



**MAA- JA KALLIOPERÄTIETOJEN TULKINTA
PORAKONEKAIRAUKSEN
REKISTERÖINTITULOKSISTA**

**Pekka Leivo
Hannu Halkola**



**HELSINGIN KAUPUNKI
KIINTEISTÖVIRASTO
GEOTEKNINEN OSASTO**

**MAA- JA KALLIOPERÄTIETOJEN TULKINTA
PORAKONEKAIRAUKSEN
REKISTERÖINTITULOKSISTA**

**Pekka Leivo
Hannu Halkola**

TIIVISTELMÄ

Tämä tutkimus on tehty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisellä osastolla tavoitteena selvittää maa- ja kallioperätietojen tulkintamahdollisuuksia rekisteröivän porakonekairauksen rekisteröintituloksista.

Porakonekairauksia tehdään mm. kalliopinnan syvyyden määrittämiseksi sekä täytekerrosten läpäisemiseksi. Aikaisemmin tulostulkinnan suoritti kairaaja porauksen aikana, eikä suunnittelijalla ollut mahdollisuutta osallistua tulosten tulkintaan. Digitaalinen tulosrekisteröinti on mahdollistanut kairaustulosten tulkinnan myös porauksen jälkeen. Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään tulkintamahdollisuuksia rekisteröintitulosten perusteella, sekä poraustyylin vaikutusta rekisteröintituloksiin ja niiden tulkittavuuteen.

Tavoitteeseen pyrittiin vertailemalla rekisteröintituloksia muilla kairausmenetelmillä selvitettyihin, paikkansapitäviksi todettuihin maakerroshavaintoihin sekä ottamalla maanäytteitä. Vertailuaineistona käytettiin mm. puristin-heijarikairauksen rekisteröintituloksia. Kallioporausten tulostulkinnassa käytettiin apuna porarei'istä kuvattuja reikävideonauhoja sekä niiden perusteella tehtyjä rakokartoituksia.

Tutkimuksia varten tehtyjen koekairausten ja muun aineiston perusteella voidaan todeta, että porakonekairauksen rekisteröintitulosten avulla voidaan määrittää mm. seuraavat seikat: tiiviin kerroksen karkea erottaminen löyhästä, maakerrosten kivisyyden arviointi, hiekan erottaminen sorasta, louhetäytteen paksuuden arviointi, kalliopinnan tarkka sijainti, kalliopinnan laadun arviointi, kalliolaadun arviointi poraparametrien perusteella, merkittävimpien kalliorakojen paikantaminen kalliovastustulosten perusteella.

Poraustyylin vaikutusten tutkimuksissa tärkeimmäksi tekijäksi osoittautui iskun käyttö sekä kairaajan tekemien, rekisteröintitulokseen vaikuttavien toimenpiteiden, kuten nopeuden ja puristusvoiman, muutokset porauksen aikana. Voitiin todeta, että isku päällä tai ilman iskua saadut rekisteröintitulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia, joten iskun rekisteröinti todettiin välttämättömäksi.

ABSTRACT

This research project was conducted at the geotechnical department of the real estate office of the city of Helsinki. The study was aimed at developing of the valuation of ground- and rock conditions from the registration results of MWD-drilling.

Top hammer drillings are traditionally made to valuate the depth of rock surface and to penetrate different fill levels. Earlier the result of interpretation was made by the driller during the drilling, so the designer did not have a possibility to participate in interpreting. Digital result registration has made also the interpretation after the drilling possible. This research were to investigate the interpretation possibilities on the basis of the registration results and the influence of different drilling styles on the registration results and their intepretability.

The research was carried out by comparing reliable drilling results achieved by other drilling methods and by taking soil samples. The method mainly used in comparison was static - dynamic penetration test and its registration results. In interpretation of rock drilling results were used joint cartographys that were made on basis of video recordings made in drill holes.

This research showed that by using MWD-drilling the following matters can be solved from the registration results: Rough discrimination of tight soil level from loose one, valuation of stone density, discrimination of sand from gravel, thickness of blasted rock level, accurate position of the rock surface, valuation of rock surface quality on basis of drilling parameters, placing of rock joints on basis of rock resistance values.

The most important factor in research of different drilling styles appeared to be the use of hammering and manouvers that cause difference to registration results made by the driller, like changes in drilling velocity and compress force. The result was that registration results with hammering and without hammering are not comparable, so the registration of hammering turned out to be neccessary to get reliable results.

ALKULAUSE

Helsingin kaupungin pohjarakentamiselle tyypillistä on kallioresurssien hyödyntäminen eri tavoin. Lisäksi kaupunki on vuosien saatossa laajentunut merelle päin, jolloin on syntynyt laajoja täytealueita pehmeiden savikerroksien päälle.

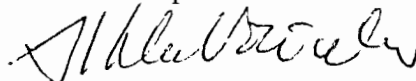
Edellämainituissa kohteissa käytetään paljon porakonekairausta mm. täytekerrosten paksuuden ja kallionpinnan syvyyden määrittämiseen. Geoteknisellä osastolla otettiin 90 - luvun alussa, ensimmäisenä Suomessa, käyttöön poraustietojen automaattiset tallennuslaitteet ns. monitoimiporakoneissa, jolloin poraustapahtumasta saatiin oleellisesti enemmän tietoa perinteisen pöytäkirjamenetelmään verrattuna.

Menetelmää alettiin kutsua MWD (Measurement while drilling) - poraukseksi ja tulosten melko monimutkaista tulkintaa selvitettiin mm. geoteknisen osaston tiedotteessa 65/1994 "puristin-porakonekairaus" sekä Kalliorakennus 2000 -projektin yhteydessä.

Tässä tiedotteessa esitetään useiden MWD-porakonekairauksella toteutetuissa kohteissa saatujen kokemusten perusteella tulosten tulkintaan vaikuttavia tekijöitä, sekä esitetään suositus menetelmän tulkinnasta sekä maa- että kalliorakennuskohteessa.

Tiedote perustuu DI Pekka Leivon diplomityöhön, joka tehtiin toimistopäällikkö Hannu Halkolan ohjauksessa. Työn valvoja oli ma. professori Pauli Vepsäläinen Teknillisestä korkeakoulusta. Tutkimukseen liittyvät koekairaukset suoritti kairausetumies Seppo Linkka.

Helsingissä kesäkuun 1. päivänä 1998



Ilkka Vähäaho
osastopäällikkö

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
ALKULAUSE	3
SISÄLLYSLUETTELO	5
MERKINNÄT	8
1. JOHDANTO	9
2. PORAKONEKAIRAUUS	13
2.1 Yleistä	11
2.2 Kehitys	11
2.3 Poraus	14
3. KÄYTETTY KALUSTO	15
3.1 Porakone	15
3.2 Vesipumppu	16
3.3 Kompressori	16
3.4 Alusta	16
3.5 Tankokalusto	17
3.6 Poranterät	18
3.7 Rekisteröintilaite	19
4. REKISTERÖITÄVÄT PARAMETRIT	21
4.1 Yleistä	21
4.2 Syvyys ja etenemisnopeus	21
4.3 Puristusvoima	22
4.4 Momentti	22
4.5 Huuhteluvedenpaine	22

5. PORAPARAMETRIT	23
5.1 Yleistä	23
5.2 RQI - luku eli maa- tai kalliovastus	23
5.3 ALT - indeksi	25
5.4 R - indeksi	26
5.5 Kallio-ominaisuuksien arviointi poraparametrien perusteella	27
6. KOEKAIRAUKSET	29
6.1 Koealueiden valinta	29
6.2 Vuosaaren koekenttä	29
6.2.1 Vuosaaren koekentän MWD-porakonekairaukset	31
6.3 Puristin-heijarikairaus vertailumenetelmänä	32
6.3.1 Yleistä	32
6.3.2 Kairaus	32
6.3.3 Tulosten rekisteröinti	33
6.3.4 Tulosten käyttö vertailuaineistona	33
6.4 Vuosaaren koealueen geologia	35
6.4.1 Yleistä	35
6.4.2 Pohjavesiputki ja pohjavedenpinnan korkeus koealueella	35
6.4.3 Näytteenotto	35
6.4.4 Koealueen maalajit	38
7. TULOSTEN TULKINTA	41
7.1 Kairaustavan vaikutus rekisteröintituloksiin	41
7.1.1 Nopeus	42
7.1.2 Puristusvoima	45
7.1.3 Huuhtelupaine	49
7.1.4 Maavastus	51
7.1.5 Puristusvoiman ja porausnopeuden vastaavuus porauksen aikana	54
7.2 Maavastuksen ja puristin-heijarikairauksella määritetyn kärkivastuksen vertailu	60
7.3 Suhteellinen tiiviys	61
7.3.1 Yleistä	61
7.3.2 Suhteellisen tiiviyyden arviointi puristin-heijarikairauksen avulla	62
7.3.3 Suhteellisen tiiviyyden arviointi MWD-porakonekairauksella	63
7.4 Reikävideotulkinnan vertailu rekisteröintituloksiin kallioperässä	65
7.4.1 Reikävideokuvaus	64
7.4.2 Tulosten vertailu	66

8. ESIMERKKEJÄ MWD - PORAKONEKAIRAUKSEN KÄYTÖSTÄ	70
8.1 Vuosaaren B voimalan pohjatutkimukset	70
8.2 Pasila - Sörnäinen kaukolämpötunneli	73
8.3 Syvätiivistyksen vaikutusten arviointi Salmisaaren voimalaitosalueella MWD-porakonekairauksen ja puristin-heijarikairauksen avulla	75
9. VIRHELÄHTEET MWD - PORAKONEKAIRAUKSESSA	78
9.1 Laitteistosta aiheutuvat virheet	78
9.2 Kairaajasta aiheutuvat virheet	78
9.3 Tulkinnasta johtuvat	79
9. JOHTOPÄÄTÖKSET	80
10. SUOSITUS MWD - PORAKONEKAIRAUKSEN SUORITTAMISESTA	81
10.1 Poraus	82
10.2 Tulkinta	83
11. LÄHDELUETTELO	85
12. LIITTEET	87

MERKINNÄT

SPT	standard penetration test
RQI	rock quality index = maa-/kalliovastus
F_p	puristusvoima
$F_{p \max}$	maksimipuristusvoima
V_t	etenemisnopeus
$V_{t \max}$	maksimietenemisnopeus
ALT-indeksi	alternation index
MWD	measurement while drilling
PH	puristin-heijari
e	huokosluku
V_h	maaperän huokostilavuus
V_s	maaperän kiinteän aineen tilavuus
D_r	suhteellinen tiiveys
$e_{\max}, e_{\min}$	huokosluvun raja-arvot
q_c	kärkivastus
σ'_{v0}	vallitseva tehokas pystysuora jännitys

1. JOHDANTO

Kairausmenetelmät eroavat toisistaan kairojen rakenteen ja kairan maahantunkeutumismenetelmän osalta. Kairausmenetelmät ovat joko staattisia tai dynaamisia. Staattisissa menetelmissä kairaa tungetaan maahan painojen tai hydraulisen puristimen kuormittamana. Dynaamisissa menetelmissä maahan tai kallioon tunkeminen tapahtuu iskemällä tai täryttämällä

Eräs keskeisimpiä tietoja maa- ja kalliorakentamisen suunnittelussa on kalliopinnan syvyys. Kalliopinnan syvyyden luotettavaan ja edulliseen määrittämiseen on kehitetty porakonekairaus. Porakonekairaus perustuu kolmeen eri liikkeeseen: pyörykseen, puristukseen ja iskuun. Oleellisena erona muihin kairausmenetelmiin (poislukien kallionäytekairaus) verrattuna on lisäksi se, että porauksen aikana käytetään huuhtelua. Huuhtelumenetelmänä käytetään joko ilma- tai vesihuuhtelua. Tässä työssä käsiteltävissä porauksissa on käytetty yksinomaan vesihuuhtelua, kuva 1.1.

Alueilla joille on muodostettu keinotekoisesti mahdollisuus rakentaa, esim. valtaamalla mereltä alaa täyttömaalla tai tekemällä massanvaihtoja esim. tiepohjan rakentamisen mahdollistamiseksi, ei maakerrosten rakenne enää ole ennallaan. Tällaisia alueita ovat myös jätemaa- ja kaatopaikka-alueet. Usein halutaan tutkia täyterakroksen (esim. louhetäyttö) alapuolella olevien kerrosten ominaisuuksia, jolloin louhekerros joudutaan läpäisemään. Tällöin on käytettävä porakonekairausta, menetelmää joka pystyy kovien pintakerrosten läpäisemiseen. Pintakerrosten läpäisyn jälkeen tutkimusta voidaan jatkaa muilla menetelmillä mikäli se katsotaan tarpeelliseksi.

Menetelmänä porakonekairaus ei ole uusi keksintö. Sen sijaan sitä, kuinka paljon tietoa geoteknisistä olosuhteista porakonekairauksella voidaan saada, ei vielä ole täysin selvitetty.

Rekisteröivässä porakonekairauksessa pyritään tietoja eri maa- ja täytekerroksista keräämään tarkoitusta varten kehitetyn rekisteröintilaitteen avulla. Jotta rekisteröintituloksista olisi hyötyä on syytä tietää, miltä rekisteröintitulokset eri olosuhteissa näyttävät. Koska samankaan maakerroksen antama rekisteröintitulokse ei ole samanlainen kaikissa tapauksissa, tulee tarkastelussa kiinnittää huomiota mm. eri koneista ja eri kairaajien kairaustyyleistä johtuviin eroihin rekisteröintituloksissa.

Rekisteröityjä porakonekairauksia on Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston toimesta tehty jo vuodesta 1990 noin 40:ssä eri kohteessa, joista valtaosa on tehty vuoden 1993 jälkeen, koska aikaisemmin tehtyjen MWD-porausten luotettavuus ei ole ollut riittävän hyvä mm. syvyysmäärittelyn virheiden vuoksi



Kuva 1.1 Koeporauksissa käytettiin vesihuuhtelua

2. PORAKONEKAIRAUS

2.1 Yleistä

Porakonekairauksella tarkoitetaan maakerrosten sekä kallion porausta. Porakonekairauksen tyypillisiä käyttöalueita ovat:

- kalliopinnan määrittäminen
- kallion pintanäytteen otto
- kalliolaadun arviointi
- maanäytteen otto
- pohjavesiputkien asennus
- täytemaakerroksen läpäisy
- presessometri ym. in-situ-mittausten teko
- työputkien asennus muita toimenpiteitä varten

2.2 Kehitys

Kalliopinnan määrittämiseen, jota pidetään eräänä porakonekairauksen tärkeimpänä sovellutuksena, käytettiin aikaisemmin käsikäyttöistä tärykairaa. Tärykairauksessa kairaustankoja painettiin maahan kevyellä polttomoottorikäyttöisellä porakoneella täryttäen. Kairauksen aikana tehtiin havaintoja tavallisesti vain painumisnopeudessa tapahtuvista suurista muutoksista, joista voitiin tehdä päätelmiä maakerrosten rajoista. Varmuutta kalliopinnan sijainnista kaikissa tapauksissa ei tärykairan avulla saatu.

Porakonekairaus on kehittynyt tuotantolouhintaan käytetyistä porausmenetelmistä, kun niissä käytettyä kalustoa on ruvettu soveltamaan maakairaukseen. Ensimmäinen maakairaukseen tarkoitettu porakone Suomessa kehitettiin Helsingin kaupungin geoteknillisessä toimistossa 1967 (kuva 2.1). Sittemmin on kehitetty monitoimiporakoneita, jotka soveltuvat useisiin eri kairausmenetelmiin ja eri tyyppisten tutkimusten suorittamiseen.



