

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS, MAAPERÄOSASTO
TURVERAPORTTI 202

Pauli Hänninen ja Eino Lappalainen

MAATUTKAN JA SUOSONDIN SOVELTUVUUS TURVEVAROJEN
MÄÄRÄN JA LAADUN SELVITTÄMISEEN

KUOPIO 1987

Hänninen, Pauli & Lappalainen, Eino 1987. Maatutkan ja suosondin soveltuvuus turvevarojen määrän ja laadun selvittämiseen. Geologian tutkimuskeskus, Turveraportti 202. 31 sivua, 11 kuvaa, 6 taulukkoa.

Turpeen käytön lisääntyessä sängen voimakkaasti viimeisen kymmenen vuoden aikana, on syntynyt tarve nopeuttaa ja tarkentaa perinteisiin kairauksiin perustuvia maastotöitä. Geologian tutkimuskeskus on selvittänyt geofysikaalisten mitausmenetelmien soveltuvuutta turvetutkimuksiin. Osa työhön tarvitusta rahoituksesta on saatu KTM:n energiasastolta.

Projektien aikana kokeiltiin Subsurface Interface Radar (SIR) -laitteistoa eli ns. maatutkaa. Projektin kuluessa tutkimuskeskus hankki oman maatutkan.

Maatutkan avulla saadaan jatkuva turpeen syvyysprofiili. Lisäksi tutkaprofiili antaa hyvän kuvan pohjan laadusta ja pohjamaalajista. Tutkaprofiilin ja paikanmäärittystietojen perusteella pystytään piirtämään erittäin tarkat suon syvyyskartat. Tutkaprofiili ei anna tietoa turvelaji- tai maatuneisuusvaihteluista. Tutkaluotaus on nopea menetelmä tutkittaessa ojittamattomia avosualueita. Tiheään ojitetuille ja metsäisillä soilla tutkaluotaus on lähes mahdotonta.

Laitekehittelyn yhteydessä HTKK:n radiolaboratorio on rakentanut ja yhdessä tutkimuskeskuksen kanssa edelleen kehittyvät ja kokeillut turpeen kosteuden mittaamiseen soveltuvaa suosondia.

Suosondimittausten perusteella pystytään laskemaan turpeen kosteus, kuiva-ainemäärä sekä energiasisältö. Perinteiseen näytteenottomenetelmään verrattuna sondaus on maastotöiden osalta noin kolme kertaa nopeampi. Lisäksi runsaasti aikaa vievä näytteiden kuivatus jää pois. Suosondin avulla ei saada luotettavaa tietoa turpeen tuhkapitoisuudesta tai lämpöarvosta. Suosondin avulla pystytään kuitenkin entistä tarkemmin määrittämään suon kuiva-ainemäärä sekä energiasisältö tutkimuskustannuksia lisäämättä.

Avainsanat: suo, turve, maatutka, suosondi

Hänninen, Pauli & Lappalainen Eino 1987. The suitability of impulse radar and radiowave moisture probe for measuring the amount and quality of peat. Geological Survey of Finland, Report of peat investigation 202.

During the past decade the Geological survey has strongly concentrated its work on the development of new electric measuring equipment for peat researches. The paper deals with the results of the use of an impulse radar, a radiowave moisture probe and an automatically location equipment. The radar gives information fast and in detail about the thickness of peat and the topography of mineral soil below the peat layers. It also shows the depth and composition of flarky places. By radiowave probe it is possible to measure the moisture content of peat already on the field. It also gives information of the bulk density and energy content of peat.

Key words: peat, impulse radar, radiowave moisture probe

1. ESIPUHE

Maaperän kartoituksessa tarvitaan nykyisin entistä yksityiskohtaisempia tietoja kerrosjärjestyksestä eli stratigrafiasista. Kairauksien ja seismisten tutkimusten rinnalle tarvitaan tutkimusten nopean edistymisen vuoksi aiempia nopeampia ja kustannuksiltaan kilpailukykyisiä mittaussmenetelmiä. Tämän vuoksi Geologian tutkimuskeskuksen maaperäosasto asetti työryhmän selvittämään geofysikaalisten mittaussmenetelmien soveltuvuutta stratigrafisiin tutkimuksiin. Osaltaan tähän myös vaikuttivat VVM:n kannanotot, joissa kehoitettiin selvittämään mahdollisuudet nopeuttaa turveinventointeja lähinnä riittävän syvien suoalaiden etsimisessä.

Osa tähän työhön tarvitusta rahoituksesta on saatu KTM:n energiaosaston myöntämänä erillisrahoituksena Geologian tutkimuskeskuksen "Nopean turveinventoinnin projektille" vuonna 1984 sekä "Nopean turveinventoinnin jatkoprojektille" vuosina 1985-86. Osa rahoituksesta on GTK:n omaa budjettirahoitusta.

Projektin etenemistä ja tuloksia valvomaan asetettiin valvontaryhmä. Projektin valvojana ovat toimineet ylitarkastaja Seppo Oikarinen (1984-85) sekä Jaakko Ojala (1985-87) KTM:n energiaosastolta. Valvontaryhmän puheenjohtajana on toiminut valtioneurologi Eino Lappalainen (GTK) ja jäseninä ministeriön edustajat sekä geologi Veijo Klemetti (Vapo Oy), geologi Harry Uosukainen (Turveruukki Oy), tutkija Jukka Leino (GTK), tutkija Leevi Koponen (GTK), tutkija Pekka Hänninen (GTK) ja geologi Pauli Hänninen (GTK).

Geologian tutkimuskeskuksen julkaisusarjassa on projektista aikaisemmin julkaistu seuraavat raportit : Lappalainen Eino et. al. Geofysikaalisten mittaussmenetelmien soveltuvuus maaperätutkimuksiin sekä Lappalainen Eino & Hänninen Pauli Maatutkaluotaimen ja suosondin soveltuvuus turvetutkimuksiin.

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

TIIVISTELMÄ	2
ESIPUHE	3
1. JOHDANTO	5
2. MAATUTKALUOTAIN	
2.1 Toimintaperiaate.....	6
2.2 Laitteisto.....	7
2.3 Aineiston käsittely ja tulokset.....	11
2.4 Jatkokehittäminen.....	16
2.5 Johtopäätökset.....	19
3. SUOSONDI	
3.1 Yleistä	20
3.2 Suosondin rakenne ja periaate	20
3.3 Tulokset	21
3.4 Johtopäätökset	30
4. YHTEENVETO	30
KIRJALLISUUS	

1. JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskuksen eräänä tehtävänä on vastata maan teollisesti käyttökelpoisten turvevarojen tutkimuksesta. Tutkimustoiminta palvelee turpeen käyttösuunnitelmien laatimista, tuottaa tietoa muuhun soiden käytön suunnitteluun kuten soiden lunastamiseen ja varaamiseen valtakunnallisiin suojeluohjelmiin sekä liittyy tutkimuskeskuksen tekemään maaperäkartoitukseen.

1970-luvun puolivälissä syntyi tarve nopeuttaa ja tarkentaa perinteisiin kairauksiin perustuvia maastotöitä. Tässä tarkoituksessa ryhdyttiin yhteistyössä Helsingin teknillisen korkeakoulun Radiolaboratorion, Oulun yliopiston Geofysiikan laitoksen, Helsingin yliopiston Metsäteknologian laitoksen sekä Pääesikunnan Pioneeriosaston kanssa kokeilemaan tiedos- saolevia geofysikaalisia ja ilmakehävastekniikkaan perustuvia menetelmiä ja soveltamaan niitä suoalueiden turpeen paksuuden ja kulkukelpoisuuden tutkimukseen.

Tällaisina menetelminä kokeiltiin aerosähköistä luotausta, Slingram-mittausta, maavastusmittausta, VLF-, VLFR-, APEX- ja akustista luotausta sekä radiometristä luotausta ja väärävärivalokuvausta. Lupaavimmat tulokset saatiin radiometrillä. Tulosten ei kuitenkaan katsottu olevan riittävän tarkkoja eikä laitteen näinollen katsottu soveltuvan turpeen paksuuden määrittämiseen.

Tämän jälkeen ryhdyttiin tutkimaan ns. maatutkaa, jonka käyttöä tarkastellaan tässä raportissa. Laitekehittelyn yhteydessä HTTK:n Radiolaboratorio on rakentanut ja yhdessä tutkimuskeskuksen kanssa edelleen kehitellyt ja kokeillut myös turpeen kosteuden mittaamiseen soveltuvaa sondia.

Kyseisten projektien tavoitteena oli tutkia löytyisikö perinteisiä kairaus-näytteenotto-laboratoriomenetelmiä nopeampi tutkimusmenetelmä selvittää riittävän nopeasti ja kustannuksiltaan kilpailukykyisesti teollisuuden käyttöön soveltuvat suoalueet. Projektit keskittyivät suon syvyyden, turpeen ominaisuuksien mittaamiseen ja saadun aineiston käsittelyn automatisointiin. Tässä mielessä kehitettiin

tutkalaitteiston erottelukykä, tulosten käsittelyä, piiruriohjelmistoa sekä suoritettiin varsin laaja vertailututkimus sondin tulosten rinnastamiseksi laskentayhtälön avulla laboratoriomenetelmillä saatuihin tuloksiin.

2. MAATUTKALUOTAUS

2.1 Toimintaperiaate

Tutkaluotauksessa lähetetään maaperään sähköaalto, joka saavuttaessaan sähköisiltä ominaisuuksiltaan poikkeavan kerroksen tai kappaleen heijastaa osan energiasta takaisin. Rajapinnalta heijastuneen osan amplitudi sekä pulssin ja heijastuneen aallon aikaero lähtöhetkeen rekisteröidään noin 10 - 20 cm:n välein. Tällöin saadaan jatkuva profiili, joka kuvastaa maaperässä tapahtuvia sähköisiä muutoksia. Intensiiviteetti- ja piirturilla tulostetaan määrättyä kohinatasoa voimakkaammin saapuvat pulssit. Aikaeron perusteella lasketaan millä syvyydellä heijastus on tapahtunut. Heijastuksen voimakkuudesta voidaan päätellä havaitun rajapinnan sähköisten ominaisuuksien muutoksen voimakkuus. Maaperälle on ominaista, että eri maalajit sisältävät toisistaan poikkeavia määriä heijastavia rajapintoja.

Aineiden sähkömagneettisia ominaisuuksia kuvataan suureilla dielektrisyys (ϵ), permeabiliteetti (μ) ja johtavuus (σ). Dielektrisyys liittyy sähköiseen polarisaatioon, permeabiliteetti magneettiseen polarisaatioon. Johtavuus taas vaikuttaa sähkövirtauskenttiin. Radioaallon etenemisnopeus väliaineessa noudattaa menetelmässä käytetyillä taajuuksilla yhtälöä

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}}$$

jossa

c = sähkömagneettisen säteilyn (valon) nopeus, n. 0,3 m/ns

ϵ' = suhteellisen dielektrisyysvakion reaaliosa

Eli sähköaallon nopeus väliaineessa pienenee suhteessa ϵ' :n

neliöjuureen. Pienillä ϵ' arvoilla pieninkin muutos aiheuttaa suuren poikkeaman nopeuteen, mutta suuremmilla ϵ' arvoilla vaikutus nopeuteen on vähäinen. Tämän kaavan perusteella on mahdollista laskea heijastavan rajapinnan syvyys tai kahden rajapinnan välisen osan paksuus, kun ϵ' tunnetaan joko arvioituna tai referenssipisteen avulla laskettuna.

$$s = \frac{c \times t}{2 \times \sqrt{\epsilon'}}$$

jossa:

t = heijastukseen kulunut aika

Saavuttaessaan rajapinnan osa sähköaallon energiasta heijastuu takaisin. Takaisin heijastuneen osan suuruus on riippuvainen rajapinnan muodostamien väliaineiden dielektrisyysvakioista.

$$R = \left| \frac{\sqrt{\epsilon'_1} \sqrt{\epsilon'_2}}{\sqrt{\epsilon'_1} \sqrt{\epsilon'_2}} \right|$$

jossa:

