön virtaussuuntia selvitettiin määrittämällä ilmakuvista pitkänomaiset, virtaviivaiset moreeniselänteet (mm. drumliinit) ja vakoutuneet moreenipinnat (ns. fluting-ilmiö). Vertaamalla näin saatua kuvaa maastossa tehtyihin virtaussuuntahavaintoihin voitiin osoittaa drumliinien muodostuneen viimeisen jäätiköitymisen maksimivaiheen aikana

ja vakoutumisen syntyneen jäätikön viimeisessä leviämisvaiheessa. Näin ollen voitiin ilmakuvantulkinnan tuloksia käyttää hyödyksi virtausvaihekarttojen laadinnassa etenkin tietömillä alueilla

Maastotöissä pääpaino oli maaperäprofiilien tutkimuksessa. Profiilien saamiseksi kaivettiin kaivinkonetta käyttäen toista tuhatta tutkimskuoppaa. Pääasiassa kuopat kaivettiin teiden varsille. Aluksi käytettiin 1 – 2 km:n kuoppaväliä. Kokemuksen karttuessa väliä voitiin harventaa ja loppuvaiheessa kuoppia kaivettiin 10 – 20 km:n välein kuitenkin siten, että kullakin kohdealueella kaivettiin 2 – 4 kuoppaa. Alueilla, missä moreenistrati-



Kuva 2. Kallioperään päätyneet tutkimskuopat, avoimet ympyrät tervettä, mustat rapautunutta kalliota.
 Fig. 2. Test pits extending down to the bedrock: open circles indicate unweathered and black circles weathered bedrock.

grafia tai mannerjäätikön virtausvaiheet ovat monimutkaiset, tihennettiin havaintoverkkoa ja kuoppia kaivettiin myös etäämpänä teistä. Tutkimuskuopat pyrittiin sijoittamaan kohdealueen eri korkeustasoille tai muodostuman eri kohtiin: päälle, proksimaali- ja distaali-rinteille jne. Tällä tavalla saatiin stratigrafiasta, glasiaalieroosiosta, maapeitteen jakaumasta, moreenin suuntautumisesta, ym. mahdollisimman monipuolinen ja edustava kuva.

Tutkimuskuoppien syvyys oli yleisimmin 2 – 5 m. Syvimmät kuopat ulottuivat 8 – 11 m:iin ja ne tehtiin jatkamalla kaivua jo olemassa olevien moreenileikkausten pohjalta. Täydellisin ja tarkimmin tutkittu oli Rautuvaaran avolouhoksen 22 m korkea ja 700 m pitkä maaleikkaus. Kaikista tutkimuskuopista laskettu keskisyvyys on 3,8 m. Tutkimuskuoppia kaivettiin yhteensä 1288, joista 373:ssa lävistettiin koko kvartaärikerrostuma kallion pintaan saakka. Näistä noin puolet päättyi rapakallioon (kuva 2).

Jokaisesta tutkimuskuopasta tehtiin tarkka stratigrafiakuvaus, havainnoitiin aineiden rakenne, otettiin ainesnäytteet raesuurusanalyyseja ja moreenin hivenmetallisisällön selvittämistä varten sekä tehtiin suuntauslaskut kustakin moreenipatjasta ja niiden eri osista. Lisäksi kiinnostavista maalajipatjoista, -kerroksista, -linseistä yms. otettiin näytteitä erikoistutkimuksia, kuten mikrofossiili-, humus-, rakeiden pyörityneisyys- ym. tutkimuksia varten. Valituista kuopista otettiin suunnattuja moreeninäytteitä mikrosuuntausanalyyseja varten ja tehtiin kivilaskuja lähinnä stratigrafisen tulkinnan tai kulkeutumissuunnan varmentamiseksi.

Moreeniaineksen kulkeutumismatkatutkimuksia varten suunniteltiin erikseen mannerjäätikön virtaussuunnan mukaiset linjat, joita myöten kaivettiin tutkimuskuopat 0,5 – 1 km:n välein ja niistä tehtiin systemaattiset kivilaskut.

Havaintojen yhdenmukaistamiseksi laadittiin havaintolomakkeet. Koska osa maalajien ominaisuuksista on sellaisia, että niitä ei voida kuvata laboratoriotutkimuksista saatavilla numeerisilla arvoilla, laadittiin tällaisten ominaisuuksien kuvausta varten valokuvastandardit, jotta havainnot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Tällaisia ominaisuuksia ovat aineksen rakenne, kivisyys, seulontakarkeutta karkeamman aineksen keskimääräinen kivikoko ja pyörityneisyys. Ominaisuudet luokiteltiin käyttäen asteikkoa 1 – 5, jossa 1 merkitsee kunkin ominaisuuden heikointa ja 5 suurinta astetta.

Kaivinkonetyön ja tutkimuskuopassa tapahtuvan työskentelyn riskialttiuden vuoksi laadittiin yksinkertainen työturvallisuusohje.

Moreenin suuntautuneisuus ja kivikoostumus

Suuntauslaskut ja mikrosuuntausanalyysit

Moreenin kuljettaneen jäätikön virtaussuunnan määrittämiseksi tutkittiin moreenin suuntautuneisuutta eri menetelmin. Tavanomaisia suuntauslaskuja tehtiin kaikista erotetuista moreeniyksiköistä. Poikkeuksellisen paksuista moreenipatjoista tehtiin useita suuntauslaskuja patjan eri syvyyksistä. Suuntausmaksimien todettiin yleensä vastaavan toisiaan tai poikkeaman olevan vain 10 – 20°. Tavallisesti suuntauslaskuissa mitattiin 100:n, selvästi pitkänomaisen moreenikiven suunta ja tulos esitettiin suuntausruusukkeena. Yli 30° vaakatasosta poikkeavien kivien pituussuuntaa ei mitattu vaan ne merkittiin »pystyiksi».

Merkittäessä muistiin mittaustuloksia havainnot jaettiin kahteen osaan siten, että merkittiin eri sarakkeisiin ensimmäiset 50 ja loput 50 suuntahavaintoa. Vertailtaessa tuloksia toisiinsa todettiin, että hyvin suuntautuneessa moreenissa suuntausruusukkeet vastaavat varsin tarkasti toisiaan, mutta kohtalaisesti tai heikohkosti suuntautuneessa moreenissa suuntausmaksimi on 50 havainnon jälkeen hajanainen ja sen painopiste poikkeaa 10 – 30°

lopputuloksesta. Ainoastaan hyvin suuntautuneen moreenin ollessa kysymyksessä voidaan tyytyä 50 kiven suuntauksen mittaamiseen. Todettiin myös, että ellei 50:n kiven mittauksen jälkeen ole havaittavissa selvähköä suuntausta, ei sitä yleensä ilmene sadan eikä kahden sadan kiven jälkeenkään, vaan moreeni on todella suuntautumaton.

Suuntausanalyysin luotettavuutta testattiin myös siten, että eri henkilöt tekivät suuntauslaskut samasta paikasta. Tulokset olivat yhtäpitäviä.

Valtaosa tutkimusalueen pohjareeniä on hyvin tai kohtalaisesti suuntautunut. Moreenin kivisyyden kasvaessa suuntautuneisuus yleensä heikkenee. Erikoistapauksena on havaittu, että moreenissa, jonka kivisyysaste on suuri (4 – 5), moreenikivet ovat suuntautuneet poikittain jäätikön virtaussuuntaan nähden. Todettiin myös, että moreenipatjojen pintaosassa suuntautuneisuus on yleensä heikompi kuin syvemmällä.

Solifluktio aiheuttaa moreenin kivien uudelleen suuntautumista. Tällainen kivien uusi suuntaus on yleensä erittäin selvä, koska lähes kaikki kivet ovat asettuneet rinteen vieton suuntaan. Solifluktiosta johtuvaa kivien uudelleen suuntautumista on havaittu esiintyvän myös yllättävän loivilla rinteillä, joten sen mahdollinen vaikutus on otettu huomioon suuntauslaskutulosten tarkastelussa.

Erilaisista häiriötekijöistä huolimatta suuntauslaskut ovat huolellisesti tehtyinä ja oikein tulkittuina osoittautuneet luotettavaksi ja tehokkaaksi keinoksi mannerjäätikön virtaussuuntien määrittämisessä. Koska menetelmä on tilastollinen, on lopputulos sitä luotettavampi mitä enemmän suuntauslaskuja tehdään.

Moreenin hienoaineksen suuntautuneisuuden tutkimiseksi otettiin 759 suunnattua moreeninäytettä. Näytteet kovetettiin käyttäen kovetinaineena araldiittia (Araldit GY 257, kovetin Ciba HY 951), minkä jälkeen niistä valmistettiin pintahieet ($\phi = 4,5$ cm). Niistä mitattiin stereomikroskooppia käyttäen 50 - 100:n pitkänomaisen rakeen suuntaus ja tulokset esitettiin suuntausruusukkeina. Menetelmän luotettavuutta testattiin ottamalla mikro-suuntausnäytteitä moreenipatjoista, joista oli tehty tavanomaiset suuntauslaskut. Näytteet otettiin sekä suuntauslaskua vastaavalta tasolta että pienin pystyväleihin samasta patjasta. Näytteistä saadut tulokset poikkeavat vain vähän ($0-30^\circ$) sekä toisistaan että suuntauslaskutuloksista. Ilmeistä on, että keskimäärin 10 suunnattua moreeninäytettä, joista mitataan yhteensä 500 – 1000:n pitkänomaisen rakeen suunta, antaa luotettavan kuvan moreenin kuljettaneen jäätikön virtaussuunnasta. Näin monen mikro-suuntausanalyysin teko vie kuitenkin huomattavasti enemmän aikaa kuin maastossa tehtävät pari suuntauslaskua. Koska varsinainen näytteenotto ei vie paljon aikaa, menetelmä on käytökelpoinen, kun tavanomaisen suuntauslaskun teko on erityisen hankalaa tai vaarallista, kuten kovalla pakkasella tai sortuma-altiilla leikkauksella. Tällaisissa tapauksissa näytteiden määrässäkin voitaneen tinkiä tarpeen vaatiessa.

Maastotöiden aikana tehtyjen uurrehavaintojen lisäksi on eri arkistoista kerätty tietoja uurteista. Lapin uurteiden ikäjärjestyksen määrittäminen on kuitenkin varsin vaikeaa. Uurteet esiintyvät usein myöhemmän eroosion paljastamilla kallion pinnoilla, joten on täysin mahdollista, että hyvin vanhoja uurteita on säilynyt nykypäiviin asti, jos ne ovat olleet maapeitteen suojassa ja paljastuneet vasta myöhäis- tai postglasiaalijakolla.

Lapin huonosti paljastuneilla alueilla jäätikön virtaussuunnasta saadaan varmimmat tiedot analysoimalla moreenin suuntautuneisuutta ja täydentämällä näin saatua kuvaa uurrehavainnoilla.

Kivilaskut

Kivilaskuja tehtiin moreenin kulkeutumismatkan ja -suunnan määrittämiseksi sekä stratigrafian tulkinnan varmentamiseksi. Moreeniaineksen kulkeutumismatkan tutkimukset systemaattisine kivilaskuineen keskitettiin sopivilla alueilla jäätikön virtauksen suuntaisiin tutkimuskuoppalinjoihin. Yksittäisistä tutkimuskuopista tai kuopparyhmistä kivilaskuja tehtiin aineksen tulosuunnan ja suuntauslaskutulosten varmentamiseksi. Tämän lisäksi kivilaskutuloksia käytettiin hyväksi moreenipatjojen erottelemisessä.

Menetelmää on täydennetty pyörityneisyysanalyysillä siten, että kivilajin lisäksi jokaisesta kivistä on määritetty pyörityneisyysaste, joka usein antaa selvän viitteen kiven kulkeutumismatkasta.

Hivenmetallimääritykset

Hivenmetallimäärityksiä on tehty moreenipatjojen erottelemiseksi ja kulkeutumismatkan selvittämiseksi. Näytteitä otettiin kaikkiaan 6351 ja ne on analysoitu Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osaston Rovaniemen toimistossa atomiabsorptiospektrofotometriä käyttäen. Näytteistä seulottiin fraktio $< 0,062$ mm ja siitä määritettiin Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ja Zn.

Alustavassa tulosten tarkastelussa ruskeiden, savespitoisempien moreenin pohjakerrosten hivenmetallipitoisuuden todettiin olevan yleensä suurempi kuin moreenipatjojen muiden osien. Rapakallion hivenmetallipitoisuudet havaittiin yleensä moreenin vastaavia pitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi ja moreenin pitoisuuksien tasaisesti kasvavan rapakallioaineksen määrän kasvaessa. Paksujen maapeitteiden alueilla todettiin hivenmetallipitoisuuksien pysyvän lähes samana kaikissa moreenipatjoissa ja niiden eri kerroksissa, kun taas ohuiden maapeitteiden alueilla eri moreenipatjojen välillä on selviä pitoisuuseroja.

Raesusuurus- ja humusmääritykset

Moreenin raekoostumuksen selvittämiseksi otettiin tutkimusmontuista 2 kg:n näytteitä kaikista erotetuista moreeniyksiköistä. Raekoostumus määrättiin käyttäen pesuseulontaa ja liettämistä (areometrinen menetelmä).

Moreenipatjojen ja niiden eri kerrosten sisältämän eloperäisen aineksen osuuden määrittämiseksi tehtiin 110 kolorimetristä humusmääritystä käyttäen spektrokolorimetriä E 1009 (Metrohm). Humusmäärityksin pyrittiin lähinnä selvittämään, johtuuko moreenipatjojen alaosassa esiintyvien tummien, voimakkaasti lamellirakenteisten pohjakerrosten väri ylempiä kerroksia suuremmasta humuspitoisuudesta. Vain muutamassa tapauksessa todettiin pohjakerrosten humuspitoisuuden olevan olennaisesti korkeamman. Pohjakerrosten tumma väri johtuu useimmiten muista tekijöistä.

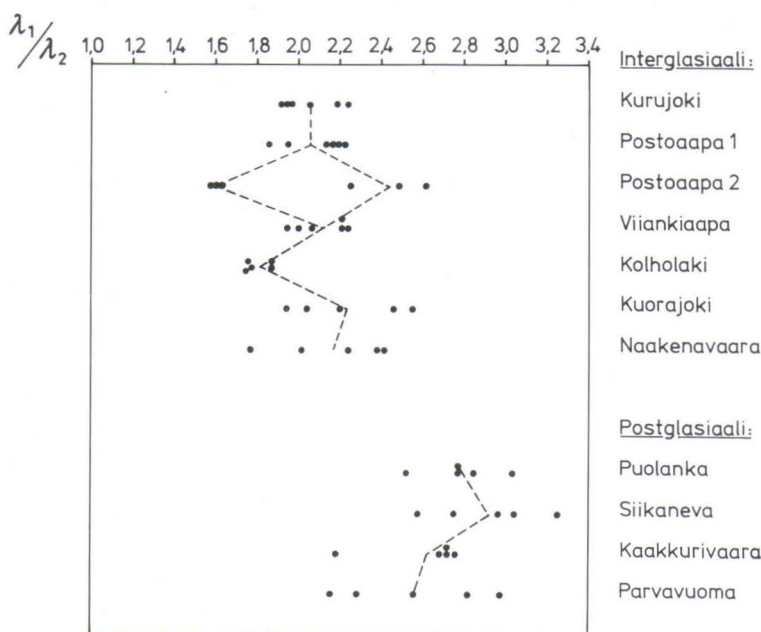
Mikrofossiilimääritykset

Mikrofossiilimääritykset tehtiin Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäosastossa. Ajoitukseen tähtäävät menetelmät käsittävät siitepölyanalyysin, piileväanalyysin sekä keiluluonteisena fluoresenssianalyysin.

Van Gijsselin (1967) siitepölyjen autofluoresenssia ja geologisen iän riippuvuussuhdetta käsitelleen tutkimuksen mukaan fluoresenssianalyysia voidaan käyttää pölyjen iän

määrittämiseen. Nuorissa pölyissä on voimakas ja verrattain lyhytaaltainen säteily vallalla, mutta iän suureudessa spektrin pitempiaaltoisten säteilyjen osuus suhteellisesti kasvaa samalla kun kokonaissäteily kuitenkin heikkenee. Kvartaärikerrostumissa *Pinus*-pölyt ovat herätesäteilyn aiheuttamassa fluoresenssisäteilyssä sinertäviä, vihertäviä tai vihertävän keltaisia, tertiäärin loppupuolella muodostuneet *Pinus*-pölyt ovat keltaisia, alkutertiäärin, mesotsooisen ja paleotsooisen ajan *Pinus*-tyypit ovat väriltään punertavia tai ruskeita. Menetelmän pahin virhelähde on se, että paikalliset tekijät voivat aiheuttaa pölyihin korrosioilmiöitä, joihin pölyjen fluoresenssi reagoi erittäin herkästi (vrt. Havinga 1964). Projekti kokeili menetelmää moreeninalaisten turvekerrostumien *Pinus*-pölyjen iän selvittämiseksi (kuva 3).

C^{14} -iänmääritykset on tehnyt erikoistutkija A. Heikkinen Geologisen tutkimuslaitoksen C^{14} -laboratoriossa.



Kuva 3. Fluoresenssianalyyskejä interglasiaalisista ja postglasiaalisista *Pinus silvestris* siitepölyistä. Fluoresenssianalyysit on tehty mittaamalla siitepölyn fluoresoivan valon intensiteetti aallonpituuksilla 474, 489 ja 504 nm (λ_1). Intensiteettien summaa on verrattu pitempiaaltoisten, 599, 625 ja 650 nm (λ_2) intensiteettiarvojen summaan. Taulukossa on intensiteettien suhde λ_1/λ_2 osoitettu pisteillä ja havaintojen keskiarvo katkoviivalla. Postglasiaalisten näytteiden λ_1/λ_2 -suhde on selvästi suurempi kuin vastaavat arvot interglasiaalisilla. Lisäksi vanhempien näytteiden λ_1/λ_2 -arvojen hajonta on pienempi kuin nuoremmissa. Tämän perusteella on syytä olettaa, että näytteessä Postoaapa 2 on vanhempaa siitepölystä sekoittunut nuorempaan.

Fig. 3. Fluorescence analyses of interglacial and postglacial *Pinus silvestris* pollens. The fluorescence analyses were made by measuring the intensity of the fluorescent light of the pollen on the wave lengths 474, 489 and 504 nm (λ_1). The sum of the intensities was compared with the sum of the longer, 599, 625 and 650 nm (λ_2) wave-length intensity values. In the table, the λ_1/λ_2 ratio of the intensities is indicated by points and the mean value of the observations by broken lines. The λ_1/λ_2 ratio of the postglacial samples is markedly higher than the corresponding values registered for the interglacial samples. Further, the standard deviation of the λ_1/λ_2 values for the older samples is smaller than in the case of the younger ones. On this basis, there is reason to assume that in the sample identified as Postoaapa 2 older pollen has become mixed with younger pollen.

Magneettisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät

Yleistä

Kallioperän ja sedimenttien magneettisia ominaisuuksia, lähinnä susceptibiliteettia ja remanenssia, on jo pitkään menestyksellä käytetty geologisessa tutkimuksessa. Näiden ominaisuuksien käyttömahdollisuuksia moreenitutkimuksissa on sen sijaan kansainvälises-tikin selvitelty varsin vähän.

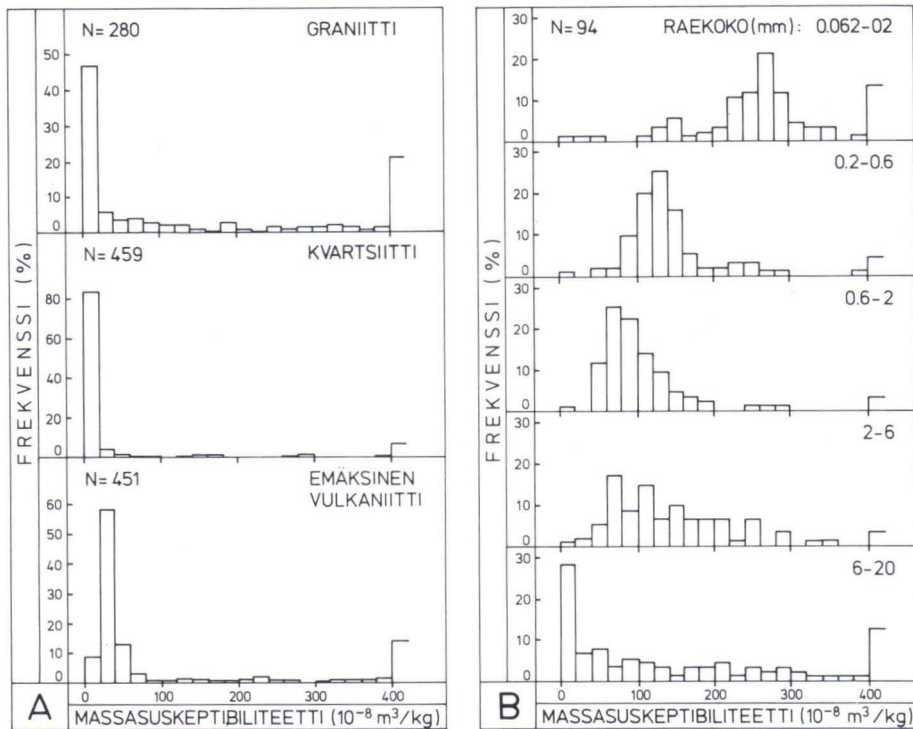
Tällaisia sovellutusmahdollisuuksia on tutkittu Pohjois-Suomen malminetsintää pal-velevan maaperäprojektiryhmän ja Geologisen tutkimuslaitoksen geofysiikan osaston yh-teistyönä. Työn aikana on geofysiikan osastolla kehitetty vanhaa ja rakennettu uutta mittausteistoa moreenin susceptibiliteetti- ja remanenssimittauksiin. Maastomittauksiin kehitettiin kannettavasta susceptibiliteettimittarista (malli Westerlund) »moreeniversio» ja laboratoriomittauksiin rakennettiin uusi herkkä susceptibiliteettisilta. Moreenin remanenssi-mittaukset suoritettiin geofysiikan osaston herkistetyllä astaattisella magnetometrillä.

Susceptibiliteetti

Maankamaran susceptibiliteetti on sen magnetoitumiskyvyn mitta eli maan mag-neetikentän ja sen aiheuttaman indusoidun magnetoitumisen välinen verrannollisuuskero-in. Hyvin pienet negatiiviset susceptibiliteetit ovat luonteenomaisia sellaisille mineraa-leille, jotka eivät sisällä magneettisia rauta- tai mangaani-ioneja, esim. kvartsille ja maasälville. Pienet positiiviset susceptibiliteetit ovat puolestaan tyypillisiä rautapitoisille tummille mineraaleille: kielteille, pyrokseeneille ja amfiboleille. Edellisiin verrattuna n. 10000-ker-taiset susceptibiliteetit liittyvät magnetiittiin. Kivi- tai maalajinäytteen susceptibiliteetti on sen sisältämän mineraaliaineksen susceptibiliteettien summa, joten vähänkin magne-tiittia sisältävässä näytteessä peittyä muun mineraaliaineksen vaikutus magnetiitin domi-noivan susceptibiliteetin alle.