Kuva 2.1 Ensimmäinen maakairaukseen tarkoitettu porakonekaira vuodelta 1967

Nopeinta kaluston kehitys on ollut kallioporausksessa, kun pneumaattisesta porauksesta siirryttiin hydrauliseen poraukseen. Menetelmien erona on se, että pneumaattisessa menetelmässä energian siirrossa käytetään apuna kompressorin tuottamaa paineilmaa kun taas hydraulisessa menetelmässä energian välittäjänä on hydraulipumpun tuottama öljyenergia. Hydrauliikan ansiosta voidaan tehonsiirto, sekä voimien ja väännön säätö järjestää tarkasti ja joustavasti, mikä on lisännyt voimakkaasti nykyisten kallioporauslaitteiden automatisointia ja mahdollistanut myös nykyisessä tulosrekisteröinnissä käytettävien paineantureiden hyödyntämisen. Sen sijaan pneumaattisia laitteita ei voida automatisoida yhtä tehokkaasti paineilman kokoonpuristuvuuden takia. Kokoonpuristuvuus tekee paineilmaasta myös tehottoman väliaineen energiansiirrossa verrattuna hydraulisiin laitteisiin, koska suuri osa energiasta kuluu ilman kokoonpuristumiseen. Suurin etu hydraulisella porakalustolla pneumaattiseen verrattuna on suurempi porausteho ja pienempi energiankulutus. Lisäksi kaluston siirtäminen on yksinkertaisempaa, koska vältetään ison ja raskaan kompressorin käytöltä.

Laitteiston kehitys on johtanut fyysisen työn vähenemiseen. Ainoa, mikä tuotantolouhintakaluston kehityksestä ei vielä ole siirtynyt maakairauskalustoon on automaattinen tankojen vaihto, jonka kairaaaja tai apumies joutuu edelleen suorittamaan manuaalisesti.

Sen sijaan uuden tekniikan, lähinnä tietokonepohjaisen tulostulokäsittelyn myötä kairaaaja osallistuu yhä enemmän myös tulosten käsittelyyn ja osittaiseen tulkintaan, mikä asettaa omat vaatimuksensa kairaaajan ammattitaidolle.

Aikaisemmin kairaaajan tuli merkitä kairauspöytäkirjaan mm. seuraavat havainnot.

- aloituskorko
- maakerrosten rajat ja arvio maalajeista
- routakerroksen paksuus
- täyttemaakerroksessa esiintyvät kappaleet
- kairauksella lävistettyjen kivien ja lohcareiden sijainti ja läpimitta
- porakruunun vaihdot ja poikkeuksellinen kuluminen
- kallion rikkonaisuusvyöhykkeet ja merkittävät raot
- porasoijan väri kalliokairauksessa
- pohjavedenpinta
- vasaratyyppi, syöttövoima, porakruunu

Nykyään Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston monitoimiporakoneissa on rekisteröintilaitte, joka suorittaa tietojen keräämisen kairaaajan puolesta mm. syvyyden, etenemisnopeuden, puristusvoiman, vääntömomentin ja huuhtelupaineen osalta. Sen sijaan muiden asioiden havainnointi jää edelleen kairaaajan tehtäväksi. Täten kairaaajan ammattitaito ja varsinkin kyky tehdä havaintoja niistä asioista, jotka eivät rekisteröintituloksista käy ilmi, on erittäin tärkeää.

2.3 Poraus

Kun työkone on asetettu kairauspisteen päälle kairausvalmiiksi ja mahdollinen vesilinja on asennettu (riippuen huuhtelutavasta), aloitetaan poraus. Porauksen alussa kairaja suorittaa 0 - kalibroinnin puristus- ja syöttövoimalle, sekä säätää vakiosyöttönopeuden sopivaksi. Tämän jälkeen kairaja käynnistää rekisteröinti-ohjelman ja syöttää rekisteröintilaitteeseen kairattavan pisteen tiedot.

Varsinainen poraus aloitetaan käyttäen puristusta, pyöritystä ja huuhtelua. Iskua ei yleensä porauksen alussa käytetä, mikäli poraus ei ala suoraan kallionpinnasta. Muuten iskua käytetään, mikäli poraus ei ilman iskua etene halutulla nopeudella. Poraus etenee tanko kerrallaan. Reiän aukipysymiseksi ja tankojen juuttumisen estämiseksi käytetään tarvittaessa ns. rassaustekniikkaa, jolloin tankoja liikutellaan, "rassataan", reiässä edestakaisin. Rassausta ei häiritse tulosrekisteröintiä, koska rekisteröintilaitteessa on ns. rassaautomaatiikka, joka mahdollistaa kelkan edestakaisen liikkeen siten, että rekisteröinti jatkuu vain jo saavutetun syvyyden jälkeen. Näin ollen kun poraus keskeytetään tangon vaihdon ajaksi, rekisteröintilaitteessa palaa punainen valo merkinä siitä, että kelkkaa on liikutettu ylöspäin. Tangon vaihdon jälkeen rekisteröintilaitte käynnistetään jälleen nappia painamalla, jolloin merkkivalo sammuu, ja rekisteröinti käynnistyy.

Näin porausta jatketaan ennalta suunniteltuun loppusyvyyteen asti. Mikäli tarkoituksena on varmistaa kallion pinta, porausta jatketaan n. kolme metriä oletetun kallionpinnan jälkeen. Kun loppusyvyyteen on päästy poraus lopetetaan ja rekisteröintilaitteeseen asetetaan kairaus päättyneeksi. Tämän jälkeen tangot nostetaan ylös ja siirrytään mahdolliselle seuraavalle pisteelle



Kuva 2.2 GM 4000 monitoimiporavaunu

3. KÄYTETTY KALUSTO

3.1 Porakone

Porakoneena käytettiin Rammerin S 21 hydraulista poravasaraa.

Tekniset tiedot:

Iskuenergia	175 J
Iskutaajuus	750 - 2200 iskua/min
Öljyn virtaus	20 - 50 l/min
Öljynpaine max	220 bar
Paino (pelkkä vasara)	140 kg
Suosittelava alustan paino	1,3 - 3,2 tn

3.2 Vesipumppu

Huuhteluvesipumppuna kairausvaunussa oli General T 55

Tekniset tiedot:

Pumppausteho	50 dm ³ /min
Max. Paine	50 bar
Pyöritysnopeus	650 r/min
Vaadittu teho	4,8 kW
Paino	16,5 kg

3.3 Kompressori

Paineilman tuottamiseen ja öljynlauhduttamiseen käytetään GM 4000 kairausvaunuissa Tamrockin Toolsair 2000 kompressori- ja öljynlauhdutin-yksikköä.

Tekniset tiedot:

<u>Ilman tuotto / paine</u>	<u>Tarvittava öljyvirta / paine</u>
1 m ³ /min / 7 bar	35 l/min / 160 bar
2 m ³ /min / “	70 l/min / “
3 m ³ /min / “	100 l/min / “

3.4 Alusta

Alustana oli Geomachine Oy:n rakentama telaketjualusta GM 4000 monitoimiporakoneelle.

Kairaustoiminnot:

- kallioporaus
- heijarikairaus
- SPT
- timanttikairaus

- puristinkairaus
- puristin-heijarikairaus
- augerkairaus
- siipikairaus
- näytteenotto

Päämitat:

Pituus	4800-5000 mm
Leveys	2000 mm
Korkeus	2400 mm
Paino	6000 kg
Telaleveys	500 mm

Kairauspuomi:

Iskunpituus	2500 mm
Nostonoima	73-93 kN
Puristusvoima	40-52 kN ankkuroituna 30-35 kN ilman ankkurointia
Sivuttaiskallistus	15 °
Taaksekallistus	15 °

3.5 Tankokalusto

GM 4000 monitoimikoneessa käytetään kahta eri tankokalustoa, joista toinen on tarkoitettu puristinheijarikairaukseen ja toinen porakonekairaukseen. Koekairauksissa käytettyjen kairautankojen mitat ovat seuraavat:

Puristin-heijarikairaus:

pituus	1,0 m
paino	6,3 kg
halkaisija	32 mm

Porakonekairaus:

pituus	1,83 m
paino	10,6 kg
halkaisija	32 mm

3.6 Poranterät

Porakonekairauksessa käytetään pääasiassa nasta- ja palateriä. Louhetäytteiden porauksessa käytetään yleensä palateriä, koska ne pureutuvat paremmin viistoon kivenpintaan, eivätkä lähde liukumaan pintaa pitkin yhtä helposti kuin nastaterät. Tällöin myös vääntyneistä ja katkenneista poratangoista johtuva tankohukka vähenee.

Maaporauksessa nastaterät ovat suositumpia, koska niiden kulumisen maakerroksissa on vähäistä erityisesti kovametallinastojen osalta, jolloin terän hiomistarve on pieni. Käytännössä nastaterä on käyttökelpoinen maaporauksessa niin kauan kunnes sen runko on kulunut loppuun.

Kallioporauksessa nastaterä on hiottava, kun nastan kulumisen on puolet halkaisijasta. Kulumisen mitataan hiontamallilla, jossa kunkin nastanhalkaisijan kohdalla olevat viivat ilmoittavat kulumisrajan. Joissakin kivilajeissa terän runko kuluu nopeammin kuin nasta, jolloin nastojen ulkonema kasvaa. Tällöin nastoja on hiottava lyhyemmiksi, vaikka ne eivät vielä olisikaan saavuttaneet hiomisrajaa.

Nastaterän hiomiseen sopivat parhaiten tarkoitukseen tehdyt erikoishiomakoneet tai timanttikuppilaikkoja käyttävät käsihiomakoneet. Nastat hiotaan keskeisesti siten, että saavutetaan alkuperäinen muoto. Kaikki nastat hiotaan samalla kertaa,

vaikka ne eivät olisikaan kuluneet hiontamallin osoittamaan määrään saakka. Reunanastoja hiottaessa on muistettava säilyttää nastan alkuperäinen kallistuskulma. Nastojen ulkoneman jäädessä pieneksi hiotaan myös terästä nastojen ympäriltä, jotta alkuperäinen ulkonema palautuu. Terän halkaisijan kuluessa on soijaurat hiottava uudestaan auki. Yleensä nastaterät eivät tarvitse halkaisijan hiontaa. Hiontamallilla on kuitenkin varmistettava, että reunanastat ovat terän halkaisijan suunnassa ulompana kuin runko.

3.7 Rekisteröintilaitte

Rekisteröintilaitteena oli Environmental Mechanics Ab:n valmistamaa 22 kanavainen Geoprinter 60. Laitteessa on kaksi prosessoria, jotka mahdollistavat reaaliaikaisen poraparametrien laskemisen. Toinen prosessori suorittaa laskennan samalla kun toinen rekisteröi uutta tietoa. Mittausohjelmat voidaan käynnistää joko suoraan ohjelmakoodien avulla tai etsimällä ohjelmat graafisen näytön opasteiden avulla.

Kairaustiedot on tallennettu ns. rullaavaan muistiin. Painokairametreinä muistin koko vastaa yli kahden kilometrin kairauksia. Muistiin tallennetuista tuloksista voidaan poimia kaikki muistissa olevat pisteet, projektikohtaiset kairaukset tai yksittäisiä pisteitä siirrettäväksi edelleen tietokantoihin. Muistin sisältö on varmistettu häiriösuojauksin. Tiedonsiirtoon voidaan käyttää joko normaalia 3,5":n levykettä tai ulkoista modeemia. Levykettä käytettäessä kopioidaan muistissa olevat pisteet levykkeelle ja levykkeeltä edelleen tietokantoihin. Modeemia käytettäessä voidaan tiedot kopioida suoraan rekisteröintilaitteelta tietokantoihin.

Tekniset tiedot:

Mittauskanavia	22; 8-16 analogisia, loput digitaalisia
Kanavien erottelukyky	10-14 bittiä
Levyasema	3,5" ; 1,44 Mb tai 0,72 Mb

Näyttö	128 x 128 pisteen graafinen, taustavalaistu
Matriisikirjoitin	65 mm standardi "kassanauha"
Näppäimistö	60 näppäminen skandinaavinen kirjain- / merkinäppäimistö



Kuva 3. Geoprinter 60 rekisteröintilaite

4. REKISTERÖITÄVÄT PARAMETRIT

4.1 Yleistä

Rekisteröintilaitteesta on käytössä kuusi kanavaa. Eri kanavat on jaettu rekisteröitäville parametreille seuraavasti:

1. Syvyys ja etenemisnopeus
2. Puristusvoima
3. Vääntömomentti
4. Huuhteluveden paine
5. Huuhteluveden määrä
6. Pyöritysnopeus

Näistä huuhteluveden määrää ja pyöritysnopeutta ei mitata, koska aikaisempien kokemusten perusteella niistä saatava informaatio ei ole tulostulkinnan kannalta oleellista.

4.2 Syvyys ja etenemisnopeus

Syvyiden rekisteröinti tapahtuu 1 cm:n välein. Samalla rekisteröintilaitte mittaa em. 1 cm matkaan kuluneen ajan ja rekisteröi etenemisnopeuden, joka on tällöin 1 cm:n matkalla vallinnut keskinopeus. Etenemisnopeuden muutokset rekisteröintituloksissa voivat olla erittäin jyrkkiä, koska tiedot tallennetaan yleensä 4 cm:n välein, jonka aikana saattaa etenemisnopeudessa tapahtua suuriakin muutoksia esim. kivien, kallion tai savikerroksen tms. lyhyellä matkalla etenemisnopeuteen huomattavasti vaikuttavan elementin takia. Tallennus voitaisiin suorittaa tiheämminkin, 1 cm:n tai 2 cm:n välein, mutta aikaisempien selvitysten mukaan, (Ulmala 1994), suuremman tallennustaajuuden ei ole katsottu parantavan huomattavasti tulosten tulkittavuutta maaker-

roksissa, joten sitä ei ole pidetty tarpeellisenä. Kallioporauksessa tiheämpi tulosrekisteröinti voisi lisätä mm. rakojen määrästä saatavaa informaatiota.

4.3 Puristusvoima

Puristusvoima rekisteröidään hydraulikasta sähköisillä voima-antureilla, joiden tarkkuus on 0,025 %. Antureilta tuleva signaali vahvistetaan ja voima kalibroidaan erillisellä vahvistimella. Puristusvoiman rekisteröinti tapahtuu samalla taajuudella kuin syvyyden. Puristusvoiman rekisteröinnissä ei tapahdu keskiarvon laskemista, vaan rekisteröitävä arvo on yksittäinen valitulla syvyysvälillä rekisteröityvä arvo.

4.4 Momentti

Momentin rekisteröinti tapahtuu vastaavanlaisella anturilla kuin puristusvoimankin rekisteröinti. Momenttia käytetään lähinnä vaippakitkan määrittämisessä, jota porakonekairauksessa ei suoriteta. Sen sijaan puristin-heijarikairauksen tuloksin vaippakitkalla on keskeinen merkitys kärkivastuksen q_c määrittämisessä. Ko. kairausmenetelmän heijarointivaiheessa momentti rekisteröidään 20 cm:n välein. Tämä vaikeuttaa tulosten vertailua esim. porakonekairaukseen, koska puristin-heijarikairauksen rekisteröintituloksia joudutaan muuttamaan heijarointivaiheen osalta. Toinen vaihtoehto on käyttää 20 cm:n välein rekisteröityjä arvoja eri kairausmenetelmien vertailussa, jolloin tulokset voidaan ensin suodattaa esim. EXCEL - taulukkolaskentaohjelman avulla.

4.5 Huuhteluvedenpaine

Sekä huuhteluveden paineen, että ilmanpaineen rekisteröinti tapahtuu samalla anturilla, jonka mittausalue on 100 bar ja tarkkuus 0,5 %. Tämän tutkimuksen aikana teh-

dyissä porauksissa mitattiin ainoastaan huuhteluveden painetta, koska vesihuuhtelu oli ainoa käytetty huuhtelumenetelmä.