R = heijastuskerroin

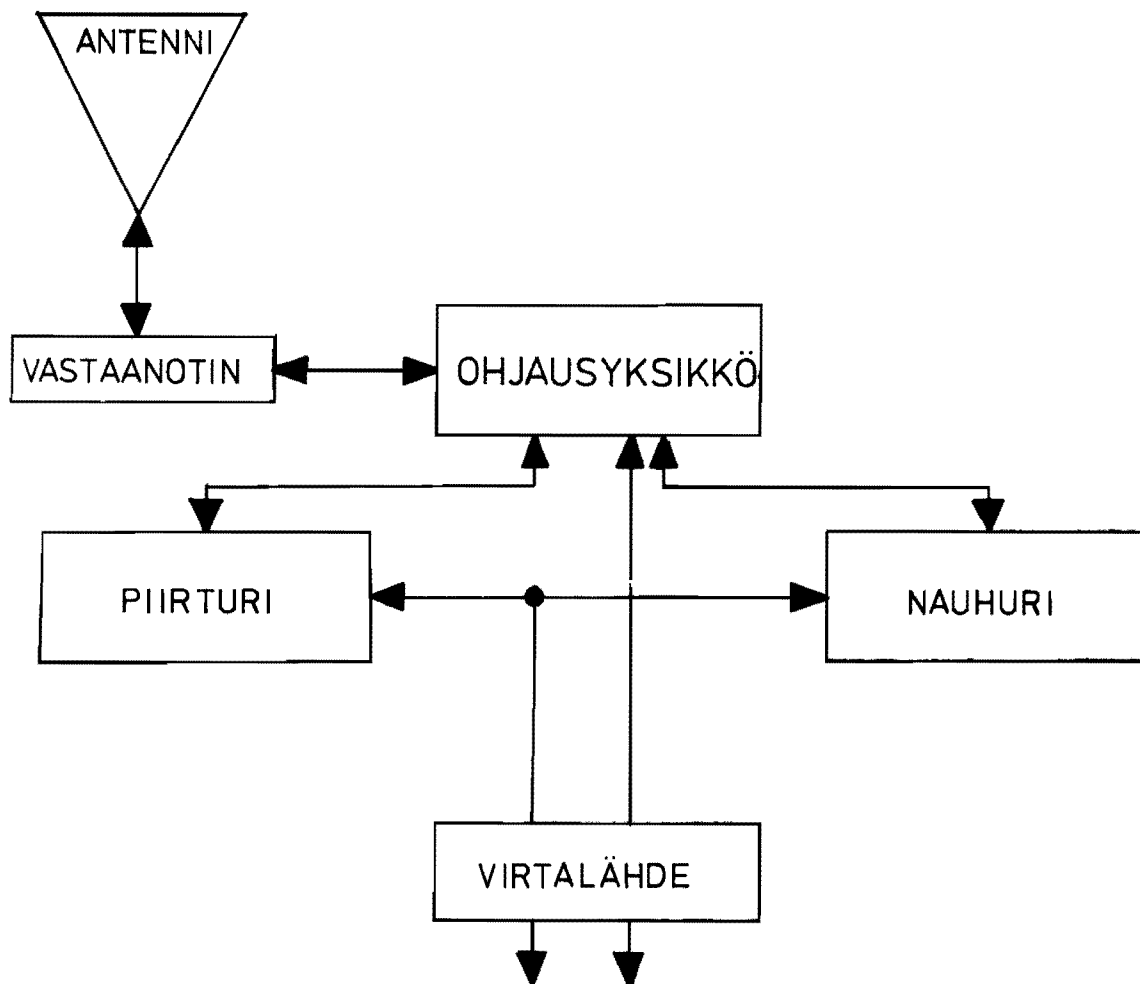
ϵ' = väliaineen dielektrisyysvakio

Eli mitä suurempi on sähköisen polarisaation muutos rajapinnalla, sitä suurempi osa sähköaallon energiasta heijastuu takaisin. Loppuosa eli 1-R jatkaa matkaansa seuraavassa väliaineessa.

Sähköaallon etenemisessä tapahtuu vaimenemista jokaisella rajapinnalla, osan aaltoenergiasta heijastuessa takaisin. Edelleen lähinnä johtavuuden ja dielektrisyiden suhteen muutoksena tapahtuu vaimenemista itse väliaineessa. Sähköaallon eteneminen väliaineessa tapahtuu keilana. Tällöin suurin intensiteetti kohdistuu alaspäin. Näinollen myös mittauspisteen lähellä olevat kohteet saattavat kuvastua tuloksissa rajapintoina ja yksittäiset kappaleet saavat ympärilleen "viuhkan".

2.2 Laitteisto

Tarvittava laitteisto koostuu lähetin-vastaanottimesta, antennista, ohjausyksiköstä, tulosten tallennusyksiköstä sekä virtalähteestä (Kuva 1).



Kuva 1. Maatutkaluotaimen lohkokaavio.

Maaperätutka on pulssitutka, jonka toimintataajuus on valittavissa 80 - 900 MHz:iin. Yli 300 MHz:n taajuudet sopivat lähinnä kunnallisteknisiin tutkimuksiin rajoitetun syvyyssulottuvuutensa vuoksi, joten lähinnä 80 ja 120 MHz:n taajuudet ovat käytössä maaperägeologisiin tutkimuksiin. Näistä pienempi taajuus antaa suuremman syvyyssulottuvuuden ja suurempi taajuus paremman erottelukyvyn.

Lähetin-vastaanotinyksikkö on sijoitettu antenniin. Se lähettää puolitoista jaksoa sinimuotoista aaltoa 51,2 kHz:n taajuudella. Kahden pulssin välinen aikaero on noin 20 mikrosekuntia, josta noin 1000-1500 ns:n osasta saadaan tällä hetkellä maaperän rajapinnoista heijastunutta informaatiota. Tulostukseen kerätään vastaanottosignaalia siten, että jokaisesta jaksosta otetaan pieni näyte. Näytteenottoväli on hieman suurempi kuin jakson pituus. Tuhannesta näytteestä

koostetaan yksi tallennettava signaali eli pyyhkäisy, joka kuvastaa jonkinlaista keskiarvoa kyseessä olevalla välillä. Saatu pyyhkäisytaajuus on luokkaa 51,2 - 6,4 Hz:iä valinnan mukaan, eli mittaustuloksia saadaan 6-50 kappaletta sekunnissa.

Antenni on sijoitettu maastokelpoisuuden parantamiseksi laatikkoon ja ympäröity styroksilla. Mittauksissa sitä vedetään ahkiossa maan pinnalla. Ahkioon on lisäksi kiinnitetty matkamittari kulkunopeuksissa tapahtuvien epätasaisuuksien korjaamiseksi. Antennin koko on riippuvainen valitusta taajuudesta: mitä suurempi taajuus sen pienempi antenni. 120 MHz:n antenni on noin 1,25 m leveä.

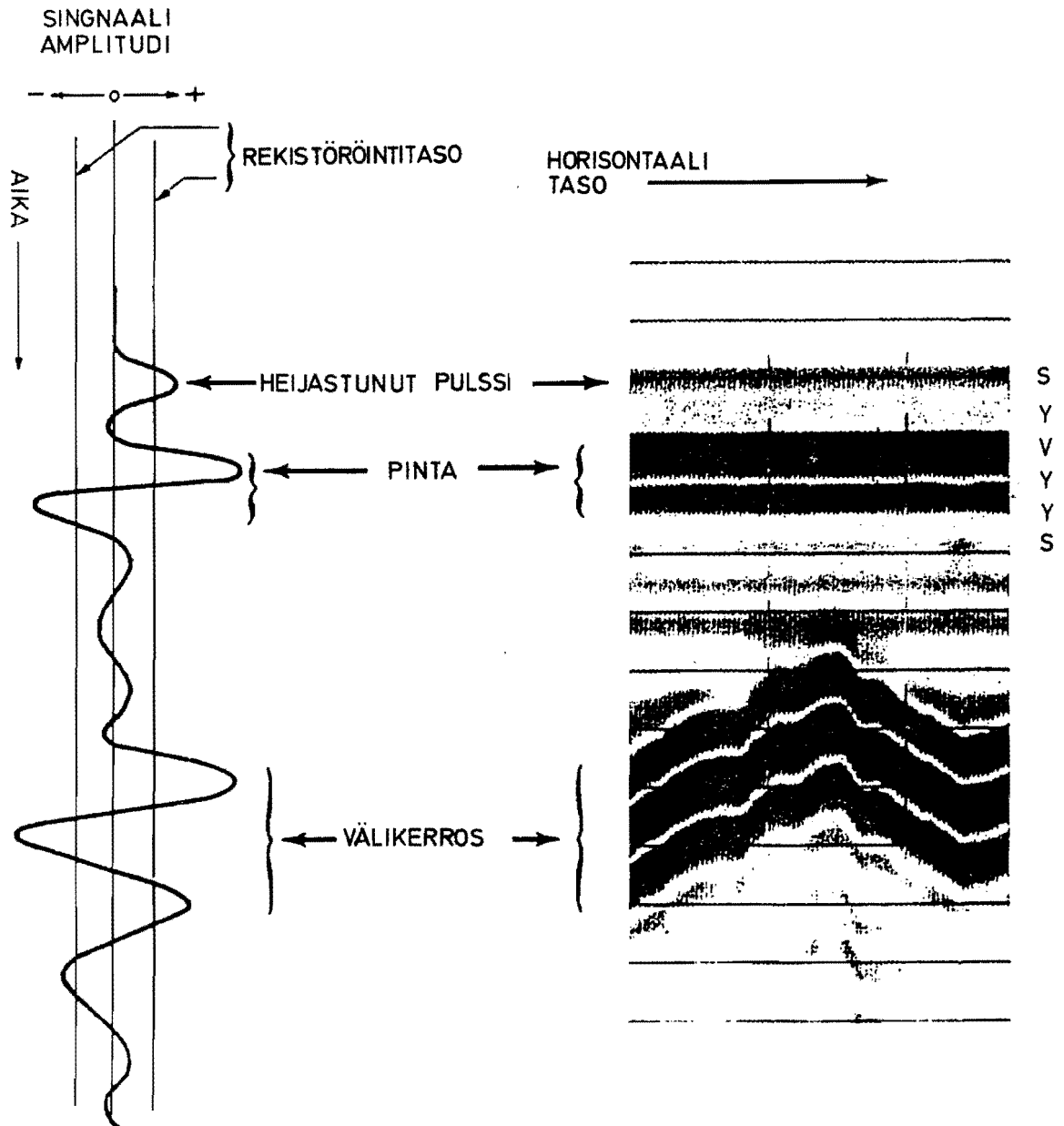
Ohjausyksikkö on maaperätutkan sydän. Se ohjaa pulssitaajuutta sekä tulostuslaitteita. Vastaanottimelta saapuva signaali vahvistetaan ohjausyksikössä, joko tasaisesti tai ajasta riippuen, ja syötetään piirturille ja nauhalle (Kuva 2). Lähtö ja paluupulssin välinen suurin hyväksyttävä aikaero valitaan ohjausyksikön säätimistä. Ohjausyksikössä on lisäksi oskilloskooppi, jossa saapuva signaali näkyy mittauksen aikana. Tämä on tärkeää, sillä mittauksen aikana on pystyttävä havaitsemaan, milloin vahvistusta tai aikaskaalaa tarvitaan lisää.

Saatu signaali tallennetaan myöhempiä käsittelyä ja tulkin-taa varten. Se on mahdollista tallentaa joko digitaalisena tai analogisena magneettinauhalle tai piirtää suoraan paperille. Digitaalinen tallennus on edullisempi paremman jatkokäsittelymahdollisuuden takia. Pelkkä piirturitulostus tekee mittauksista kertakaikkisen, eikä mahdollisella jatkokäsittelyllä voida tulosta enää muuttaa, toisaalta tulos on heti käytettävissä. Optimitilanteessa tulisi mittauksessa olla mukana sekä piirturi että nauhuri. Tehon lähteeksi kelpaa 12 V:n akku.

Jos turvekerroksen sisällä on ainoastaan yksi rajapinta havaitaan 80 MHz:n taajuudella teoreettisesti 0,1 ϵ 'n muutos 2 m syvyydellä ja 2 ϵ 'n muutos 4 m syvyydellä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Rajapintojen erottelukyky turpeessa 80 MHz:n taajuudella.

VÄLIAINE 1	$\epsilon'1$	VAIMENNUS dB/m	VÄLIAINE 2	$\epsilon'2$	MAKSIMI SYVYYS
turve	68.	5.945	turve	68.1	2 m
turve	68.	5.945	turve	68.4	3 m
turve	68.	5.945	turve	70.0	4 m



a) VASTAANOTTIMELLA HAVAITTAVA PULSSI

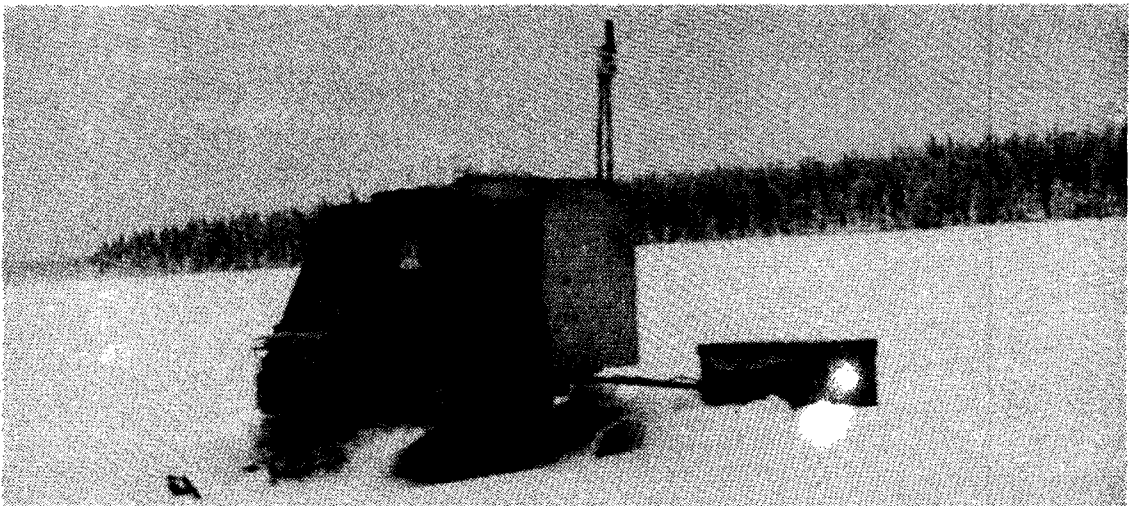
b) PIIRTURIN TEKEMÄ KUVA

Kuva 2. SIR maatutkan vastaanottimella havaittava pulssi ja piirturin tekemä kuva.