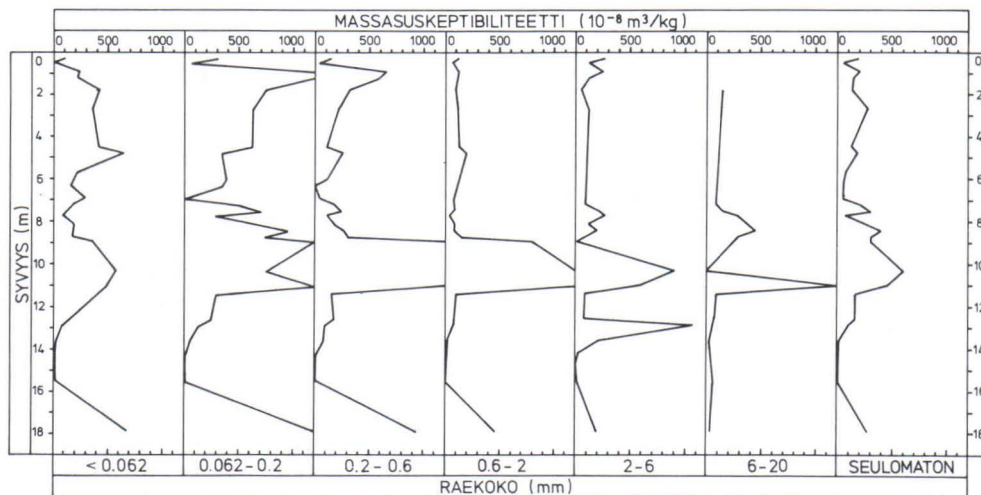
Suomen kallioperän systemaattisissa susceptibiliteettimittauksissa on havaittu, että kivien susceptibiliteettijakaumat ovat luonteeltaan kaksiosaisia. Useimmilla kivila-jeilla ovat pienet susceptibiliteettiarvot vallitsevina ja ne toistuvat yhtäpitävästi alueelta toiselle. Nämä pienet susceptibiliteetit voidaan selittää pääasissa tummista mineraaleista johtuviksi. Magnetiitin aiheuttamat suuret susceptibiliteettiarvot ovat selvästi vähemmistö-nä ja liittyvät suppea-alaisiin kohteisiin.

Kallioperän susceptibiliteettien kaksijakoisuus Sallan Hautajärven alueella ha-vainnollistuu kuvan 4A frekvenssijakaumista. Kuvasta 4B havaitaan, että saman alueen moreenien karkeimpaan seulptafraktioon liittyvä kaksihuippuinen jakauma on hyvin samanlainen kuin kiviin liittyvät jakaumat. Kallioperän moreeniksi jauhautumisen ensim-mäisessä vaiheessa magnetiitti-köyhät ja magnetiitti-riikkaat näytteet pysyvät selvästi eril-lään. Abraasion jatkuessa ja raekoon pienetessä alkaa magnetiitti jakautua yhä tasaisemmin moreeniin, sillä alunperin kaksihuippuinen susceptibiliteettijakauma muuttuu yhä selvem-min yksihuippuiseksi ja samalla huippu siirtyy vähitellen kohti yhä suurempia susceptibi-liteettiarvoja. Magnetiittipitoisen aineksen jauhautuminen ja rikastuminen saavuttaa pääte-pisteensä fraktiossa 0,062–0,2 mm, johon liittyvässä jakautumassa havaitaan yksi selvä suuriin arvoihin liittyvä frekvenssimaksimi. Alle 0,062 mm:n fraktio sisältää jälleen vähem-män magnetiittia. Tämä näkyy selvästi Rautuvaaran moreenien yhteydessä kuvasta 5, joka myös osoittaa, miten susceptibiliteettimittausten erotuskyky kasvaa tarkasteltaessa useita fraktioita seulptomattomien näytteiden sijasta.



Kuva 4. Suskeptibiliteetin frekvenssijakautumat Hautajärven tutkimuslinjan A) lähialueiden kivilajinäytteille ja B) seulotuille moreeninäytteille (N = näyttemäärä).

Fig. 4. Frequency distributions of specific susceptibilities of A) main rock types and B) different till fractions in the Hautajärvi area. N = number of specimens, RAEKOKO = grain size, GRANIITTI = granite, KVARTSIITTI = quartzite and EMÄKSINEN VULKANIITTI = basic volcanics.



Kuva 5. Rautuvaaran moreenileikkaukseen liittyvät suskeptibiliteettiprofiilit.

Fig. 5. Vertical susceptibility profiles across the Rautuvaara till deposit for different grain-size fractions of till. SYVYYS = depth and SEULOMATON = unsieved specimens.

Kuvassa 6 esitetään Hautajärven moreeninäytteistä määrätty susceptibiliteetin ja magnetiittipitoisuuden välinen yhteys. Moreenin magnetiittipitoisuus on mitattu Satmaganlaitteella (Saturation Magnetization Analyser, valmistaja: Outokumpu Oy). Ollakseen kokeellinen relaatio on harvinaisen tiukasti lineaarinen. Se antaakin hyvän perustan susceptibiliteettimittausten käytölle moreenin magnetiittipitoisuuden arviointiin. Näiden arvioiden käyttöä jäätikön kulutus- ja kuljetustapahtuman selvitykseen tarkasteltiin Hautajärven alueelta saadun aineiston pohjalta.

Hautajärven tutkimuslinjan alla oleva kallioperä on hahmoteltu kuvan 7 alareunaan. Mustina neliöinä siihen on merkitty tärkeimmät magnetiittilähteet, jotka on paikannettu alueen aeromagneettiselta kartalta. Kuvan yläosassa on esitetty susceptibiliteetin vaihtelu tutkimuslinjalla seulomattomien moreeninäytteiden laboratoriomittausten sekä tutkimusmontuissa suoritettujen maastomittausten perusteella. Molempia susceptibiliteettiprofiileja on tasoitettu käyttäen kuoppakeskiarvoista laskettuja 5 pisteen liukuvia keskiarvoja. Jäätikön kuljetussuunta alueella on likimain lännestä itään (kuvassa 7 vasemmalta oikealle).

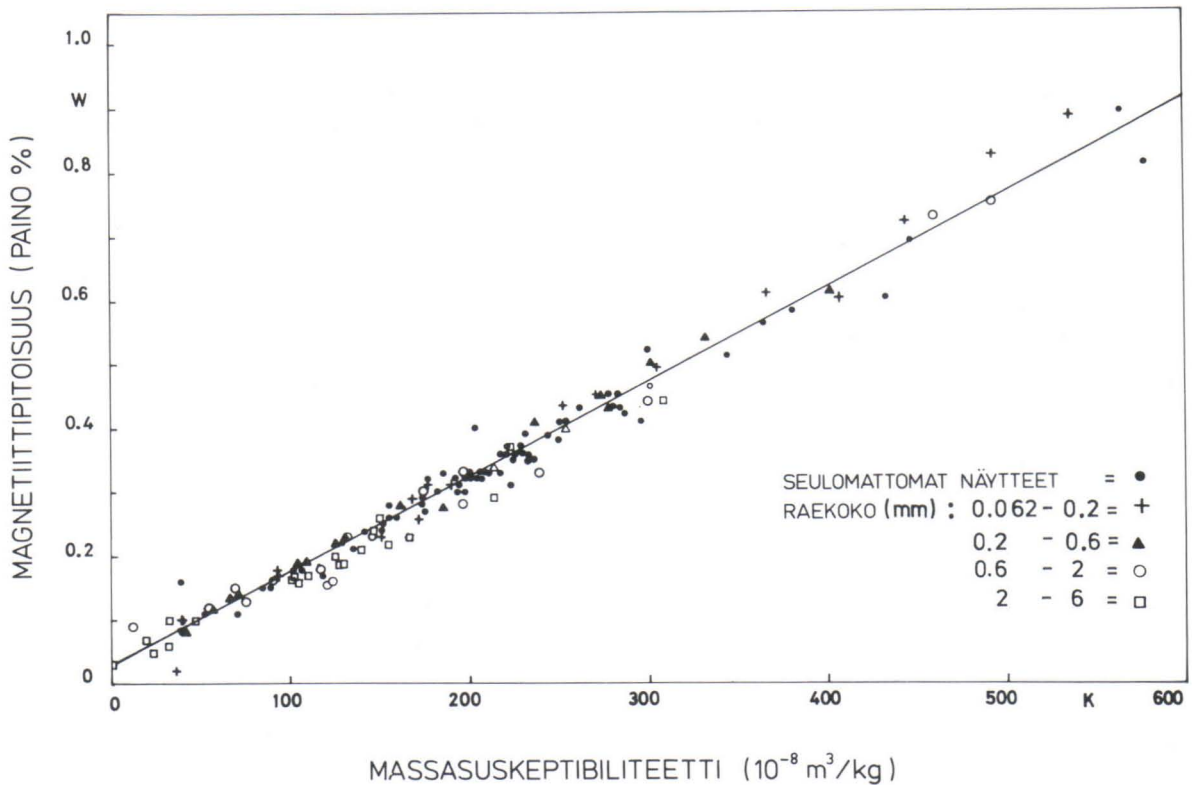
Maastohavainnot kuvastavat raekokoon 0–230 mm liittyvää moreenin keskimääräistä susceptibiliteettiä (mittauskelan halkaisija 23 cm), joten karkeiden fraktioiden vaikutus tulee maastomittauksissa korostetusti esille. Maastoprofiilissa susceptibiliteetti kasvaa tasolta 100 tasolle 150 ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), kun siirrytään niukasti tummia mineraaleja ja magnetiittia sisältävästä graniitista ja kvartsiitista tummaan ja magnetiittipitoiseen emäkseen vulkaniittiin. Moreenin susceptibiliteetin maastomittaukset osoittavat selvästi kallioperän kivilajien muutoksen.

Laboratoriomittaukset on tehty moreenin hienommasta fraktiosta (0,062–20 mm), joka sisältää runsaammin magnetiittia. Tässä fraktiossa ei susceptibiliteetin tasossa ole eroja graniittien ja vulkaniittien välillä, vaan magnetiittipitoisuus on likimain sama kuvan vasemmassa ja oikeassa reunassa. Kysymyksessä on ilmeisesti moreenin hienoaineksen magnetiittipitoisuuden perustaso alueella. Kuvan keskiosan magnetiittimaksimi nousee jyrkästi tästä tasosta. Maksimi sijaitsee kuljetussuunnassa n. 2 km:n päässä magnetiittilähteestä, johon maksimi todennäköisesti liittyy.

Saadun tuloksen sovellutusmahdollisuudet kvartaarigeologisessa ja myös geokemiallisessa työssä ovat ilmeiset. Paikantamalla tutkimusalueelta voimakas magnetiittilähde aeromagneettisen kartan avulla ja mittaamalla moreenin hienoaineksen susceptibiliteetti riittävän tiheällä pisteverkolla lähteen ympäriltä voidaan jäätikön kuljetussuunta ja -matka arvioida »magneittiviuhkan» avulla. Moreenin susceptibiliteetin maastomittauksia taas voitaneen käyttää apuna kivilajiyksiköiden rajauksessa.

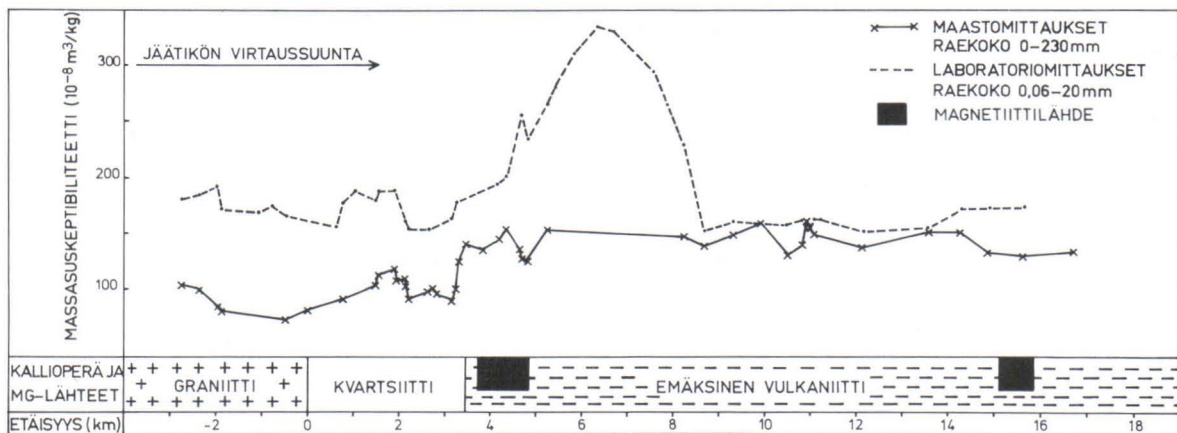
Susceptibiliteetin anisotropia

Mineraalien susceptibiliteetti on luonteeltaan anisotrooppinen, suunnasta riippuva ominaisuus. Käytännön sovellusten kannalta on tärkein magnetiittirakeiden muodosta aiheutuva anisotropia. Yksittäisen magnetiittirakeen näennäinen susceptibiliteetti on suurin sen pituusakselin suunnassa ja pienin lyhimmän akselin suunnassa. Magnetiittirakeita sisältävän näytteen maksimisusceptibiliteetti havaitaan rakeiden pituusakseleiden tai mahdollisten raejonojen keskimääräisessä suunnassa, mitä nimitetään magneettiseksi lineaatioksi. Näytteen minimisusceptibiliteetti on puolestaan kohtisuorassa rakeiden litistyneisyys- tai kerrostuneisuustasoa vastaan. Tätä nimitetään magneettiseksi foliaatioksi. Susceptibiliteetin suunnan vaihtelut ovat usein hyvin pieniä, joten niiden havainnoiminen edellyttää erittäin herkkää susceptibiliteettimittaria.



Kuva 6. Hautajärven moreeninäytteiden massasuskeptibiliteetin ja magnetiittipitoisuuden välinen riippuvuus (147 näytettä).

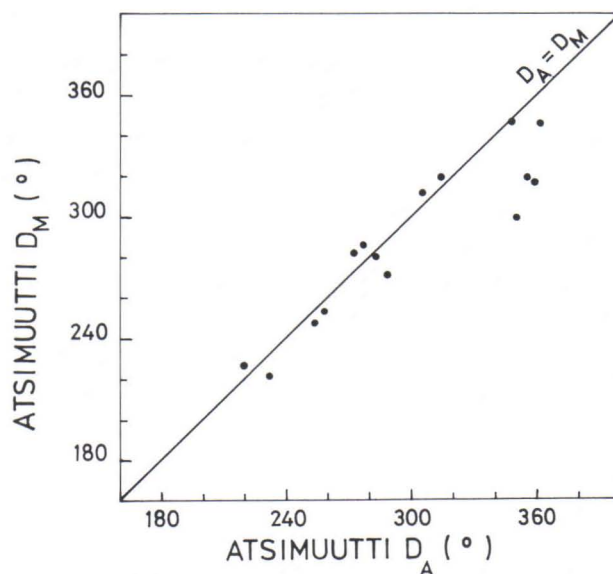
Fig. 6. Relation between specific susceptibility $K(10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$ and magnetite content $W(\text{weight } \%)$ for 147 till specimens from Hautajärvi. SEULOMATTOMAT NÄYTTEET = unsieved specimens.



Kuva 7. Kallioperä, tärkeimmät magnetiittilähteet ja moreenin suskeptibiliteetin vaihtelu Hautajärven tutkimuslinjalla.

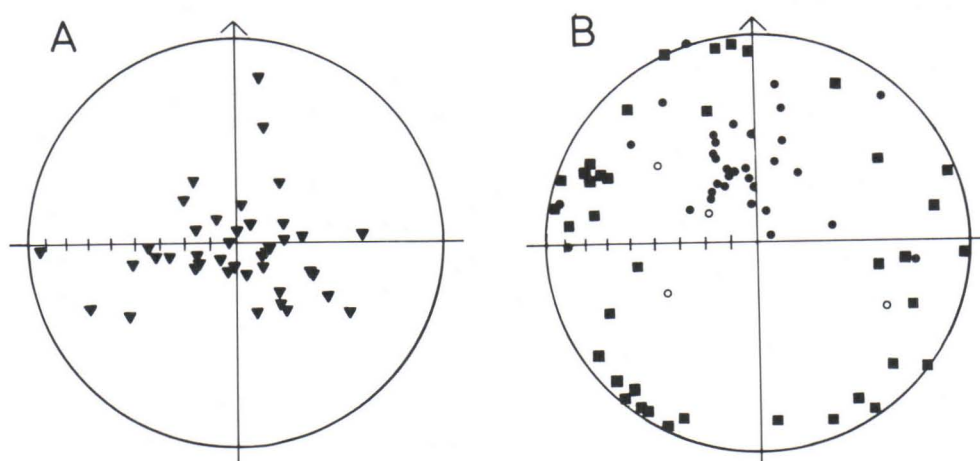
Fig. 7. Variation of specific susceptibility of till overburden along the Hautajärvi investigation line based on field measurements (MAASTOMITTAUKSET) and laboratory measurements (LABORATORIOMITTAUKSET). Also shown are the most important magnetite sources (MAGNETIITILÄHDE) of bedrock and the glacial flow direction (JÄÄTIKÖN VIRTAUSSUUNTA). Distance = ETÄISYYS.

Rautuvaaran moreenileikkauksesta kerättiin suunnattuja moreeninäytteitä jäätikön virtaussuuntien arvioimiseksi. Rasioista määrättiin rakeiden suuntautuneisuus sekä mikro-suuntauslaskuin (D_M) että susceptibiliteetin anisotropiamittauksin (D_A). Tulosten vertailussa (kuva 8) edustaa suora $D_M = D_A$ tilannetta, jossa eri menetelmillä määrättyt suunnat olisivat identtiset. Havaintopisteet ryhmittyyvät suoran läheisyyteen ja tilastollisesti



Kuva 8. Rautuvaaran moreeninäytteistä mikro-suuntauslaskuin (D_M) ja susceptibiliteetin anisotropiamittauksin (D_A) saatujen tulosten vertailu.

Fig. 8. Azimuth D_M of microscopically determined orientation vs. azimuth D_A of maximum susceptibility. Fifteen till specimens from Rautuvaara.



Kuva 9. Rautuvaaran suunnattujen moreeninäytteiden A) minimisusceptibiliteetit \blacktriangledown ja B) maksimisusceptibiliteetit \blacksquare sekä remanenssit sama-alaprojektiossa. Remanenssin inkliinaatio: \bullet = positiivinen, \circ = negatiivinen.

Fig. 9. A) Minimum susceptibilities \blacktriangledown B) maximum susceptibilities \blacksquare and remanent magnetizations of oriented till specimens from the Rautuvaara deposit presented in equal-area projection. Inclination of remanence: \bullet = positive and \circ = negative.

menetelmät ovat yhtäpitäviä. Samanlainen tulos on saatu myös muualta Lapista tutkituista moreenirasioista.

Rautuvaarasta kerätyistä moreenisylintereistä määritettiin anisotropiamittauksin magnetiittirakeiden kolmiulotteinen suuntaus. Anisotropiamittaukset osoittavat, että magneettinen foliaatio eli kerrostuneisuustaso on likimain vaakasuora, sillä moreenisylintereiden minimisuskeptibiliteetit ryhmittyvät vertikaalisuunnan ympärille (kuva 9A). Sylinterinäytteiden maksimisuskeptibiliteetit eli magneettinen lineaatio havaitaan likimain vaakasuoraksi ja atsimuutiltaan vaihtelevaksi (kuva 9B).

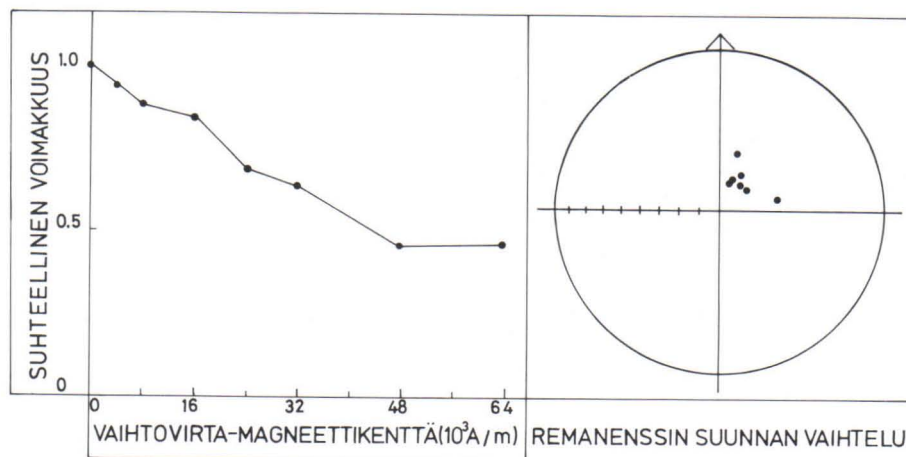
Maastossa suoritettujen suuntauslaskujen, mikrosuuntauslaskujen sekä susceptibiliteetin anisotropiamittausten avulla määrättyjen virtaussuunta-arvioiden todettiin Rautuvaarassa kahta isokivistä moreenipatjaa lukuunottamatta antavan keskenään hyvin yhtäpitävät tulokset. Lisäksi anisotropiamittauksin voitiin arvioida Rautuvaaran leikkauksen sedimenttipatjojen virtaussuunnat. Tavanomaisiin suuntauslaskuihin verrattuna anisotropiamittausten suurin etu on niiden nopeus. Yhden näytteen mittausta kestää vain muutamia minutteja, kun taas yksittäinen suuntauslasku vie aikaa puolesta tunnista tuntiin. Moreenin raesuuntaus on patjan eri osissa usein melko vaihteleva, joten luotettava virtaussuunta-arvio edellyttää lukuisia suuntausanalyyssejä. Riittävän monen näytteen raesuuntauksen analysointi käy hyvin päinsä nopeilla anisotropiamittauksilla, joten olisi paikallaan ottaa menetelmä käyttöön ainakin tavanomaisten menetelmien rinnalla.

Remanentti magnetoituminen

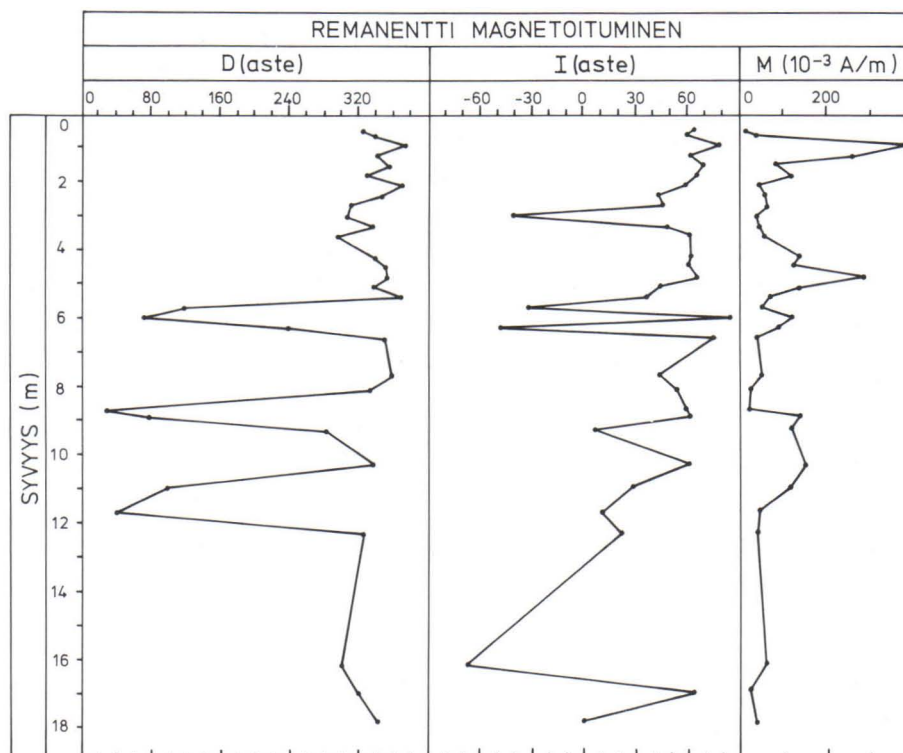
Indusoituneen magnetoitumisen lisäksi esiintyy maankamarassa usein myös pysyvää magnetoitumista, joka toisin kuin indusoitunut magnetoituminen säilyy, vaikka sen synnyttänyt maan magneettikenttä muuttuisi tai häviäisi. Tätä pysyvää magnetoitumista nimitetään remanenssimagnetismiksi. Kivi- ja maalajiyksiköiden eri aikoina syntyneen remanenssin suunnan on usein havaittu poikkeavan paljonkin maan nykyisen kentän suunnasta. Näitä poikkeamia voidaan käyttää geologisten muodostumien stratigrafisessa luokittelussa ja myös ajoituksessa, jos käytettävissä on maan magneettikentän aikaan sidottu vaihtelumalli ko. alueelle.