5. PORAPARAMETRIT

5.1 Yleistä

Porauskaluston ja rekisteröintilaitteiston kehityksen myötä on kehitetty uusia porauksen aikana mitattavia suureita ja niistä johdettavia porauskohteen laatua kuvaavia parametreja. Suunnittelijan kannalta olisi tärkeää että käytettävien parametrien määrä pysyisi mahdollisimman pienenä ja että mahdollisimman yksinkertaisilla malleilla pystyttäisiin kuvaamaan maaperän ja kallion ominaisuuksia.

Tässä on esitetty Helsingin kaupungin geoteknisellä osastolla rekisteröivän porakonekairauksen tuloksista määritettäviä poraparametreja.

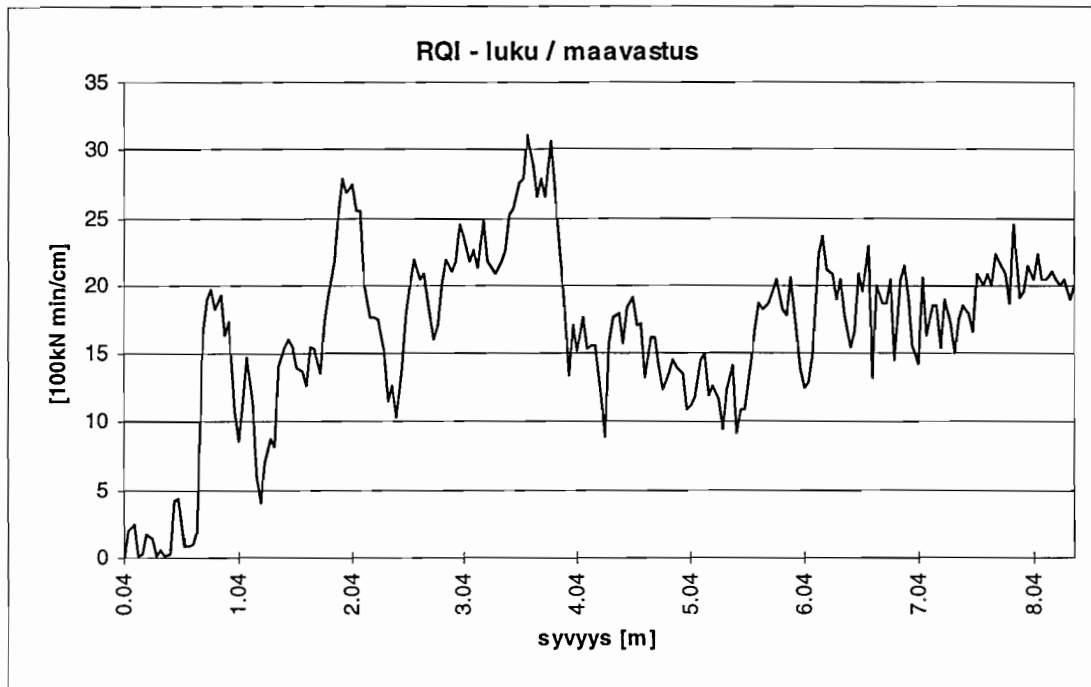
5.2 RQI-luku eli maa- tai kalliovastus

RQI-luku (Rock Quality Index) on alunperin kehitetty pyörittävään porakonekairaukseen ja sillä pyrittiin esittämään kallion räjäytettävyyttä /1/. RQI-luku määritellään puristusvoiman ja etenemisnopeuden suhteena seuraavasti:

$$RQI = F_p / V_t \quad , \quad (1)$$

missä F_p = puristusvoima

V_t = etenemisnopeus



Kuva 5.1 RQI -luku syvyyden funktiona kallioon tehdyssä MWD-porauksessa

RQI-luvusta käytetään Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisellä osastolla nimitystä maa- tai kalliovastus olosuhteista riippuen. Näitä nimityksiä tullaan myös tässä työssä jatkossa käyttämään.

Koska maavastus on puristusvoiman ja etenemisnopeuden suhde, tulisi rekisteröintituloksista ennen maavastuksen määrittämistä poistaa systemaattiset virheet. Tällainen on esim. kairauskalustosta johtuva, reikäsyvyyden funktiona lisääntyvä lineaarinen käynti sekä etenemisnopeudessa että puristusvoimassa. Lineaarinen käynti on helpommin havaittavissa kallioon porattujen reikien kuin maa- tai täytepeitteisiin porattujen reikien rekisteröintituloksista, mikä johtuu kallion homogeenisuudesta maa- ja täytepeitteisiin verrattuna. Lineaarisen käynnin korjaamista on kuitenkin tapauskohtaisesti harkittava, ettei korjaus poista rekisteröintituloksista tulkinnan kannalta oleellista tietoa. Alle 15 m:n rei'issä korjausta ei suositella käytettäväksi. Tämän työn ohessa tehdyille maakairausten rekisteröintituloksille ei ole suoritettu lineaarikorjauksia.

5.3 ALT-indeksi

ALT-indeksi (alternation index) on kehitetty maaperän, sekä pehmeiden tai rapautuneiden kallioiden porausparametriksi (Ulmala 1994). ALT-indeksi määritetään kaavalla:

$$ALT - indeks i = 1 + \frac{F_p}{F_{p \max}} - \frac{V_t}{V_{t \max}}, \quad (2)$$

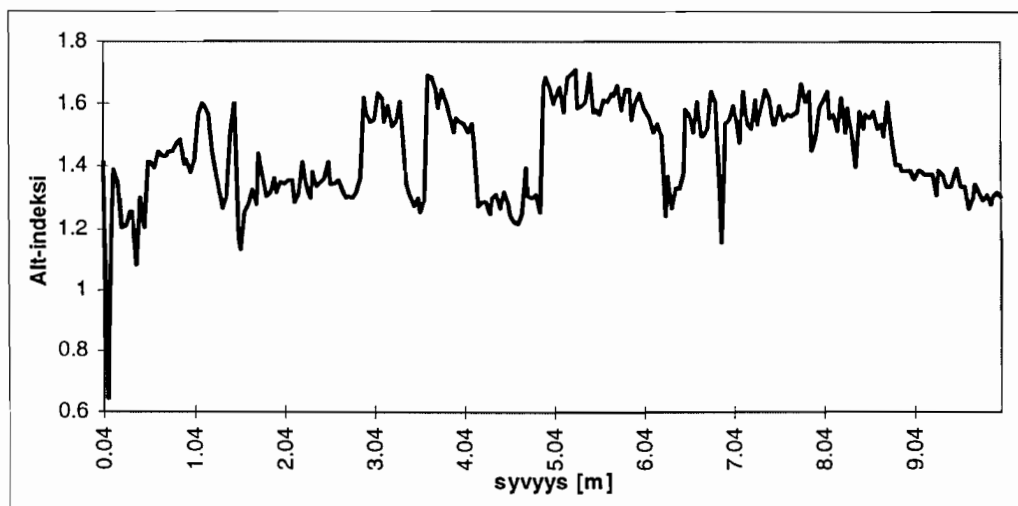
missä F_p = puristusvoima

$F_{p \max}$ = maksimipuristusvoima

V_t = tunkeutumisnopeus

$V_{t \max}$ = maksimitunkeutumisnopeus

ALT-indeksin arvot ilmentävät hyvin kiven huokoisuutta ja rapautuneisuutta. Vähähuokoisen, rapautumattoman kiven ALT- indeksi on > 1 ja vastaavasti voimakkaasti rapautuneen kiven ALT-indeksin arvo on $\ll 1$.



Kuva 5.2 Alt - indeksi syvyyden funktiona

Edellisen perusteella voidaan todeta, että kallio on kuvan 5.2 tuloksen perusteella vähähuokoista ja rapautumatonta, koska alt-indeksin arvo on alkua lukuun ottamatta > 1 .

5.4 R-indeksi

R - indeksi on kallion rikkonaisuutta kuvaava parametri, joka määritetään kaavalla:

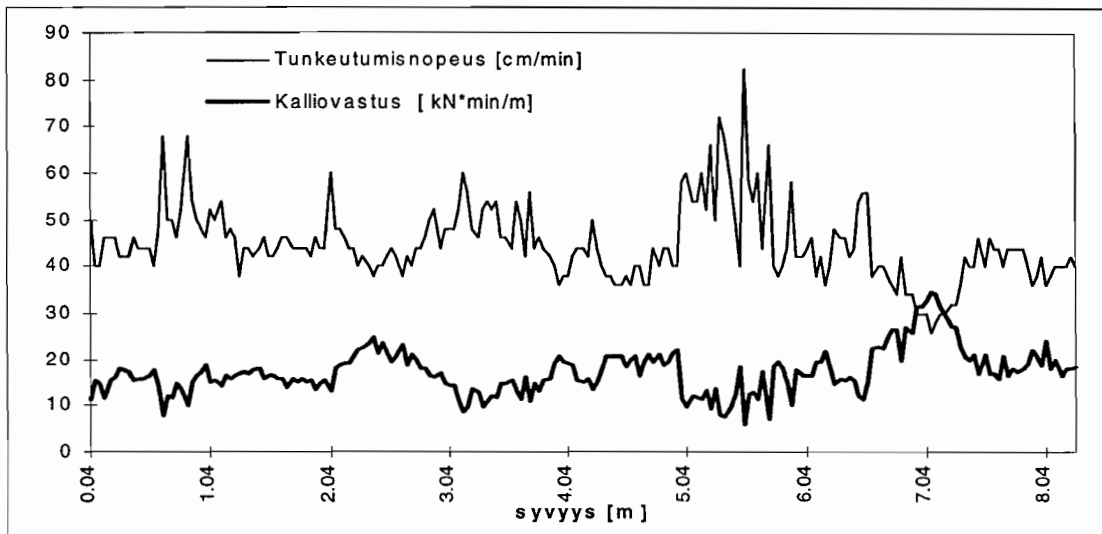
$$\text{R-indeksi} = \text{maavastus} - V_t, \quad (3)$$

$$\text{missä} \quad \text{maavastus} = F_p/V_t$$

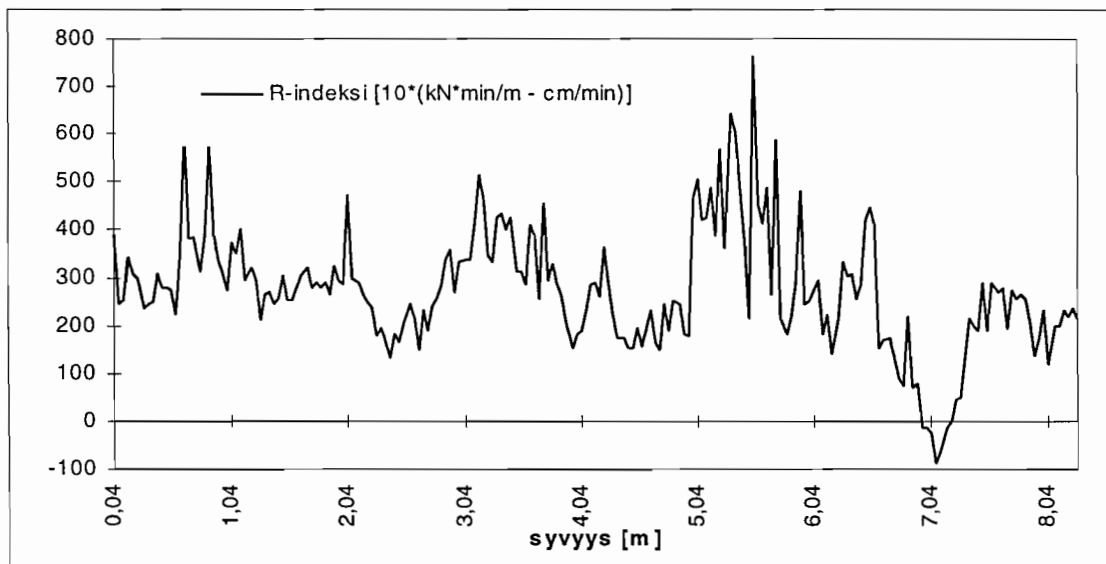
$$F_p = \text{puristusvoima}$$

$$V_t = \text{tunkeutumisnopeus}$$

R - indeksi on kehitetty Kalliorakentaminen 2000 - projektin yhteydessä, kun havaittiin miten maavastuksen (RQI-luku) ja tunkeutumisnopeuden kuvaajat suhtautuvat toisiinsa syvyyden funktiona. Todettiin, että mitä huonompilaatuista kallio on, sitä pienempi on kuvaajien välinen etäisyys ja kuvaajat saattavat jopa leikata toisiaan. Kuvassa 5.3 on esitetty kalliovastuksen ja tunkeutumisnopeuden kuvaajat. Kuvaajat on laadittu Eliel Saarisen tien kallioporauksista saadun rekisteröintituloksen perusteella. Huomataan, että syvyydellä n. 7,1 m on heikko kohta kalliossa. Kuvassa 5.4 on esitetty vastaavan rekisteröintituloksen R - indeksi, jossa negatiivinen arvo kuvaa heikkousvyöhykettä.



Kuva 5.3 Tunkeutumisnopeus ja kalliovastus syvyyden funktiona



Kuva 5.4 R - indeksi syvyyden funktiona

5.5 Kallio-ominaisuuksien arviointi indeksien perusteella

Kallio-ominaisuuksien ja porausparametreista johdettujen indeksien korreelaatiot keskenään vaihtelevat huomattavasti alueellisesti. Tämä johtuu suurelta osin tutkittavan kohteen geologiasta. Mikäli kohteen kalliolaatu on geologisilta ominaisuuksiltaan homogeenista tai geologiset vaihtelut ovat pienimuotoisia, ovat korreelaatiot selvästi

huonompia, kuin jos vaihtelut ovat voimakkaita esim. kallion rikkonaisuuden suhteen. Kallion rikkonaisuuden kasvaessa, ts.rakotihyden ja huokoisuuden kasvaessa

- ALT - indeksi pienenee
- R - indeksi pienenee
- RQI - luku pienenee

Kalliorakentaminen 2000 projektin yhteydessä käytetylle porauslaitteistolle saatiin R - ja ALT- indeksille suraavat yksinkertaiset kallion rikkonaisuutta kuvaavat arvot:

	<i>R -indeksi</i>	<i>Alt - indeksi</i>
Ehjä kivi (Rk1-Rk3)	R-ind. > -1	Alt-ind. > 1.1
Rikkonainen kivi (Rk4)	$-100 \leq R\text{-ind.} \leq -1$	Alt-ind. 1.1 - 0.7
Rapautunut kallio ("korppukivi")	R-ind. ≤ -100	Alt-ind.< 0.7

Taulukko 5.1. Kallion rikkonaisuuden vaikutus R- ja Alt-indeksin arvoon, (Kalliorakentaminen 2000)

Koska taulukossa 5.1 esiintyvät arvot ovat vain suuntaa antavia ja ainoastaan yhdelle porauskalustolle määritettyjä, on suositeltavaa että yleisemmässä tulosten tarkastelussa käytettäisiin em. visuaalisia, kuvaajien väliseen etäisyyteen ja muotoon liittyviä tulkintamahdollisuuksia.