Tutkamittauksen kannalta on syytä mainita, että esimerkiksi 3 prosenttiyksikön kosteudenmuutos vastaa suhteellisen dielektrisyyksivakion muutosta 64:stä 72:een, ja jos turpeen johtavuus on 0,05 S/m ja vaimennus 12 dB/m, pystytään rajapinta erottamaan noin 3 m:n syvyydessä kokonaisvaimennuksen ollessa noin 120 dB.

2.3 Aineiston käsittely ja tulokset

Maatutkaluotaimen kokeilujen tulokset (E.Lappalainen et. al. 1984, E.Lappalainen & P.Hänninen 1985) olivat niin lupaavia, että Geologian tutkimuskeskus hankki oman maatutkan vuonna 1985. Tutkalaitteisto sijoitettiin Lumikko -telamaasturiin (Kuva 3). Tutkalla tehdään turvevarojen inventointia talvel-

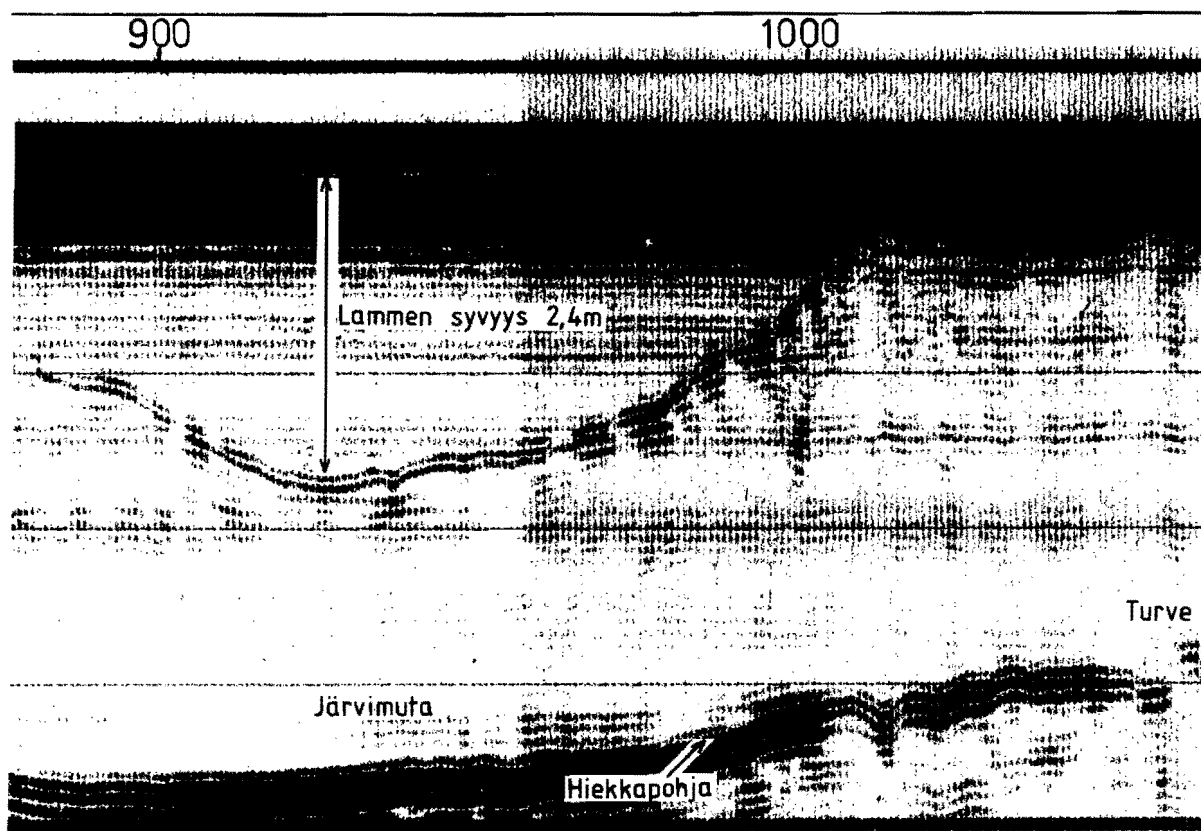


Kuva 3. Tutkalaitteisto sijoitettuna telamaasturiin.

la. Kesällä tutkaa käytetään muissa maaperätutkimuksissa. Tutkaluotauksen yhteyteen on liitetty Mini-Ranger paikanmäärittäslaitteisto. Laite mittaa sijaintipaikkansa etäisyyden kahdesta maa-asemasta. Mittaustaajuus on noin 5000 MHz, joten laitteen ja maa-aseman välillä täytyy olla optinen yhteys. Lyhyillä, alle 5 km:n etäisyyksillä harvahko puusto ei estä mittausta, mutta maaesteitä ei välillä saa olla. Käytännössä on todettu, että myös runsas lumipeite puissa haittaa mittauksia.

Tutkan mittausominaisuudet ovat sellaiset, ettei sillä saada tietoja suon pintakerroksesta. Tämä kerros on alle 0,5 m paksuinen. Pintakerroksen ja pohjan välissä on muutamissa

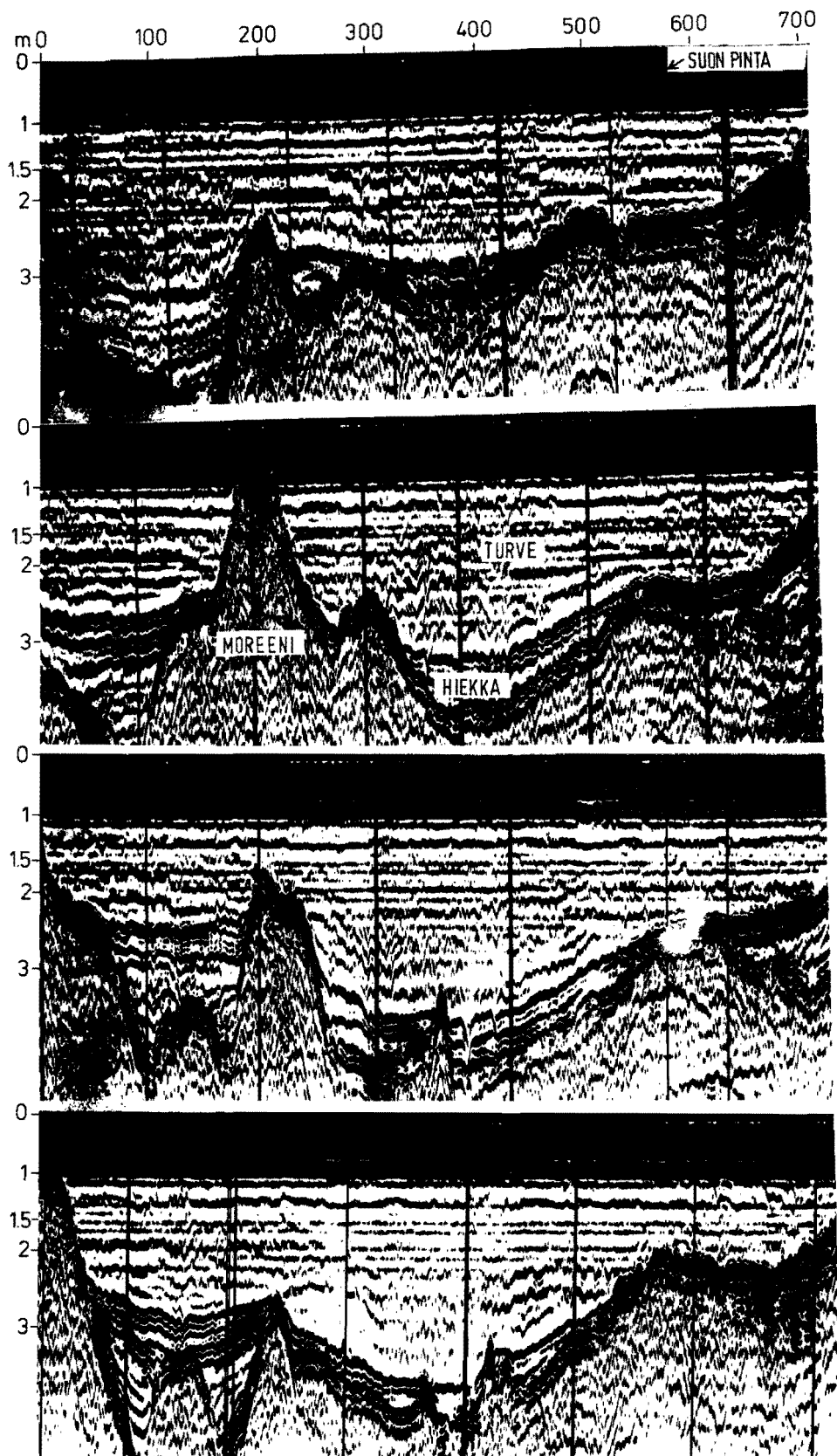
kohdissa havaittavissa sähköisiä rajapintoja. Jatkuvia rajapintoja on vähän, eivätkä ne osoita turvelaji- tai maatumaisuusvaihteluja. Karhusuon poikkilinjalta on pieni lampi, joka näkyy selvästi tutkaprofiilissa (Kuva 4). Tutkaprofiilista voi myös laskea lammen veden syvyyden. Lammen alla oleva runsaasti orgaanista ainesta sisältävä järvimuta ei tutkaprofiilissa erotu lampea ympäröivästä turpeesta. Tut-



Kuva 4. Tutkaprofiili Karhusuon poikkilinjalta.

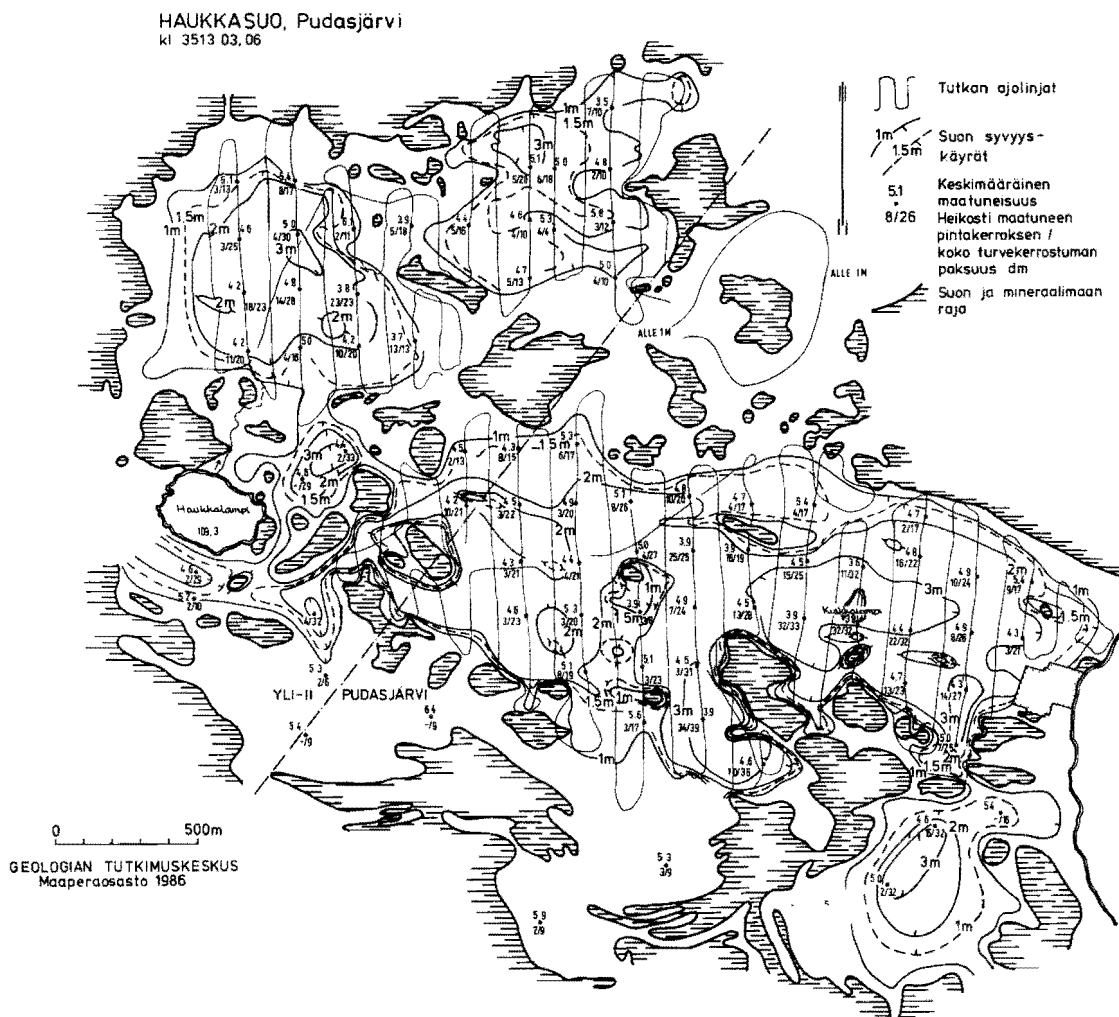
kaprofiilista on suhteellisen helppo erottaa runsaasti mineraaliainesta sisältävä liejukerros ja turvekerros toisistaan.