Sedimenttien remanenssi syntyy rapautuneen magneettisen aineksen, lähinnä magnetiitti- ja hematitiirakeiden, laskeutuessa kerrostumisalustalle. Kerrostumisen aikainen magneettikenttä rekisteröityy sedimenttiin, kun magnetiittirakeet asettuvat pohjalle siten, että niiden magneettiset momentit kiertyvät maan kentän suuntaan. Rakeiden magneettisten momenttien suunta poikkeaa usein rakeiden pituusakseleiden suunnasta. Tämä näkyy kuvasta 9B, jossa Rautuvaaran moreeninäytteiden maksimisuskeptibiliteettien suunnat (magnetiittirakeiden pituusakselit) sijoittuvat vaakatasoon, kun taas remanenssin suunnat (magnetiittirakeiden magneettiset momentit) ovat lähempänä vertikaalisuntaa. Kuva havainnollistaa samalla, että susceptibiliteetin anisotropia ja remanenssi ovat paljolti riippumattomia toisistaan.

Moreenien remanenssia ja sen syntytapaa on toistaiseksi tutkittu vähän. Kanadassa on kuitenkin todettu moreeneissa remanenssia, jonka on oletettu syntyneen jäätikön alla olevassa lietekerroksessa samalla tavalla kuin se syntyy sedimenttien kerrostuessa vapaassa tilassa (Stupavsky *et al.*, 1974). Jotta remanenssia voitaisiin käyttää moreenien aikaluokituksessa on remanenssin kestävä muuttumattomana syntymästään nykyhetkeen. Remanenssin kestävyyttä voidaan arvioida käsittelemällä näytettä vaihtovirta-magneettikentässä, jota asteittain kasvatetaan. Kuvasta 10 näkyy Rautuvaaran yhden moreeni-



Kuva 10. Rautuvaaran moreeninäytteen no. 34 remanenssin voimakkuuden ja suunnan muutokset kasvavalla vaihtovirta-magneettikentällä suoritetussa käsittelyssä.
Fig. 10. Variation of intensity and direction of remanent magnetization in AF-demagnetization of till specimen no. 34 from Rautuvaara. SUHTEELLINEN VOIMAKKUUS = relative intensity of remanence and VAIHTOVIRTA-MAGNEETTIKENTTÄ = peak AF-intensity.



Kuva 11. Remanenssin suunnan deklinaation D ja inkliinaation I sekä voimakkuuden M vaihtelu Rautuvaaran moreenileikkauksessa.
Fig. 11. Variation of declination D(degrees), inclination I(degrees) and intensity M(10^{-3} A/m) of remanent magnetization across the Rautuvaara deposit.

näytteen käsittelyn tulos. Aines on sekä remanenssin intensiteetin että sen suunnan osalta erittäin kestävä.

Kuvassa 11 esitetään remanenssin vaihtelu Rautuvaaran moreenileikkauksessa. Sekä remanenssin suunnassa että sen voimakkuudessa on selviä vaihteluita, joita sellaisenaan voidaan käyttää apuna muodostuman sisäisessä stratigrafisessa luokittelussa, mahdollisesti myös eri muodostumien välisessä korreloinnissa. Ylimmissä moreenipatjoissa remanenssin suunta yhtyy likimain maan magneettikentän nykyiseen suuntaan Rautuvaaran alueella ($D = 5^\circ$, $I = 78^\circ$). Alemmissä kerroksissa on selviä poikkeamia nykyisen kentän suunnasta ja niitä voitaisiin mahdollisesti käyttää merkkiorisontteina ajoituksessa. Magneettisen ajoituksen käyttöönotto vaatii kuitenkin magneettisen aika-asteikon luomista, johon tarvitaan sekä absoluuttisia ikämäärytyksiä että remanenssimittauksia tiheällä näytevälillä lukuisista moreenileikkauksista.

TUTKIMUSTULOKSET

Virtausvaiheet

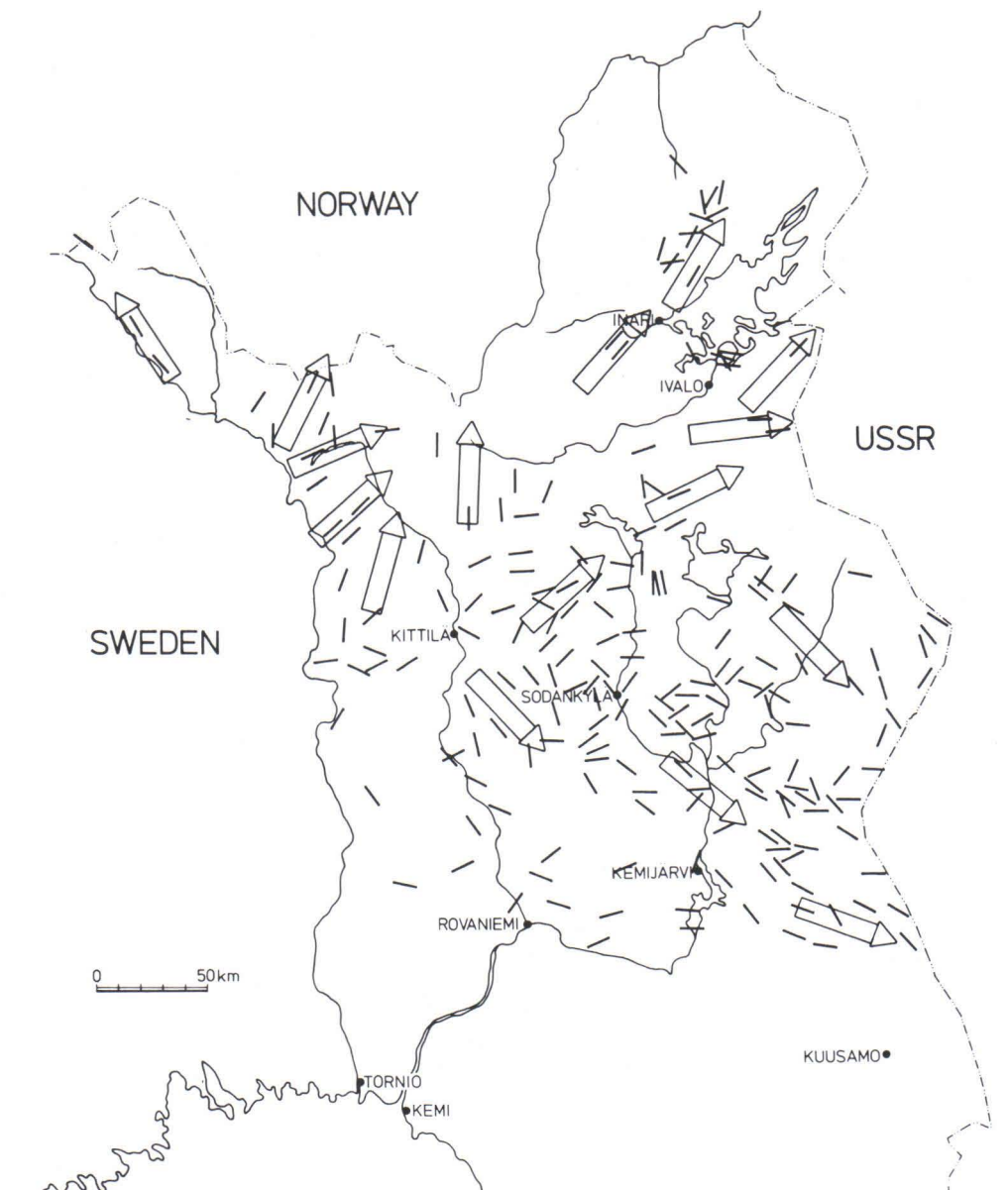
Yleistä

Kun malminetsintää palveleva maaperätutkimus vuonna 1972 alkoi, oli tiedossa, että Pohjois-Suomessa on ollut ainakin kaksi eri jäätiköitymisvaihetta, joista merkkeinä ovat ns. nuorempi ja vanhempi moreeni sekä niiden välissä olevat lajittuneet ainekset. Monin paikoin oli todettu nuoremman moreenin suuntauksen poikkeavan huomattavasti vanhemman moreenin suuntauksesta. Hyvin pian kaivuriohjelman alettua havaittiin, että moreenikerrostumien rakenne olikin huomattavasti monimutkaisempi. Kerrostumat muodostuvat useista värin, suuntauksen, kivilajikoostumuksen, kivisyyden, raekoostumuksen ja hivenmetallipitoisuuden suhteen toisistaan poikkeavista moreenikerroksista, joita vaihtelevan paksuiset lajittuneen aineksen kerrokset usein erottavat toisistaan.

Kun osoittautui, että tietyssä stratigrafisessa asemassa olevan moreenin aineksen suuntaus ja muutkin fysikaaliset ominaisuudet ovat yleensä varsin samankaltaiset aina yhdellä alueella, päädyttiin käsitykseen, että moreeniyksiköt ovat syntyneet eri jääkausien eikä vain saman jääkauden eri virtausvaiheissa. Tämän perusteella oletettiin, että osa-alueiden eri moreenit voidaan rinnastaa toisiinsa luomalla riittävän tiheä tutkimuskuoppaverkko. Saatujen tulosten perusteella näyttääkin ilmeiseltä, että ainakin Keski-Lapin laajalla jäänjakajavyöhykkeellä, jossa glasiaalieroosio on aina ollut heikkoa, esiintyy ainakin viisi eri ikäistä moreenipatjaa, jotka siis kuvastavat viittä eri virtausvaihetta. Ne on nimetty I–V, nuorimmasta vanhimpaan. Havaintoaineiston lisääntyessä ja täydentyessä saattaa olla mahdollista, että virtausvaiheita voidaan erottaa vielä useampia.

Virtausvaihe I

Jäätikön viimeisin, nuorin virtaus liittyy sulamisvaiheeseen. Ylimmän moreenin suuntauksia kuvaava kartta (kuva 12) osoittaa, että suuntien hajonta on suuri. Tässä vaiheessa lienee kerrostunut suurimmaksi osaksi ablaatiomoreenia. Vain paikoin suunnat kuvastavat ohuen, lähinnä maaston alimpia osia peittäneen jäätikön paikallista virtausta. Kuvassa 12 on esitetty avoimilla nuolilla ne moreenit, joiden on tulkittu kerrostuneen pohjamoreeninä I-vaiheen aikana. Jäätikkö oli tässä vaiheessa jo huomattavasti ohentunut ja virtauksessaan se noudatti alustan painanteita. Varsinkin voimakkaan reliefin alueil-

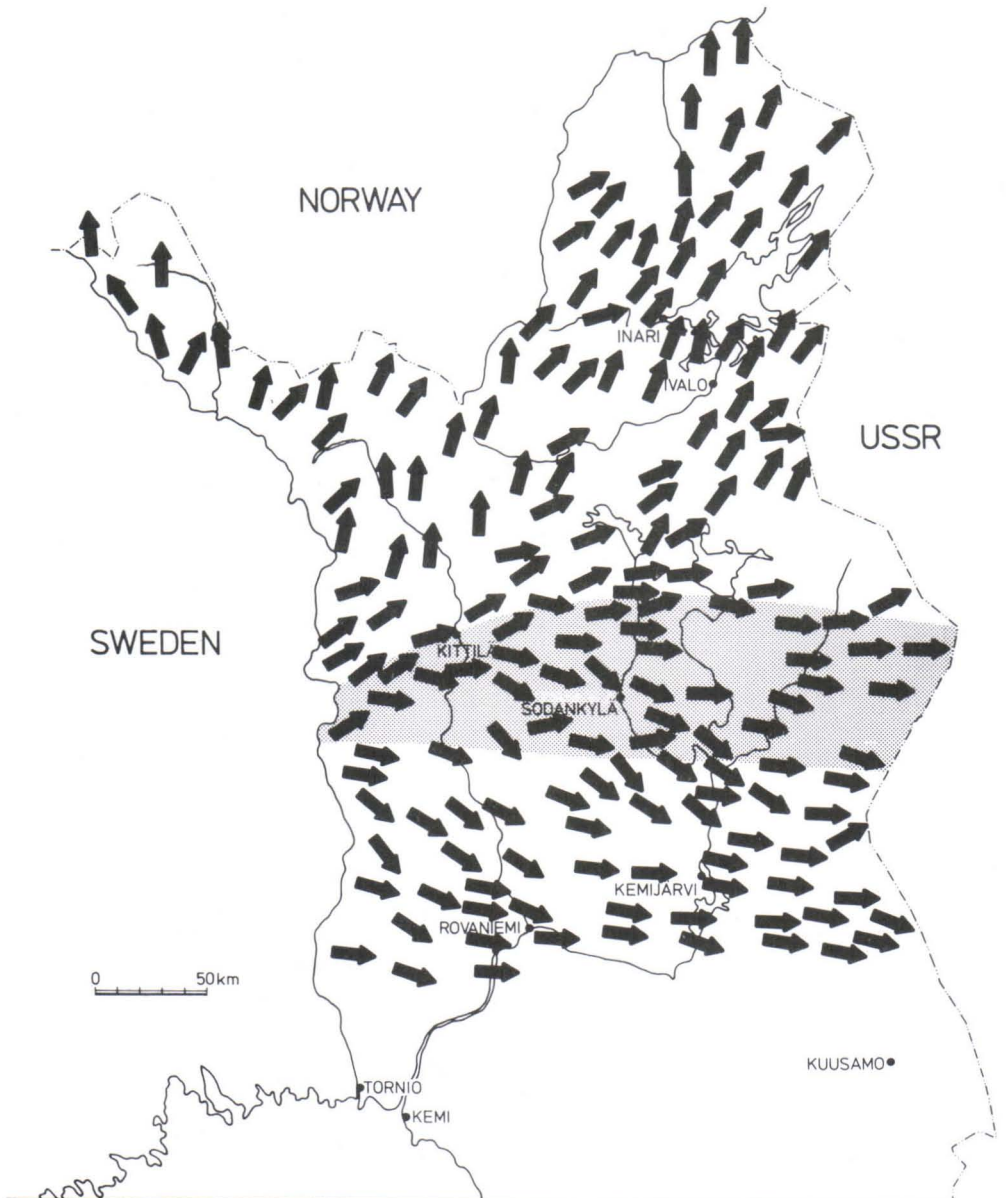


Kuva 12. Nuorimman moreenipatjan aineksen suuntaus (viivat), virtausvaihe I. Nuolet osoittavat alueita, joissa ilmeisesti on tapahtunut paikallista jäätikön virtausta.

Fig. 12. The preferred orientation of the pebbles in the youngest till bed during Stage I of the glacial flow (the short lines). The arrows show the areas where local flow of the ice sheet evidently took place.

la reuna muodostui useista eri suuntiin virtaavista jäätikkökielekkeistä, mistä johtuen virtaussuunnat paikallisesti vaihtelivat huomattavasti. Jäätikön sulaminen ei kuitenkaan liene tapahtunut yhtäjaksoisesti koko tutkimusalueella. Jäätikön paikallisesta etenemisestä I-vaiheen aikana on merkkejä Muonion–Enontekiön ja Ivalon–Inarin alueilla Pohjois-Lapissa sekä Sodankylän itäpuolella Keski-Lapissa. Tästä ovat osoituksena I- ja II-patjojen välissä esiintyvät ohuet hiekka- ja sorakerrokset sekä II-patjassa esiintyvät routakiilat, jotka alkavat I- ja II-patjan välisestä kivisestä eroosiopinnasta.

I-vaiheen aikana jäätikön kuluttava ja kerrostava toiminta on ollut vähäistä. Lähinnä se on kohdistunut aikaisemmin kerrostuneeseen ainekseen. Käytännön malminetsinnän kannalta I-moreeni on sikäli hankala, että maan pinnalla esiintyvät, lähes täysin pyöristymättömät kivet ja lohkareet – mahdolliset malmilohkareet mukaan lukien – voivat olla ainoana jäljellä olevana merkinä jäätikön päällä kulkeutuneesta ablaatiomoreenista, jäätikön pinnalla virranneiden sulavesien huuhdottua hienoaineksen muualle. Tällaisessa tapauksessa on erittäin vaikeaa päätellä minkä virtausvaiheen aikana lohkareet ovat kulkeutuneet paikalleen.



Kuva 13. Virtausvaihe II osoittaa mannerjäätikön virtausuunnat viimeisen jäätiköitymisen leviämisvaiheessa. Tummennettu alue kuvastaa leveää jäänjakajavyöhykettä, jossa suuntien hajonta on suurin.

Fig. 13. Flow Stage II shows the directions of flow of the continental ice sheet during the expansion stage of the last glaciation. The shaded area represents the broad ice-divide zone, where the directions vary the most.

Virtausvaihe II

Virtausvaiheessa II (kuva 13) jäätikkö virtasi Etelä- ja Keski-Lapissa keskimäärin lännestä itään ja Pohjois-Lapissa koilliseen, kuitenkin niin, että tässäkin vaiheessa virtaus näyttää noudatelleen kallioperän suurmuotoja. Jäänjakaja sijaitsi Keski-Lapissa. Jäätikön virtaussuunnan määrittäminen jäänjakajavyöhykkeellä on osoittautunut erittäin hankalaksi, sillä suuntauslaskut antavat paikoin toisistaan poikkeavia tuloksia siten, että vierekkäissäkkin tutkimuskuopissa samasta moreenipatjasta saadut suuntaustulokset voivat poiketa toisistaan jopa 90°. Tämä selittyy siitä, että pienetkin jäänjakajan sijainnin muutokset aiheuttavat huomattavia paikallisia virtaussuunnan muutoksia. Keski-Lapin uurteisto, muutamat havainnot vakoutuneista moreenipinnoista sekä kivilaskujen tulokset yhdessä suuntauslaskujen kanssa osoittavat jäätikön virranneen jäänjakajavyöhykkeellä keskimäärin itään.

Jäänjakajavyöhykkeen ulkopuolella jäätikön virtaus oli tämän vaiheen aikana erittäin voimakasta. Valtaosa tutkimusalueen nykyisistä glasiaalisista suurmuodoista, kuten pohjois- ja kaakkoisosan fluting-selänteet ja vakoutuneet moreenipinnat sekä laajat kumpumoreenikentät ovat syntyneet tämän II-vaiheen aikana. Virtausvaihe II liittyy nuorimman jäätiköitymisen leviämisvaiheeseen.

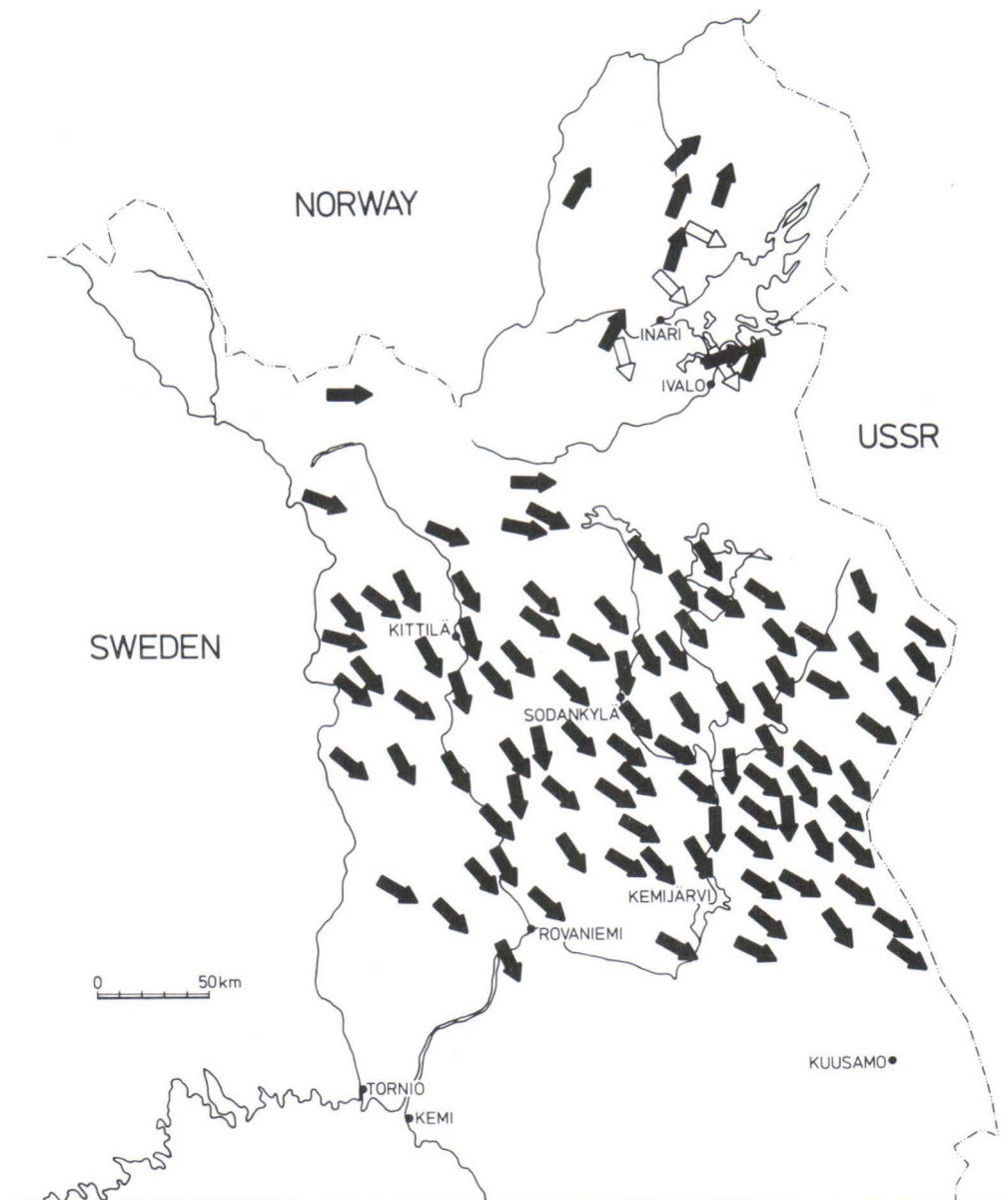
Virtausvaihe III

Virtausvaiheen III aikana jäätikkö virtasi luoteesta kaakkoon lukuun ottamatta pohjoisinta Lappia, missä virtaus oli etelälounaasta pohjoiskoilliseen kohti Jäämerta (kuva 14). Silloisen jäänjakajan on täytynyt sijaita Suomessa Saariselän tienoilla ja lännempänä Kölin vuoriston liepeillä.