6. KOEKAIRAUKSET

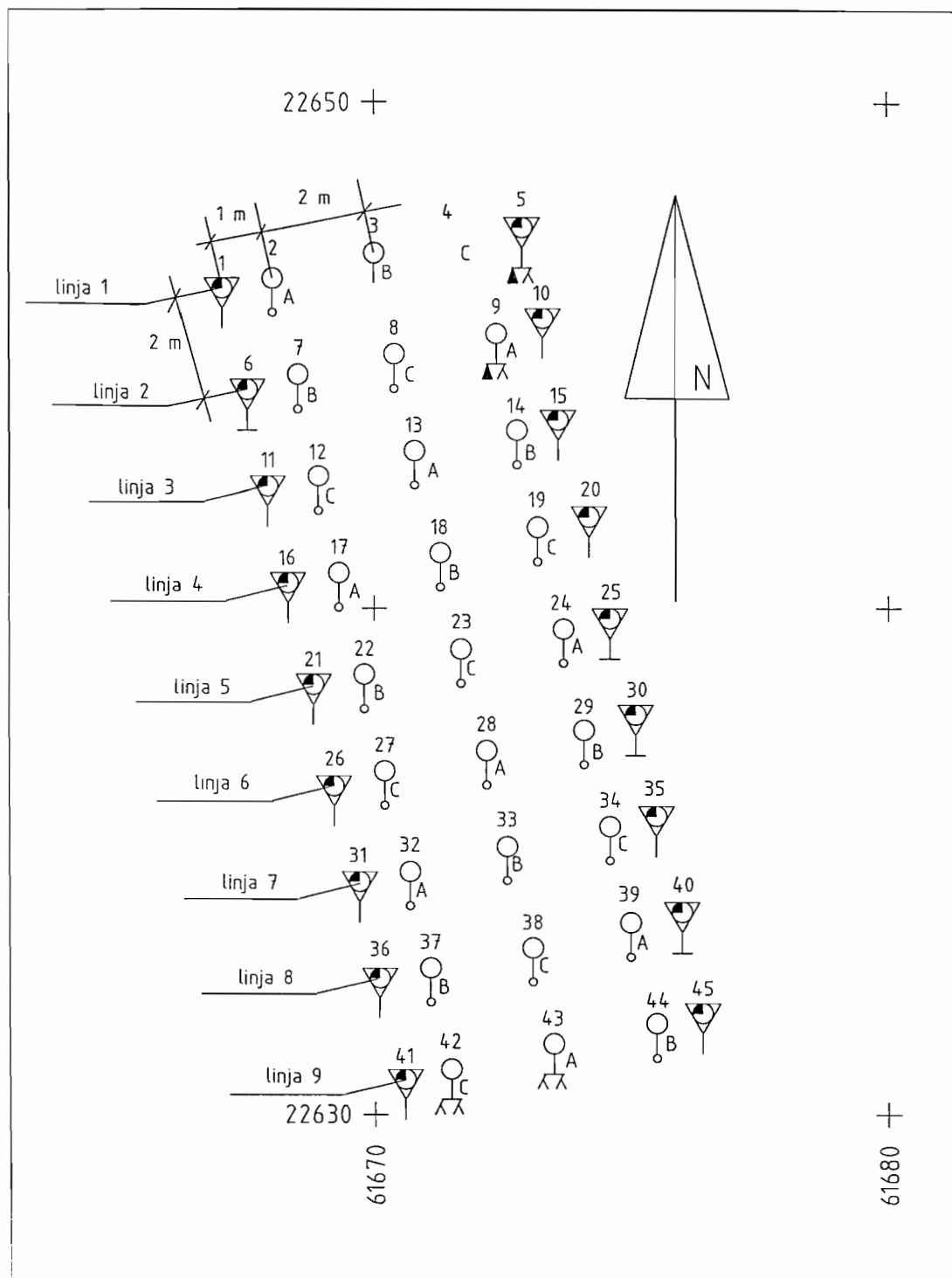
6.1 Koealueiden valinta

Koealueiden valinnassa kiinnitettiin huomiota ensisijaisesti maakerrosten paksuuteen ja maalajeihin. Eri maalajien kerrospaksuuksien tuli olla riittävän suuria, jotta maalajien vaihtuminen kairauksen rekisteröintituloksissa näkyisi mahdollisimman selvästi. Maalajien osalta haluttiin koealueen koostuvan pääasiassa kitkamaalajeista, hiekasta ja sorasta, koska niiden erottaminen kairaustulosten perusteella on ollut hankalaa. Lisäksi koekentän tuli sijaita sellaisella alueella etteivät kairaukset aiheuta häiriöitä alueen muulle toiminnalle. Em. kriteerit täyttävä alue löytyi Itä-Helsingistä Vuosaaren kartanon alueelta Uutelantien varresta.

Toinen koealue sijaitsi Eliel Saarisentiellä Pohjois-Helsingissä. Alueelle oli keväällä 1997 tehty 11 MWD - porareikää, joiden perusteella tutkittiin kalliopinnan sijaintia ja laatua alueelle rakennettavaa ajoväylää varten. Porarei'istä seitsemään oli tehty reikävideokuvaus, jonka vertailu rekisteröintituloksiin on esitetty kohdassa 7.4.

6.2 Vuosaaren koekenttä

Vuosaaren koekentälle tehtiin yhteensä 45 kairausta, joista 27 oli MWD- porakonekairauksia ja 18 puristin-heijarikairauksia, kuva 6.1. Kairauspisteet sijoitettiin yhdessä linjalle siten, että jokaiselle linjalle tuli viisi kairauspistettä. Linjojen molempiin päihin tehtiin puristin-heijarikairaus ja niiden väliin kolme erilaista MWD-porakonekairausta. Näin pyrittiin selvittämään mahdolliset muutokset kerrospaksuuksissa. PH-kairaukset tehtiin yhden metrin päähän lähimmästä MWD-porakonekairauksesta. MWD-pisteiden välinen etäisyys kullakin linjalla oli kaksi metriä. Myös linjojen välinen etäisyys oli kaksi metriä. Lisäksi koekentältä otettiin maanäytteitä ja tarkkailtiin pohjaveden pintaa.



Kuva 6.1. Vuosaaren koekenttä

6.2.1 Vuosaaren koekentän MWD-porakonekairaukset

Koekentän porauksissa pyrittiin tutkimaan kairauksen aikana suoritettavien toimenpiteiden vaikutusta rekisteröintituloksiin. Tällaisia toimenpiteitä ovat mm. porausnopeuteen vaikuttavat tekijät, kuten puristusvoima ja iskun käyttö. Näin ollen koekentälle päätettiin tehdä kolmea eri tyyppiä olevia MWD-porakonekairauksia.

Poraustyyppi A, eli ns. "perinteinen" poraus suoritettiin siten, että kairaaja teki kairauksen tavalla, johon oli vuosien varrella tottunut. Tällöin maksimietenemisnopeutena oli n. 300 cm/min ja maksimipuristusvoimana n. 13 - 15 kN.

Poraustyyppi B, eli "hidas" poraus suoritettiin pienempää puristusvoimaa, n. 12kN, ja maksiminopeutta, n. 200 cm/min, käyttäen. Pienemmän puristusvoiman ja etenemisnopeuden lisäksi erona edelliseen oli iskun käytön minimointi. Iskua käytettiin vain mikäli poraus ei muuten edennyt. Näin pyrittiin selvittämään iskun käytön todellista tarvetta kitkamaalajeissa, sekä sen vaikutusta rekisteröintituloksiin.

Poraustyyppi C, eli "isku" suoritettiin siten, että iskua pidettiin päällä koko porauksen ajan. Näin saatiin selvyyttä siitä, kuinka paljon iskun päällä pitäminen nopeuttaa porausta ja aiheuttaa muutoksia rekisteröintituloksiin. Maksimipuristusvoima oli samaa luokkaa kuin perinteisessä menetelmässä.

Porausten aikana tehtiin muistiinpanoja mm. iskun päällä tai pois olemisesta ja tankojen vaihtosyvyyksistä, koska jo aikaisemmin oli todettu tankojen vaihdon aiheuttavan usein piikin etenemisnopeuden, puristusvoiman ja siten myös maavastuksen rekisteröintituloksiin. Tämä johtuu kelkan pysäyttämisestä ennen tangonvaihtoa, jolloin etenemisnopeus ja puristusvoima lähenevät nopeasti nollaa ja rekisteröintisyvyys saattaa osua ko. kohdalle.

6.3 Puristin - heijarikairaus vertailumenetelmänä

6.3.1 Yleistä

Puristin - heijarikairaus on Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston 80-luvulla kehittämä yleiskairausmenetelmä, jonka avulla saadaan tietoja sekä pehmeistä ja helposti läpäistävistä hienoaineskerroksista, että tiiviimmistä ja vaikeammin läpäistävistä hiekka- ja sorakerroksista. Menetelmä on todettu hyväksi koska eri maakerrokset vaihtelevat siten, että välissä saattaa olla tiiviimpi ja vaikeasti läpäistävä hiekka tai sorakerros, johon pelkkä puristinkaira ei pysty, mutta iskemällä tankoja heijarin avulla tiivis kerros pystytään läpäisemään, jonka jälkeen kairausta voidaan jatkaa jälleen puristamalla. Puristin-heijarikairaus on eräs käytetyimmistä kairausmenetelmistä geoteknisen osaston maaperätutkimuksissa. 90-luvulla menetelmä on vähitellen levinnyt mm. Tielaitoksen käyttöön. Menetelmän tärkeimpiä sovellutuksia maalajitulkinnan lisäksi ovat paalupituuden määrittäminen sekä paalun kantavuuden arviointi

6.3.2 Kairaus

Kairaus aloitetaan puristinkairauksena maan pinnasta, jos se on mahdollista pintakerroksen rakenteen puolesta (vrt. routa tai asfaltti). Puristusvaiheessa kärkeä ja tankoja sekä puristetaan että pyöritetään samanaikaisesti. Puristusnopeutena käytetään tavallisesti 1.2 ± 0.3 m/min ja pyöritysnopeutena 12 ± 3 r/min. Puristusta jatketaan, kunnes puristusvoima nousee niin suureksi, ettei koneen paino riitä pitämään konetta tukevasti maankamaralla. Puristusvoima on yleensä GM 4000 koneella tällöin n. 35 kN:n luokkaa. Puristusvaiheen jälkeen siirrytään heijarikairaukseen. Heijarointivaiheen aikana tankoja isketään pudotettavan painon, heijarin, avulla. Heijarin massa on 65 ± 1.5 kg ja pudotuskorkeus on 50 cm. Iskutiheytenä käytetään 25 - 45 iskua/min. Erona

perinteiseen heijarikairaukseen on se, että tankoja pyöritetään myös heijarointivaiheen aikana.

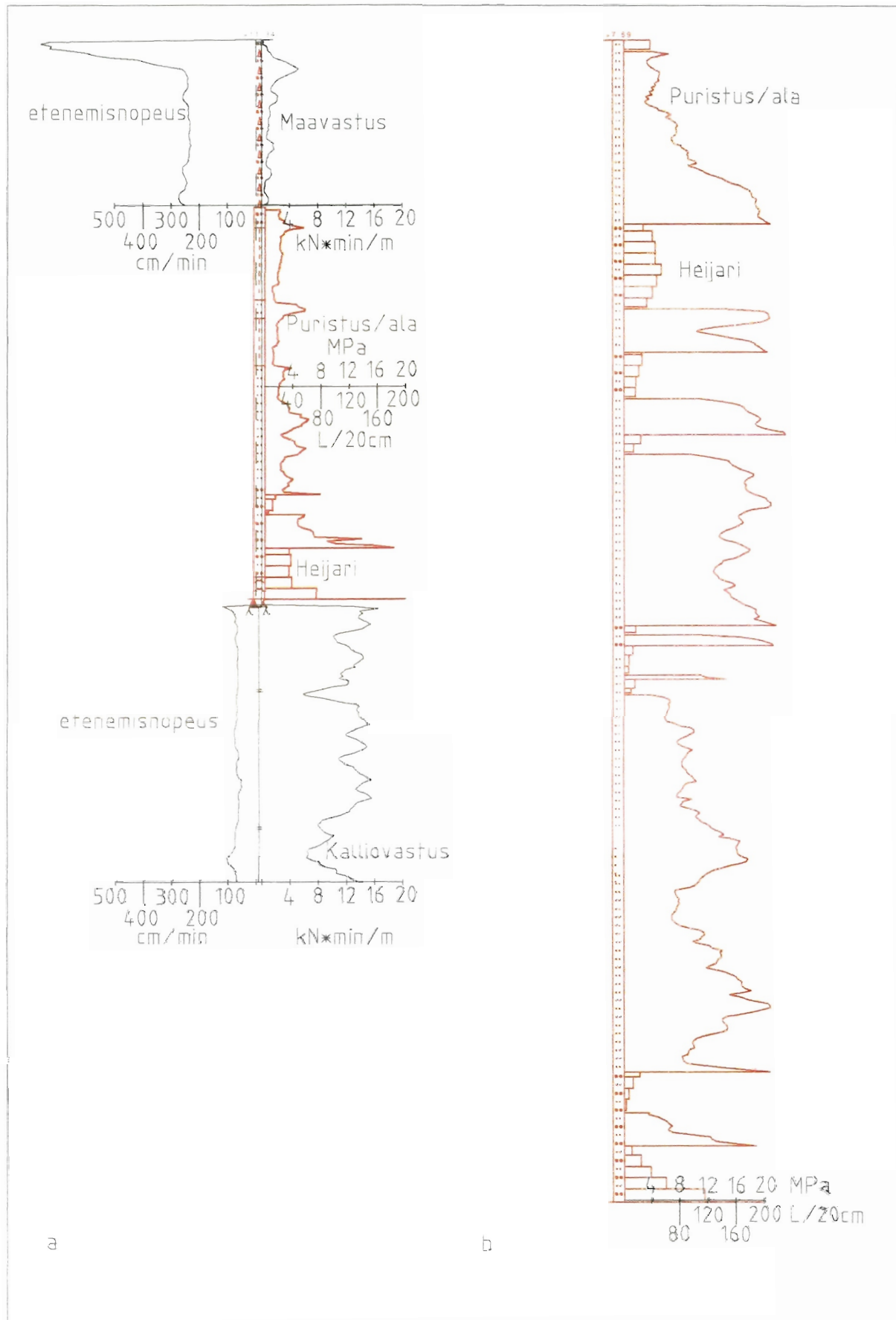
6.3.3 Tulosten rekisteröinti

Puristin-heijarikairauksen tulokset rekisteröidään samalla rekisteröintilaitteella kuin MWD-porakonekairauksessa. Rekisteröitäviä parametreja ovat puristusvoima, väärtömomentti ja iskujen lukumäärä. Puristusvaiheen aikana rekisteröinti tapahtuu 4 cm:n välein ja iskujen aikana 20 cm:n välein. Rekisteröintiyksiköt ovat puristusvoima kN, momentti Nm, sekä iskujen lkm./20 cm

6.3.4 Tulosten käyttö vertailuaineistona

Puristin-heijarikairauksen valinta vertailumenetelmäksi johtuu laajasta käyttökokemuksesta sekä kairauksen että tulosten tulkinnan osalta. Lisäksi vertailumenetelmän valinnan teki helpoksi se, että puristin-heijarikairaus voidaan tehdä samalla koneella kuin MWD-porakonekairaukset.

Kuvissa 6.2a ja 6.2b on esitetty tyypillisiä puristin-heijarikairauksen rekisteröintituloksia. Kuvassa 6.1a on alkukairaus suoritettu MWD-porauksena, jonka jälkeen on pehmeämpiin kerroksiin käytetty puristin-heijarikairausta, jonka jälkeen on jälleen siirrytty takaisin MWD-poraukseen ja varmistettu kalliopinnan syvyys. Kuva 6.1b esittää rekisteröintitulosta, jonka perusteella koekentän sijainti valittiin. Merkittäviä seikkoja ovat maalajit, kerrosvaihtelu ja kerrospaksuudet.



Kuva 6.2 a ja b. Puristin-heijarikairauksen rekisteröintituloksia

6.4 Vuosaaren koealueen geologia

6.4.1 Yleistä

Koealueen pohjasuhteiden selvittämiseksi alueella suoritettiin pohjavedenpinnan korkeuden mittauksia sekä otettiin maanäytteitä kahdesta pisteestä.

6.4.2 Pohjavesiputki ja pohjaveden pinnan korkeus koealueella

Koealueen läheisyydessä sijaitseva lyhytaikainen pohjavesiputki oli Ø 26 mm:n (ulkoläpimitta) teräsputkea, joka koostui kahdesta 2 m:n pituisesta jatko-osasta ja saman pituisesta suodatinosasta. Suodatinosaan on porattu n. 20 cm:n välein Ø 3 mm reikiä, joista vesi pääsee putkeen. Suodatinosan alapää on puristettu umpeen.