Tutkaprofiili antaa hyvin yksityiskohtaisen kuvan turpeen paksuudesta ja suon pohjamaalajista (Kuva 5). Tarkempia (profiilit 100 m välein) tutkaluotauksia kannattaa tehdä soilta, joiden pohja oletetaan epätasaiseksi. Tällaisia ovat esimerkiksi rannikkoalueen muinaisten rantavallien väliset soistumat samoinkuin ablaatiomoreeni- ja drumliinialueet.



Kuva 5. Tutkaprofiileja Haukkasuolta. Profiilien väli maastossa 100 metriä.

Tutkaprofiilin ja paikanmäärittystietojen perusteella pystytään piirtämään erittäin tarkat suon syvyyskartat (Kuva 6) tai pohjamaalajikartat.



Kuva 6. Tutkaluotauksen ja siihen yhdistetyn paikanmäärittyslaitteiston avulla saatu suon syvyyskartta.

Geologian tutkimuskeskuksessa maatulokan yhteyteen on liitetty matkamittari. Tällöin profiilin syöttönopeus riippuu ajonopeudesta. Profiilin syöttönopeus on valittavissa esimerkiksi niin, että 10 cm profiilissa vastaa 100 metriä maastossa.

Maatulokaa käytetään syvien suoalueiden etsimisessä, jolloin suolle ajetaan syvyyslinjoja noin 400 m välein. Työn nopeuttamiseksi ei käytetä paikanmäärittyslaitteistoa ja tulokset ovat lähinnä orientoivia. Homogeenisen suon pinta on 10 cm tutkaprofiilissa näkyvän pinnan yläpuolella. Talvella lumi nostaa nollassa paikkaa ja routa taas laskee sitä. Esim.

70 cm lunta aiheuttaa 10 cm:n nousun ja 20 cm routaa 15 cm:n laskun nollassa paikkaan. Nämä tekijät yhdistettynä turpeen epähomogeenisuuteen syvyyssuunnassa aiheuttavat sen, että nollassa paikka muuttuu arvaamattomasti. Vertailun mukaan se vaihteli -3 cm:stä +29 cm:iin (Marttila 1984). Tästä johtuen tarvitaan myös orientoivissa syvyystutkimuksissa tulkinna helpottamiseksi kairaamalla saatuja syvyystietoja. Näitä ns. referenssipisteitä tarvitaan noin 2/100 ha.

Mikäli tarvitaan tarkka syvyystieto suolta, on tarkoituksenmukaiseksi osoittautunut 100 metrin linjaväli. Sitä täydennetään 100 metrin pisteväleihin selkälinjalta ja 300 X 300 metrin ruudukkoon referenssipistein. Näitä käytetään tutkaprofiilin tulkintaan. Kesäaikana tutkimuspisteiltä tutkitaan turpeen laatuominaisuudet perinteisin menetelmin sekä otetaan laboratorionäytteet.

Mikäli tarvitaan tarkka syvyystieto suolta, on tarkoituksenmukaiseksi osoittautunut 100 metrin linjaväli. Sitä täydennetään 100 metrin pisteväleihin selkälinjalta ja 300 X 300 metrin ruudukon referenssipistein. Näitä käytetään tutkaprofiilin tulkintaan. Kesäaikana tutkimuspisteiltä tutkitaan turpeen laatuominaisuudet perinteisin menetelmin sekä otetaan laboratorionäytteet.

Suon pohjan topografia ja pohjamaalaji vaikuttaa siihen kuinka paljon eri syvyysvyöhykkeille lasketut pinta-alat muuttuvat tiheällä tutkalinjauksella ja perinteisellä tutkimuspistetiheydellä tutkittujen soiden välillä. Suurimmillaan muutos voi olla jopa +20 %.

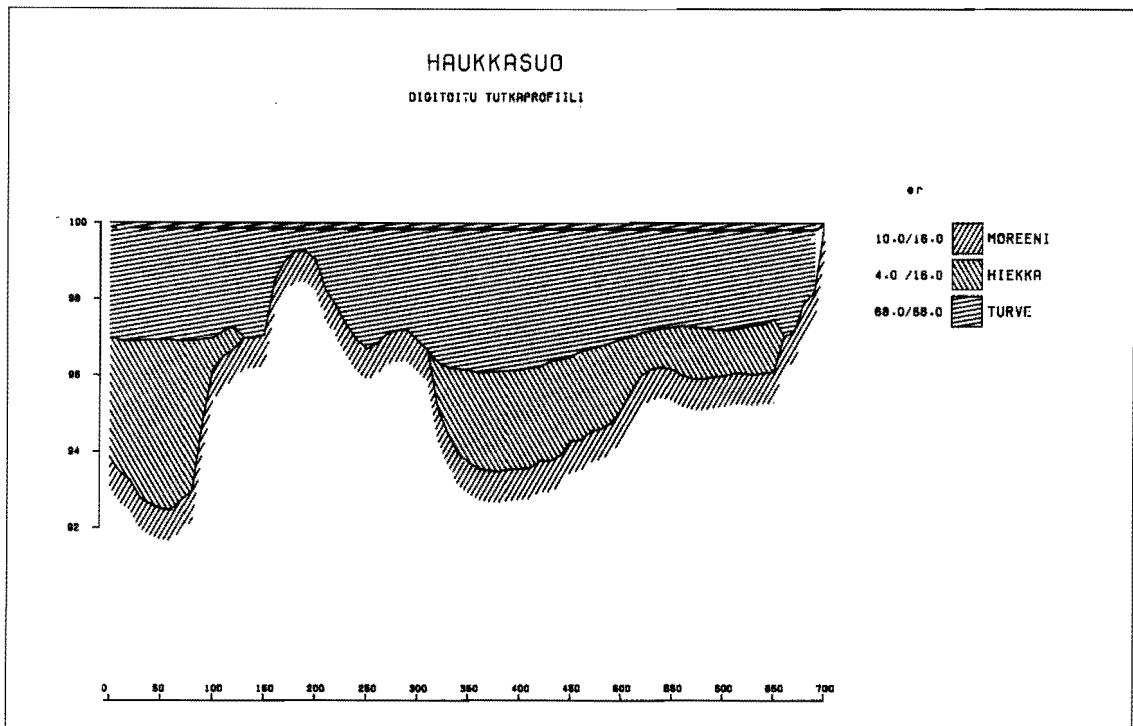
Alimman kerroksen havaisemissyvyys kolmikerrosmallilla laskettuna vaimennuksesta ja dielektrisyydestä riippuen on esitetty taulukossa 2.

Tutkaprofiilit eivät ole matka- vaan aikaskaalassa. Varsinaisen tulkinna jälkeen tulokset voidaan digitoida ja tallentaa atk-käsittelyä varten. Lopputuloksena on tiedosto,

Taulukko 2. Alimman kerroksen havaitemissyyvyys kolmikerros-
mallilla.

ylin kerros	ε'1	paksuus (m)	väli- kerros	ε'2	alin kerros	ε'3	havaitsemis- raja (m)
turve	70	2	kostea hk	30	moreeni	16	9 M
turve	70	3	kostea hk	30	moreeni	16	8 M
turve	70	4	kostea hk	30	moreeni	16	7 M
turve	70	2	kostea hk	30	kallio	7	10 M
turve	70	3	kostea hk	30	kallio	7	9 M
turve	70	4	kostea hk	30	kallio	7	8 M

jossa kaikki tulkitut kerrokset ovat määriteltynä X ja Y
-koordinaattien suhteen. Tiedostosta voi piirtää teemakart-
toja halutuista kerroksista, niiden syvyyksistä tai paksuuk-
sista, sekä profiileita metriskaalassa (Kuva 7). Syvyys-
alueet voi myös digitoida, jolloin piirturilta saadaan
suokartta sekä eri syvyysalueiden pinta-alat.



Kuva 7. Digitoitu tutkaprofiili Haukkasuolta.

3.4 Jatkokehittely

Tarkoissa tutkimuksissa on käytössä Mini-Ranger -paikanmää-
rityslaitteisto. Laitteistoon kuuluu 2 maa-asemaa sekä vas-
taanottoasema. Koska maa-asemien ja vastaanottoaseman
välillä täytyy olla optinen yhteys joudutaan maa-asemia aika
ajoin siirtämään. Tämä on hidasta ja vie työajasta noin

puolet. Tämän vuoksi projektin puitteissa tutkittiin myös muita paikanmääritysmenetelmiä. Parhaimmaksi todettiin matkan mittaaminen matkamittarilla, jolloin myös piirturin profiilin tulostusnopeus on riippuvainen ajonopeudesta. Suunnanmittaus tapahtuisi hyrräkompassilla, jossa on digitaalinen ulostulo.

Geologian tutkimuskeskus hankki keväällä 1987 länsisaksalaisen Anschlylz gyrostar hyrräkompassin. Sen mittaustarkkuus on alle 1° , käyttölämpötila $-10 - +45^{\circ}\text{C}$, kallistuskulma $+30^{\circ}$, lukematarkkuus 0.1° , tehonkulutus 65 wattia ja suunnan korjaus käännöksissä 8° sekunnissa.

Hyrräkompassia testattiin kesällä 1987 Räyskälässä. Laite sijoitettiin maastoautoon. Suunta luettiin hyrräkompassin kehältä. Mittauslinjan pituus oli 5850 metriä. Mittauksia tehtiin kaksi. Ensimmäisessä mittauksessa matka luettiin auton matkamittarista 100 metrin välein. Samalla kirjattiin ylös aika ja suunta. Toisessa mittauksessa tiedot kirjattiin ylös 50 metrin välein. Tiedot syötettiin ATK:lle. Ohjelma suoritti suuntakorjaukset ja laski koordinaatit sekä piirsi reittikartat. Ensimmäisessä mittauksessa sulkuvirhe oli noin 20 metriä ja toisessa noin 12 metriä (Kuva 8). Testin perusteella tuntuu mahdolliselta päästä noin promillen suhteelliseen tarkkuuteen, kun lopullisessa systeemissä paikanmääritys perustuu 5 metrin välein tapahtuvaan suunnan ja ajan lukuun. Turvetutkimuksissa tämä tarkkuus on riittävä.

Tietoa ei tuotantoajossa voida lukea manuaalisesti. Tämän vuoksi lopulliseen paikanmäärityslaitteistoon on liitettävä mikrotietokone, joka lukee tietoa ja laskee koordinaatit reaaliajassa sekä piirturi. Mikron on ohjattava piirturia, johon ajettu reitti tulostetaan. Hyrräkompassin tiedot luetaan digitaalisena yksi kuudesosa asteen tarkkuudella.

Projektin kuluessa todettiin myös korkeudenmäärityslaitteen tarve. Tällöin voitaisiin jo tutkamittauksen yhteydessä selvittää suon pinnan viettosuunnat ja tulostaa profiilit normaalikorkeuteen. Geologian tutkimuskeskus tilasi kesällä 1987 korkeudenmäärityslaitteiston, joka saadaan kuluvan vuoden lokakuussa. Näin ollen laitteiston käyttökokemuksia ei voida selvittää tämän projektin puitteissa.

3.5. Johtopäätökset

Tutkan mittausominaisuudet ovat sellaiset, ettei sillä saada tietoja suon pintakerroksesta. Pintakerroksen ja pohjan välissä on havaittavissa sähköisiä rajapintoja. Jatkuvia rajapintoja on vähän, eivätkä ne korreloi turvelaji- tai maatuneisuusvaihteluiden kanssa. Tutkaprofiilista ei havaita runsaasti orgaanista eli eloperäistä ainesta sisältäviä liejuja kuten järvimutaa ja erilaisia detritusliejuja. Sensijaan runsaasti mineraaliainesta sisältävät saviliejut ja liejusavet on suhteellisen helppo erottaa turpeesta tutkaprofiilin avulla. Tutkaprofiili antaa erinomaisen kuvan turvekerroksen paksuudesta ja hyvän kuvan pohjan laadusta ja pohjamaalajista. Tutkaprofiilin ja paikanmäärittystietojen perusteella pystytään piirtämään erittäin tarkat suon syvyyskartat tai pohjamaalajikartat. Tutkaprofiilista voidaan myös paikantaa maatumattomat puut eli lie'ot. Lampien ja järvien vesitilavuudet voidaan tutkalla helposti määrittää.

Tutkaluotaus on helpointa luonnontilaisilla avosoilla tai harvapuustoisilla luonnontilaisilla rämeillä. Tutkaprofiilissa pinnan epätasaisuudet, esim. suolla mättäät, piirtyvät pohjaan peilikuvana. Tiheään ojitetuilla ja metsäisillä soilla tutkaluotaus on lähes mahdotonta.