Saariselän pohjoispuolella on löydetty merkkejä II-vaihetta vanhemmasta jäätikön virtauksesta, joka tapahtui luoteesta kaakkoon. Tästä on osoituksena harvalukuinen uurteisto sekä pyörityneiden kaledonisten sedimenttikiven esiintyminen mm. Lemmenjoen alueella. Tämän lisäksi muutamissa tutkimuskuopissa on koilliseen suuntautuneen moreenipatjan alla moreenia, jonka suuntaus on luoteesta kaakkoon ja joka myös muilta ominaisuuksiltaan poikkeaa huomattavasti yläpuolisesta patjasta. Tämän Pohjois-Lapin luode-kaakko-suuntaisen jäätikön virtauksen on tulkittu tapahtuneen III-vaiheen jäätiköitymisen alkuvaiheessa, jolloin jäätikkö olisi virrannut Kölin vuorilta (kuva 14). Jääpeitteen paksutessa ja sen keskusalueen siirtyessä kohti kaakkoa virtaus olisi pohjoisosassa kääntynyt kohti Jäämerta. Havaintoja luoteesta kaakkoon tapahtuneesta jäätikön virtauksesta on kuitenkin vielä niin vähän, ettei sitä ole voitu ajoittaa luotettavasti. Lohkare-etsinöissä Pohjois-Lapissa tämä kuljetussuunta on siitä huolimatta otettava huomioon yhtenä vaihtoehtona.

III-vaiheen aikana jäätikön toiminta on ollut erittäin voimakasta ja jäätikön virtaus on vain vähän myötäillyt kallioperän suurmuotoja. Tästä virtausvaiheesta peräisin ovat mm. Keski-Lapin drumliinit. Ainakin Keski-Lapissa III-vaihetta voidaan pitää tärkeimpänä moreenin kuljettajana.

Käsivarren Lapista III-vaiheen virtauksesta ei ole löytynyt varmoja merkkejä. Siellä ei kaivutöissä ole pystytty lävistämään II-vaiheen moreenia ja on myös mahdollista, että II-vaihe on siellä ollut niin voimakas, että jäätikkö on kerrostanut uudelleen suurimman osan varhaisemmista kerrostumista.



Kuva 14. Virtausvaihe III. Avoimet nuolet Pohjois-Lapissa kuvastavat jäätikön virtausta tämän jäätiköitymisen alkuvaiheessa (ks. teksti).

Fig. 14. Flow Stage III. The open arrows in northern Finnish Lapland represent the flow of the ice sheet during the initial stage of this glaciation (see text).

Virtausvaihe IV

Virtausvaiheen IV aikana jäätikkö virtasi länsilounaasta itäkoilliseen (kuva 15), joten silloisen jäänjakajan on täytynyt sijaita koko tutkimusalueen etelä- ja lounaispuolella. Tästä virtausvaiheesta on 33 havaintoa. Siihen liittyvän moreenin kivisyyden, kivikoon ja kerrospaksuuden perusteella jäätikön toiminta on ollut yhtä aktiivista kuin vaiheessa III. Myös tämän vaiheen vaikutus on otettava huomioon aineksen kulkeutumista tutkittaessa.



Kuva 15. Virtausvaihe IV.
 Fig. 15. Flow Stage IV.

Pohjois-Lapista IV-vaiheen virtauksesta ei ole havaittu merkkejä syvissäkään leikkauksissa. Virtausvaiheiden II ja III aikana glasiaalieroosio on siellä ollut niin voimakasta, että vanhemmat kerrostumat ovat kuluneet suojaisimpia maastokohtia lukuunottamatta pois ja kerrostuneet uudelleen.

Virtausvaihe V

Virtausvaiheen V aikana jäätikkö näyttää virranneen likimain samasta suunnasta kuin vaiheessa III eli luoteesta kaakkoon (kuva 16). Jäänjakaja lienee tuolloinkin sijainnut Kölin vuoriston tienoilla. Samoin perustein kuin vaiheen IV kohdalla voidaan tämän vaiheen arvioida olleen yhtä voimakas kuin vaiheet III ja IV.



Kuva 16. Virtausvaihe V.
 Fig. 16. Flow Stage V.

Vaiheen V moreenipatjoja vanhemmista moreeneista on yksi varma havainto. Rautuvaaran avolouhoksen moreenileikkauksen syvimässä kohdassa, kallioperän suojaisessa painanteessa on V-moreenin alla erittäin tiukkaan pakkautunutta, paikoin betonimaisen kovaa moreenia, jonka kivet ovat suuntautuneet lännestä itään (kuvat 18 ja 19).

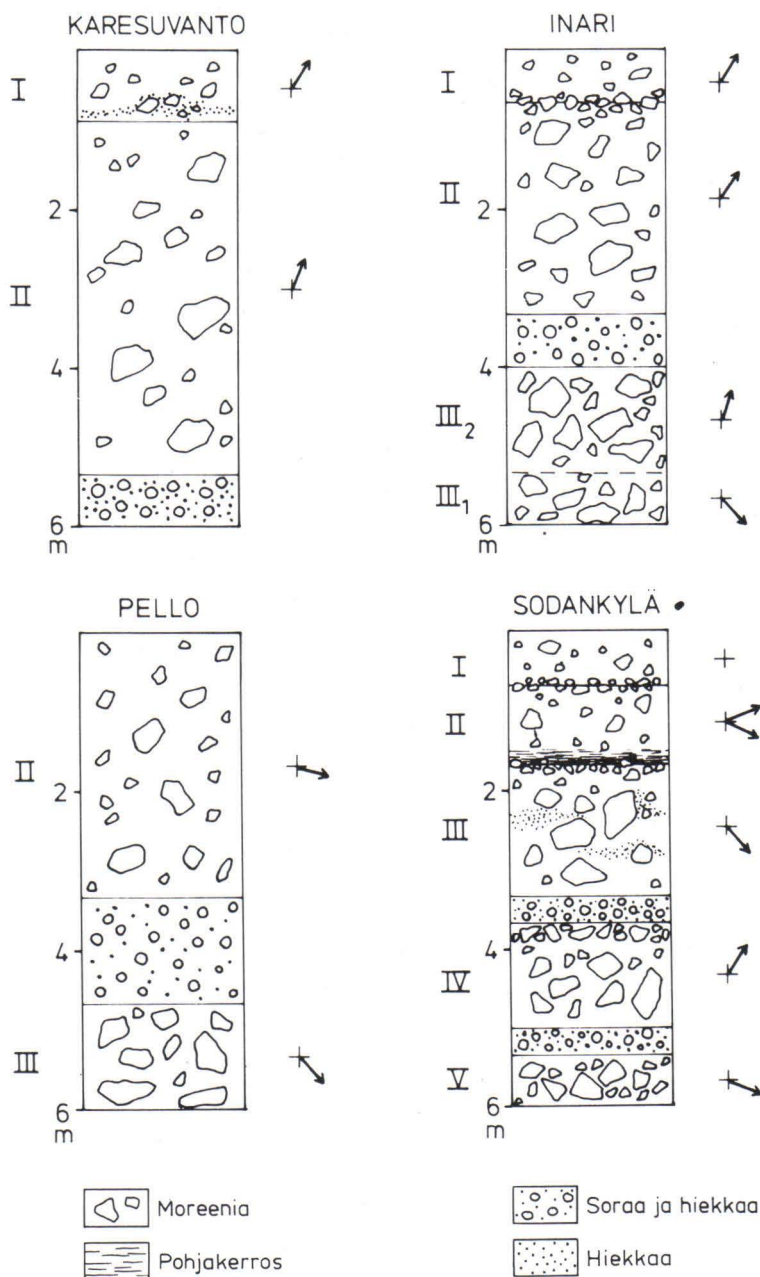
Stratigrafia

Yleistä

Virtausvaiheita vastaavat moreenipatjat on nimetty I-V niitä kuljettaneiden virtausvaiheiden mukaan. Moreenipatjat koostuvat useasta pienemmästä stratigrafisesta yksiköstä,

joita tässä kutsutaan kerroksiksi. Kerrosta pienempiä yksiköjä on kuvailtu linsseinä, raitoina, juovina jne.

Varsinkin Keski-Lapin prekvartaärin rapakallion esiintymäalueella moreenipatjojen alaosassa on usein tumman ruskea tai tumman harmaa, voimakkaasti lamellirakenteinen pohjakerros, jonka paksuus vaihtelee 5 – 70 cm. Pohjakerroksessa aineksen suuntaus



Kuva 17. Kaavakuva tutkimusalueen luoteis-, pohjois-, lounais- ja keskiosien tyypillisestä moreenistratiografiasta. Nuolet osoittavat mannerjätikön keskimääräisen virtaussuunnan eri vaiheissa.

Fig. 17. Schematic drawings showing the typical till stratigraphy of the northwestern, northern, southwestern and central parts of the region surveyed. The arrows indicate the mean direction in the flow of the continental ice sheet during the different stages. Moreenia = till, Pohjakerros = bottom layer, Soraa ja hiekkää = gravel and sand, Hiekkää = sand.

on yleensä sama kuin patjan ylemmissä osissa. Sen alakontakti on yleensä terävä ja siihen liittyy usein kivi- tai lohkarokerros, jossa kivet ja lohkat usein ovat lappeellaan (kuva 17, Sodankylä). Pohjakerroksen tumma väri johtunee siitä, että se sisältää runsaasti rapakallioaineita tai rapautunutta vanhaa maanpintaa tai maannosta. Pohjakerroksen aines onkin savespitoisempaa kuin patjan muut kerrokset, raudan hapettumisaste on korkeampi ja se sisältää usein runsaammin humusta ja siitepölyjä kuin muut kerrokset.

Moreenipatjojen välissä esiintyy usein lajittunutta ainesta vaihtelevan paksuisina jopa 15 m ylittävinä kerroksina. Paikoin moreenipatjojen välistä on tavattu myös ohuita organogeenisiä sedimenttejä, turvetta ja piimaata, jotka on voitu ajoittaa mikrofossiilisällön ja radiohiilimenetelmän perusteella.

Kuvassa 17 esitetään tutkimusalueen kvartaarisen maapeitteen yleistetty kerrosjärjestys. Koska Keski-Lapissa kvartaaripeite on keskimäärin vain viisi metriä paksu, on alue erityisen sopiva tutkittavaksi käyttäen kaivuria. Täydellisimpänä kerrosjärjestys on näkyvissä Rautuvaaran kaivoksen avolouhoksen moreenileikkauksessa (kuvat 18 ja 19). Rautuvaaran leikkaus tukee muualta palapelinä koottua kuvaa mannerjäätikön virtausvaiheista ja moreenin kerrosjärjestyksestä kuitenkin niin, että leikkauksen pohjaosassa esiintyy muualta tunnistamaton vanhin virtausvaihe ja siis yksi moreenipatja enemmän.

Moreenipatja I

Moreenipatja I on yleensä varsin ohut, useimmiten 0,5 – 1 m. Aines on tyypillisimmillään heikosti lamellirakenteista, löyhään pakkautunutta, vähä- ja pienikivistä hiekkamoreenia. Väriltään se on yleensä harmahtavan ruskea värisävyjen kuten muidenkin ominaisuuksien vaihdellessa huomattavasti läheisilläkin alueilla.

Keski-Lapin itäosissa patjassa esiintyy yleisesti tiiviimpi, intensiivisen ruskea, voimakkaasti lamellirakenteinen pohjakerros, jonka paksuus on yleensä 10 – 30 cm. Monin paikoin Keski-Lapissa ja myös Inarin–Ivalon alueella I- ja II-patjojen välissä esiintyy ohuita (2 – 40 cm) sora- tai hiekkakerroksia sekä selviä kivikerroksia, jotka on tulkittu eroosiopinoiksi.

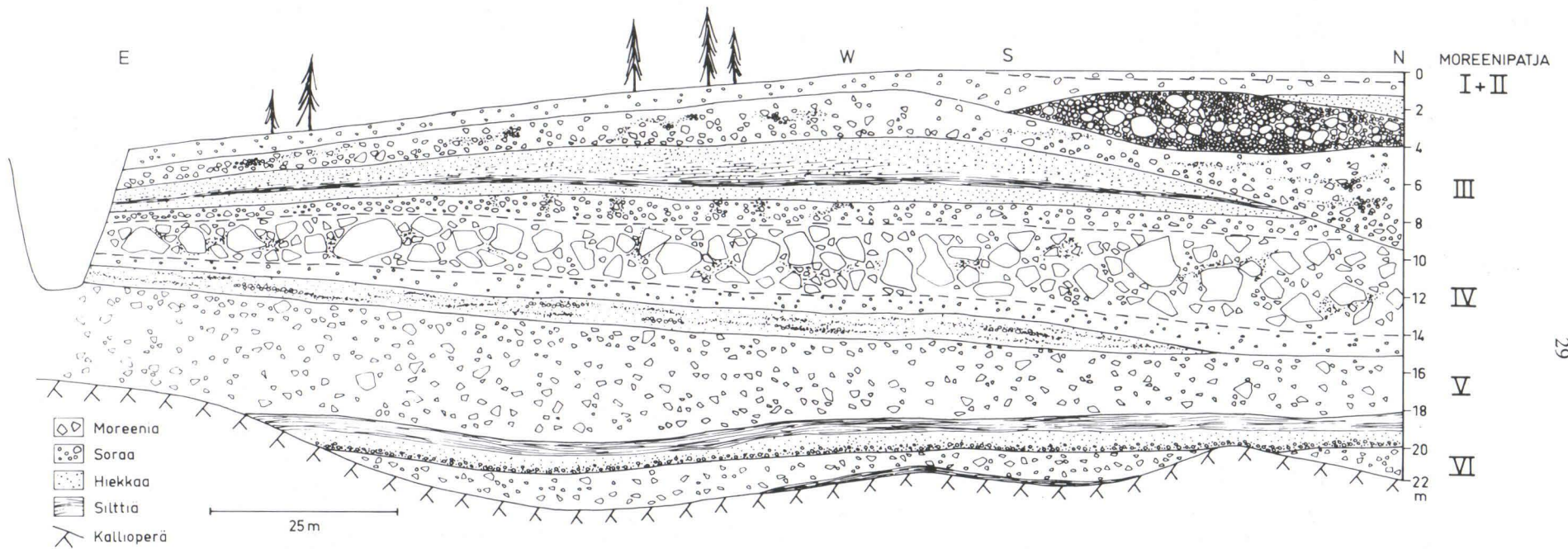
Moreenipatja II

Moreenipatja II on huomattavasti I-patjaa paksumpi. Patjan paksuus vaihtelee yhdestä metristä yli seitsemään metriin siten, että Keski-Lapissa patja on ohut, mutta sekä Pohjois- että Etelä-Lapissa paksu. Moreenipatja II sisältää selvästi runsaammin kiviä ja on selvästi tiiviimmin pakkautunutta kuin moreenipatja I, mutta lohkat on vähän. Aines on yleensä selvästi lamellirakenteista. Keski-Lapissa II-moreenille tyypillistä on raitainen kerrosrakenteinen, joka kuvastaa raesuuruus- ja värieroja. Moreenin väri on Keski-Lapissa ruskeanvoittoinen ja Pohjois- ja Etelä-Lapissa harmaa.

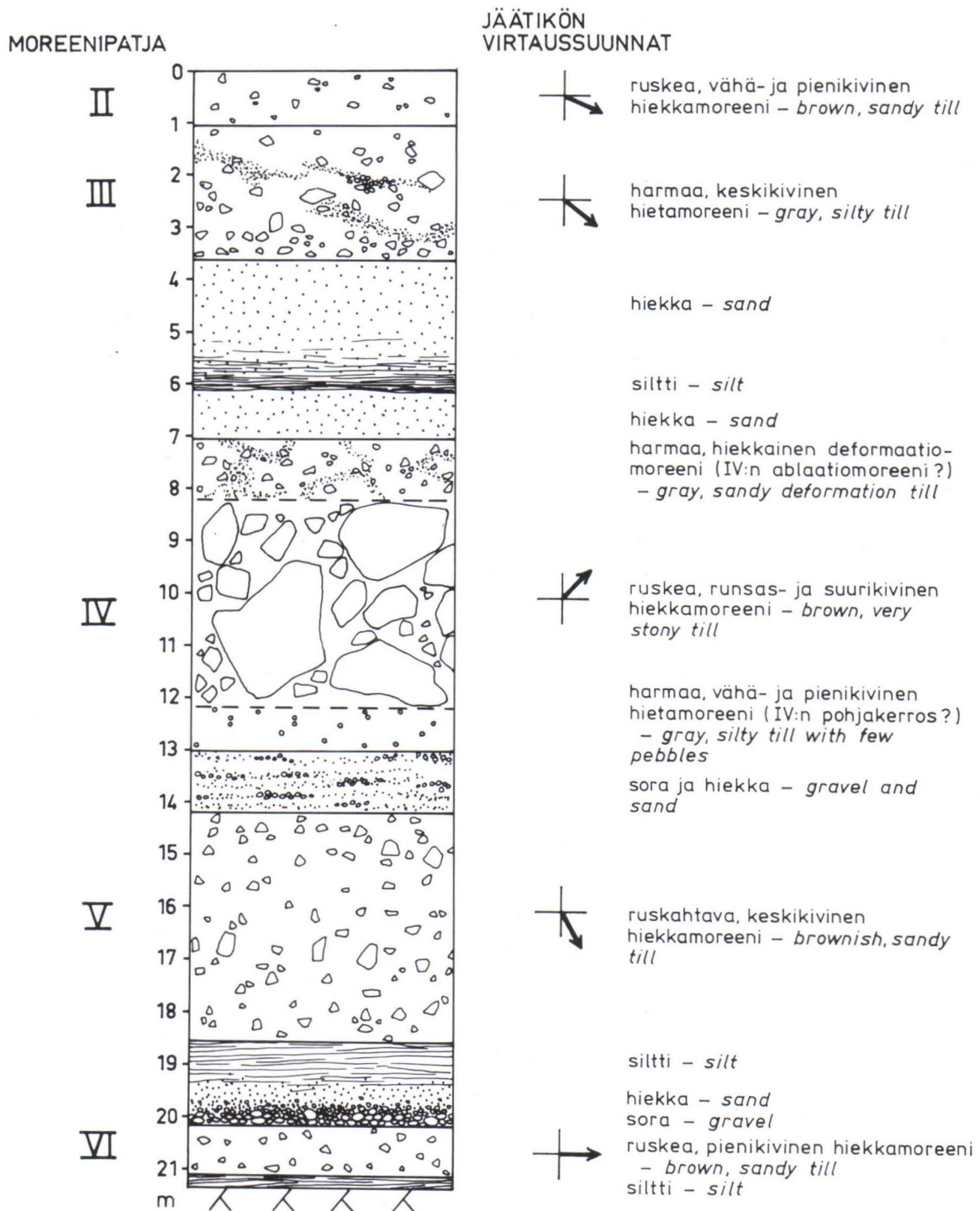
Keski-Lapin alueella patjan alaosassa esiintyy yleisesti hyvin kehittynyt tumman ruskea tai harmaa pohjakerros. II-patjan alla tavataan usein lajittunutta ainesta vaihtelevan paksuisena kerroksena.

Moreenipatja III

Moreenipatja III on nuoremmista moreeneista poiketen ulkonäöltään ja ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen kautta koko tutkimusalueen. Se on väriltään lähes poikkeuksetta harmaa; vain harmaan sävyt vaihtelevat. Moreeni on kivisempää ja lohkarisempää



Kuva 18. Kaavakuva Rautuvaaran avolouhoksen etelä- ja länsiseinämän stratigrafiasta.
 Fig. 18. Schematic drawing of the stratigraphy of the south and west wall of the open mining pit at Rautuvaara. Moreenia = till, Soraa = gravel, Hiekkaa = sand, Silttia = silt, Kallioperä = bedrock, Moreenipatja = till bed.



Kuva 19. Kaavakuva Rautuvaaran moreenileikkauksen eteläseinämän stratigrafiasta.

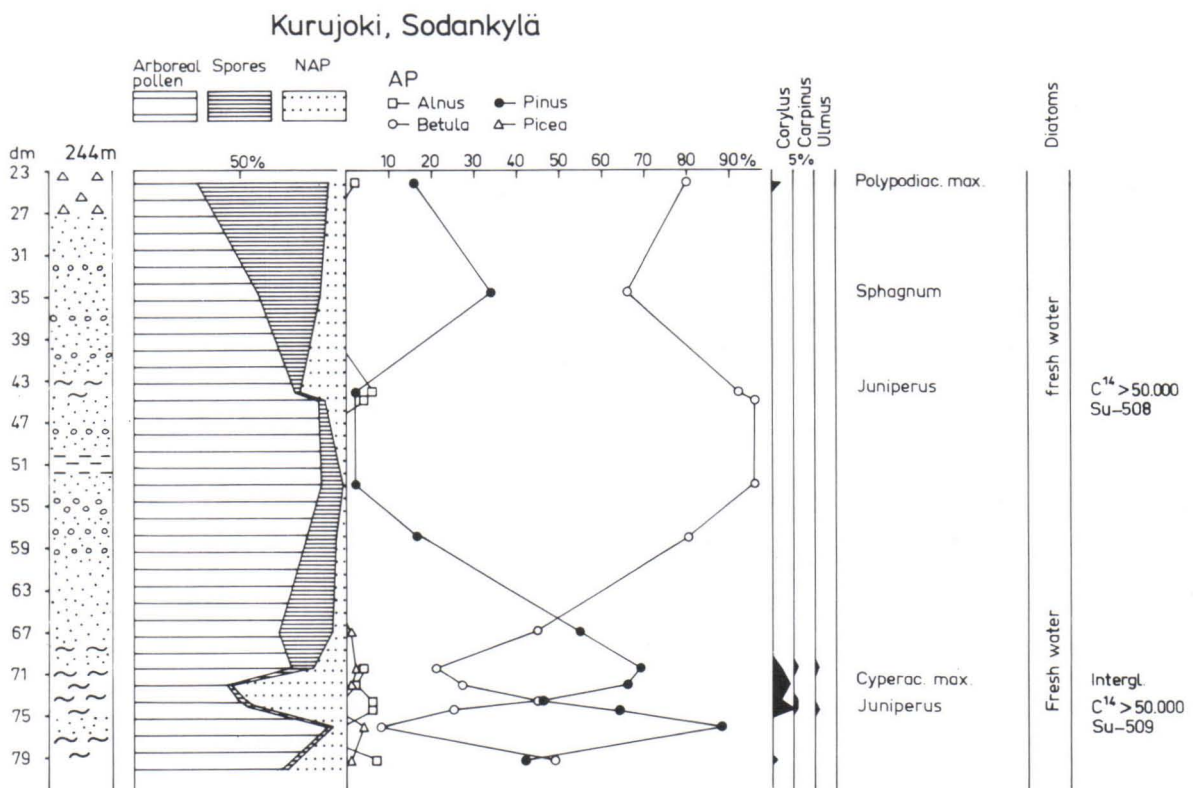
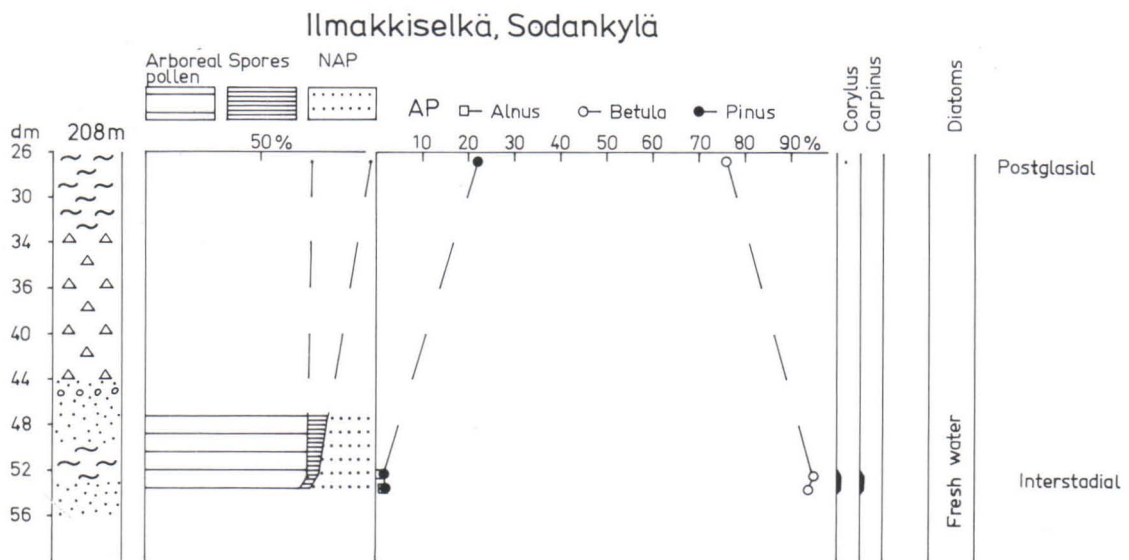
Fig. 19. Schematic drawing of the stratigraphy of the south wall of the till section at Rautuvaara. Moreenipatja = till bed, Jäätikön virtaussuunnat = directions of glacier flow.

paa ja keskimäärin tiukempaan pakkautunutta kuin nuoremmat moreenit. Sen rakenne vaihtelee massamaisesta lamellirakenteiseen. Lamellirakenteen on havaittu usein voimistuvan syvyyden mukana. Tyypillisinä rakennepiirteinä moreenissa esiintyy pieniä lajittuneen aineksen linssejä ja välikerroksia. Moreenipatja on varsin paksu, joskaan sen paksuutta ei aina ole pystytty määrittämään, koska kaivinkoneen ulottuvuus ei ole riittänyt patjan lävistämiseen.