Lyhytaikaisen pohjavesiputken asennuksessa tärkein huomioon otettava seikka on putken suodatinosan sijaitseminen hyvin vettäläpäisevässä maakerroksessa. Koealueella kaikki maakerrokset olivat vettäläpäiseviä, joten merkitystä oli ainoastaan sillä, että putken suodatinosa ylettyi pohjavedenpinnan alapuolelle. Pohjavedenpinnan korkeus vaihteli koealueella 5,15 - 5,20 m: n välillä.

6.4.3 Näytteenotto

Geoteknisissä tutkimuksissa käytettävät näytelajit jaetaan häiriintyneisiin ja häiriintymättömiin. Häiriintyneissä näytteissä maalajin sisäinen rakenne on rikkoutunut, mutta kaikki maalajin ainesosat ovat kuitenkin tallella ja suurinpiirtein alkuperäisessä suhteessa. Näin ollen häiriintyneestä näytteestä voidaan jokseenkin luotettavasti määrittää rakeisuus ja maalaji. Häiriintymättömissä näytteissä maa on näytteenoton aikana häiriintynyt niin vähän, että sen voidaan katsoa edustavan luonnontilaista maata. On kuitenkin todettava, että parhaassakaan tapauksessa häiriintymätön näyte ei edusta maan alkuperäistä jännitystilaa. Näytteen häiriintymisaste riippuu näytteenottajan ammattitaidon lisäksi paitsi maalajista ja sen jännitystilasta myös näytteenottamien ominaisuuksista ja näytteenottotavasta. Lisäksi voidaan maasta ottaa ns. epätäy-

dellisiä näytteitä. Tällaisissa näytteissä voi olla sekoittuneena useammasta maakerroksesta olevia maalajeja. Ja vaikka maalajeja olisikin vain yksi, siitä saattaa olla huuhtoutunut pois joitakin lajitteita. Epätäydellisistä näytteistä ei voida luotettavasti määrittää edes rakeisuutta. Suuntaa antavia tuloksia voidaan kuitenkin saada. Tällaisia näytteitä saadaan esim. vesi- tai ilmahuuhtelua käytettäessä. Taulukossa 6.1 on esitetty miten eri näytteenottimia suositellaan käytettäväksi eri tarkoituksiin.

Näytteenottopaikat valitaan kairausten ja geologisten tutkimusten perusteella. Koska näytteiden ottaminen ja niiden laboratoriotutkimukset ovat kalliita verrattuna pelkkiin kairauksiin, on näytepisteitä valittaessa pyrittävä määrittämään sellaiset paikat, jotka parhaiten edustavat ko. maaperää. Valittaessa näytepisteiden sijaintia on lisäksi tärkeää huomioida, kuinka syvältä näytteitä tullaan ottamaan, sillä näytteenoton kustannukset nousevat huomattavasti näytesyvyyden kasvaessa. Tämä on seurausta siitä, että näytteenotto hidastuu syvyyden kasvaessa ja samalla näytteiden määrä lisääntyy kasvattaen laboratoriotutkimusten kustannuksia.

Koealueelta otettiin näytteitä kahdesta eri pisteestä jotka sijaitsivat alueen vastakkaisissa päädyissä. Koepisteet valittiin tehtyjen puristinheijarikairausten perusteella, joista kävi ilmi, että maakerrokset vaihtelevat kentän alueella sekä vertikaali-, että horisontaalisuunnassa. Lisäksi pisteet haluttiin sijoittaa samalla MWD-poraustavalla (A-A ja B-B) tehtyjen pisteiden väliin, jolloin vertailu rekisteröintituloksiin tulee selkeämmäksi.

Näytteenotto suoritettiin porakonekairan ns. R-näytteenottoputkella, kuva 6.3. Näytteenottimen ulkohalkaisija on 66 mm ja pituus 60 cm. Saatavan näytteen pituus on $\leq$ 50 cm. Näytteenoton suoritus tapahtuu seuraavasti: R - näytteenottoputki asetetaan poratangon päähän jonka jälkeen sitä painetaan maahan, minkä seurauksena näyteputki täyttyy maa-aineksella. Tämän jälkeen putki nostetaan ylös ja putkessa ollut näyte valutetaan näytepussiin, kuva 6.4. Putkea alaspäin viettäessä, reikään puhalletaan paineilmaa, joka poistaa putken edeltä sellaisen maa-aineksen, jota ei ole tarkoitus nostaa ylös. Näytesyvyyteen päästyä paineilman puhaltaminen lopetetaan ja näyteputki täytetään joko puristamalla, tai iskua apuna käyttäen painamalla. Näytteet

pyrittiin ottamaan puolen metrin välein ko. pisteen läheisyydessä tehtyjen kairausten loppusyvyyteen asti. Kaikista syvyyksistä näytettä ei kuitenkaan saatu, koska näyte ei pysynyt putkessa. Tämä johtui maa-aineksen vesipitoisuudesta ja kyseiselle näytteenottomenetelmälle sopimattomasta raakoosta ko. näytteenottosyvyydellä. Laboratoriossa maanäytteet seulottiin ja niille tehtiin maalajinmääritys. Kuvassa 6.5 on esitetty näytepisteen 2 rakeisuuskäyrät syvyydeltä 8,5 - 10 m

Näytteenottotapa tai otin	Häiriintymätön näyte						Häiriintynyt näyte						Ka
	Maalaji						Maalaji						
	Lj	Sa	Si	Hk	Sr	Mr	Lj	Sa	Si	Hk	Sr	Mr	
Koekuoppa													
Kierrekaira*													
Lapiokaira*													
Kannukaira													
Pienoimäntäotin*													
Läpivirtausotin													
Heijarikairan näytteenotin													
Mäntäottimet													
Porakonekaira													
-putkik.+näyt.otto													
-vesi- ja ilmahuuhtelu													
Kallionäytekairaus													
Merkinnät													
Saadaan hyviä näytteitä, suositeltava menetelmä Saadaan näytteitä, toissijainen menetelmä * Näytteenotto vaikeaa pohjavedenpinnan alpuolella karkeissa maalajeissa													

Taulukko 6.1 Näytteenottimien suositeltavuus erilaisten näytteiden ottoon (TPO-83 Talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet)

6.4.4 Koealueen maalajit

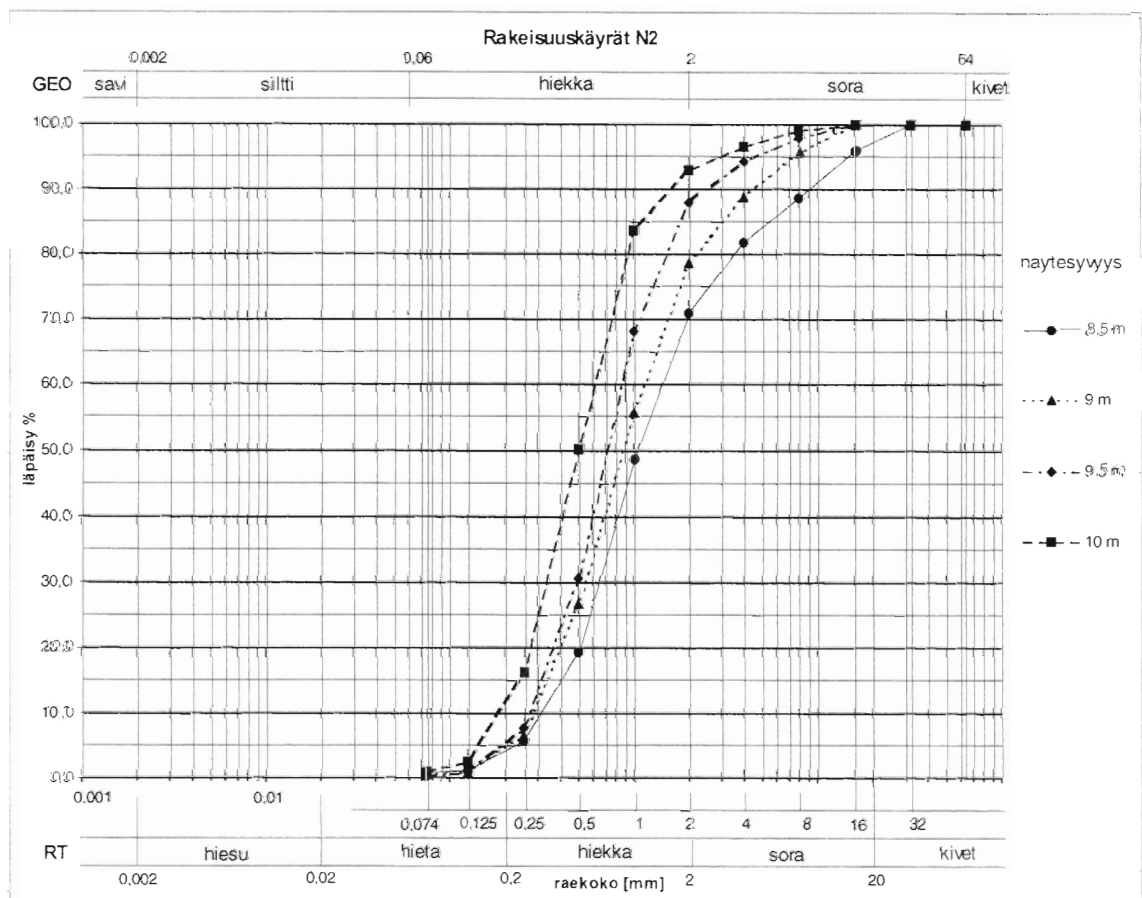
Koealueen maakerrokset koostuvat pääasiassa erilaisista hiekkakerroksista, lukuunottamatta n. syvyydellä 6 m - 8 m sijainnutta sorakerrosta. Kuvasta 6.6 voidaan havaita, kuinka eri näytepisteistä otettujen näytteiden 50%:n läpäisyä vastaavat raekoot suhtautuvat toisiinsa syvyyden funktiona. Huomataan, että alkusyvyyksillä, noin 5 m:iin asti, d50 arvot vastaavat kutakuinkin toisiaan, mutta sorakerros on näytepisteessä 1 noin metrin lähempänä pintaa kuin pisteessä 2. Lisäksi d50 raekoko sorakerroksessa syvyydellä 7,5 m on pisteessä 1 huomattavasti suurempi kuin pisteessä 2, mikä saattaa johtua siitä, että pisteessä 1 on ko. syvyydellä näyteputkelle osunut muutama suurempi kivi, joka aiheuttaa keskiraekoon kasvamisen suuremmaksi kuin pisteen 2 vastaava arvo. Syvyysakselilla olevista tyhjästä kohdista ei saatu näytettä.



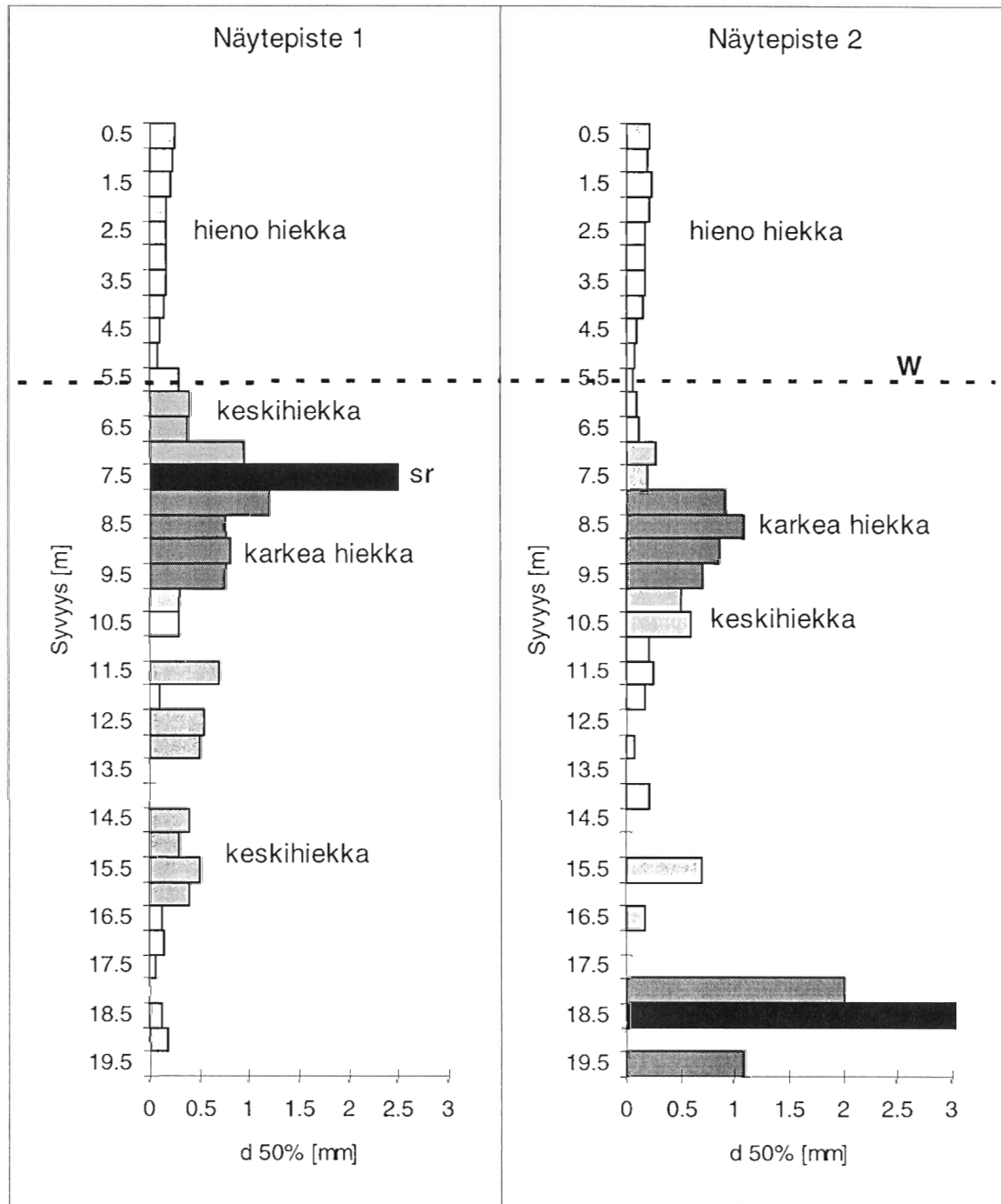
Kuva 6.3 Näytteenotto R - näytteenottoputkella