Tutkaluotaus on nopea menetelmä tutkittaessa ojittamattomia avosualueita. Talvimittauksissa käytetään 5-8 km/h ajonopeutta. Avoimella suolla kokeiltiin jopa 16 km/h nopeutta. Maaston ollessa tasainen nopeus ei sanottavasti vaikuttanut tulosten tulkittavuuteen.

Tutkaprofiileja tulkittaessa on välttämätöntä, että on käytettävissä muutamia kairauspisteitä, joista turpeen paksuus tunnetaan tarkasti. Tarkistuskairaukset ovat lisäksi välttämättömiä, jotta pystytään paikantamaan mahdolliset orgaaniset liejut ja toteamaan, sopiiko turve maatuneisuudeltaan ja turvelajiltaan turvetuotantoon. Suon turveteollista soveltuvuutta arvioitaessa ratkaisevaa merkitystä on paitsi itse

kiintoaineksen määrän selvittämisellä, myös siinä olevan epäorgaanisen aineksen (tuhkan), ja lämpöarvon sekä eräiden muiden laboratoriossa määritettävien tekijöiden, kuten ympäristölle vaarallisten ainesosien ja yhdisteiden (rikki, uraani, polyaromaattiset hiilivedyt tms.) analysoimisella.

3. SUOSONDI

3.1 Yleistä

Projektin yhteydessä käytettiin ja kehiteltiin tutkaluotaimen ohella myös suosondia. Suosondista kehitettiin apuväline turvetutkimusten kannalta tärkeän turpeen kuiva-ainemäärän ja energiasisällön nykyistä tarkempaan ja nopeampaan määrittämiseen. Suon energiasisältö määritetään perinteisesti tilavuustarkkojen näytteiden avulla. Suon syvyydestä riippuen 3-4 hengen tutkimusryhmä pystyy ottamaan päivässä 20 cm välein suon pinnasta pohjaan asti näytteitä 2-5 pisteeltä. Suosondilla pystyy 2 hengen ryhmä tekemään mittauksia 10 cm:n välein suon syvyydestä riippuen 10-15 pisteeltä päivässä.

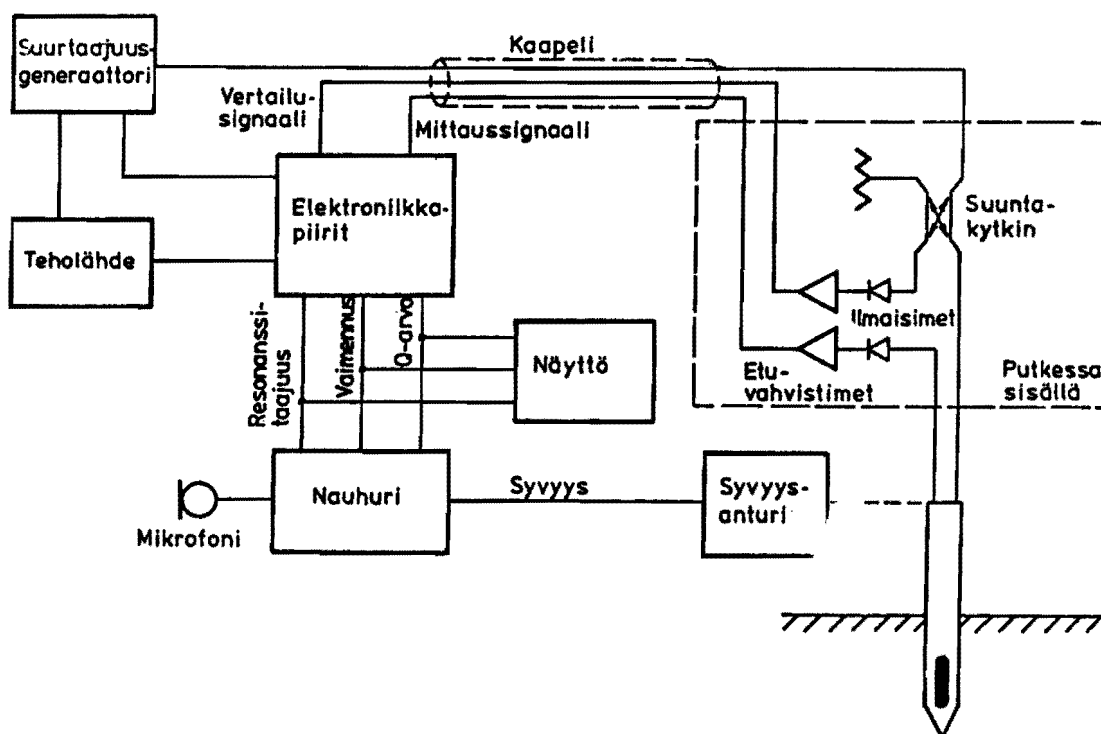
3.2 Suosondin rakenne ja periaate

Suosondiin kuuluu anturi ja elektroniikkayksikkö. Mittausantot ovat 1,5 metriä pitkiä. Mittaustulokset tulostetaan 16 kilotavun tietomuistiin.

Maastossa anturi työnnetään turpeeseen ja sen resonanssitaaajuus, hyvyysluku (Q-arvo) ja läpäisyvaimennus mitataan. Hyvyysluku on huipputaajuus jaettuna kaistanleveydellä. Resonanssitaaajuus (keskimäärin n. 130 MHz) on kääntäen verrannollinen turpeen dielektrisyysvakion neliöjuureen ja hyvyysluku sekä läpäisyvaimennus ovat verrannollisia turpeen häviöllisyyteen (Toikka 1983).

Suurtaajuusgeneraattorin taajuutta pyyhkäistään välillä 100 - 200 MHz ja teho viedään koaksiaalikaapelilla alas anturiin (Kuva 9). Anturin lähellä olevan suuntakytkimen avulla otetaan näyte alas tulevasta tehosta. Anturin läpäissyt teho ja suuntakytkimeltä saatu teho ilmaistaan, saadut jännitteet vahvistetaan ja tuodaan ylös elektroniikkayksikköön.

Elektroniikkayksikkö määrittää anturin resonanssitaajuuden, Q-arvon ja läpäisyvaimennuksen. Selausohjelman avulla voidaan mittaustiedot muuntaa suoraan kentällä kosteudeksi tai kuiva-ainepitoisuudeksi, jolloin mahdolliset virheelliset mittaustulokset ovat heti havaittavissa.



Kuva 9. Suosondin lohkokaavio.

3.3 Tulokset

Suosondin luotettavuutta tutkittaessa otettiin hydrologisesti erilaisilta soilta vertailunäytteitä tilavuustarkalla mäntäkairalla. Näytteitä otettiin yhteensä 739 kappaletta, joista 255 keidassoilta ja 484 aapasoilta. Sondauksia tehtiin yhteensä 4434 kappaletta.

Mittaustulokset purettiin sondin tietomuistilta ensin mikrotietokoneelle RS 232 väylän kautta. Mikrotietokoneella voi mittaustietoja editoinnin avulla myös korjata. Mittaustuloksia voi tarkastella sekä numeerisina arvoina että kuvina. Sondin mittaamista tiedoista voi tutkia taajuutta ja laske-
tuista tiedoista kosteutta (%), kuiva-aineen määrää (kg/m^3)
sekä energiasisältöä (MWh/suo-m^3). Turpeen maatuneisuutta ei voida kaavoissa ottaa huomioon mikrolla tuloksia tarkas-
teltaessa, koska suon kairaustulokset on tallennettu ainoas-
taan keskustietokoneeseen. Kun tulokset on tarkastettu ja
mittaukset todettu luotettaviksi tiedot siirretään keskus-
tietokoneelle.

Tutkimustulokset käsiteltiin atk:n avulla. Tulostus suori-
tettiin turvelajeittain, maatuneisuuksittain sekä suoyhdis-
tymätyypeittäin. Suoyhdistymätyyppi- jaottelu antoi näistä
parhaat tulokset ja tästä johtuen jatkossa tulokset jaotel-
laan aapa- sekä keidassoihin.

Seuraavassa vaiheessa tehtiin tutkimus sondilla mitattujen
ja laboratoriossa määritettyjen arvojen välisistä riippu-
vuuksista ja määritettiin riippuvuksille matemaattiset mal-
lit. Aapasoilla turpeen maatuneisuuden tai laboratoriossa
mitatun tuhkaprosentin ja sondilla mitattujen arvojen
välillä ei ole havaittavissa selvää riippuvuutta (Taulukko
3). Turpeen laboratoriossa mitatun kosteuden ja taajuuden
ja taajuuden välillä selvä positiivinen korrelaatio.
Lämpöarvon ja taajuuden välillä on heikko positiivinen kor-
relaatio. Energiasisällön määrittämiseen on kuiva-aineen
määrällä tulostenluotettavuuden kannalta paljon suurempi
merkitys ($r=0.9144$) kuin lämpöarvolla ($r=0.4153$). Tästä joh-
tuu, että sondilla pystytään arvioimaan melko luotettavasti
turpeen energiasisältö (MWh/suo-m^3). Energiasisällön ja
taajuuden välillä on selvä positiivinen korrelaatio
($r=0.7787$). Tulosten perusteella kehitettiin aapasoille
soveltuvat uudet kaavat turpeen kosteuden ja kuiva-aineen
määrittämiseksi taajuuden funktiona. Kaavassa, jonka pe-
rusteella lasketaan energiasisältö otetaan turpeen maatunei-

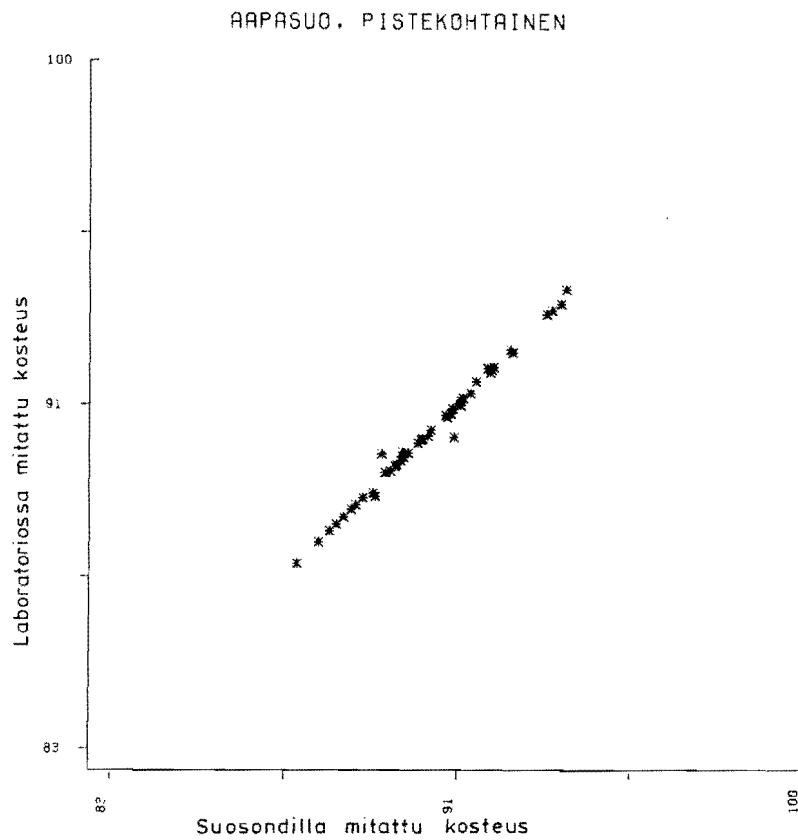
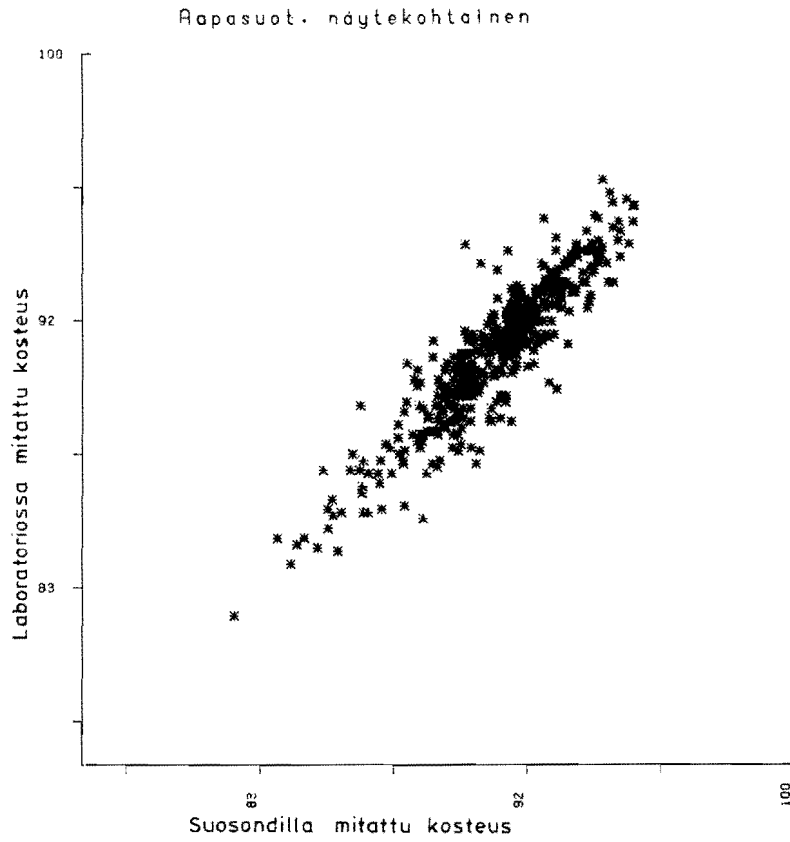
suus huomioon, koska sillä on merkitystä tulosten luotettavuuteen. Kuvassa 10 on esitetty näytekohtainen ja pistekohmainen tulostus laboratoriossa mitattujen kosteuksien eroista aapasoilla. Näytekohtaisesti havaitaan melko suuriakin eroja kosteuksissa. Sensijaan pistekohtaisessa tulostuksessa erot ovat erittäin pienet.