Lajittunutta ainesta esiintyy usein myös patjan III alla. Yhdessä tutkimuskuopassa, Sodankylän Kuorajoenalla (kuva 20 kohta 7 ja kuva 22) tämän moreenipatjan alta on n. 2,7 m:n syvyydestä löydetty ohut turvekerros.



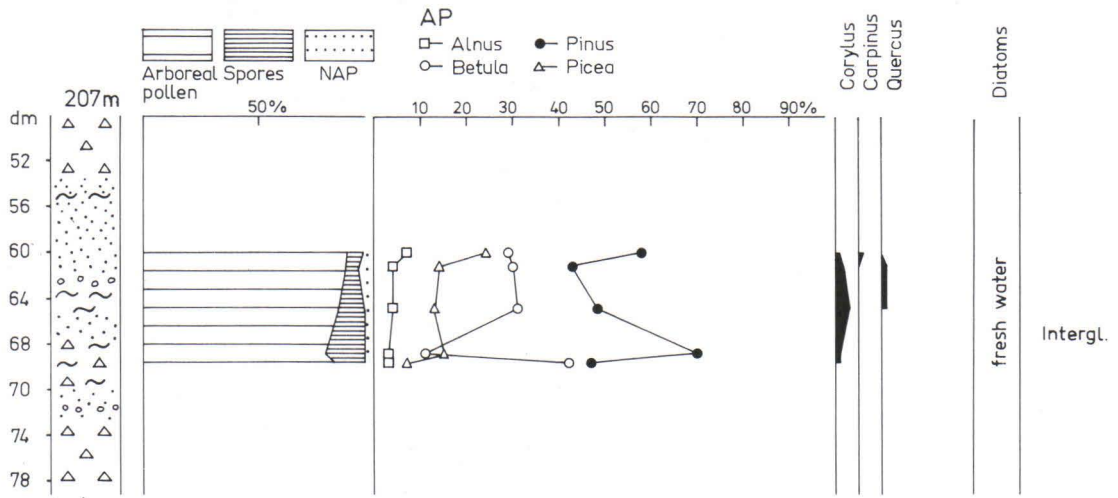
Kuva 20. Moreeninalaisten orgaanispitoisten kerrostumien sekä Akanvaaran tertiäärisen saven esiintymispaikat.
 Fig. 20. Organogenic deposits underlying till and the sites of occurrence of Akanvaara Tertiary clay.
 1) Ilmakkiselkä, 2) Kurujoki, 3) Postoaapa 1, 4) Postoaapa 2, 5) Viiankiaapa, 6) Pomokaira, 7) Kuorajoki, 8) Naakenavaara, 9) Naruskajärvi, 10) Akanvaara.



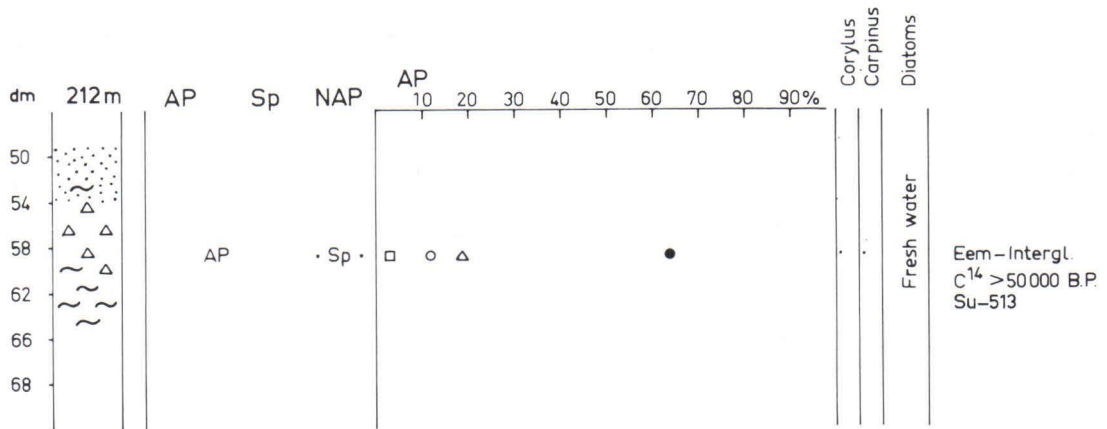
Kuva 21. Ilmakkiselän, Kurujoen, Postoaapa 1:n ja 2:n sekä Viiankiaavan moreeninalaisten kerrostumien siitepölydiagrammit. Paikat esitetty kuvassa 20.

Fig. 21. Pollen diagrams of deposits underlying till at Ilmakkiselkä, Kurujoki, Postoaapa 1 and 2 and Viiankiaapa. Sites shown in Fig. 20.

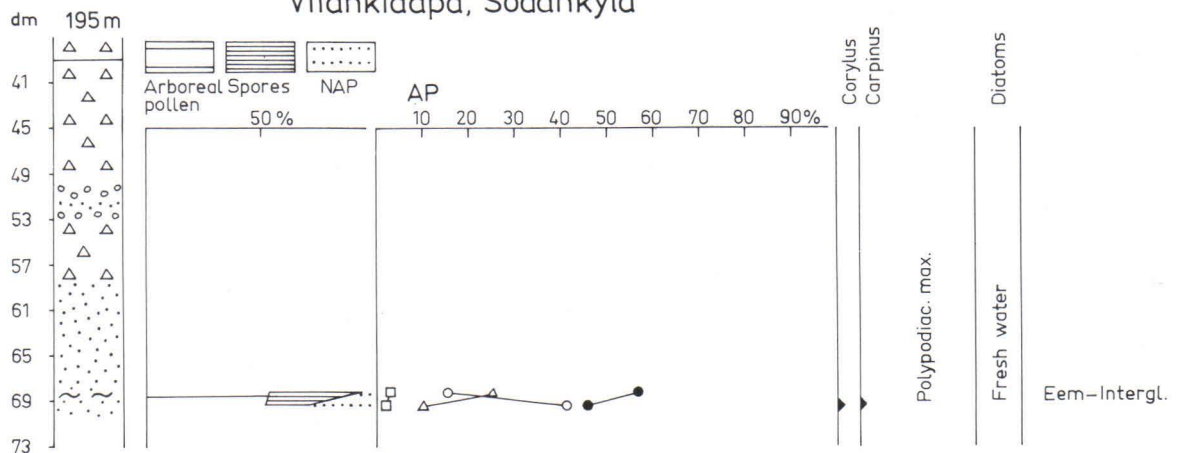
Postoaapa 1, Petkula, Sodankylä



Postoaapa 2, Petkula, Sodankylä



Viiankiaapa, Sodankylä



Moreenipatjat IV ja V

Koska moreenipatja III:n alla esiintyvistä moreeneista on vain vähän havaintoja, ne on jaettu suuntauksensa perusteella moreenipatjoiksi IV ja V. Näitä moreenipatjoja on tavattu yleensä vain syvimpien leikkausten pohjalla, eikä niiden lävistäminen ole ollut useinkaan mahdollista. Tästä syystä kerrosten paksuuksista ei ole tarkkoja tietoja. Patjojen aines on yleensä hyvin tiukkaan pakkautunutta ja varsinkin patjassa V on runsaasti rapautuneita kiviä. Kivisyys ja kivikoko ovat kummassakin likimain samat kuin moreenipatjassa III. Moreenipatja IV on useimmiten tumman ruskea ja usein erittäin voimakkaasti lamellirakenteinen kun taas V-moreeni on yleensä harmaata ja massamaista. Joissakin tapauksissa myös IV- ja V-patjojen alla on todettu esiintyvän tiukkaan pakkautunutta lajittunutta ainesta. IV-moreenista on tehty 33 ja V-moreenista 12 havaintoa.

Moreeninalaiset orgaanispitoiset kerrostumat

Keski-Lapissa, 67 ja 68 leveyspiirien välisellä alueella on tehty parikymmentä uutta havaintoa moreeninalaisista orgaanispitoisista kerrostumista. Suurin osa on löytynyt Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osaston systemaattisen näytteenoton yhteydessä. Näytteistä on alustavasti tutkittu kymmenkunta. Useimmat ovat turvetta, mutta myös piimaata esiintyy moreenien välisenä kerroksena.

Enemmistö tutkituista kerrostumista sijaitsee Sodankylän kunnan alueella. Ne ovat Ilmakkiselkä, Kurujoki, Postoaapa, Viiiankiaapa, Pomokaira ja Kuorajoki (kuva 20). Kaikissa näissä tapauksissa kyseessä on ohut moreeninvälinen turvekerrostuma. Kittilän Naakenavaaralta on tavattu merkittävämpi n. 1 m paksu turvekerrostuma (kuva 20, kohta 8), jonka tutkimus on vielä kesken. Savukosken Naruskajärven alueelta on moreenin alapuolelta tavattu ohut piimaakerrostuma (kuva 20, kohta 9).

Ennestään tunnetaan Pohjois-Suomesta verrattain viileätä ilmastoa edustanut Peräpohjola-interstadiaali (Korpela 1969), minkä aikaisia kerrostumia on kuvannut myös Kujansuu (1972, 1975). Peräpohjola-interstadiaalin iäksi on arvioitu keskimäärin 45000 vuotta (Korpela 1969). Merkittävämpi jäätön välivaihe edelsi Weichsel-jäätiköitymistä. Tämän interglasiaaliajan katsotaan päättyneen noin 75000 vuotta sitten (J. Lundqvist 1974). Sen kuluessa ilmastossa ja kasvillisuudessa tapahtui suuria vaihteluja. Tämän interglasiaalilin kerrostumia tunnetaan Pohjois-Ruotsista Svappavaarasta (J. Lundqvist 1971) ja Pohjois-Suomesta Soklista (Ilvonen 1973). Sodankylän Pyssyselästä kuvattu moreenin alainen turvekerrostuma (Tanskanen 1975) on siitepölysuhteiltaan interglasiaalis-tyyppinen.

Ne kerrossarjat, joissa moreeninalaisessa turvekerroksessa on *Betula*-valtainen subarktistyyppinen siitepölyflora ovat:

Ilmakkiselkä (x = 7514,36, y = 484,52) (kuva 21),

Kurujoki (x = 7541,66, y = 513,06), ylempi turvekerros (kuva 21),

Pomokaira (x = 7520,42, y = 456,05) (kuva 22),

Kuorajoki (x = 7547,86, y = 463,66) (kuva 22).

Palynologisin perustein tällainen subarktinen flora on ajoitettavissa joko Peräpohjola-interstadiaaliin tai viimeisen interglasiaalin subarktiseen vaiheeseen. Kurujoen ylempi turve kuuluu interglasiaalin loppuvaiheeseen, koska alempi turve on selvästi interglasiaalinen eikä turvekerrosten välissä ole moreenia. Pomokairan ohut turvekerros lienee myös muodostunut interglasiaalin subarktisessa vaiheessa, koska ylemmän moreenin sekafloora

on *Pinus*-valtainen. Selvästi interglasiaalistyyppisiä ovat seuraavat kerrostumat, joille on ominaista suhteellisen suotuisan ilmaston siitepölystö *Pinus*-maksimeinen:

- Kurujoki, alempi turvekerros (kuva 21),
- Postoaapa 1 (x = 7506,24, y = 483,31) (kuva 21),
- Postoaapa 2 (x = 7506,60, y = 483,28) (kuva 21),
- Viiankiaapa (x = 7496,56, y = 492,22) (kuva 21),
- Naakenavaara (x = 7513,10, y = 547,41) (kuva 22),
- Naruskajärvi (x = 7478,30, y = 472,84) (kuva 22).

Joistakin kerrossarjoista löytyi tertiäärisiä mikrofossiileja. Merellisiä piileviä löytyi Viiankiaavan ja Kuorajoen näytesarjoista. Tertiäärisiä makeanveden piilevämuotoja löytyi varsinkin Naruskajärven moreeninalaisesta piimaasta, missä luonteenomainen muoto on *Hydrosera (Terpsinoe) trifoliatum* Cleve (Lauby 1910). Tämä tertiäärikaudeltakin harvinainen muoto on kehittynyt Naruskajärvellä sarjaksi erilaisia tyyppisiä, jotka osaksi poikkeavat niin paljon alkumuodosta, että ne on luokiteltava eri muodoiksi. Muita tertiäärimuotoja ovat *Fragilaria triangulata*, *Actinella brasiliica*. *Tetracyclus floriformis* (Moisseeva 1971).

Tertiääriajalta peräisin ovat myös sekundaarisina Kolholaelta ja Kuorajoelta löydetty *Microthyriaceae*-esiintymät. Kuorajoella esiintyvä muoto on lähinnä verrattavissa Tennesseeeseen eoseenikerrostumista esitettyihin *Callimothallus pertusus*-sieniin. Sama tyyppi esiintyy myös Euroopan tertiäärikerrostumissa (Dilcher 1965).

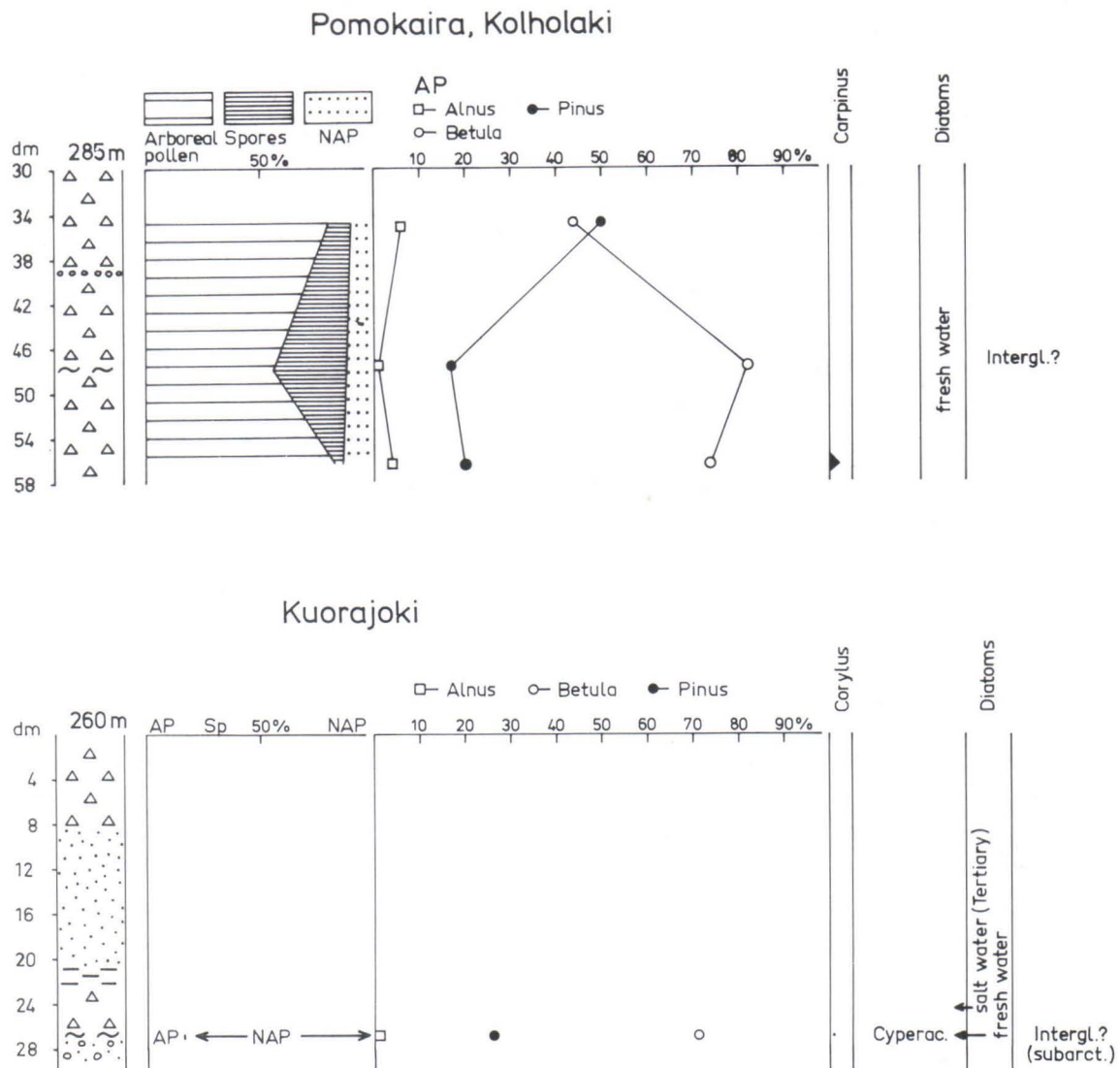
Savukosken Akanvaaran alueella Sankavaaran pohjoisrinteellä (x = 7454,69, y = 555,26) n. 205 m mpy. löytyi 2,6 m:n moreenikerrostuman alapuolelta 80 cm paksu savikerrostuma, joka savimineraalimäärittysten sekä mikrofossiilitutkimusten mukaan käsittelee tertiääristä savea. Muodostumasta ja sen mikrofossiilistosta on julkaistu alustava selvitys (Hirvas & Tynni 1976).

Tulosten tarkastelua

Moreenipatja I on kerrostunut jäätikön viimeisen sulamisvaiheen aikana. Suurimaksi osaksi se lienee kerrostunut ablaatiomoreenina ja vain paikoin pohjamoreenina. Joillakin alueilla jäätikön reuna on lyhyeksi aikaa edennyt uudelleen jäältä jo vapautuneelle alueelle.

Moreenipatja II ja sitä vastaava jäätiköitymis- ja virtausvaihe vastaa Korpelan (1969) esittämää Peräpohjola-interstadiaalia seurannutta jäätiköitymistä, joka on rinnastettavissa Keski-Euroopan Weichsel II -vaiheeseen. Moreenipatja II:n alla yleisesti esiintyvät lajittuneen aineksen kerrostumat (sora, hiekka ja siltti) orgaanista ainesta sisältävine välikerroksineen vastaavat Peräpohjola-interstadiaalia, jonka ikä Korpelan mukaan on pyöreästi 45000 vuotta.

Moreenipatja III on syntynyt Peräpohjola-interstadiaalivaihetta edeltäneessä jäätiköitymis- ja jäätikön virtausvaiheessa, joka voidaan rinnastaa Weichsel I -vaiheeseen. Myös moreenipatja III:n alla esiintyy yleisesti soraa, hiekkaa ja silttiä, joskus jopa savea. Moreenipatjan III alapuolella tavattavat orgaaniset välikerrokset, turve ja piimaa, ovat mikrofossiilitutkimusten mukaan muodostuneet nykyistä ja Peräpohjola-interstadiaalia suotuisamman ilmastovaiheen aikana. Välikerrokset ovat tämän hetkisen tiedon perusteella rinnastettavissa Keski-Euroopan Eem-interglasiaalikerrostumiin (Neuvostoliitossa Mikulino). Moreenipatja III alapuolisten sedimenttien ikää ei ole voitu ajoittaa tarkasti. Turvekerros-



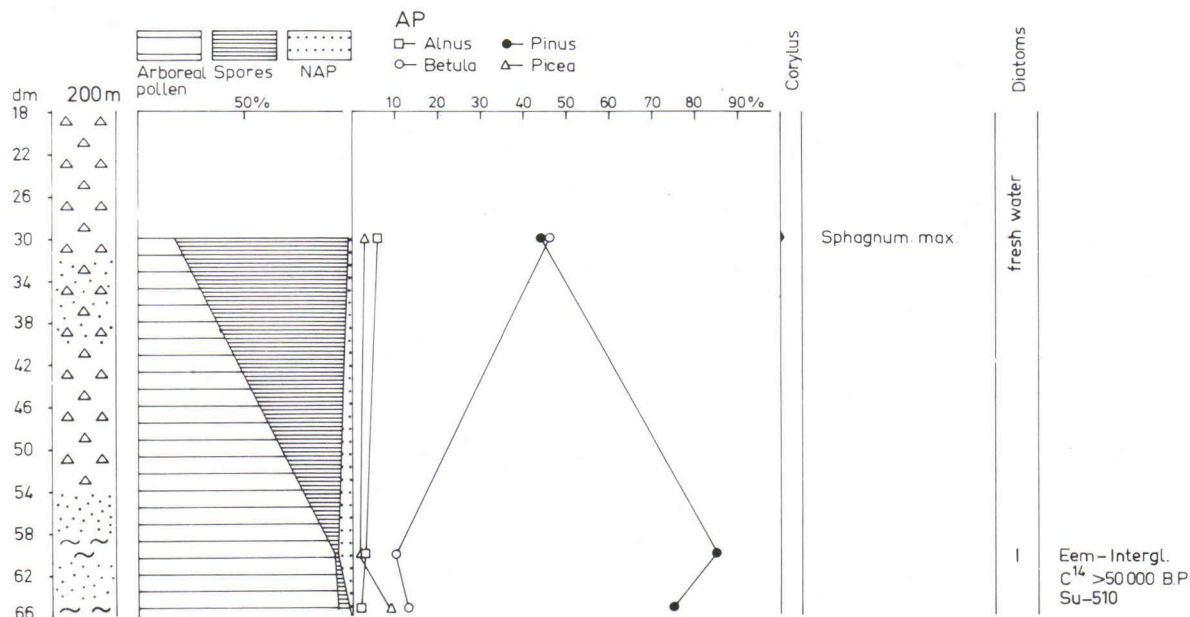
Kuva 22. Pomokairan, Kuorajoen, Naakenavaaran ja Naruskajärven moreeninalaisten kerrostumien siitepölydiagrammit. Paikat esitetty kuvassa 20.

Fig. 22. Pollen diagrams of deposits underlying till at Pomokaira, Kuorajoki, Naakenavaara and Naruskajärvi. Sites shown in Fig. 20.