Kuva 6.4 Näytteitä näytenpusseissa



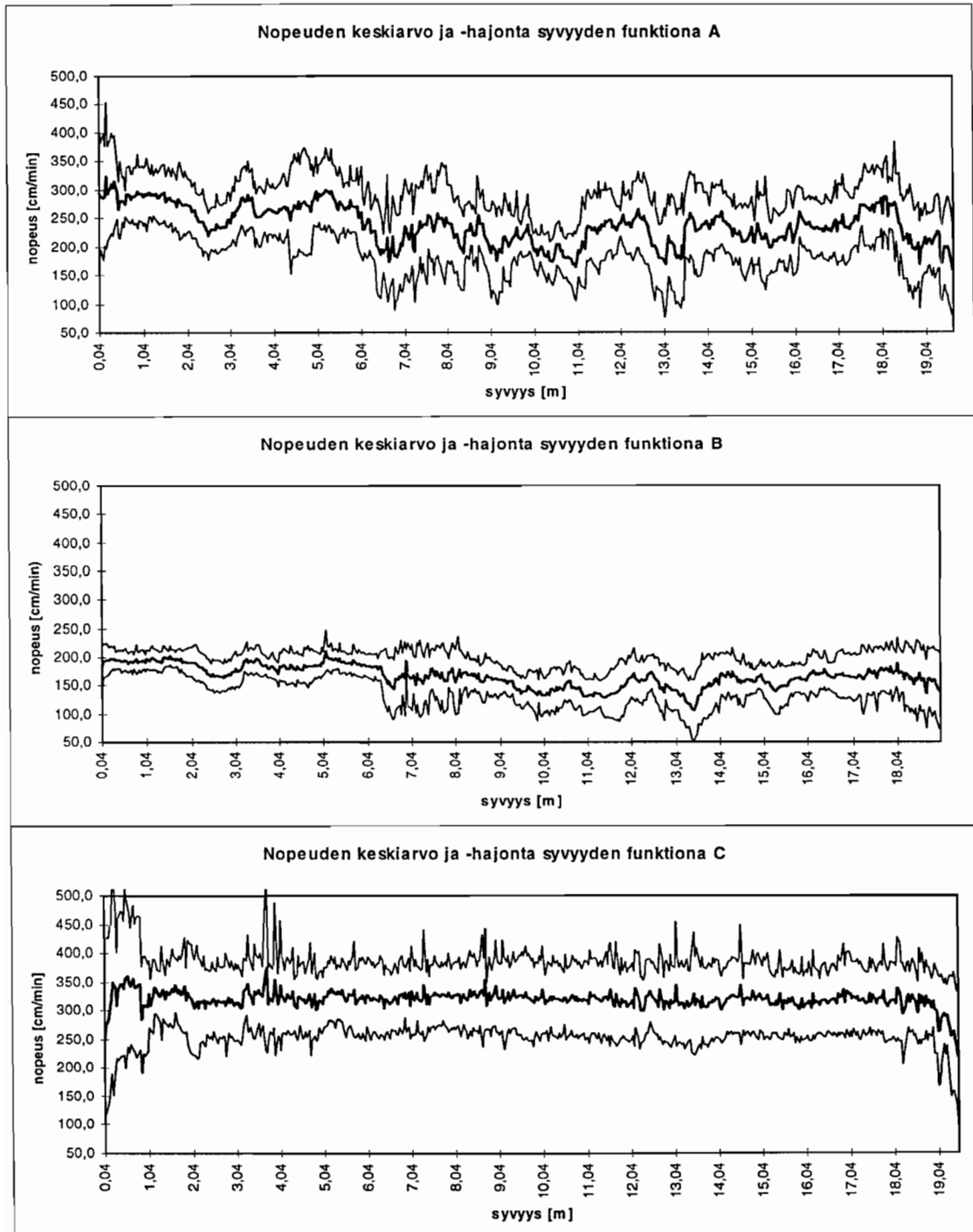
Kuva 6.5 Näytestepiteen 2 rakeisuuskäyrät syvyydeltä 8,5 m - 10 m



Kuva 6.6 Rakeisuuskäyristä määritetyt 50 %: n läpäisyä vastaavat raekoot

7. TULOSTEN TULKINTA

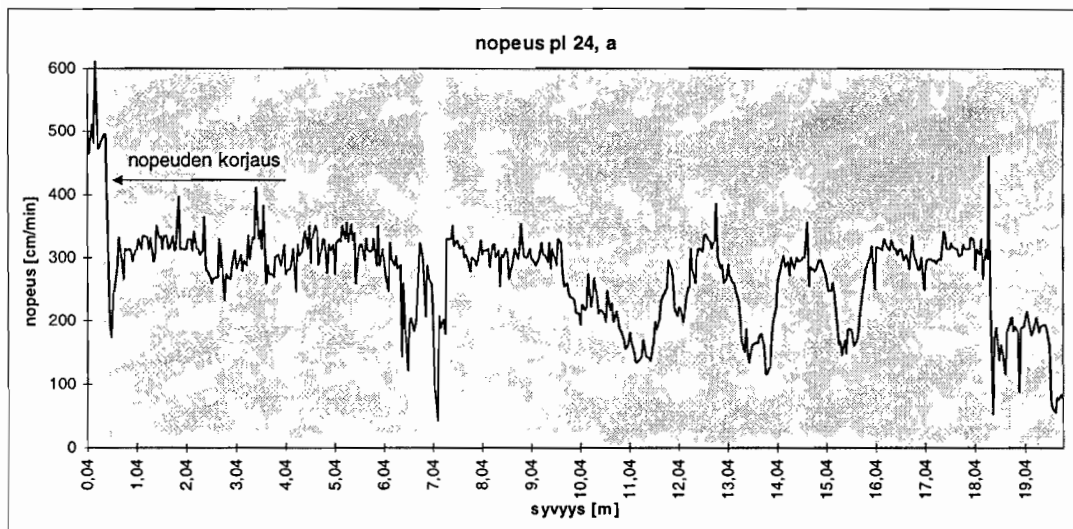
7.1 Poraustavan vaikutus rekisteröintituloksiin



Kuva 7.1 Nopeuksien keskiarvot ja keskihajonnat eri poraustyyleillä syvyyden funktiona

7.1.1 Nopeus

Kuvasta 7.1, jossa on laskettu yhdeksän A ja B poraustavoilla tehtyjen, sekä kahdeksan tavalla C tehdyn reiän nopeusrekisteröintien keskiarvot, voidaan nähdä kuinka eri poraustavat poikkeavat nopeuden osalta syvyyden funktiona. Kuvaajat on piirretty samaan skaalaan vertailujen helpottamiseksi. Kuvaajien alussa nähtävän suurehkon keskihajonnan voidaan todeta johtuvan alkukairauksen aikana tehdyistä, kairaajan suorittamista nopeuden korjauksista, vrt.kuva 7.2.



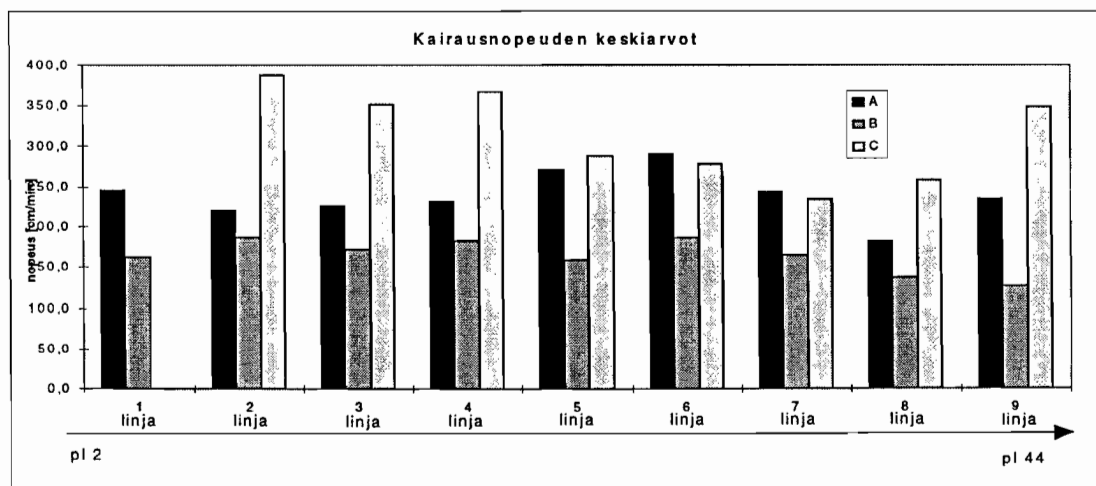
Kuva 7.2 Nopeuden korjauksen vaikutus rekisteröintitulokseen

Tavasta A, eli perinteinen porakonekairaus, voidaan todeta, että vaihtelut eri maalajien ja maan tiiveyden mukaan ovat epämääräisiä, vaikkakin soravyöhyke on havaittavissa syvyydellä n. 6,5 - 8 m. Lisäksi keskihajonta ko. tavalla on verrattain suuri, mikä johtuu siitä että iskun käyttö vaihtelevissa kohdissa kasvattaa keskihajontaa huomattavasti. Iskun käytöstä voidaan todeta lisäksi, että sen erottaminen rekisteröintituloksista on erittäin hankalaa, ellei rekisteröintituloksista nähdä milloin sitä on käytetty. Tämä aiheuttaa harhakäsityksen läpäistävänä olevan materiaalin ominaisuuksista, koska iskua käytettäessä puristusvoima pienenee ja nopeus kasvaa huomattavasti. Tämä johtaa edellisten suhteen eli maavastuksen huomattavaan pienenemiseen. Nopeuden voidaan todeta vaihtelevan tavalla A n. 50 - 400 cm/min välillä.

Poraustavasta B, eli hidas, voidaan todeta että hajonta etenemisnopeudessa on selvästi perinteistä tapaa pienempi. Nopeuden vaihteluväli on n. 0 - 250 cm/min. Nopeuden läheneminen nollaa kairauksen aikana johtuu siitä, että iskun käyttö poraustavassa B on pyritty minimoimaan. Iskua on käytetty periaatteessa vain jos poraus ei ole muuten edennyt. Lisäksi voidaan todeta, että em. karkeampi kerros on selkeämmin havaittavissa kuin poraustavassa A.

Poraustavasta C, eli isku koko ajan päällä, huomataan että ainoastaan syvyydellä n. 3,5 -5,0 m on tapahtunut jotain normaalista poikkeavaa, mikä edellisissä tyyleissä ei herätä erityistä huomiota. Käytännössä sen voisi virheellisesti tulkita karkeaksi hiekk- tai sorakerrokseksi. Sen sijaan todellinen sorakerros ei näy tapauksessa C ollenkaan, puhumattakaan muista olosuhteiden vaihtumista osoittavista tekijöistä kairauksen edetessä.

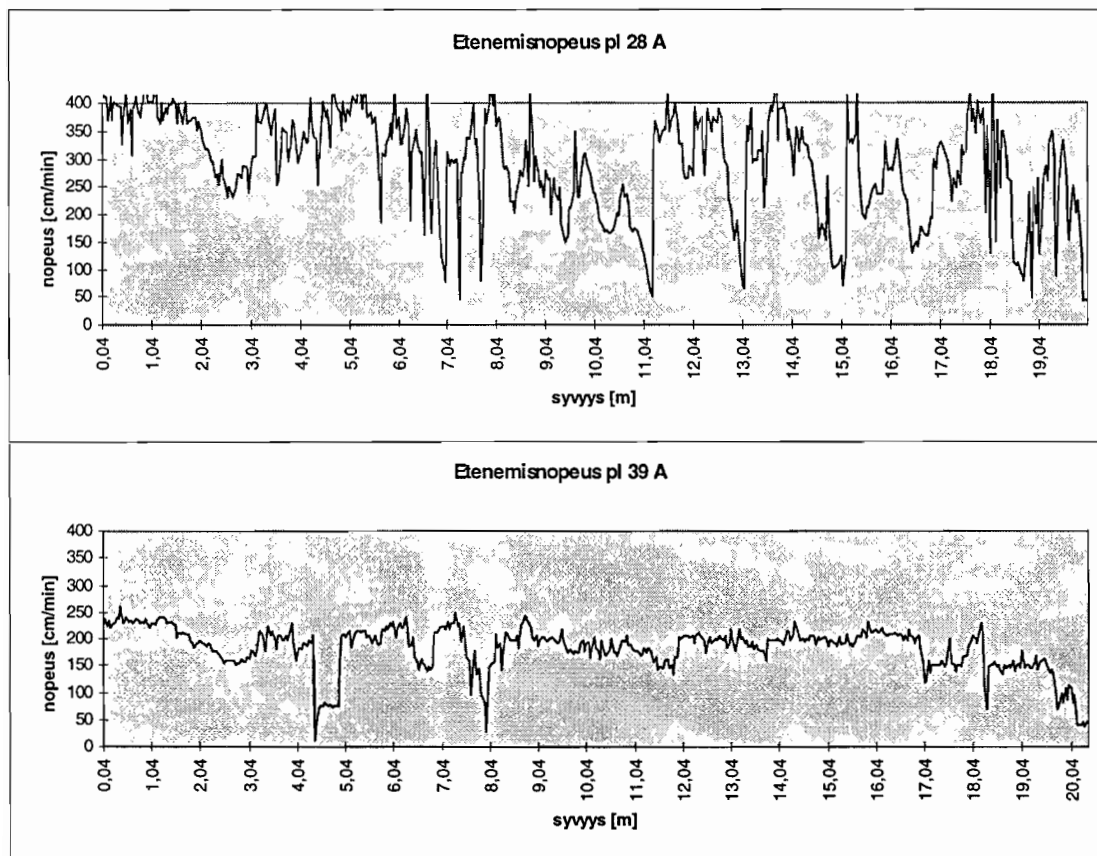
Kuvassa 7.3 on esitetty porausnopeuden keskiarvot linjoittain. Jokainen pylväs vastaa nopeuden keskiarvoa yhden kairauksen aikana. Voidaan huomata, että vaikka nopeudet eri poraustavoilla on pyritty pitämään saman suuntaisina, $C > A > B$, on nopeuksien keskiarvoissa eri tavoilla poratuissa pisteissä huomattavia eroja. Esim. tavalla A tehtyjen reikien nopeuskeskiarvoissa on miltei 100 cm/min ero suurimman ja pienimmän keskiarvon välillä, linjat 6 ja 8.



Kuva 7.3 Porausnopeuksien keskiarvot linjoittain

Kuvassa 7.4 on esitetty em. linjoilla 6 ja 8 tehtyjen porausten A nopeusrekisteröinnit. Käyrät on esitetty samalla skaalauksella. Huomataan, että kuvaajista löytyy samoja piirteitä, mutta niiden perusteella ei pysty arvioimaan maakerrosten vaihtelua. Porausukset on tehty noin neljän metrin etäisyydelle toisistaan.

Nopeuden rekisteröinnistä voidaan päätellä, että mikäli halutaan arvioida maakerrosten ominaisuuksia nopeuden avulla, on eri porauksissa käytettävien nopeuksien oltava samaa suuruusluokkaa. Lisäksi, koska iskun käyttö nostaa nopeuden yleensä lähelle porausasetusten mukaista maksimiarvoa, olisi sen käyttöä vältettävä mikäli mahdollista. Iskun käytön rekisteröinti helpottaisi tiiviiden sorakerrosten ja moreenikerrosten havainnointia rekisteröintitulosten perusteella.