Taulukko 3. Matemaattiset riippuvuudet eri tekijöiden suhteen aapasoilla.

	MAATU- NEISUUS H	TUNKAPI- TOISUUS *	KOSTEUS *	KUIVA- AINE *	LÄMPÖ- ARVO *	TAAJUUS 0	VAIMENNUS 0	ENERGIA- SISÄLTÖ *
H	1,000 (n=0) p=0,000	-0,0305 (n=479) p=0,253	-0,1461 (n=479) p=0,001	0,1279 (n=445) p=0,003	0,2901 (n=479) p=0,000	0,0812 (n=486) p=0,040	-0,0293 (n=479) p=0,040	0,2077 (n=445) p=0,261
TUNKAPITOISUUS *	-0,0305 (n=479) p=0,253	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,2973 (n=484) p=0,000	0,4224 (n=447) p=0,000	-0,6980 (n=484) p=0,000	0,0422 (n=484) p=0,180	-0,2213 (n=484) p=0,000	0,795 (n=447) p=0,047
KOSTEUS *	-0,1461 (n=479) p=0,001	-0,2973 (n=484) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,8347 (n=447) p=0,000	-0,0842 (n=484) p=0,032	-0,7567 (n=471) p=0,000	0,2288 (n=484) p=0,000	-0,7843 (n=447) p=0,000
KUIVA-AINE *	0,1279 (n=445) p=0,003	0,4224 (n=447) p=0,000	-0,8347 (n=447) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	0,0376 (n=447) p=0,214	0,7436 (n=436) p=0,000	-0,2958 (n=447) p=0,000	0,9144 (n=447) p=0,000
LÄMPÖARVO *	0,2901 (n=479) p=0,000	-0,6980 (n=484) p=0,000	-0,0842 (n=484) p=0,032	-0,0376 (n=447) p=0,214	1,0000 (n=0) p=0,000	0,4328 (n=471) p=0,000	0,1625 (n=484) p=0,000	0,4153 (n=447) p=0,000
TAAJUUS 0	0,0812 (n=466) p=0,040	0,0422 (n=471) p=0,180	-0,7567 (n=471) p=0,000	0,7436 (n=436) p=0,000	0,4328 (n=471) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,1595 (n=471) p=0,000	0,7787 (n=436) p=0,000
VAIMENNUS 0	-0,0293 (n=479) p=0,261	-0,2213 (n=484) p=0,000	0,2288 (n=484) p=0,000	-0,2958 (n=447) p=0,000	0,1625 (n=484) p=0,000	-0,1595 (n=471) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,2231 (n=447) p=0,000
ENERGIASISÄLTÖ *	0,2077 (n=445) p=0,000	0,0795 (n=447) p=0,047	-0,7843 (n=447) p=0,000	0,9144 (n=447) p=0,000	0,4153 (n=447) p=0,000	0,7787 (n=436) p=0,000	-0,2231 (n=447) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000

* = mitattu laboratoriossa, 0 = mitattu suosondilla, p = merkitsevyystaso

Keidassoilla turpeen maatuneisuuden ja laboratoriossa mitatun tuhkapitoisuuden sekä sondilla mitatun taajuuden välillä on lievä positiivinen korrelaatio (Taulukko 4). Turpeen laboratoriossa mitatun kosteuden ja taajuuden välillä on selvä negatiivinen riippuvuus sekä kuiva-aineen ja taajuuden välillä selvä positiivinen korrelaatio. Energiasisällön määrittämisessä on keidassoilla kuiva-aineella erittäin suuri merkitys ($r=0.9863$). Lämpöarvon merkitys on myös huomattavasti suurempi kuin aapasoilla ($r=0.7694$). Energiasisällön ja taajuuden välinen korrelaatio on 0.8043. Tulosten perusteella keidassoille soveltuvat yhtälöt turpeen kosteuden, kuiva-aineen ja energiasisällön määrittämiseksi. Yhtälössä otetaan huomioon turpeen maatuneisuus jos



Kuva 10. Näyte- ja pistekohtaiset erot sondilla mitattujen ja laboratoriossa mitattujen tulosten välillä aapasoilla.

kenttätutkimustiedot ovat keskustietokoneella, koska maatu-
neisuudella on todettu kaavassa lievä tuloksia parantava
vaikutus.

Taulukko 4. Matemaattiset riippuvuudet eri tekijöiden suh-
teen keidassoilla.

	MAATU- NEISUUS H	TUHKAPI- TOISUUS *	KOSTEUS *	KUIVA- AINE *	LÄMPÖ- ARVO *	TAAJUUS 0	VAIMENNUS 0	ENERGIA- SISÄLTÖ *
H	1,0000 (n=0) p=0,000	0,3655 (n=255) p=0,000	-0,5659 (n=255) p=0,000	0,5962 (n=244) p=0,000	0,7384 (n=255) p=0,000	0,4332 (n=254) p=0,000	0,2522 (n=255) p=0,000	0,6478 (n=244) p=0,000
TUHKAPITOISUUS *	0,3655 (n=255) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,2828 (n=255) p=0,000	0,3000 (n=244) p=0,000	0,3532 (n=255) p=0,000	0,3265 (n=254) p=0,000	-0,0435 (n=255) p=0,245	0,3135 (n=244) p=0,000
KOSTEUS *	-0,5659 (n=255) p=0,000	-0,2828 (n=255) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,9879 (n=244) p=0,000	-0,6460 (n=255) p=0,000	-0,8049 (n=254) p=0,000	-0,0380 (n=255) p=0,273	-0,9776 (n=244) p=0,000
KUIVA-AINE *	0,5962 (n=244) p=0,000	0,3000 (n=244) p=0,000	-0,9879 (n=244) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	0,6692 (n=244) p=0,000	0,7894 (n=243) p=0,000	0,0610 (n=244) p=0,171	0,9863 (n=244) p=0,000
LÄMPÖARVO *	0,7384 (n=255) p=0,000	0,3532 (n=255) p=0,000	-0,6460 (n=255) p=0,000	0,6692 (n=244) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	0,6032 (n=254) p=0,000	0,2896 (n=255) p=0,000	0,7694 (n=244) p=0,000
TAAJUUS 0	0,4332 (n=254) p=0,000	0,3265 (n=254) p=0,000	-0,8049 (n=254) p=0,000	0,7894 (n=243) p=0,000	0,6032 (n=254) p=0,000	1,0000 (n=0) p=0,000	-0,0342 (n=254) p=0,294	0,8043 (n=243) p=0,000
VAIMENNUS 0	0,2522 (n=255) p=0,000	-0,0435 (n=255) p=0,245	-0,0380 (n=255) p=0,273	0,0610 (n=244) p=0,171	0,2896 (n=255) p=0,000	-0,0342 (n=254) p=0,294	1,0000 (n=0) p=0,000	0,0953 (n=244) p=0,069
ENERGIASISÄLTÖ *	0,6478 (n=244) p=0,000	0,3135 (n=244) p=0,000	-0,9776 (n=244) p=0,000	0,9863 (n=244) p=0,000	0,7694 (n=244) p=0,000	0,8043 (n=243) p=0,000	0,0953 (n=244) p=0,069	1,0000 (n=0) p=0,000

* = mitattu laboratoriossa, 0 = mitattu suosondilla, p = merkitsevyystaso

GTK:lla on tällä hetkellä käytössään 3 suosondia. Jokaisella suosondilla on oma vakiotaajuus, joka johtuu anturin ikkunan koosta. Tästä johtuen kaikilla suosondeilla on tehty kalibrointimittauksia referenssisuolla, josta on analysoitu tilavuustarkat näytteet selkälinjalta 200 m välein. Tilavuustarkkoja näytteitä otettiin 64 kappaletta 8 näytepisteeltä. Laboratorio- ja sonditulosten perusteella määritettiin kullekin suosondille soveltuvat yhtälöt kosteuden, kuiva-aineen ja energiasisällön laskemiseksi. Kosteuden kaavat eri suosondeilla vaihtelevat erittäin vähän. Taajuudella 129 lasketut kosteuserot ovat pienet, kosteusero on ainoastaan 0.13 prosenttiyksikköä (Taulukko 5). Sonditietoja mikrotietokoneelle siirrettäessä otetaan huomioon myös millä sondilla mittaukset on tehty ja näin tuloksia jatkossa käsitellään kullekin suosondille ominaisilla yhtälöillä.

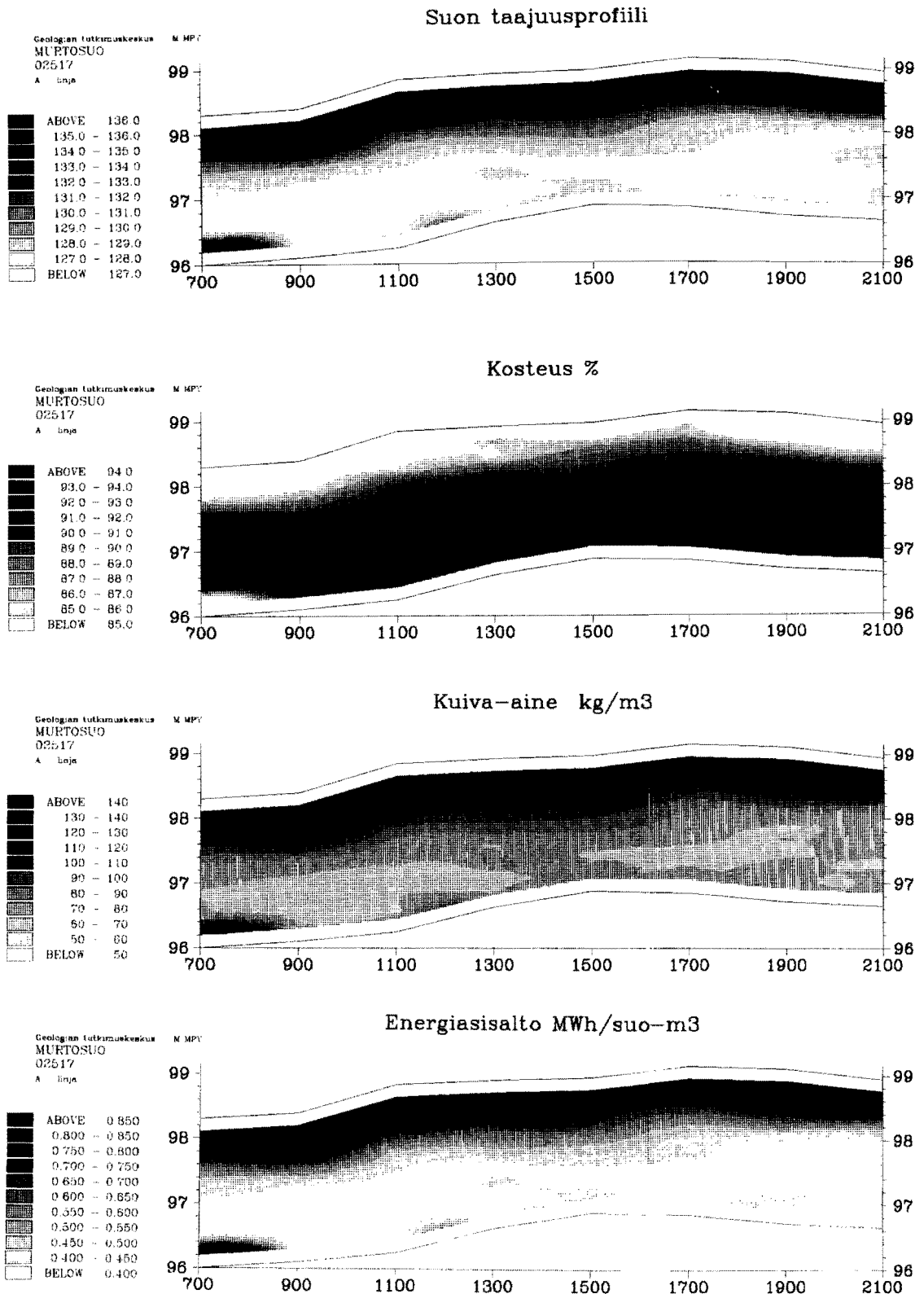
Taulukko 5. Eri sondien kosteuden kaavat sekä taajuudella 129 lasketut kosteudet.