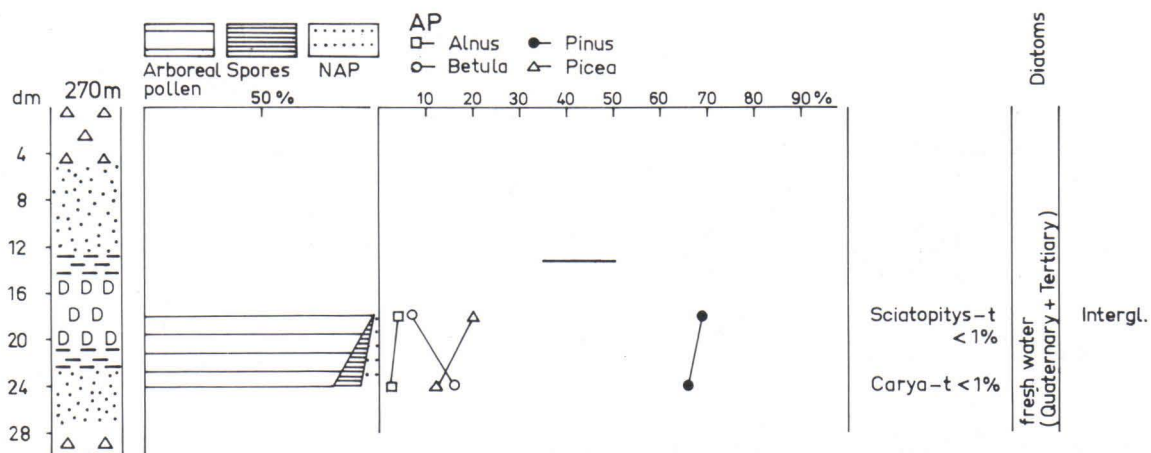
tumista tehdyt radiohiilimääritykset (Su-508 – 510, 513) osoittavat, että ne ovat vanhempia kuin 55000 vuotta.

Moreenipatjat IV ja V ovat Weichsel-jääkautta vanhempia. Niiden rinnastaminen ja ajoittaminen on vaikeaa, koska aineistoa ei vielä ole riittävästi. Moreenipatja IV saattaa kuulua Saale-jääkauden kerrostumiin. Sen alapuolella olevat tiukkaan pakkautuneet lajituneen aineksen kerrostumat saattavat vastata jotain Saale-jääkauden interstadiaalia tai peräti Holstein-interglasiaalia. Riippuen siitä kummasta on kysymys moreenipatja V kuuluu joko Saale- tai Elster-jääkauteen.

Naakenavaara, Kittilä



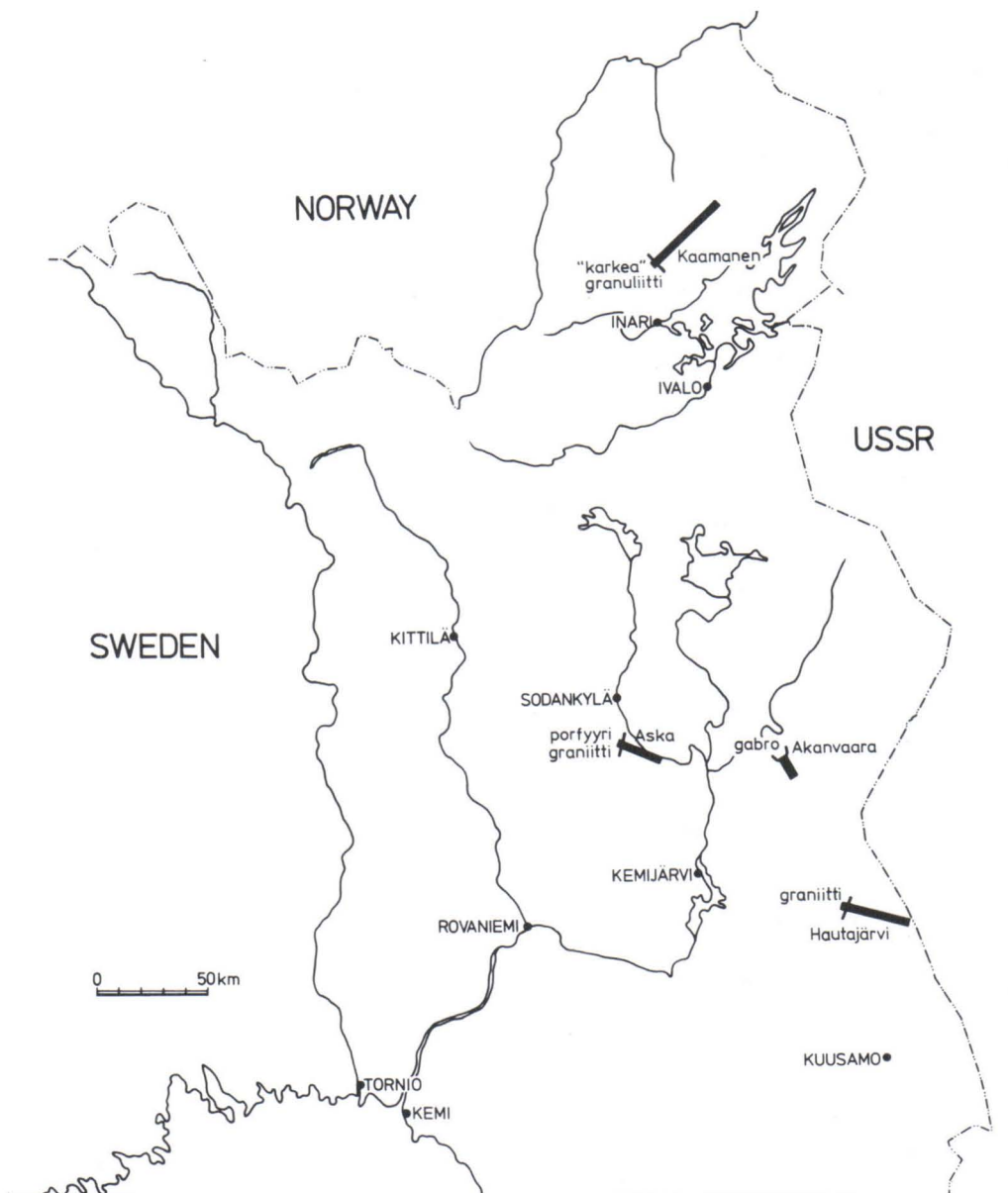
Naruskajärvi



Moreeniaineksen kulkeutuminen

Yleistä

Moreeniaineksen kulkeutumista on tutkittu neljässä kohteessa Pohjois- ja Itä-Lapissa (kuva 23). Tutkimusalueita valittaessa on ensimmäisenä edellytyksenä pidetty jäätikön alueellisen virtaussuunnan tai -suuntien tuntemista ja toisena riittävää tietoa valitun johtokivilajin ja sen jäätikön virtauksen menosuunnassa, ns. suojuolella olevasta kontaktista



Kuva 23. Moreenin kulkeutumistutkimuksen kohdealueet ja johtokivilajit.

Fig. 23. Areas surveyed in the investigation of the transport distances of glacial till and the key rocks.

ja kontaktivilajista. Lisäksi edellytyksenä on ollut alueen kohtuullinen kulkukelpoisuus sekä moreenipeitteen riittävä paksuus.

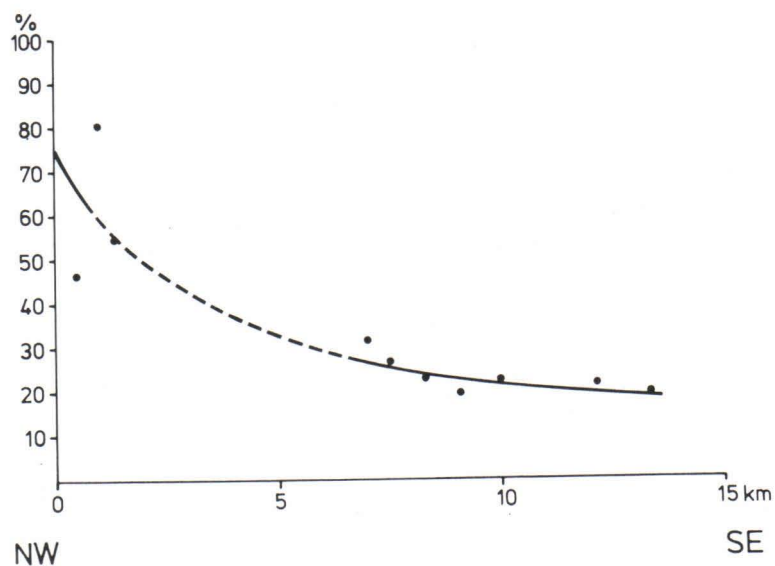
Johtokivilajiksi on valittu mahdollisimman yksiselitteisesti tunnistettava kivilaji, jonka suojapuolen kontakti on paljastunut tai tunnetaan muuten kyllin tarkasti. Johtokivilajin tunnistettavuuden lisäksi vaatimuksena on ollut sen riittävän suuri paljastunut pinta-ala niin, että jäätikön on voitu olettaa kuljettaneen jokaisessa virtausvaiheessa suoraan kallioperästä irrottamaansa ainesta.

Mannerjäätikön kulutus-, kuljetus- ja kerrostamistapahtumassa vallitsee tasapaino-tila. Mitä enemmän alustasta irtautuu ainesta, sitä nopeammin jäätikön pohjan mineraali-

aines kerrostuu pohjamoreenina. Kun glasiaalieroosio kohdistuu rikkoutuneeseen kallioon, rapakallioon tai paksuihin maakerroksiin, näistä irtautuu runsaasti mineraaliainesta, josta valtaosa kerrostuu välittömästi irtautumispaikan suojapuolelle. Kemiallisesti pitkälle rapautuneen kallion savimineraalien kiderakenne ja jäätikön paineen alaisena irtautuva kidevesi aiheuttavat kitkan pienenemistä, jolloin liikkumattoman alustan ja jäätikön kontaktiin saattaa muodostua liukupintoja. Eroosio pysähtyy liukupintoihin, jolloin alla olevan materiaalin pitoisuus kerrostuvassa moreenissa jää pieneksi. Saman ilmiön aiheuttaa erikoisen hyvin kulutusta kestävä eroosioalusta (esim. tiivis kvartsiitti).

Käytännössä on osoittautunut, että maapeitteen paksuudella on suuri merkitys kivilaskujen tuloksien tulkinnassa. Kalliopinnan läheisyydessä ja ohutpeitteisillä alueilla paikallisen aineksen osuus on suuri. Tästä syystä näyteaineisto luokiteltiin kahteen osaan: toiseen ryhmään sijoitettiin näytteet, joiden pystyettäisyys alla olevasta kalliosta, rapakalliosta tai rapakalliomoreenista on yli metrin ja toiseen ne, joiden pystyettäisyys on vähäisempi. Edellisen ryhmän kivilajikoostumuksen perusteella eri kohdealueilla saatiin määritetyksi moreenin kiviaineksen keskimääräinen kulkeutumismatka, jonka mitaksi sovittiin se vaakaettäisyys johtokivilajin kontaktista, missä johtokivilajin pitoisuus moreenissa vähenee puoleen lähtöpitoisuuden arvosta. Jälkimmäinen ryhmä taas käsittää paikallisempia moreeneja, joissa valtapitoisuudet edustavat alla olevaa kallioperää.

Johtokivilajin raekokoluokan 2 – 20 cm esiintyminen (kpl) suojapuolen moreenin kivissä merkittiin pisteinä koordinaatistoon, jossa pystyakselilla on pitoisuudet prosent-



Kuva 24. Graniittikivien määrä (%) raekokoluokassa 2 – 20 cm moreenipatjassa III Askan kivilaskulinjalla. O-piste graniitin distaalipuolen kontaktissa. Käyrän lähtöpiste osoittaa graniitin päällä olevasta moreenista tehtyjen kivilaskujen graniittipitoisuuksien keskiarvon.

Fig. 24. The amount (%) of granite pebbles in the 2 – 20 cm fraction in Till Bed III along the Aska stone-count line. Point 0 is located at the contact of the distal side of the granite bedrock. The starting point of the curve indicates the mean value registered by the stone counts for the granite contents of the glacial till overlying the granite bedrock.

teina ja vaaka-akselilla etäisyys kilometreinä johtokivilajin suoja puolen kontaktista (diagrammit kuvissa 24 – 30). Kun samasta tutkimuskuopasta on tehty kivilaskuja eri moreeniyksiköistä, on kaikki tulokset merkitty diagrammiin. Kaivutöissä on jouduttu mukautumaan maasto-olosuhteisiin. Tästä syystä kuoppia ei ole kaivettu yhtä linjaa pitkin, vaan ne sijoittuvat kapeaksi vyöksi, jolloin useamman tutkimuskuopan etäisyys johtokivilajin kontaktiin saattaa olla yhtä pitkä. Tuloksia esitettäessä moreenia käsitellään yhtenä kokonaisuutena.

Graniittikivien kulkeutuminen Askan alueella

Askan alueella tutkittiin porfyrygraniitin kulkeutumista virtausvaiheen III aikana. Tutkimuskuopat kaivettiin jäätikön virtauksen suuntaiseen jonoon noin puolen kilometrin välein. Kun kaivuri oli päässyt moreenipatjaan III, poimittiin siitä noin sadan kiven näyte. Kivilaskujen tulokset on esitetty kuvassa 24.

Diagrammiin merkitty lähtöarvo 75 % ilmaisee graniittialueen päällä olevassa III-moreenissa havaittujen graniittipitoisuuksien keskiarvon. Pitoisuus laskee kahdenkymmenen prosentin tasolle noin kymmenen kilometrin päässä lähtökohdasta. Pitoisuuskäyrän mukaan graniitin osuus kivissä vähenee puoleen lähtöpitoisuuden arvosta neljän kilometrin matkalla. Havaintojen puuttuminen viiden kilometrin matkalla johtuu siitä, että Kitisen varrella on hiekkamaita, joita ei kaivurilla pystytty läpäisemään.

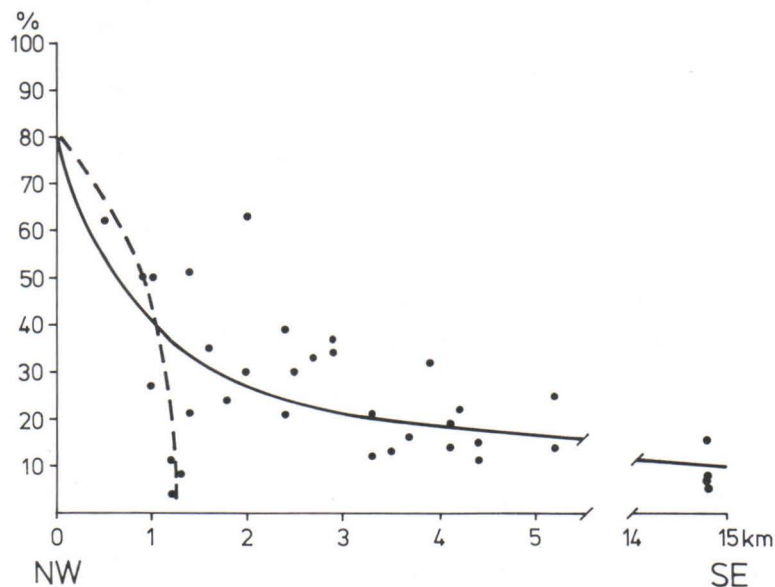
Gabrokivien kulkeutuminen Akanvaaran alueella

Gabro valittiin johtokivilajiksi tutkittaessa moreenikivien kulkeutumista Akanvaaran alueella. Kunkin tutkimuskuopan kaivuvaiheessa otettiin 250 litran moreeninäyte. Näytteestä eroteltiin 20 - 60 cm:n läpimittaiset kivet, minkä jälkeen noin 20 litran moreeninäytteestä seulottiin fraktio 2 – 20 cm, joka analyysivaiheessa jaettiin edelleen 2 – 6 cm:n ja 6 – 20 cm:n fraktioihin. Ennen seulontaa moreeninäyte punnittiin, jotta voitaisiin vertailla painosuhteisia ja kappalemääräisiä tuloksia keskenään. Seulan läpäisystä materiaalista otettiin talteen noin 4 kg:n näyte hienojakoisempien fraktioiden analysoimista varten.

Tutkimusalueen maanpinnan topografia kuvastaa melko tarkoin kallion pinnan topografiaa. Alueen luoteisosassa on jyrkkärinteinen Akanvaara, jonka kaakkoispuolella, noin kolmen kilometrin päässä gabron ja kiilleliuskeen kontaktista maasto muuttuu suhteellisen laakeaksi. Moreenin gabropitoisuus vaihtelee voimakkaasti luoteisosassa, mutta tasoittuu kaakkoisosassa (kuva 25).

Lähtöpitoisuus, 80 %, on gabroalueella tehtyjen kivilaskujen gabrokivien keskipitoisuus (11 kivilaskua). Lähtöpitoisuus laskee nopeasti niin, että se piirretyn kuvaajan mukaan vähenee puoleen noin kilometrin päässä, missä kallioperä on ruhjeista kiilleliusketta. Alimmat gabropitoisuudet ovat tällä paikalla alle 10 %. Noin kahden kilometrin päässä kontaktista on kuitenkin todettu yhden näytteen sisältävän yli 60 % gabroa. Viiden kilometrin päässä kontaktista pitoisuus tasoittuu noin 20 %:ksi ja viidentoista kilometrin päässä se on noin 10 %.

Gabrokivien pitoisuuden jyrkkään laskuun kilometrin päässä kontaktista vaikuttaa se, että jäätikkö irrotti helposti ruhjeista kiilleliusketta, jonka määrä korvaa gabrokivien osuuden miltei kokonaan. Kahden kilometrin päässä kontaktista esiintyvä korkea gabropitoisuus on peräisin moreenipatjasta II. Paikallisen kivilajin pitoisuus ei tässä yksinäis-



Kuva 25. Moreenin gabrokivien määrän (%) vaihtelu Akanvaaran kivilaskulinjalla, joka on virtausvaihe III:n suuntainen. O-piste on gabron ja kiilleliuskeen kontakti. Katkoviiva osoittaa gabropitoisuuden nopean pienenemisen lähimpänä kallion pintaa olevassa moreenissa.

Fig. 25. Variations in the amount (%) of gabbro pebbles in the till along the Akanvaara stone-count line, which runs parallel to Stage III in the flow of the ice sheet. Point 0 represents the contact between the gabbro and the mica schist. The broken line shows the rapid decrease in the gabbro content in the glacial till lying closest to the face of the bedrock.

näytteessä ole suuri, koska virtausvaihe II kulutti ja kerrosti uudestaan edellisen virtausvaiheen kerrostamaa moreenia.

Akanvaaran alueelta hivenmetallimäärityksiä varten kerätyissä näytteissä todettiin myös poikkeuksellisen korkeita kuparipitoisuuksia. Kuvassa 26 esitetään kuparipitoisuuden kokonaisvaihtelu. Vertailu osoittaa, että läheltä maanpintaa otetuissa näytteissä pitoisuus jäätikön kulkusuunnassa laskee jyrkimmin ja tulosten vaihtelu on pienin. Syvempää (1,5 – 2 m) otetuissa näytteissä vaihtelu on suurempi ja kuparipitoisuus säilyy keskimäärin suurempana. Kuoppien pohjalta (3,5 – 5 m) ja siis lähimpää kallion pintaa saatujen pitoisuuksien vaihtelu on erittäin suuri. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että osa näytteistä on otettu kiilleliuskealueen rapakalliomoreenista, jossa kuparipitoisuus on pieni, osa taas kauempaa kulkeutuneesta »tavallisesta» moreenista, jonka kuparipitoisuus on peräisin havaitusta kuparilähteestä.

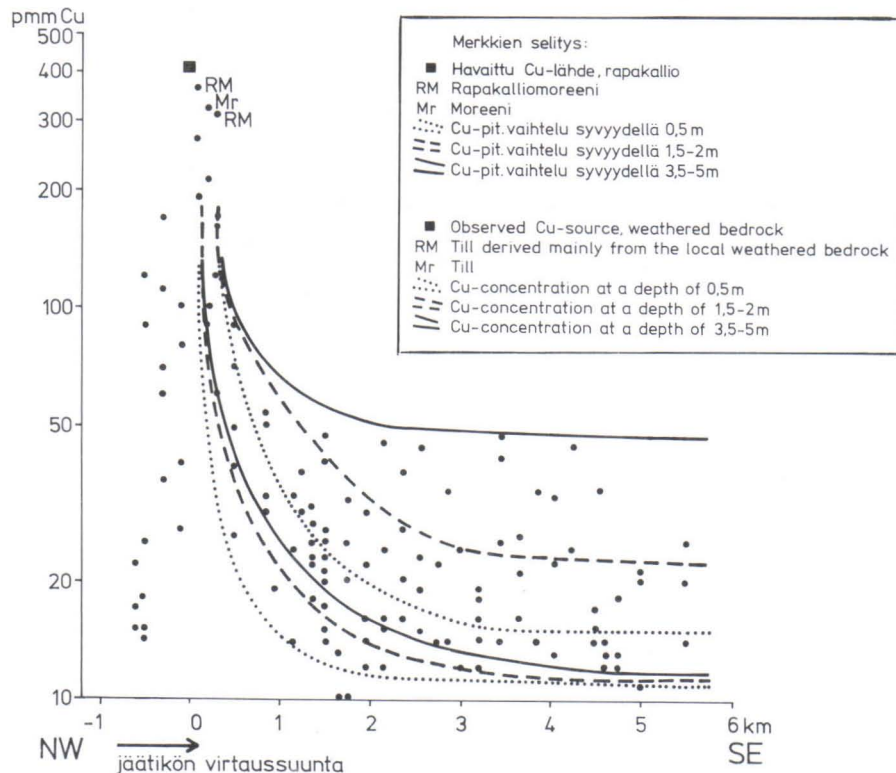
Graniittikivien kulkeutuminen Hautajärven alueella

Hautajärven alueella käytettiin johtokivilajina graniittia. Näytteet otettiin traktori-kaivurilla ja käsiteltiin maastossa samalla tavalla kuin Akanvaarassa. Alustan kallioperän laadun varmistamiseksi tutkimuskuopat pyrittiin ulottamaan kallioon saakka. Seitsemän kuoppaa kymmenestä onnistuttiin kaivamaan kallioon saakka. Suurin kaivusvyvyys oli kuusi metriä.

Tulokset esitetään kahdessa eri kuvassa. Kuvassa 27 on kivilaskutulokset näytteistä, joiden etäisyys alla olevasta kalliosta, rapakalliosta tai rapakalliomoreenista on yli metrin, kuvassa 28 esitetään loput tuloksista.

Moreenin graniittikivipitoisuus graniittialueella on keskimäärin 85 %. Kuvan 27 aineistossa graniittikivien pitoisuus laskee varsin tasaisesti. Lähtöpitoisuus vähenee puoleen noin kymmenen kilometrin matkalla. Pitoisuus vähenee etäisyyden kasvaessa suhteellisen hitaasti siten, että 20 km:n jälkeen se vielä pysyttelee 20 – 30 %:n välillä.