Kuva 7.4 Linjojen 6 ja 8 poraustavalla A tehdyt nopeusrekisteröinnit

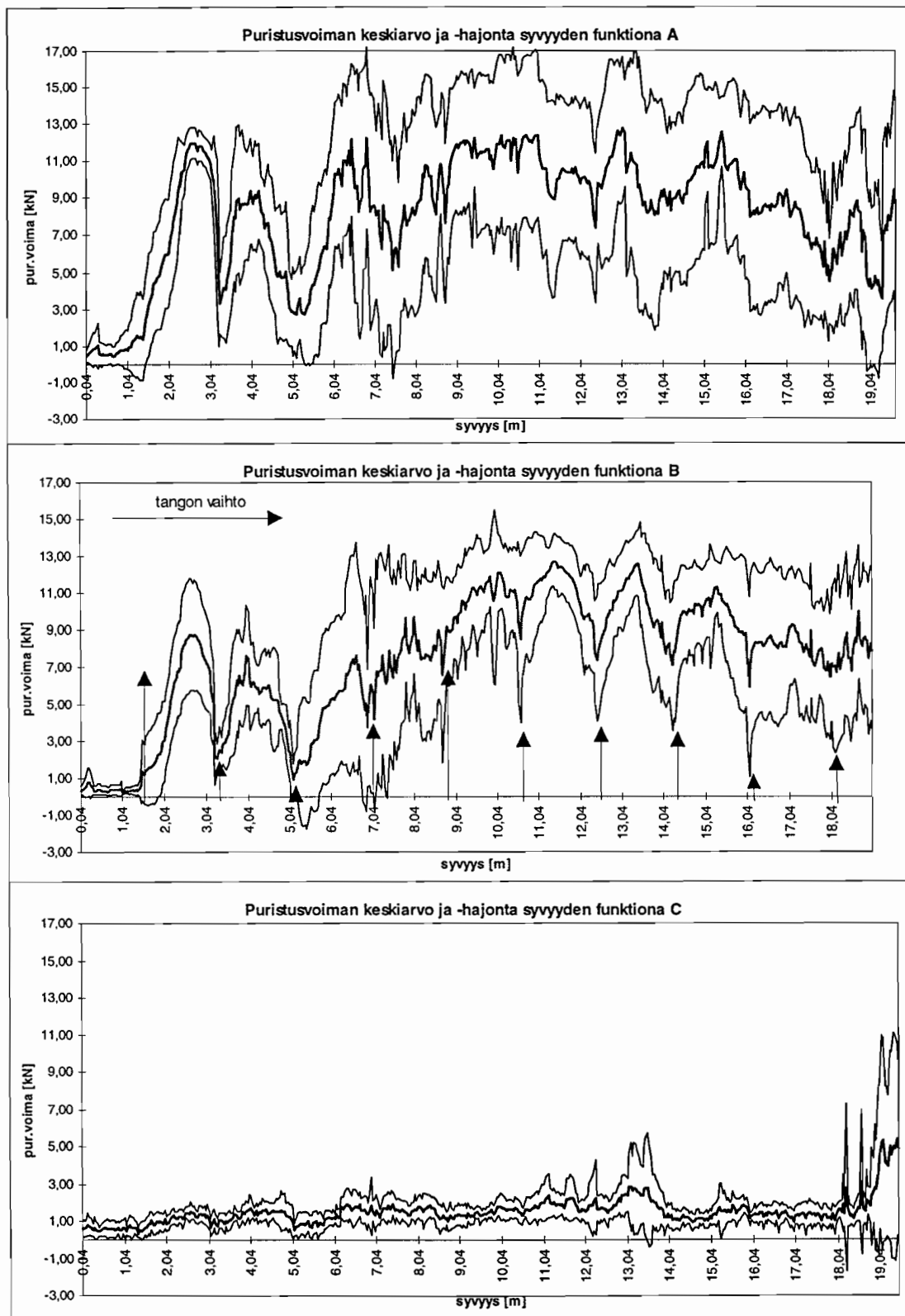
7.1.2 Puristusvoima

Taulukossa 7.1 on esitetty eri poraustavoilla käytettyjen puristusvoimien arvot. Kuva 7.5 voimme huomata että poraustavoilla A ja B ei ole puristusvoiman suhteen huomattavampaa eroa ensimmäisen viiden metrin aikana, vaikkakin tavan B keskihajonta näyttää alkusyvyyksillä olevan selvästi tavan A keskihajontaa suurempi. Poraustavasta C voidaan ensimmäisen viiden metrin matkalta todeta, että samat ”kumpareet”, jotka osoittavat maan tiivistymistä ja löyhenemistä, voidaan havaita kuten tyyeissä A ja B, mutta ei kuitenkaan yhtä selvästi. Asiaa voidaan osittain korjata skaalausta muuttamalla, kuva 7.6, mutta se tekee kuvaajasta muilta osin epäselvän.

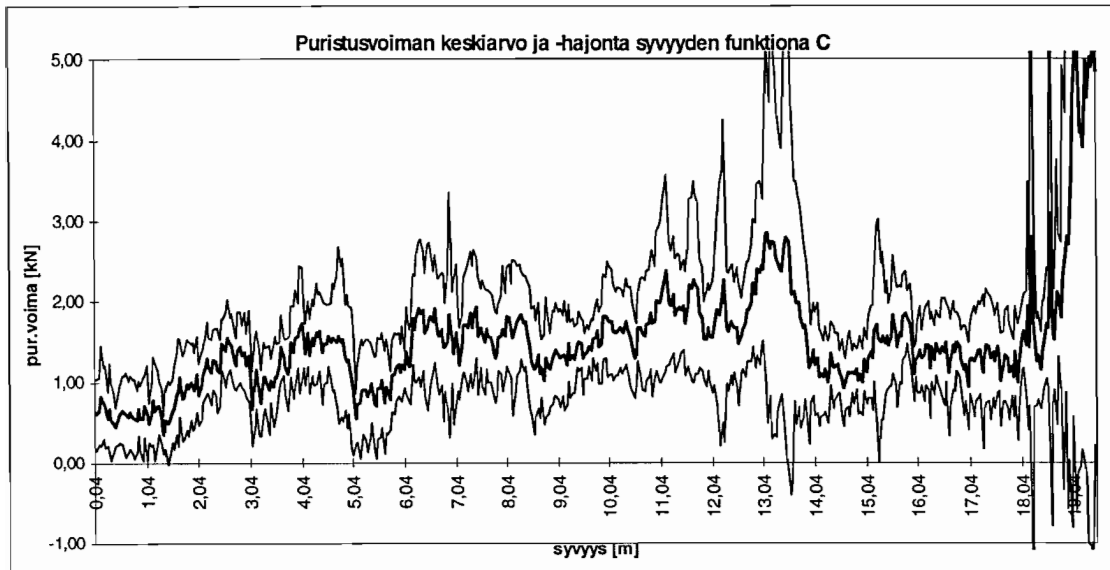
Kuvaan 7.5 on merkitty nuolilla B tyylin kuvaajaan poratankojen vaihtokohdat, joiden voidaan poikkeuksetta huomata sijoittuvan puristusvoiman keskiarvokäyrän paikallisiin minimikohtiin. Yksittäisissä porauksissa kyseistä havaintoa ei kuitenkaan voida todeta.

Säädetty maksimipuristusvoima ennen porausta [kN]					
Piste no.	A	Piste no.	B	Piste no.	C
2	13,6	3	12,6	4	
9	13,5	7	12,4	8	13,6
13	13	14	12,5	12	13,5
17	13,6	18	12,5	19	13
24	12,5	22	12	23	12,5
28	13,5	29	12	27	13,8
32	14	33	13	34	14
39	13,4	37	12	38	13,6
43	13,2	44	12,5	42	14,4
Keskiarvo	13,4		12,4		13,6

Taulukko 7.1 Eri poraustavoilla käytettyjen puristusvoimien arvot



Kuva 7.5 Puristusvoiman keskiarvo ja -hajonta syvyyden funktiona eri poraustavoilla

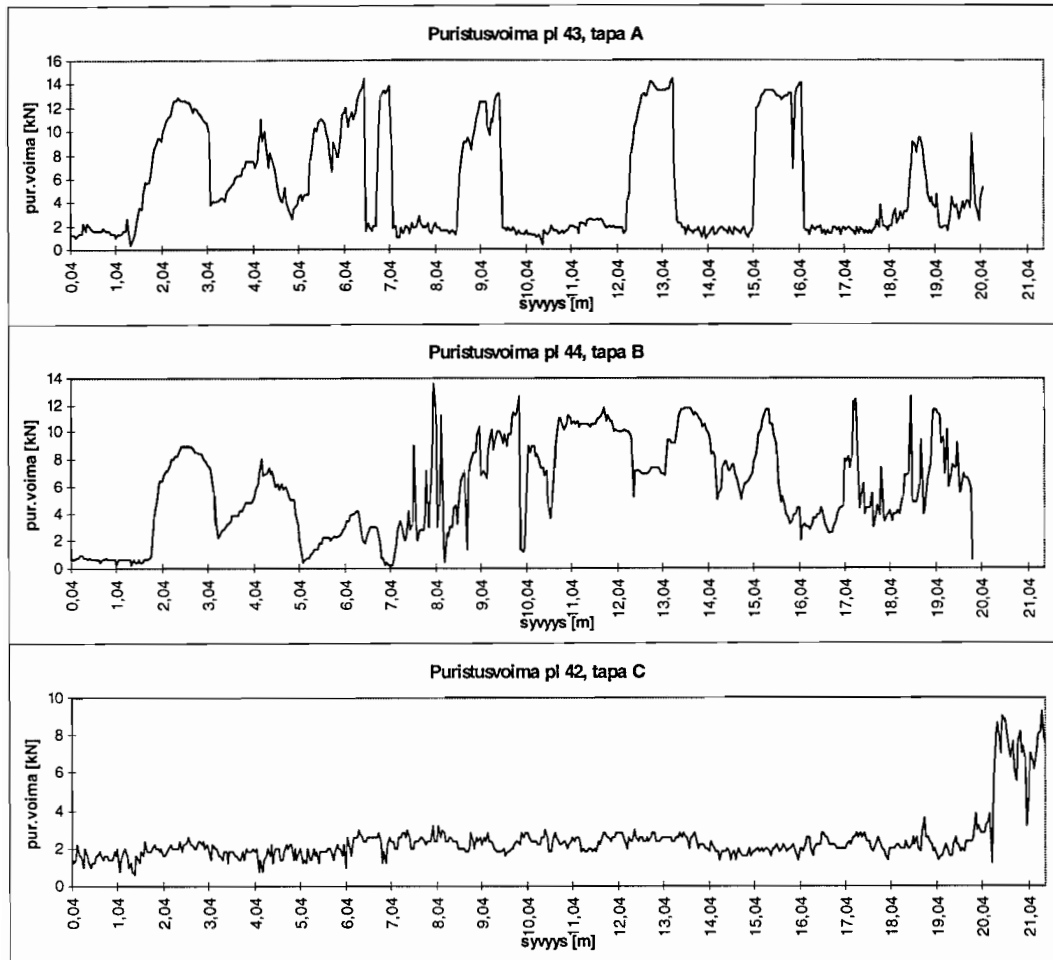


Kuva 7.6 Sama kuin kuva 7.5 tyyli C, mutta eri skaalauksella

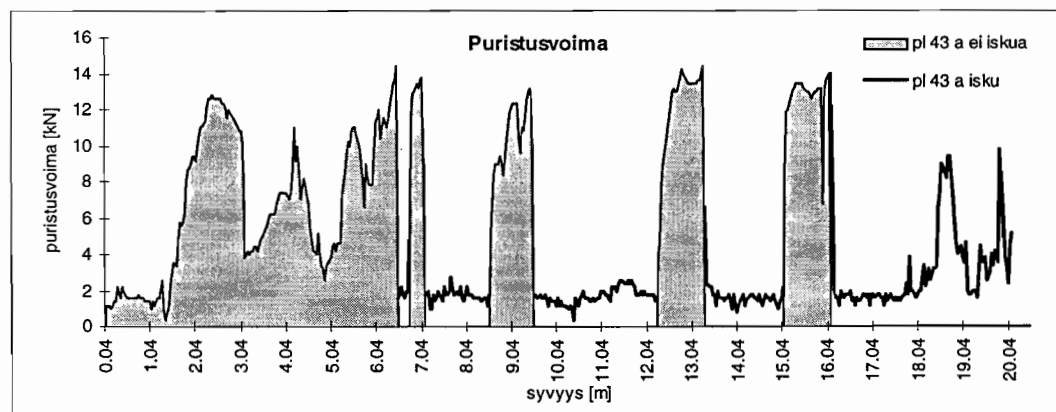
Kuvassa 7.7 on esitetty eri linjan 9 eri poraustavoilla tehtyjen reikien puristusvoimarekisteröinnit. Pisteet sijaitsevat linjalla kahden metrin välein, eli koko linjan pituus on neljä metriä.

Sorakerros syvyydellä n. 7 - 8,5 m voidaan selkeästi todeta tavan B kuvaajasta puristusvoiman tiheänä ja määrältään suurena vaihteluna, kun taas poraustavassa A isku on kytketty päälle syvyydellä 7,05 m ja pois syvyydellä 8,54 m, jolloin tieto sorakerroksen olemassaolosta jää rekisteröintituloksen perusteella saamatta. Poraustavan C kuvaajasta voidaan todeta, kuinka iskun jatkuva käyttö pitää puristusvoiman alhaisena aina pohjamineenin tai rikkonaisen kalliopinnan vastaan tulon asti 20 m:n jälkeen. Tällöin rekisteröintituloksen informaatioarvo jää erittäin alhaiseksi. Kuvassa 7.8 on esitetty iskun käytön vaikutus puristusvoimatuloksiin. Nähdään selkeästi, kuinka oleellinen tieto geoteknisistä olosuhteista häviää iskua käytettäessä.

Kaiken kaikkiaan voidaan pelkän puristusvoiman avulla todeta saatavan vain vähän olellista tietoa maakerrosten ominaisuuksista suunnittelijan kannalta, jos eri kairaajien soveltamat poraustavat poikkeavat huomattavasti toisistaan ja mikäli iskun käyttöä ei rekisteröidä porauksen aikana.



Kuva 7.7 Eri poraustapojen puristusvoimarekisteröinnit linjalla 9



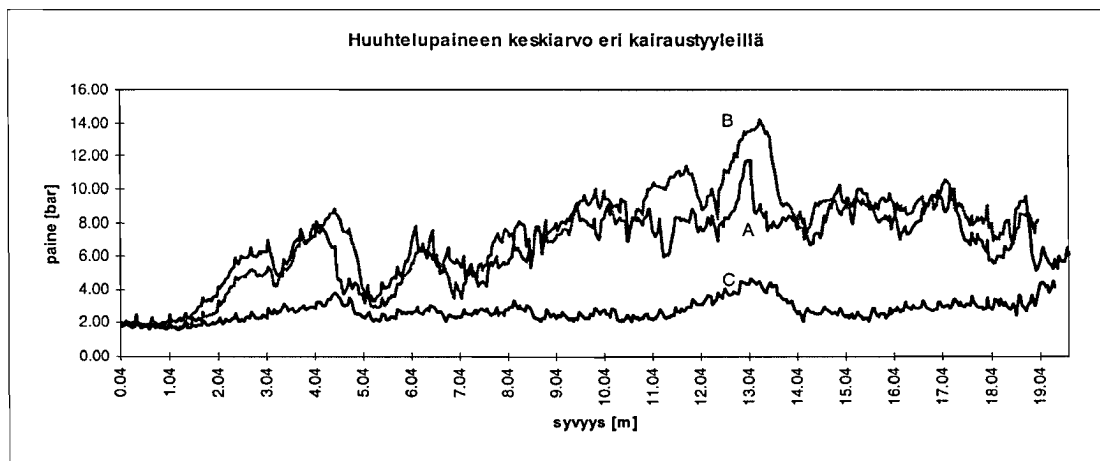
Kuva 7.8 Iskun käytön vaikutus puristusvoimaan