	Kosteuden kaava	Kosteus taajuudella 129
Sondi B	$180.390-0.692Xf$	91.11 %
Sondi C	$181.087-0.699Xf$	90.98
Sondi D	$181.102-0.699Xf$	90.98

f=taajuus

Referenssisuolla testattiin myös mittauspisteiden lukumäärän vaikutus tulosten luotettavuuteen. Kolmella sondauksella mittauksia oli yhteensä 390 kappaletta kahdeksalta mittauspisteeltä, kahdella sondauksella 260 ja yhdellä 130 kappaletta. Erot kosteuksissa olivat erittäin pienet. Keskikosteus kolmella sondauksella oli 90.64 %, kahdella 90.68 % ja yhdellä 90.71 %. Kosteudet ilmoitetaan yleensä yhden desimaalin tarkkuudella ja tässä tapauksessa keskikosteus yhdellä desimaalilla ilmoitettuna olisi vaihdellut vain 0.1 prosenttiyksikköä. Jos samalta suolta tehdään useampia mittauksia luotettavan keskikosteuden saamiseksi voidaan käyttää ainoastaan yhtä sondausta mittauspistettä kohti. Yksittäiset mittaukset ovat kuitenkin luotettavampia jos mittauksia on tehty kaksi jokaiselta mittauspisteeltä. Lisäksi virheelliset mittaukset on helpompi havaita jos mittauksia on suoritettu kaksi. Näistä seikoista johtuen on suositeltavaa, että mittauspisteeltä tehdään kaksi mittaus- ta. Taajuuden keskihajonta oli lähes samanlainen eri tapauksissa, kolmella sondauksella 4.153, kahdella 4.060 ja yhdellä 4.048.

Jos mittaukset on tehty tutkimuslinjalta tietyin välein (esim. 200 m tai 300 m) voidaan sonditietojen perusteella piirtää harmaasävykartta taajuudesta, kosteudesta, kuiva-ai- neen määrästä tai energiasisällöstä (Kuva 11). Kuvia piir- rettäessä on mittaukset jaoteltu 10 cm pätkiin ja epäonnistuneet mittaukset on jätetty pois. Kuvien luokkar- jat ovat vakiot eli ne eivät vaihtelee suokohtaisesti. Suon pohjalta jätetään pois kaksi viimeistä mittaus- ta (20 cm), koska joissain tapauksissa suon pohjamaalajilla on vaiku-



Kuva 11. Harmaasävyprofiilit turpeen taajuudesta, kosteudesta, kuiva-ainemäärästä ja energiasisällöstä.

tusta mittaustuloksiin. Esimerkiksi suon pohjan ollessa kivistä moreenia voi sondin ilmoittamaan taajuuteen vaikuttaa anturin sivulla olevat kivet. Pohjimmaisten mittausten puuttumisella ei tulosten kannalta ole suurta merkitystä, koska turvetuotannossa suon pohjalle jäävä turvekerros on joka tapauksessa yli 20 cm. Aivan läheltä suon pintaa (10-20 cm) tehdyt mittaukset on myös todettu luonnontilaisilla soilla epäluotettaviksi. Tämä johtuu pääosin suosondin mittaustavasta ja pintaturpeen ominaisuuksista. Ojitetuilla alueilla pinnasta tehdyt mittaukset ovat selvästi luotettavampia. Tilavuustarkalla mäntäkairalla näytteitä otettaessa ei myöskään saada tilavuustarkkoja näytteitä aivan pinnasta (10-40 cm). Talvella suon ollessa roudassa on todettu, että ensimmäinen mittaus roudan alapuolelta ei ole luotettava. Tämän vuoksi piirto-ohjelma kysyy kuinka monta näytettä pinnasta ja pohjasta jätetään huomioimatta kuvia piirretessä. Oletusarvo on 2 pinnasta ja pohjasta. Tulosten luottavuuden parantamiseksi suon todellinen pinta ja pohja piirretään kuvaan yhtenäisellä viivalla.

Sondituloksista voidaan tulostaa myös näyte-, piste- ja suokohtainen tulostuslista (Taulukko 6). Listauksessa on

Taulukko 6. Pistekohtainen tulostuslista sondi- ja laboratoriotuloksista Murto-suolta.

SUD:02517 TUTKIMUSPISTE: A0700-0000				SUON NIMI: MURTO-SUO				PUDASJARVI OULUN L.		
SYV	TURVELAJI	H	LAB.KO	SON.KO	LK-AINE	SK-AINE	LAB.LAM	E-LAB	E-SOND	TAAJUUS
			%	%	kg/m ³	kg/m ³	MJ/kg	MWh/suo-m ³	MWh/suo-m ³	
20	N 1C1S4	3	89.60	82.98*	-1.00	154.11*	18.10	-1.000	1.008*	141.13*
40	L 1S2C3	5	86.30	83.55	132.10	159.79	23.40	0.859	1.055	140.30
60	L 1S2C3	5	87.40	87.44	129.40	125.31	22.40	0.805	0.795	134.67
80	EQ1S1C4	5	90.10	90.29	97.80	100.01	21.60	0.587	0.604	130.53
100	N 1S2C3	5	90.50	91.51	96.50	89.25	19.90	0.533	0.522	128.77
120	N 1MN1S2C2	4	91.60	92.32	84.80	76.70	19.30	0.455	0.425	127.60
140	N 1MN1S2C2	4	91.70	92.72	84.80	73.13	19.10	0.450	0.398	127.02
160	MN2S2C2	4	91.90	92.96	81.40	70.99	19.40	0.439	0.382	126.67
180	EQ1MN1S2C2	5	93.70	92.83	82.60	77.47	19.30	0.443	0.433	126.85
200	EQ1MN1S2C2	5	91.80	90.99*	-1.00	93.79*	18.90	-1.000	0.557*	129.52*
Keskiarvo		4.5	90.46	90.45	98.68	96.58	20.14	0.571	0.577	130.30
Absol. keskivirhe Energiasisältö: 0.048					Kuiva-aine:		9.57	KOSTEUS: 0.96		
* - ei mukana laskuissa										

SUD:02517 TUTKIMUSPISTE: A2100-0000				SUON NIMI: MURTO-SUO				PUDASJARVI OULUN L.		
SYV	TURVELAJI	H	LAB.KO	SON.KO	LK-AINE	SK-AINE	LAB.LAM	E-LAB	E-SOND	TAAJUUS
			%	%	kg/m ³	kg/m ³	MJ/kg	MWh/suo-m ³	MWh/suo-m ³	
20				85.97*		140.82*			0.905*	136.80*
40				85.44		145.87			0.943	137.57
60				87.60		125.23			0.787	134.43
80				90.86		93.15			0.544	129.57
100				92.57		77.72			0.427	127.22
120				92.73		76.24			0.416	127.00
140				92.11		82.17			0.461	127.90
160				92.95		74.13			0.400	126.68
180				92.96		74.04			0.399	126.67
200				92.41		79.32			0.439	127.47
220				92.20		81.35			0.455	127.78
240				88.68*		114.96*			0.709*	132.88*
Keskiarvo				91.19		90.92			0.527	129.23
* - ei mukana laskuissa										

esitetty laboratoriotulosten perusteella mitattu kosteus, sondilla mitattu kosteus, laboratoriossa sekä sondilla mitattu kuiva-aine, laboratoriossa mitattu lämpöarvo, laboratoriossondilla mitattu taajuus. Lisäksi listauksessa on pistekohtaiset keskiarvot ja absoluuttiset keskivirheet energiasisällölle, kuiva-aineelle sekä kosteudelle. Keskiarvoista on jätetty pois ensimmäinen ja viimeinen 20 cm:n pätke. Jos pisteeltä ei ole otettu laboratorionäytteitä listauksessa näkyy ainoastaan sondilla mitatut tulokset 20 cm:n pätkinä sekä pistekohtaiset keskiarvot. Listauksen lopussa on esitetty myös suokohtaiset keskiarvot.

Suon luotettavan kuiva-ainemäärän määrittämiseen tarvitaan turvelajeiltaan homogeeniselta suolta noin 0.9 määritystä/ha ja epähomogeeniselta 1.3 määritystä/ha (Hänninen 1985). Tilavuustarkkoja näytteitä on otettu Oulun läänin alueelta keskimäärin 0.28 näytettä/ha ja esim. Pudasjärven kunnan alueelta 0.32 näytettä/ha. Referenssisuolta, jonka tuotantokelpoisen alueen pinta-ala on 90 ha otettiin 65 tilavuustarkkaa näytettä. Näytetiheys tällä suolla on 0.7 määritystä/ha. Suokohtaiset keskiarvot ovat laboratoriotulosten perusteella kosteus 90.4 %, kuiva-aineen määrä 93 kg/suo-m³ ja energiasisältö 0.550 MWh/suo-m³. Suokohtaiset keskiarvot sonditulosten perusteella ovat kosteus 90.9 %, kuiva-aineen määrä 93 kg/m³ ja energiasisältö 0,548 MWh/suo-m³. Normaalilla näytteenottotiheydellä näytepisteitä olisi ollut 2 kappaletta, jolloin näytepisteiden perusteella laskettu kuiva-ainemäärä olisi vaihdellut näytepisteiden valintaperusteista riippuen 86-100 kg/suo-m³ välillä. Tuotantokelpoisen alueen kuivan turpeen energiasisältö olisi vaihdellut 2.24-2.65 milj. GJ välillä. Riittävän monilla suosondimitauksilla yhdessä muutaman laboratorionäytesarjan kanssa päästään tästä virhemahdollisuudesta eroon tai ainakin sitä pystytään oleellisesti pienentämään.

3.4. Johtopäätökset

Suosondilla saadaan tietoja turpeen kosteudesta, kuiva-ainemäärästä sekä energiasisällöstä. Paras korrelaatio on sondin mittaaman taajuuden ja kosteuden välillä. Suosondilla ei saada luotettavaa tietoa turpeen tuhkapitoisuudesta tai lämpöarvosta.

Perinteiseen tilavuustarkkanäyte-laboratoriomenetelmään verrattuna sondaus on maastotöiden osalta noin kolme kertaa nopeampi. Lisäksi runsaasti aikaa vievä näytteiden kuivaus jää pois. Isoilta soilta on sondausten lisäksi hyvä ottaa 1-2 referenssinäytesarjaa tilavuustarkalla mäntäkairalla.

Luotettavien mittaustulosten saamiseksi on mittauspisteellä tehtävä 2 mittausta.

Suosondin avulla pystytään entistä tarkemmin määrittämään suon kuiva-ainemäärä sekä energiasisältö, koska kuiva-ainemäärityksiä pystytään oleellisesti lisäämään tutkimuskustannuksia lisäämättä. Osa tilavuustarkoista näytteistä (20-40 %) pystytään myös korvaamaan ei tilavuustarkoilla näytteillä. Tällöin tuhka- ja lämpöarvomäärityksiä varten voidaan näytteitä ottaa jo tutkimusvaiheessa esim. venäläisellä kairalla.

Sonditietojen perusteella pystytään piirtämään harmaasävykartat turpeen taajuudesta, vesipitoisuudesta, kuiva-ainemäärästä ja energiasisällöstä sekä tulostamaan näyte-, piste- ja suokohtainen tulostuslista.

4. YHTEENVETO

Maatutkan mittausominaisuudet ovat sellaiset, ettei sillä saada tietoja suon pintakerroksesta. Pintakerroksen ja pohjan välissä havaittavat sähköiset rajapinnat eivät korreloi turvelaji- tai maatuneisuusvaihteluja. Rajapintojen määrän avulla voi tehdä arvioita turvekerroksen homogeenisuudesta tai heterogeenisuudesta. Tutkaprofiilista ei havaita runsaasti orgaanista ainesta sisältäviä liejukerroksia. Sensi-

jaan runsaasti mineraaliainesta sisältävät liejukerrokset on suhteellisen helppo erottaa turpeesta tutkaprofiilin avulla. Tutkaprofiili antaa erinomaisen kuvan turvekerroksen paksuudesta ja hyvän kuvan pohjan laadusta ja pohjamaalajista. Tutkaprofiilin ja paikanmäärittystietojen perusteella pystytään piirtämään erittäin tarkat suon syvyyskartat tai pohjamaalajikartat.

Tutkaluotaus on nopea menetelmä tutkittaessa ojittamattomia avosualueita. Talvimittauksissa käytetään 5-8 km/h ajonopeutta. Tutkaprofiilissa pinnan epätasaisuudet, esim. suolla mättäät, piirtyvät pohjaan peilikuvana. Tiheään ojitetuilla ja metsäisillä soilla tutkaluotaus on lähes mahdollista.

Maatutkalla tehty suotutkimus on suon syvyystietojen osalta huomattavasti tarkempi kuin perinteisin menetelmin saatu tulos. Lisäksi suon tutkimuskustannukset ovat noin 10-20 % halvemmat.

Suosondilla saadaan luotettavia tietoja suon vesipitoisuudesta, kuiva-ainemäärästä sekä energiasisällöstä. Perinteiseen näytteenottomenetelmään verrattuna sondaus on maastotöiden osalta noin kolme kertaa nopeampi. Lisäksi työläs näytteiden kuljetus sekä aikaa vievä näytteiden kuivaus jää pois. Isoilta soilta on sondauksien lisäksi hyvä ottaa 1-2 referenssinäytesarjaa tilavuustarkalla mäntäkairalla.