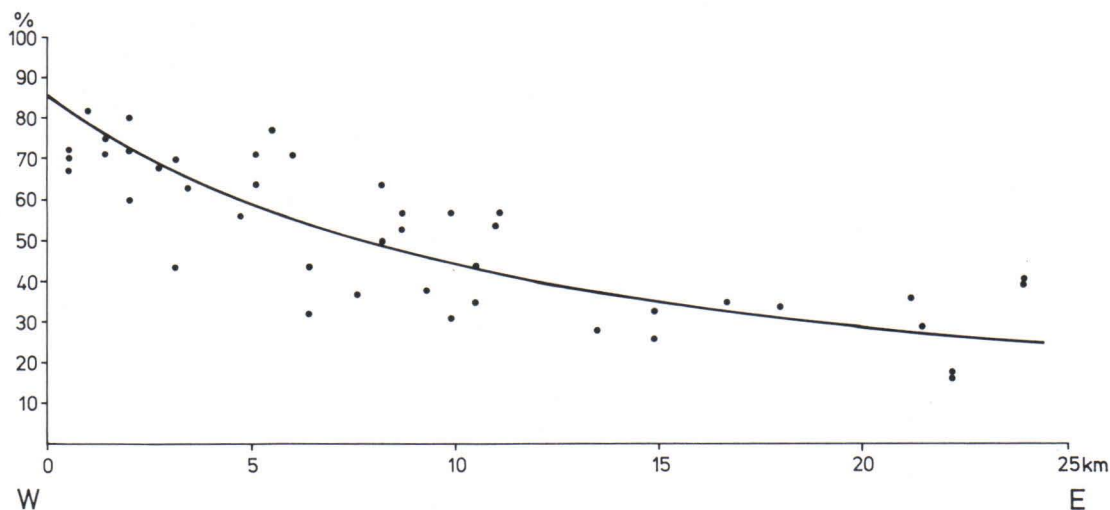
Kallion pinnan läheisessä moreenissa (kuva 28) graniittikivien osuus korvautuu hyvin lyhyellä matkalla paikallisilla kivillä. Paikoin jo kahden kilometrin päässä graniittikivien pitoisuus on vähäisempi kuin ylemmän moreenin vastaavat pitoisuudet koko tutkitulla 25 km:n matkalla. Viiden kilometrin päässä kontaktista graniittikivien esiintyminen muuttuu satunnaiseksi ja osoittaa, ettei kallion pinnan läheinen moreeni ole kulkeutunut viittä kilometriä kauemmaksi.



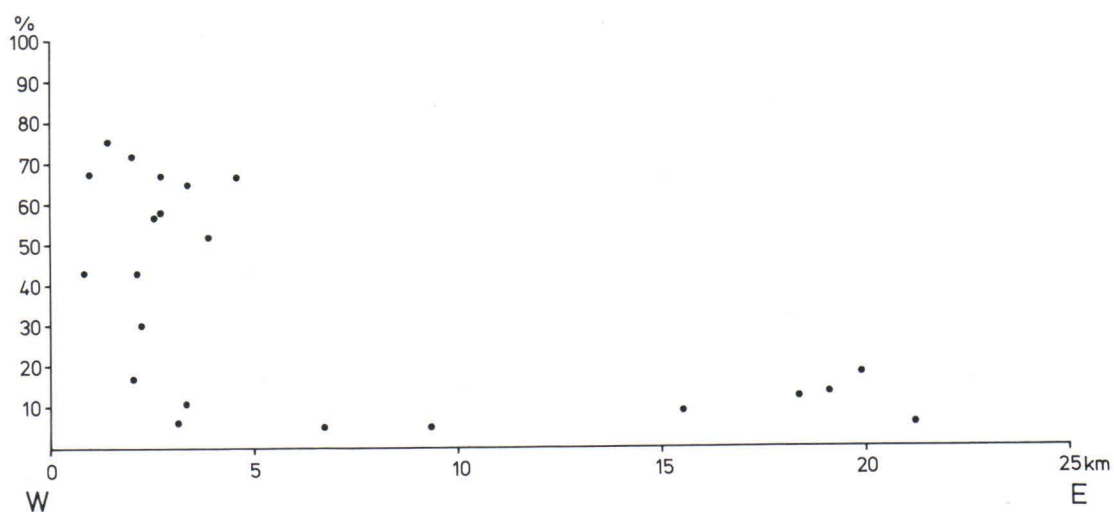
Kuva 26. Moreenin kuparipitoisuuden vaihtelu Akanvaaran kivilaskulinjalla. Kuparin lähdealueelle ja välittömästi sen distaalipuolelle, n. 1,5 kilometrin matkalle sijoittuvat 50 ppm:n tason ylittävät pitoisuudet. Maksimipitoisuus 420 ppm on saatu rapakalliosta. Analyysit on tehty fraktiosta <math> < 0,062 \text{ mm}</math>.

Fig. 26. Variations in the copper contents of the till along the Akanvaara stone-count line. The contents exceeding the 50 ppm level occur in the source area of the copper and on its immediate distal side. The maximum content of 420 ppm was obtained from weathered bedrock. The analyses were made from the <math> < 0,062 \text{ mm}</math> fraction.

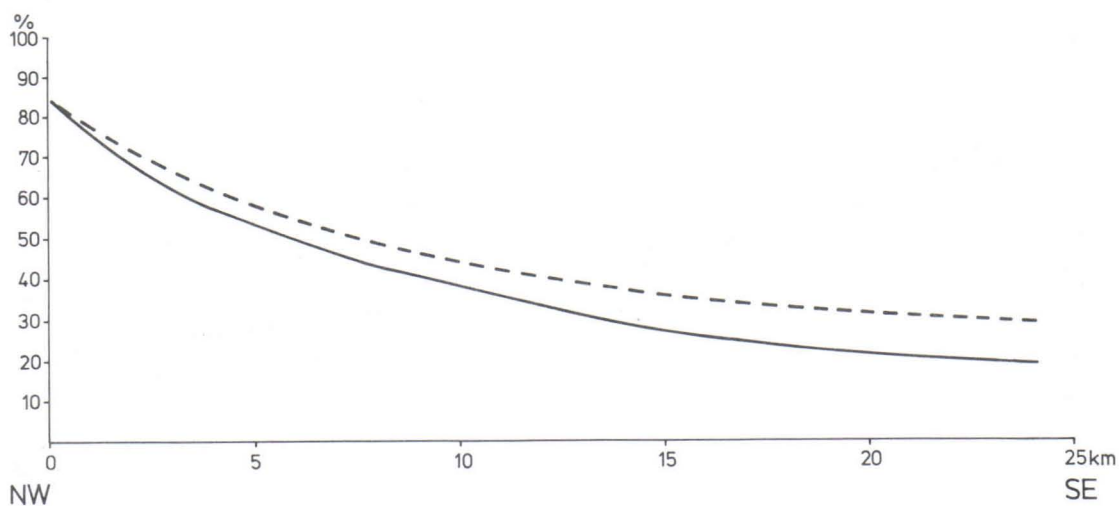
Jäätikön virtaussuunta = direction of glacier flow.



Kuva 27. Moreenin graniittikivien määrän (%) vaihtelu Hautajärven kivilaskulinjalla, kun näytteen etäisyys kalliosta, rapakalliosta tai rapakalliomoreenista on yli metrin. O-piste on graniitin ja kvartsiitin kontakti.
 Fig. 27. Variations in the amount (%) of granite pebbles in the till along the stone-count line at Hautajärvi when the samples have been taken at a distance of more than a meter from the bedrock, weathered rock or till derived from the local weathered bedrock. Point 0 represents the contact of the granite and the quartzite.



Kuva 28. Moreenin graniittikivien määrän (%) vaihtelu Hautajärven kivilaskulinjalla, kun näytteen etäisyys kalliosta, rapakalliosta tai rapakalliomoreenista on alle metrin.
 Fig. 28. Variations in the contents of granite pebbles in the till along the Hautajärvi stone-count line when the samples have been taken at a distance of less than one meter from the bedrock, weathered rock or till derived from the local weathered bedrock.



Kuva 29. Graniittikivien keskipitoisuus Hautajärven kivilaskulinjalla moreenipatjoissa II ja III, kun näytteen etäisyys kalliosta, rapakalliosta tai rapakalliomoreenista on yli metrin. Moreenipatja II = katkoviiva, moreenipatja III = yhtenäinen viiva.

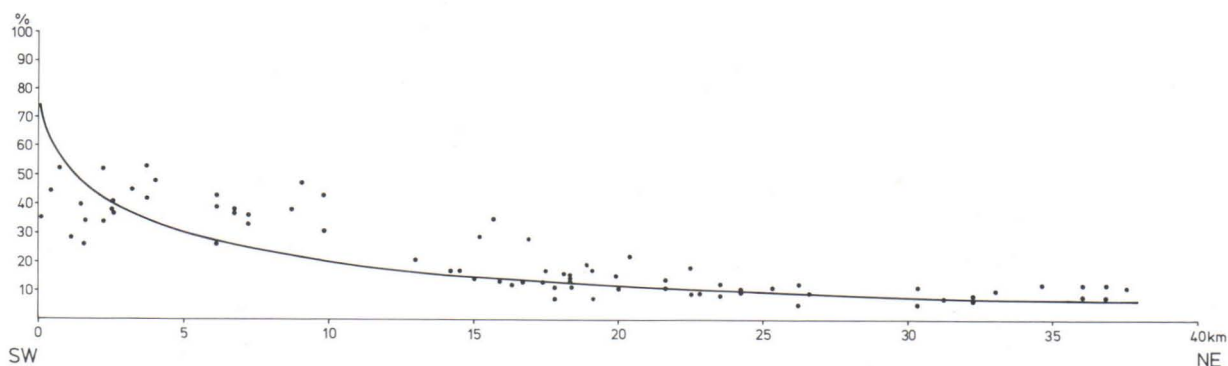
Fig. 29. The mean contents of granite pebbles in Till Beds II and III along the Hautajärvi stone-count line when the samples have been taken at a distance of more than a meter from the bedrock, the weathered rock or till derived from the local weathered bedrock. Till Bed II = broken line, Till Bed III = continuous line.

Hautajärven alueen kivilaskutulokset on tarkasteltu myös moreenipatjoittain. Moreenipatjassa II lähtöpitoisuus vähenee puoleen 11 km:n päässä ja moreenipatjassa III 9 km:n päässä graniitin kontaktista (kuva 29). Moreenipatjassa II graniittipitoisuus on koko tutkitulla matkalla moreenipatjan III pitoisuutta suurempi, ja ero on 25 km:n päässä graniitin kontaktista noin kymmenen prosenttiyksikköä.

Granuliittikivien kulkeutuminen Kaamasen alueella

Kaamasen alueella johtokivilajina käytettiin erästä granuliitin helposti tunnistettavaa karkearakeista muunnosta. Tutkimuskuopat kaivettiin jäätikön II-vaiheen virtaussuunnan mukaiseen lounas–koillinen-jonoon. Tutkimuskuopista otettiin kustakin moreeniyksiköstä 200 litran näyte, joka seulottiin 6 cm:n seulalla. Seulotusta aineksesta eroteltiin pienemmät fraktiot edellä selostettuun tapaan. Kivilaskujen tulokset on esitetty kuvassa 30.

Karkean granuliitin pitoisuus laskee lähtöarvosta (75 %) aluksi nopeasti ja putoaa kuvaajan mukaan puoleen lähtöpitoisuudesta kolmen kilometrin kohdalla. Keskimäärin kymmenen prosentin granuliittipitoisuus säilyy vielä 35 – 40 kilometrin päässä kontaktista. Paikoin, mm. 6, 9 ja 16 km:n kohdalla esiintyvät suhteellisen suuret karkean granuliitin pitoisuudet johtuvat siitä, että moreeniin on sekoittunut edellisessä sulamisvaiheessa kerrostunutta glasifluviaalista ainesta, joten jäätikön kuljetuksen lisäksi ainesta on liikutellut myös samaan suuntaan virrannut sulamisvesi. Paitsi suhteellisen suurista johtokivilajin pitoisuuksista aineksen glasifluviaalinen alkuperä ilmenee sen pyöristyneisyydestä (kuva 31). Suhteellisen pienet johtokivilajipitoisuudet erityisesti kontaktin tuntumassa, mutta myös etäämpänä, johtuvat siitä, että näillä kohdin esiintyy kalliopaljastumia ja maapeite on ohut aiheuttaen aineksen suuremman paikallisuuden (vrt. s. 39).



Kuva 30. Moreenin granuliittikivipitoisuuden vaihtelu Kaamasen kivilaskulinjalla, kun näytteen etäisyys kalliosta, rapakalliosta tai rapakalliomoreenista on yli metrin. Korkeat granuliittipitoisuudet mm. 9 ja 16 km:n kohdalla johtuvat siitä, että moreeniin on sekoittunut edellisessä sulamisvaiheessa kerrostunutta harjuainesta (vrt. kuva 31).

Fig. 30. Variations in the contents of granulite pebbles in the till along the Kaamanen stone-count line when the samples have been taken from a distance of more than a meter from the bedrock, the weathered rock or till derived from the local weathered bedrock. The high granulite contents at, for example, the 9- and 16-km points are due to the fact that esker material deposited during the preceding deglaciation stage had become mixed in the till (cf., Fig. 31).

Kivien pyörityneisyys

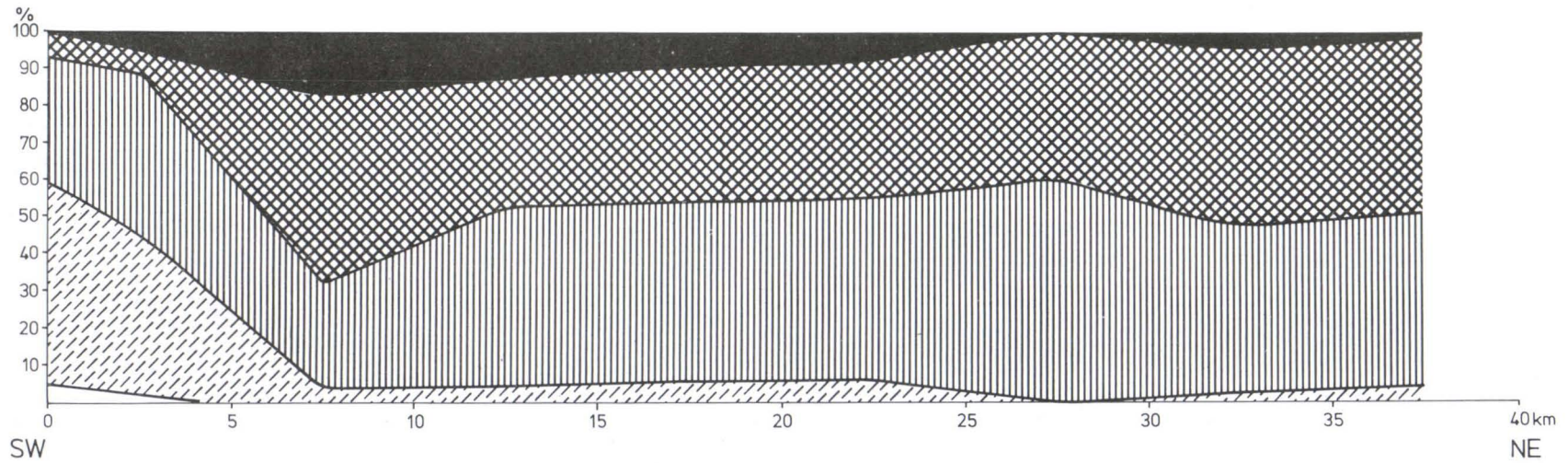
Moreenin kivien kuluminen ja pyöristyminen ovat suoraan verrannollisia siihen aikaan, jonka ne ovat jäätikön kuljetettavana, sekä kulkeutumistapaan. Kalliosta irtautuneen kiven muoto muuttuu siten, että sen kulmat typistyvät lohkeilemalla sekä siten, että jäätikössä oleva kiviaines kuluu hankautumalla. Lohkeiluun ja pyöristymiseen vaikuttavat jäätikön sisäisen dynamiikan lisäksi kivilajien rakenteelliset ominaisuudet. Hauraat kivet pyöristyvät pääasiassa lohkeilemalla ja sitkeät hankautumalla.

Pyörityneisyyden määrittelyssä käytetty luokittelu perustuu työtä varten valmistettuun valokuvastandardiin ja seuraaviin määritelmiin: (py = pyörityneisyysluokka)

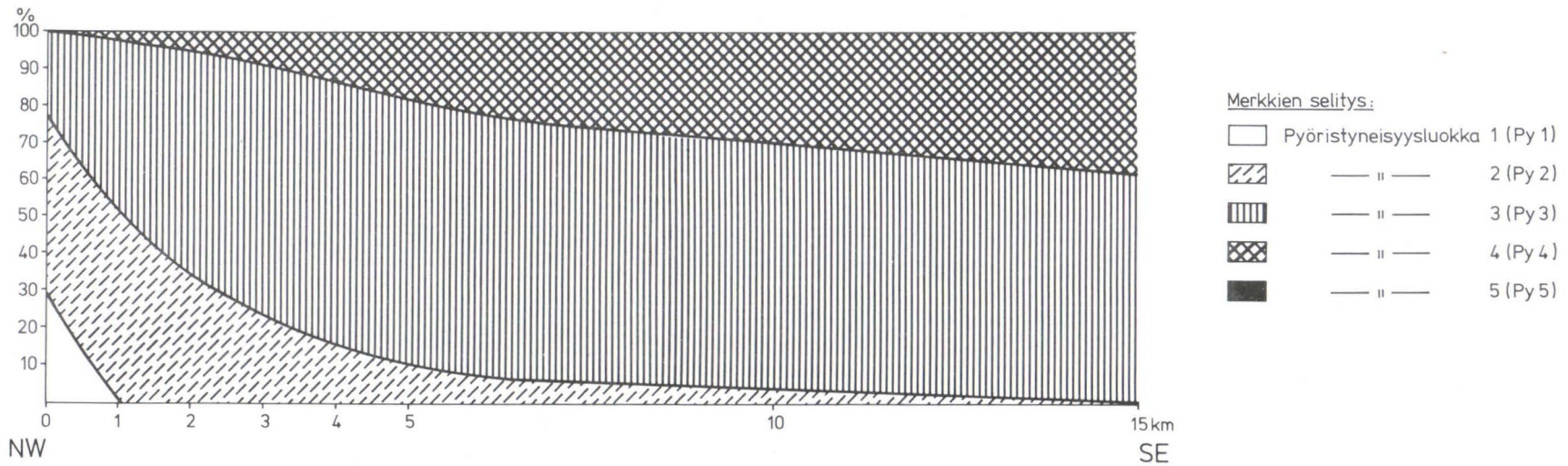
- py 1 – kulmaton, terävasärmäinen, särmikäs. Kivien lohkopinnat selvät ja kivilajille tyypilliset.
- py 2 – vähän kulunut, särmät vähän kuluneet, kulmikas. Lohkopinnat ovat vielä selvät ja kivilajille tyypilliset.
- py 3 – kulunut, kulmat kuluneet ja pyörityneet. Alkuperäinen lohkokappale on vielä helposti määriteltävissä.
- py 4 – pyöritynyt, alkuperäinen lohkokappale vaikeasti määriteltävissä.
- py 5 – hyvin pyöritynyt, alkuperäistä lohkokappaletta ei enää voi määrittää.

Määritykset tehtiin silmämääräisesti, sillä näin saavutettava tarkkuus todettiin tutkimuksen tarkoituksen kannalta täysin riittäväksi. Kunkin kiven pyörityneisyys määritettiin kiven kuluneimmalta sivulta jäätikkökuljetuksen aikana tapahtuneiden kivien särkymisien vaikutuksen eliminoimiseksi.

Glasifluviaalisessa kuljetuksessa mukana olleet kivet kuuluvat yleensä pyörityneisyysluokkiin 4 ja 5. Näin korkea pyörityneisyyden aste saavutetaan silloin, kun aines kulkeutuu sulamisvesien mukana pitkän matkan. Kun tällainen hyvin pyöritynyt aines joutuu jäätikön kuljetettavaksi ja kerrostuu moreenina, on glasifluviaalinen alkuperä nähtävissä moreenin kivien pyörityneisyydessä. Moreenit, joiden kivistä poikkeuksellisen



Kuva 31. Granuliittikivien pyöristyneisyys Kaamasen kivilaskulinjalla (vrt. kuva 30).
 Fig. 31. The roundness of the granulite fragments along the stone-count line at Kaamanen (cf., Fig. 30).
 Pyöristyneisyysluokka = roundness.



Kuva 32. Gabrokivien pyöristyneisyys Akanvaaran kivilaskulinjalla.
 Fig. 32. The roundness of the gabbro fragments along the stone-count line at Akanvaara.

suuri osuus kuuluu pyöristyneisyysluokkiin 4 ja 5, on syytä käsitellä erikoistapauksina kulkeutumismatkatutkimuksissa. Pyöristymättömien (py 1) tai vähän pyöristyneiden (py 2) kivien runsas esiintyminen pohjamoreenissa on puolestaan merkinä kiviaineksen paikallisuudesta.

Kaamasen alueella granuliitin aluksi nopea pyöristyneisyyden nousu asteelle 4 ja 5 (kuva 31) johtuu juuri moreenina uudelleen kerrostuneesta, granuliittialueelta kulkeutuneesta glasifluviaalisesta aineksesta, jota on tavattu useissa tutkimuskuopissa ko. moreenin alla. Granuliittikivet ovat kuluneet lähes täydellisesti asteelle 3 noin seitsemän kilometrin matkalla.

Akanvaaran alueella gabrokivien pyöristyneisyys kuvastaa selvästi kulkeutumismatkaa, varsinkin luokissa 1 ja 2 (kuva 32). Täysin pyöristymättömiä kiviä esiintyy vain yhden kilometrin matkalla. Viiden kilometrin matkalla gabrokivien valtaosa on jo pyöristynyt luokan 3 asteelle.

Tehtyjen määritysten mukaan moreenikivien yleisin pyöristyneisyyden aste on kolme, mutta sitkeät kivilajit pyöristyvät jäätikön kuljetuksen mukana muita enemmän.

Moreenin kulkeutumismatkan määrittäminen aineksen pyöristyneisyyden perusteella on sikäli luotettavaa, että pyöristymisen tapahtuu jäätikössä kuljetuksen aikana eivätkä kallioperän laadun ja topografian vaihtelut vaikuta merkittävästi pyöristymiseen. Jotta kivien pyöristyneisyydestä voitaisiin tehdä kulkeutumismatkaa koskevia johtopäätöksiä täytyy tietää moreeninäytteiden stratigrafinen asema ja aineksen geneettinen luonne.