Suosondin avulla pystytään entistä tarkemmin määrittämään suon kuiva-ainemäärä, koska kuiva-ainemäärityksiä pystytään oleellisesti lisäämään kustannuksia lisäämättä.

Kaikki raportissa mainitut atk-ohjelmat ovat Geologian tutkimuskeskuksella käytössä olevia rutiiniohjelmia. Ohjelmien tekemisestä on pääasiassa vastannut vanhempi ohjelmoija Sirkka Lojander.

KIRJALLISUUS

Hänninen Pauli, 1985. Tutkimuspisteiden ja laboratorionäytteiden määrän vaikutus suon turvetuotantoon soveltuvan alueen turve- ja energiavaroihin. Turveteollisuus 2.

Lappalainen Eino, Hänninen Pauli, Hänninen Pekka, Koponen Leevi, Leino Jukka, Rainio Heikki ja Sutinen Raimo, 1984.

Geofysikaalisten mittausmenetelmien soveltuvuus maaperätutkimuksiin. Geologian tutkimuskeskus, maaperäosasto, raportti P 13.4/84/157.

Lappalainen Eino & Hänninen Pauli, 1985. Maatutkaluotaimen ja suosondin soveltuvuus turvetutkimuksiin. Geologian tutkimuskeskus, maaperäosasto, raportti P 13.4/85/170.

Operation Manual Subsurface Interface Radar. Sir System 8. Geophysical Survey Systems, INC.

Toikka Martti, 1983. Suosondin periaate ja kokeilumittaukset. Helsinki University of Technology, radio laboratory.

VUOSIEN 1981—1987 AIKANA ILMESTYNEET TURVETUTKIMUSRAPORTIT

55. Carl-Göran Sten ja Timo Varila (1981). Raportti Punkalaitumen turvevaroista ja niiden käyttömahdollisuuksista. 67 s.
60. Helmer Tuittila (1981). Laitilan turvevarat. 150 s.
61. Jukka Leino (1981). Karttulaassa tutkittujen soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 59 s.
62. Jukka Leino (1981). Pielavedellä tutkittujen soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 61 s.
63. Markku Mäkilä ja Tapio Toivonen (1981). Pyhäjärven (01.) turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 215 s.
64. Jukka Häikiö ja Hannu Pajunen (1981). Yli-Kiimingin inventoidut turvevarat ja niiden soveltuvuus turvetuotantoon. 58 s.
91. Helmer Tuittila (1982). Mynämäen turvevarat. Osaraportti Varsinais-Suomen turvevaroista. 175 s.
98. Tapio Toivonen (1982). Pihtiputaan turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. Osaraportti Pihtiputaan soiden turvevarojen kokonaisinventoinnista. 73 s.
99. Jukka Häikiö, Jouko Saarelainen ja Pirjo Löytynoja (1982). Sotkamon kunnassa inventoidut turvevarat ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. 84 s.
100. Ari Luukkanen (1982). Väliraportti Pielavedellä 1981 tutkittujen soiden turvevaroista ja niiden käyttökelpoisuudesta. 137 s.
105. Jukka Häikiö (1982). Tutkimus Kiimingin soista ja turvevaroista. 73 s.
106. Jukka Leino (1982). Joroisten turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 145 s.
109. Jukka Leino ja Juha Saarinen (1982). Tuupovaaran turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 283 s.
110. Carl-Göran Sten, Riitta Korhonen ja Lasse Svahnäck. Petäjaveden karttalehden (2234) itäosan suot. Väliraportti Petäjavedellä, Korpilahdella, Jyväskylän mlk:ssa ja Jämsänkoskella tehdyistä turvetutkimuksista. 119 s.
113. Jukka Häikiö, Jouko Saarelainen ja Pirjo Löytynoja (1982). Kuhmon kunnassa tutkitut turvevarat ja niiden soveltuvuus turvetuotantoon. 141 s.
114. Erkki Raikamo ja Jouko Kokko (1982). Isojoen suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. 287 s.
115. Erkki Raikamo ja Pertti Silen (1982). Kauhajoen suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. Loppuraportti Kauhajoen turvevarojen kokonaisinventoinnista. 311 s.
116. Timo Varila (1982). Ylikiimingin inventoidut turvevarat ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa 2 (Loppuraportti). 116 s.
118. Pauli Hänninen (1983). Pudasjärven inventoidut turvevarat ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa I. 229 s.
119. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1983). Luumäen ja lähikuntien eräiden soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 83 s.
120. Helmer Tuittila (1983). Pöytyän turvevarat. Osaraportti Varsinais-Suomen turvevaroista. 97 s.
121. Tapio Toivonen (1983). Jaalan turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 88 s.
122. Kimmo Virtanen (1983). Tyrnävällä tutkitut suot ja niiden turvevarat. 45 s.
123. Kimmo Virtanen ja Olli Ristaniemi (1983). Kuivaniemellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. 169 s.
124. Jukka Leino (1983). Virtasalmen turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 119 s.
125. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1983). Miehikkälän turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 60 s.
126. Juha Saarinen (1983). Jäppilän turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 65 s.
127. Ari Luukkanen (1983). Pielavedellä 1981 tutkittujen soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 196 s.
128. Erkki Raikamo ja Pertti Silen (1983). Karijoen suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. 84 s.
129. Erkki Raikamo, Jouko Kokko ja Riitta Lappalainen (1983). Teuvan suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. 179 s.
132. Jukka Leino (1983). Kerimäellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 85 s.
133. Kimmo Virtanen (1983). Pihtiputaan turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. Osa II. Osaraportti Pihtiputaan soiden turvevarojen kokonais selvityksestä. 94 s.
134. Jouko Kokko (1983). Karttalehdillä 2222 (Seinäjoki) ja 2311 (Lapua) v. 1982 tutkitut suot ja niiden turvevarat. 111 s.
135. Jouko Kokko (1983). Ylihärmän suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. 35 s.
136. Pauli Hänninen (1983). Pudasjärven inventoidut turvevarat ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa II. 138 s.
137. Jukka Häikiö, Hannu Pajunen ja Kimmo Virtanen (1983). Muhoksella tutkitut suot ja niiden turvevarat. 100 s.
138. Carl-Göran Sten ja Lasse Svahnäck (1983). Jämijärven suot ja niiden soveltuvuus turvetuotantoon. 68 s.
139. Helmer Tuittila (1983). Yläneet turvevarat. Osaraportti Varsinais-Suomen turvevaroista. 144 s.
140. Ari Luukkanen (1983). Juankosken turvevarat ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. 114 s.
141. Eino Lappalainen ja Tapio Toivonen (1984). Laskelmat Suomen turvevaroista. 104 s.
142. Matti Maunu (1983). Tervolassa vuonna 1982 tutkitut suot ja niiden turvevarat. 26 s.
143. Jouko Saarelainen (1984). Sonkajärven suot ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa I. 254 s.
144. Matti Maunu (1984). Simossa tutkitut suot ja niiden turvevarat. 34 s.
145. Jukka Leino (1984). Pieksämäen mlk:ssa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa 2. 107 s.
146. Olli Ristaniemi (1984). Petäjaveden kunnan länsiosan turvevarat. 108 s.
147. Olli Ristaniemi ja Carl-Göran Sten (1984). Petäjaveden kunnassa suoritettut turvetutkimukset. 12 s.
149. Jukka Häikiö ja Heimo Porkka (1984). Ristijärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. 51 s.
150. Hannu Pajunen (1984). Yli-Iissä tutkitut suot ja niiden turvevarat. 100 s.
152. Jukka Leino ja Juha Saarinen (1984). Haukivuorella tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa 1. 62 s.
154. Tapio Muurinen ja Anne Nokela (1984). Kittilässä vuosina 1981 - 1983 tutkittujen soiden turvevarat ja niiden tuotantokelpoisuus. 441 s.
156. Pauli Hänninen (1984). Pudasjärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa III. 95 s.
157. Eino Lappalainen, Pauli Hänninen, Pekka Hänninen, Leevi Koponen, Jukka Leino, Heikki Rainio ja Raimo Sutinen (1984). Geofysikaalisten mittausmenetelmien soveltuvuus maaperätutkimuksiin. 36 s.

158. Tapio Toivonen (1984). Valkealan turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 331 s.
159. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1984). Anjalankosken turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 280 s.
160. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1984). Elimäen turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 53 s.
161. Markku Mäkilä, Kari Lehmuskoski ja Ale Grundström (1984). Savitaipaleen turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 114 s.
162. Ari Luukkanen (1984). Pielavedellä 1982 tutkittujen soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 85 s.
163. Juha Saarinen ja Riitta Lappalainen (1984). Jurvan suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. 171 s.
164. Hannu Pajunen ja Timo Varila (1984). Ylikiimingin inventoidut turvevarat ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. 167 s.
165. Jukka Häikiö ja Heimo Porkka (1984). Kajaanissa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 110 s.
166. Martti Korpijaakko ja Markku Koivisto (1984). Sievissä tutkitut suot ja niiden turvevarat. 288 s.
167. Kimmo Virtanen ja Teuvo Herranen (1984). Vihannissa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 169 s.
168. Ari Luukkanen (1985). Kaavilla 1982 tutkittujen soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 66 s.
169. Jukka Leino (1985). Kuopiossa tutkitut suot ja niiden turvevarat. 95 s.
170. Eino Lappalainen ja Pauli Hänninen (1985). Maatutkaluotaimen ja suosondin soveltuvuus turvetutkimuksiin. 24 s.
171. Jouko Saarelainen (1985). Sonkajärven suot ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa 2. 235 s.
172. Jukka Häikiö, Pirjo Löytynoja ja Heimo Porkka (1985). Kajaanissa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa II. 178 s.
173. Carl-Göran Sten ja Lasse Svahnback (1985). Kankaanpään itäosan suot ja niiden turvevarojen käyttökelpoisuus. 115 s.
174. Pauli Hänninen (1985). Pudasjärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa IV. 113 s.
175. Jukka Häikiö, Pirjo Löytynoja ja Heimo Porkka (1985). Kajaanissa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa III. 142 s.
176. Kimmo Virtanen (1985). Pattijoella tutkitut suot ja niiden turvevarat. 163 s.
177. Matti Maunu (1985). Ranualla tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 234 s.
178. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1985). Virolahden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 90 s.
179. Erkki Raikamo ja Pertti Silen (1985). Kristiinankangas kaupungin suot ja turvevarojen käyttömahdollisuudet. 203 s.
180. Ari Luukkanen (1986). Pielavedellä 1983 tutkittujen soiden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 174 s.
181. Riitta Korhonen (1986). Jämsässä ja Jämsänkoskella tutkitut suot ja niiden turvevarat. 160 s.
182. Hannu Pajunen (1986). Utajärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 11 s.
183. Jouko Saarelainen (1986). Vieremän suot ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa I. 208 s.
184. Jukka Leino ja Jouko Kokko (1986). Lieksan suot ja niiden soveltuvuus turvetuotantoon. Osa I. 212 s.
185. Martti Korpijaakko ja Markku Koivisto (1986). Haapajärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. 179 s.
186. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1986). Vehkalahden turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 195 s.
187. Tapio Muurinen (1986). Rovaniemen alueen turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. Osa I. 185 s.
188. Kimmo Virtanen ja Teuvo Herranen (1986). Vihannissa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa II. 207 s.
189. Hannu Pajunen (1986). Utajärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa II. 98 s.
190. Jukka Häikiö (1986). Pulkkilassa tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 93 s.
191. Tapio Toivonen (1986). Virtain turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 225 s.
192. Pauli Hänninen (1986). Pudasjärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa V. 121 s.
193. Jukka Leino (1987). Kerimäellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa II. 191 s.
194. Kimmo Virtanen ja Teuvo Herranen (1987). Haapavedellä tutkitut suot ja niiden turvevarat. Osa I. 131 s.
195. Jouko Saarelainen (1987). Vieremän suot ja niiden soveltuvuus polttoturvetuotantoon. Osa II. 221 s.
196. Martti Korpijaakko ja Markku Koivisto (1987). Ylivieskassa tutkitut suot ja niiden turvevarat. 77 s.
197. Ari Luukkanen (1987). Siilinjärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat sekä turpeiden soveltuvuus jätevesilietteen käsittelyyn ja polttoturvetuotantoon. 57 s.
198. Tapio Muurinen (1987). Turvevarojen inventointi Kittilässä vuonna 1984. 71 s.
199. Tapio Toivonen (1987). Mäntyharjun turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 217 s.
200. Markku Mäkilä ja Ale Grundström (1987). Kotkan turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. 99 s.
201. Tapio Muurinen (1987). Rovaniemen alueen turvevarat ja niiden käyttökelpoisuus. Osa II. 73 s.
202. Pauli Hänninen ja Eino Lappalainen (1987). Maatutkan ja suosondin soveltuvuus turvevarojen määrän ja laadun selvittämiseen.

Tätä julkaisua myy

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS
Turvetutkimusyksikkö

PL 237
70101 Kuopio
puh. 971-224166

ISBN 951-690-273-1
ISSN 0782-8527