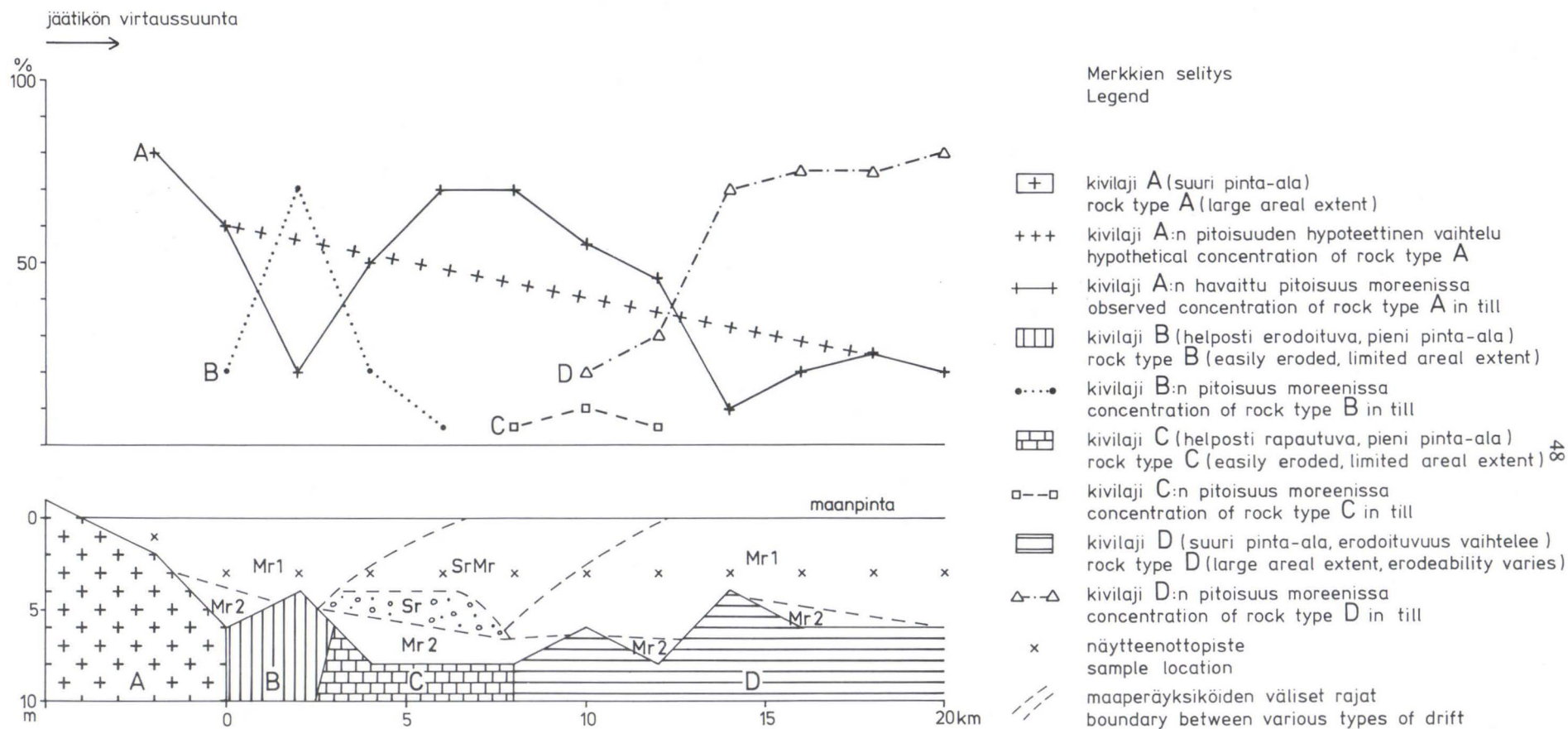
Tulosten tarkastelua

Moreenin kivilajikoostumukseen vaikuttavat kallioperän laatu ja topografia, kivilajin kyky kestää kulutusta, mannerjäätikön virtaussuuntien vaihtelu sekä uudelleen kerrostuneen aineksen määrä ja laatu. Näitä tekijöitä on havainnollistettu kuvassa 33. Lähtökohtana eri tekijöiden vaikutuksen arvioimiseen on kummankin kuvassa esiintyvän moreenin kerrostaneen jäätikön virtauksen samansuuntaisuus, soran kulkeutuminen kivilajin A päältä sekä merkkiä selityksessä esitetty kallioperän laadun vaihtelu.

Maanpinnan topografia noudattelee kallion pinnan topografiaa siten, että kallioperän piirteet tasoittuvat maapeitteen vaikutuksesta. Laaksoissa maapeite on paksumpi kuin kohoumilla. Kalliokohoumat muodostavat vastuksen virtaavalle jäätikölle. Tällöin kallioperään kohdistuva jäätikköeroosio on voimakasta ja kiviainesta joutuu runsaasti jäätikköön. Erityisesti silloin, kun kallio on rikkonaista tai rapautunutta, muodostuu jäätikön alle runsaasti moreenia, joka kerrostuu lähtöpaikan läheisyyteen. Kivien kulkeutumista edellä kuvatuissa olosuhteissa esittää kuva 28. Johtokivilajia esiintyy satunnaisesti kallion pinnan läheisessä, paikallisessa moreenissa koko tutkimuslinjalla. Ensimmäisen viiden kilometrin matkalla pitoisuus vaihtelee 5 – 75 %:in osoittaen nopeaa kerrostumista.

Myös kuvassa 25, joka esittää gabrokivien kulkeutumista Akanvaaran alueella nähdään johtokivilajin pitoisuuden nopea väheneminen alle kymmenen prosentin hieman yli kilometrin matkalla kiilleliuskeen korvatessa johtokivilajin. Tässä tapauksessa kiilleliuskeen proksimaalipuoli on melko jyrkkä, ja selvän liuskeisuuden lisäksi kiilleliuske on myös voimakkaasti rakoillutta, jolloin siitä on irtaantunut runsaasti paikallista kiviainesta.

Jäätikön alustana voi kallioperän ohella olla myös aikaisemmin kerrostunut moreeni tai lajittunut aines, esim. harjusora, jolloin jäätikön kuluttava ja kuljettava toiminta



Kuva 33. Kallioperän kivilajien ja korkokuvan vaikutus moreenin kivilajikoostumukseen sekä aikaisempien glasiaalikerrostumien sijainti kaavamaisesti esitettynä.

Fig. 33. A schematic representation of the influence of the rock types and relief of the bedrock on the lithological composition of the glacial till as well as of the location of earlier glacial deposits.

Jäätikön virtaussuunta = direction of glacier flow, maanpinta = ground level.

kohdistuu jo kerran paikoiltaan siirtyneeseen ainekseen. Sora on jäätikössä olleesta moreenista peräisin, ja se on kulkeutunut sulamisvesien mukana jonkin verran pitemmälle kuin vastaava moreeni. Näistä aineksista seuraavassa virtausvaiheessa syntyvä moreeni on puolestaan kauempaa kulkeutunutta kuin muu moreeni. Tämä ilmenee selvästi Kaamasen alueella 6, 9 ja 16 km:n kohdalla korkeina granuliittipitoisuuksina (kuva 30) ja 6 – 10 km:n kohdalla korkeana pyöristyneisyysasteena (kuva 31). Vanhemman moreenin osittaista uudelleen kerrostumista osoittaa se, että Hautajärven alueella moreenipatjassa II on graniittikivien kulkeutumismatka noin 2 km pitempi kuin moreenipatjassa III (kuva 29).

Moreenin johtokivilajipitoisuuteen vaikuttaa alustana oleva vanhempi moreeni tai lajittunut aines myös sen vuoksi, että se estää paikallisen kallioperän laimentavan vaikutuksen. Hautajärven alueella (kuva 27) korkeat graniittipitoisuudet ovat moreenipatjassa II niissä näytepisteissä, missä sen alla on tavattu ainakin moreenipatja III.

Toistuva uudelleen kerrostuminen (kompleksikuljetus) tuottaa myös todella pitkämatkaista moreeniainesta. Yli viisikymmentä kilometriä kulkeutuneita kiviä tavattiin Askan alueella pari prosenttia (Kumpumuodostuman konglomeraatti, vihreäkivialueen jaspis ja Säynäjävaaran kvartsiitti), Akanvaarassa vain satunnaisesti (samat kuin edellisessä), Hautajärvellä yhdestä kahteen prosenttia (Kumpumuodostuman konglomeraatti ja Jauratsin amfiboliitti-kloriittiliuske) ja Kaamasen alueella prosentin verran satunnaisesti tutkimuslinjan lounaispäässä (anortosiitti).

Pitkämätkaista ainesta syntyy myös sillä tavalla, että korkeilta paikoilta irtautuneet kivet kulkeutuvat jäätikön päällä ja sisällä huomattavasti kauemmaksi kuin jäätikön alla ja alaosassa kulkeva aines.

Kulkeutumismatkan tutkimuksissa käytettiin johtokivilajeina kovia ja kulutusta kestäviä kivilajeja, koska mekaanisesti ja kemiallisesti helposti rapautuvat kivilajit (mustaliuske, kiisuliuske ja kalkkikivet) helposti hajoavat kivilaskuraekokoa pienemmiksi eivätkä tule mukaan tuloksiin.

Moreenin kivilajikoostumusta ja kivien pyöristyneisyyttä tutkittiin fraktioissa 20 – 60 cm, 6 – 20 cm, 2 – 6 cm, 0,6 – 2 cm ja 0,2 – 0,6 cm. Akanvaaran ja Hautajärven tutkimuslinjoilta saadut tulokset osoittivat, että eri fraktioista saadut kulkeutumismatkat eivät poikkea merkittävästi toisistaan. Niinpä ei voitu osoittaa raekokoluokkaa, johon tietty kivilaji pyrki rikastumaan.

Kivien pyöristyminen sen sijaan näyttää olevan kivilajikohtaista. Kova ja hauras kivilaji, esim. karkea granuliitti (Kaamasen kivilaskulinjalla) tai graniitti (Hautajärven kivilaskulinjalla), pyöristyy moreenille tyypilliseen pyöristyneisyysasteeseen seitsemän kilometrin matkalla (kuva 31). Tämän jälkeen kuluminen tapahtuu pääasiassa lohkeilemalla, jolloin vähän pyöristyneiden kivien (py 1 ja py 2) pitoisuus pysyy lähes muuttumattomana.

Sitkeä kivilaji, esim. gabro kuuluu pääasiassa hankautumalla, ja kuluminen jatkuu näin myös pienempiin fraktioihin. Akanvaaran gabro saavuttaa pyöristyneisyysluokan 3 viiden kilometrin matkalla.

YHTEENVETO

Malminetsintää palveleva maaperätutkimus Pohjois-Suomessa, johon kuului moreenitutkimus, maaperän alustan tutkiminen ja menetelmien kehittäminen malminetsin-

nän yleiseen käyttöön soveltuviksi, toteutettiin kaivamalla määräväleihin koko alueella koekuoppia, joista tutkittiin maaperän laatua ja ominaisuuksia sekä otettiin erilaisia näytteitä laboratoriotutkimuksia varten.

Moreenin kulkeutumissuunnista, joita mannerjäätikön virtausvaiheet kuvastavat, saatiin yksityiskohtainen kuva. Pohjois-Suomessa esiintyy viisi kuljetusvaihetta, joista malminetsinnän kannalta merkittävimmät ovat virtausvaiheet II ja III. Virtausvaiheella I on merkitystä aineksen kuljettajana vain rajoitetuilla alueilla. Virtausvaiheista IV ja V on vähän havaintoja ja pääasiassa vain Keski-Lapista. Nämä vanhemmat kuljetusvaiheet on kuitenkin otettava huomioon mahdollisina aineksen kuljettajina, koska nuoremmat virtausvaiheet ovat saattaneet kuluttaa aikaisemmat kerrostumat pois ja kuljettaa ne täysin eri suuntaan ja kerrosta ne uudelleen.

Virtausvaiheita vastaava moreenistratigrafia vaihtelee eri puolilla Pohjois-Suomea. Täydellisin se on Keski-Lapin jäänjakajavyöhykkeessä, missä kaikki viisi patjaa esiintyvät paikoin päällekkäin. Pohjois- ja Etelä-Lapissa esiintyy yleensä vain kaksi tai kolme nuorinta moreenipatjaa. Mikrofossiilitutkimuksin on moreenipatjat voitu alustavasti ajoittaa. Kolme nuorinta ovat kerrostuneet viimeisen jääkauden aikana, muut sitä aikaisemmin.

Moreenin kiviaineksen keskimääräinen kulkeutumismatka, jona tässä pidetään lähtöpitoisuuden puoliintumista, on kohdealueittain seuraava: Askan alueella 4 km, Akanvaaran alueella 1 km, Hautajärven alueella 10 km ja Kaamasen alueella 3 km. Hautajärven ja Akanvaaran alueilla on tutkittu myös lähimpänä kallion pintaa olevan moreenin osan kulkeutumista. Tämän kulkeutumismatka on selvästi lyhyempi kuin ylempien moreenikerrosten: Hautajärvellä alle 5 km ja Akanvaarassa alle 1 km. Tulokset osoittavat, ettei kulkeutumismatkasta voi antaa yksinkertaista kaavaa, joka sopisi koko Pohjois-Suomeen, varsinkin kun aines on voinut toistuvasti kulkeutua eri ikäisten jäätiköiden ja niiden sulamisvesien mukana (kompleksikuljetus). Kulkeutumismatka täytyy määrittää kussakin tapauksessa erikseen tutkimalla malmikiven löytöhorisontin kivilajiseurueen kivien kulkeutumismatkoja.

Moreenikivien pyörityneisyydellä on selvä yhteys kulkeutumismatkaan. Granuliitin tyyppinen kivilaji pyöristyy moreenin keskimääräiselle pyöritymisasteelle (py 3) seitsemän ja gabron tyyppinen viiden kilometrin matkalla.

Maaperän alustasta tehtiin uusia havaintoja. Preglasiaalista rapautumaa esiintyy yleisimmin Keski-Lapissa noin 150 km leveällä luode-kaakko-suuntaisella vyöhykkeellä, joka osittain on sama kuin ns. jäänjakajavyöhykekin. Useista näytteistä löydettiin myös runsaasti tertiäärisiä mikrofossiileja, mikä viittaa siihen, että alueella saattaa esiintyä pienialaisia tertiäärikerrostumia maaperän alustana (Hirvas ja Tynni 1976).

Tutkimusten aikana on löydetty myös muutamia mielenkiintoisia malmilohkareita, joista on toimitettu tiedot Geologiselle tutkimuslaitokselle, Outokumpu Oy:lle ja Rautaruukki Oy:lle. Samoin on menetelty tavattaessa poikkeuksellisen korkeita hivenmetallipitoisuuksia moreeninäytteissä.

Tutkimuksissa päädyttiin siihen, että yleisesti käytössä olevat menetelmät, suuntaus- ja kivilaskut huolellisesti tehtynä ja kriittisesti tulkituna soveltuvat parhaiten moreenin kulkeutuneisuustutkimuksiin yksinkertaisimmassakin muodossaan. Tärkeimmäksi uudeksi menetelmäksi osoittautui maaperän magneettisten ominaisuuksien hyväksikäyttö sekä moreenin suuntautuneisuuden että kulkeutumismatkan tutkimuksissa.

Moreenien magneettisten ominaisuuksien alustava selvitys osoitti, että moreenin hienoainekseen susceptibiliteettimittauksilla voidaan seurata magnetiitin käyttäytymistä

jäätikön kulutus- ja kuljetustapahtumassa. Moreenin karkean aineksen susceptibiliteettimittauksilla voitiin puolestaan havaita kallioperän kivilajien muutokset. Susceptibiliteetin anisotropiamittauksilla arvioitiin moreenin magnetiittirakeiden suuntautuneisuus, joka todettiin hyvin yhtäpitäväksi tavanomaisten suuntauslaskujen tulosten kanssa. Remanentin magnetoitumisen havaittiin vaihtelevan eri moreenipatjoissa sekä olevan suunnaltaan ja intensiteetiltään erittäin kestävä. Tämän perusteella näyttää ilmeiseltä, että remanenssia voidaan käyttää moreenien stratigrafisessa luokittelussa ja korreloinnissa.

Summary

A REPORT ON GLACIAL DRIFT INVESTIGATIONS FOR ORE PROSPECTING PURPOSES IN NORTHERN FINLAND 1972 – 1976

The purpose of the study carried out of Quaternary deposits in a region covering some 78,000 square kilometers in northern Finland (Fig. 1) was to support ore prospecting by shedding light on the directions and distances of the transport of glacial drift as well as on the influence of the subbottom of till deposits on the properties of the till. In addition, it was endeavored to develop methods of investigation applicable to ore prospecting operations in general.

To carry out the project, preliminary maps of the survey region were drawn each year by interpreting aerial photographs. The aerial photographs were used to delimit and classify different moraines (ground moraines, drumlins, fluted moraine surfaces, hummocky moraines) as well as to determine the directions of flow of the continental ice sheet to the extent indicated by the evidence.

The test pits were dug with a tractor excavator mainly along roadsides. All told, 1,288 pits were dug, and in 373 cases the entire depth of the Quaternary deposits was penetrated, down to the face of the bedrock. At first, a distance of 1 – 2 km between test pits was used. With increased experience and information, the distances could be lengthened; and by the final stage of the survey, the pits were spaced from 10 to 20 km apart, except that in each area investigated 2 – 4 pits were dug. For the purpose of determining the transport distances of glacial till, investigation lines running parallel to the directions of flow of the continental ice sheet were planned separately (Fig. 23). Along these lines, test pits were dug at intervals of 0.5 – 1 km and stone counts were then made from the different till beds and layers.

The depth of the test pits varied in that it was generally between 2 and 5 m (the mean depth being 3.8 m.). The deepest pits extended down to between 8 and 11 m and they were made by continuing the excavations from the bottoms of already existing moraine cuts. The most thoroughly studied cut was the open mining pit at Rautuvaara, which was 22 m high and 700 m long (Figs. 18 and 19). Stratigraphic descriptions were made of the test pits, 2,028 fabric analyses and 1,343 stone-counts were made and 11,277 different samples of material were collected for trace-metal, grain-size, and microfabric determinations as well as estimations of the roundness of the pebbles and the quantities of microfossils.

A detailed picture was obtained of the directions of transport of the glacial till as reflected by the stages of flow of the continental ice sheet. In northern Finland, five transport stages (Figs. 12–16) are to be discerned, the most important of them from the standpoint of ore prospecting being Flow Stages II and III. Flow Stage I is

of significance in the transportation of glacial drift in only limited areas. Few observations have been made of Flow Stages IV and V, and in the main these observations have been confined to central Finnish Lapland. These older transportation stages should, however, be taken into account as having possibly also transported debris, inasmuch as the younger flow stages are likely to have worn away earlier deposits and transported the material in an entirely different direction for redeposition.

The till stratigraphy corresponding to the stages of ice flow varies in the different parts of northern Finland. It occurs in its most nearly complete form in the ice divide of central Finnish Lapland (Figs. 17–19), where in some places all five till beds are to be observed lying on top of each other. In northern and southern Lapland, only the two or three youngest till beds are met with. Tentative datings of the till beds have been made by carrying out microfossil investigations. The three youngest beds were deposited during the last glaciation, the other two at an earlier date.

The average transport distance of the glacial drift composing the till – here regarded as a reduction of the initial content by a half – is as follows by survey areas: in the Aska area 4 km (Fig. 24), in the Akanvaara area 1 km (Fig. 25), in the Hautajärvi area 10 km (Fig. 27), and in the Kaamanen area 3 km (Fig. 30). In the areas of Hautajärvi and Akanvaara, an investigation was also made of the transportation of the portion of the till lying closest to the face of the bedrock – that is, less than 1 m from the underlying bedrock, measured vertically. The transport distance of this material is markedly shorter than that of till deposits lying at higher levels in the ground: at Hautajärvi, the distance falls short of 5 km (Fig. 28), and at Akanvaara, it is less than 1 km (Fig. 25). These findings prove that no simple formula can be devised to work out the transport distances of glacial till throughout the region of northern Finland. This truth is accentuated by the fact that the glacial drift is likely to have been retransported by glaciers of different ages as well as by their meltwaters (complex transport). The transport distance must be determined separately in each case by studying the transport distances of the debris belonging to the lithology of the horizon of discovery of the orebearing rocks.

The roundness of the pebbles contained in till is clearly related to the transport distance of the glacial drift. Granulite (Kaamanen stone-count line, Fig. 31) fragments become rounded to the average degree observed in till (ro 3) over a distance of seven kilometers, and gabbro (Akanvaara stone-count line, Fig. 32) fragments over a distance of five kilometers.

New observations were made of the Quaternary subbottom. Rocks exhibiting preglacial weathering occur most commonly in a zone about 150 km broad trending northwest-southeast in central Finnish Lapland (Fig. 2). This zone coincides to a certain extent with the so-called ice divide (Fig. 13). Tertiary microfossils were also found in abundance in many samples, which indicates that in the region small Tertiary deposits are likely to form the Quaternary subbottom in places (Hirvas and Tynni 1976).

The conclusion was reached in the investigations that, carefully carried out and critically interpreted, the methods in general use, fabric analyses and stone counts, are best suited to the investigation of the transport of glacial till, even in their simplest form. Utilization of paleomagnetic techniques proved to be the most important new procedure in the investigation of both the orientation and transport distances of glacial till.

A preliminary study of the magnetic properties of till indicated that it is possible to observe the behaviour of magnetite in the erosive and transport processes of the ice

sheet by susceptibility measurements of the fine fractions (Figs. 6–7). Susceptibility measurements of the coarse fractions in the till, again, revealed changes in the lithological composition of the bedrock (Fig. 7). Measurements of the anisotropic susceptibility were used to estimate the orientation of the magnetite grains in till (Fig. 9); the results were found to correspond closely to those of ordinary stone counts (Fig. 8). Remanent magnetization was perceived to vary in the different till beds (Fig. 11) as well as to be exceedingly stable in direction and hard in intensity in the AF-demagnetization (Fig. 10). In this light, it would appear as if remanence could be utilized in the stratigraphic classification and correlation of glacial till.

KIRJALLISUUTTA – REFERENCES

- Dilcher, D.L. (1965). Epiphyllous fungi from Eocene deposits in Western Tennessee, U.S.A. *Palaeontographica B* 116, 1...54.
- Gijzel, P. van (1967). Autofluorescence of fossil pollen and spores with special reference to age determination and coalification. *Leidse geol. Meded.* 40, 263...317.
- Havinga, A.J. (1964). Investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores. *Pollen et Spores* 6 (2), 621...635.
- Hirvas, H. & Tynni, R. (1976). Tertiääristä savea Savukoskella sekä havaintoja tertiääristä mikrofossileista. Summary: Tertiary clay deposit at Savukoski, Finnish Lapland, and observations of Tertiary microfossils, preliminary report. *Geologi* 28, 33...40.
- Ilvonen, E. (1973). Eem-kerrostuma Savukosken Soklilla. Summary: An Eem-Interglacial deposit at Sokli in Savukoski, Finnish Lapland. *Geologi* 25, 81...83.
- Korpela, K. (1969). Die Weichsel-Eiszeit und ihr Interstadial in Peräpohjola (nördliches Nordfinnland) im Licht von submoränen Sedimenten. *Ann. Acad. Sci. Fennicae A*, III 99, 1...108.
- Kujansuu, R. (1972). Interstadiaalikerrostuma Vuotsossa. Summary: Interstadial deposit at Vuotso, Finnish Lapland. *Geologi* 27, 45...50.
- Kujansuu, R. (1975). Marrasjärven interstadiaalinen harju Keski-Lapissa. Summary: Interstadial esker at Marrasjärvi, Finnish Lapland. *Geologi* 27, 45...50.
- Lauby, A. (1910). Recherches paléophytologiques dans le Massif Central. *Bull. serv. carte geol. France*, 20 (125), 398 s.
- Lundqvist, J. (1971). The interglacial deposits at the Leveäniemi mine, Svappavaara, Swedish Lapland. *Sveriges Geol. Unders. Ser. C* 658, 1...35.
- Lundqvist, J. (1974). Outlines of the Weichsel Glacial in Sweden. *Geol. Fören. Stockh., Förh.* 96, 327...339.
- Moiseeva, A.I. (1971). Atlas Neogenovyh diatomovyh vodoroslej primorskogo kraja. *Trudy vsesoj. naučno-issl. geol. inst, nov. ser.* 171. 151 s.
- Stupavsky, M., Gravenor, C.P. & Symons, D.T.A. (1974). Paleomagnetism and magnetic fabric of the Leaside and Sunnybrook tills near Toronto, Ontario. *Geol. Soc. America Bull.*, 85, 1233...1236.
- Tanskanen, H. (1975). Tiedoksiäntö moreeninalaisesta turvekerrostumasta Keski-Lapissa. Notice on a peat-layer underlying till in Middle-Lapland. *Geologi* 27, 54...55.