7.1.3 Huuhtelupaine

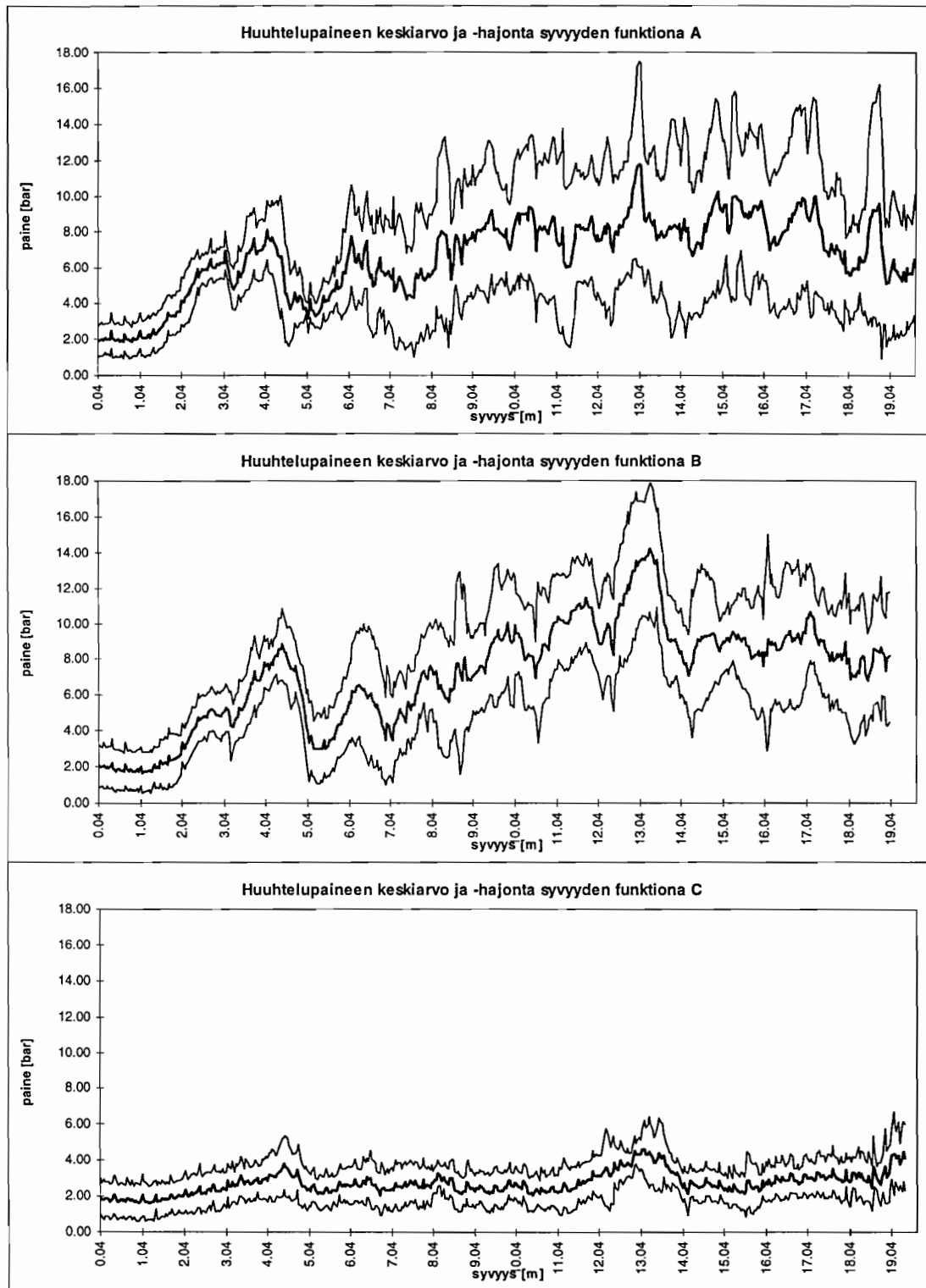
Kuvassa 7.9 on esitetty eri poraustyylien aikana rekisteröityjen huuhteluvedenpainoiden keskiarvot. Voidaan huomata, että iskun käyttö porauksen aikana pienentää myös huuhtelupainetta, mikä näkyy myös tyyliissä A huuhtelupaineen suurempana hajontana, kuva 7.10 .

Pohjaveden pinta oli koealueella syvyydellä noin 5,2 m. Ko. syvyyden jälkeen voidaan huomata huuhtelupaineen keskihajonnan selvästi kasvavan, kuva 7.10, lukuunottamatta tyyliä C, jossa keskihajonta pysyy saman suuruisena koko reiän syvyydeltä. Tyyliissä B on myös huuhtelupaineen keskiarvon osalta havaittavissa paikalliset minimiit samoilla kohdin kuin puristusvoimassakin.

Kokonaisuudessaan huuhtelupaineesta saa maalajien osalta vähemmän informaatiota kuin muista rekisteröitävistä parametreista. Tämä johtuu siitä, että huuhtelupaine ei ole niinkään riippuvainen maalajista vaan maan reijän ja porauskaluston huuhtelukalvanien aukipysymisestä.

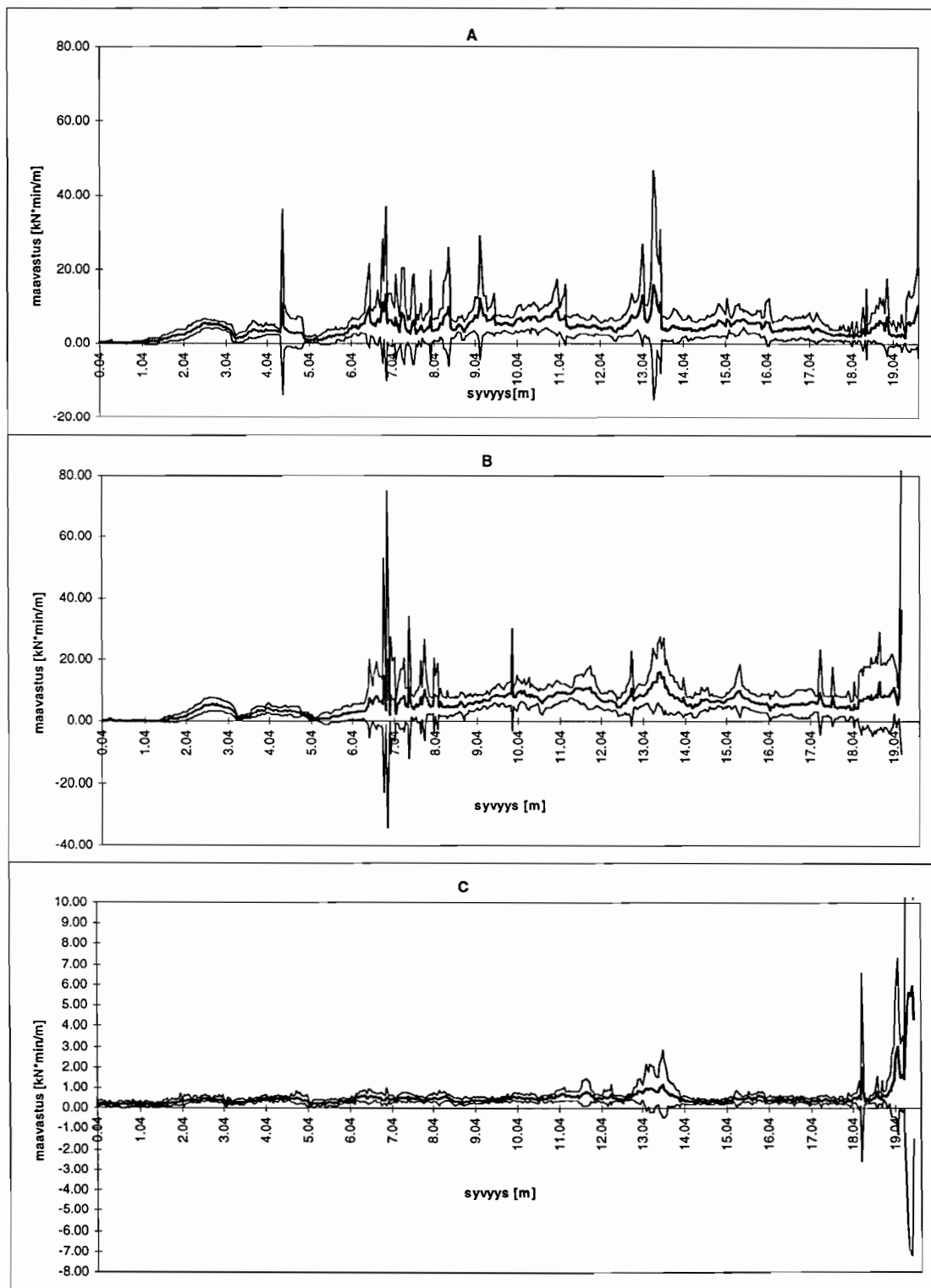


Kuva 7.9 Huuhtelupaineiden keskiarvo eri poraustyyleillä



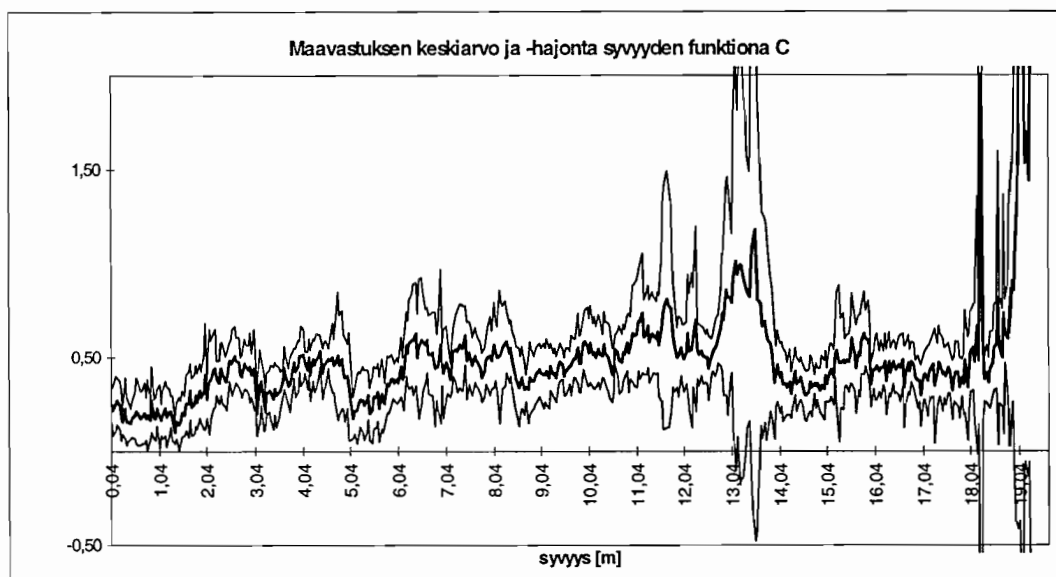
Kuva 7.10 Huuhtelupaineen keskiarvo ja -hajonta syvyyden funktiona eri poraustyy-
leillä

7.1.4 Maavastus



Kuva 7.11 Maavastuksen keskiarvo ja -hajonta syvyyden funktiona eri poraustavoilla

Maavastus on kaikkein käyttökelpoisin rekisteröitävistä parametrista johdettava suure, koska siihen vaikuttavat sekä puristusvoiman että nopeuden muutokset. Kuvassa 7.11 on esitetty eri poraustapojen puristusvoima- ja nopeusrekisteröinneistä johdettujen maavastusten keskiarvot ja -hajonnat. Voidaan todeta että tapauksissa A ja B maavastusten keskiarvo ja -hajontakuvaajista on löydettävissä samat maakerrosten vaihtelua osoittavat tekijät. Suurempi keskihajonta syvyydellä n. 6.5 - 8 m johtuu sorakerroksesta, joka jää jälleen tapauksessa C huomioimatta, huolimatta skaalauksen muutoksesta, kuva 7.12. Maavastuksen arvoista eri poraustavoilla voidaan todeta, että tapauksissa A ja B keskiarvo vaihtelee n. 0 - 20 [kN*min/m] välillä, kun taas tavalla C tehtyjen porausten maavastuskeskiarvo on syvimpiä osia lukuun ottamatta jatkuvasti alle 1,5 [100 kN*min/cm].

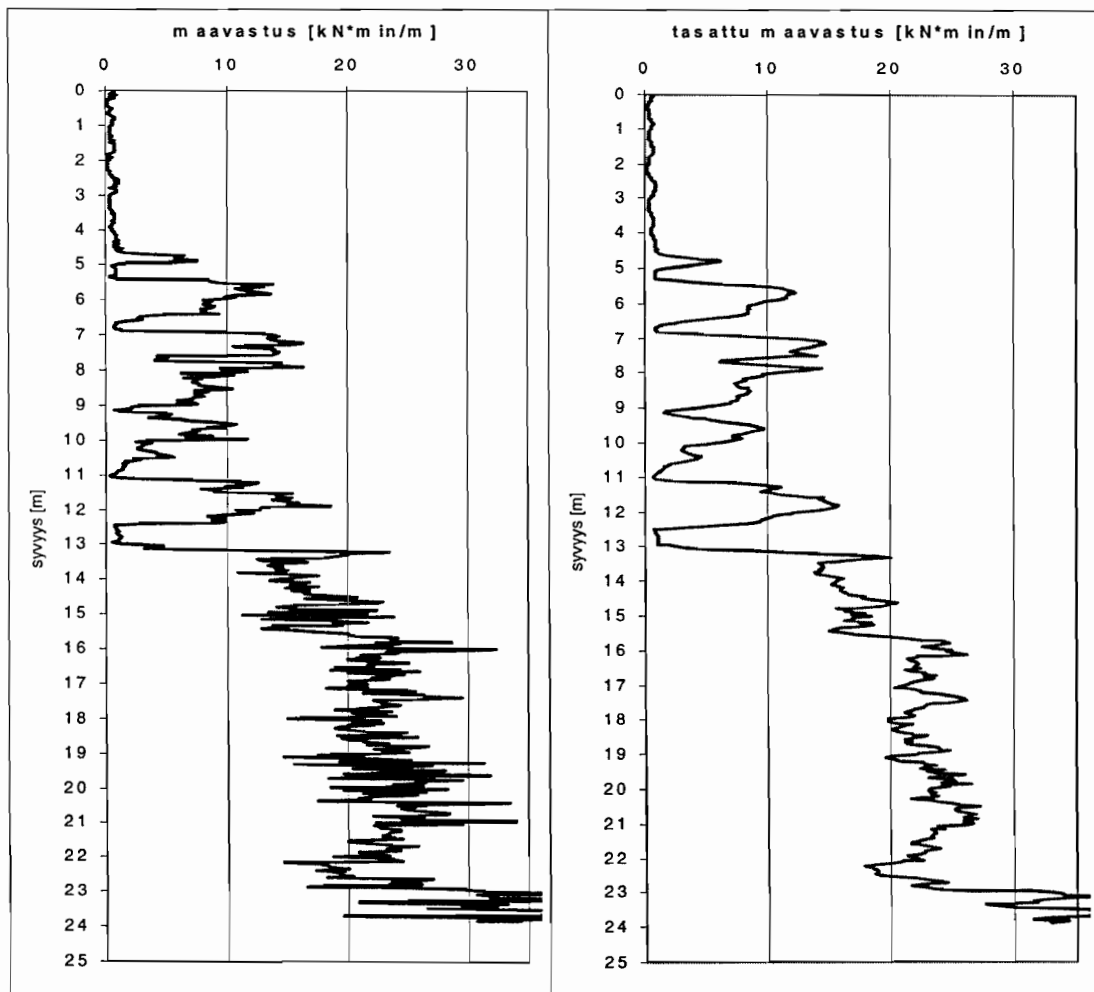


Kuva 7.11 Sama kuin 7.10 C, mutta eri skaalauksella

Maavastuksen arvoista käytetään usein ns. tasattua maavastusta, joka on viiden peräkkäisen arvon keskiarvo. Tällöin, varsinkin leikkauspiirustuksissa, saadaan diagrammeista selkeämmin luettavia, koska käyrä muodostuu tasaisemmaksi. Maavastuksen tasaaminen ei keskiarvon laskemisesta huolimatta poista kokonaan käyrän ulkomuodosta saatavaa tietoa, mikä tekee sen käytön mahdolliseksi. Kallioporausten tulokinnassa tasatun maavastuksen käyttöä tulisi välttää, mikäli halutaan tietoa kalliora-

oista, koska tasatun maavastuksen käyttö saattaa poistaa rakoa osoittavan paikallisen minimikohdan kalliovastuksen rekisteröintituloksesta.

Kuvassa 7.12 on esitetty maavastuksen tasauksen vaikutus tiiviiseen kitkamaahan ja kallioon tehdyn porauksen rekisteröintituloksiin. Poraus on suoritettu suurta puristusvoimaa käyttäen, mikä voidaan todeta maavastuksen kohoamisesta yli 20 kN*min/m. Kuvasta on huomioitava myös käytetty skaalaus, sillä mikäli halutaan tutkia reiän alkupään hiekkakerrosten ominaisuuksia on skaalausta muutettava huomattavasti pienemmäksi.



Kuva 7.12 . Esimerkki tiiviiseen kitkamaahan ja kallioon poratun rekisteröintituloksen maavastuksesta ja tasatusta maavastuksesta. (Vuosaaren B-voimala ,vrt. kohta 8.1)

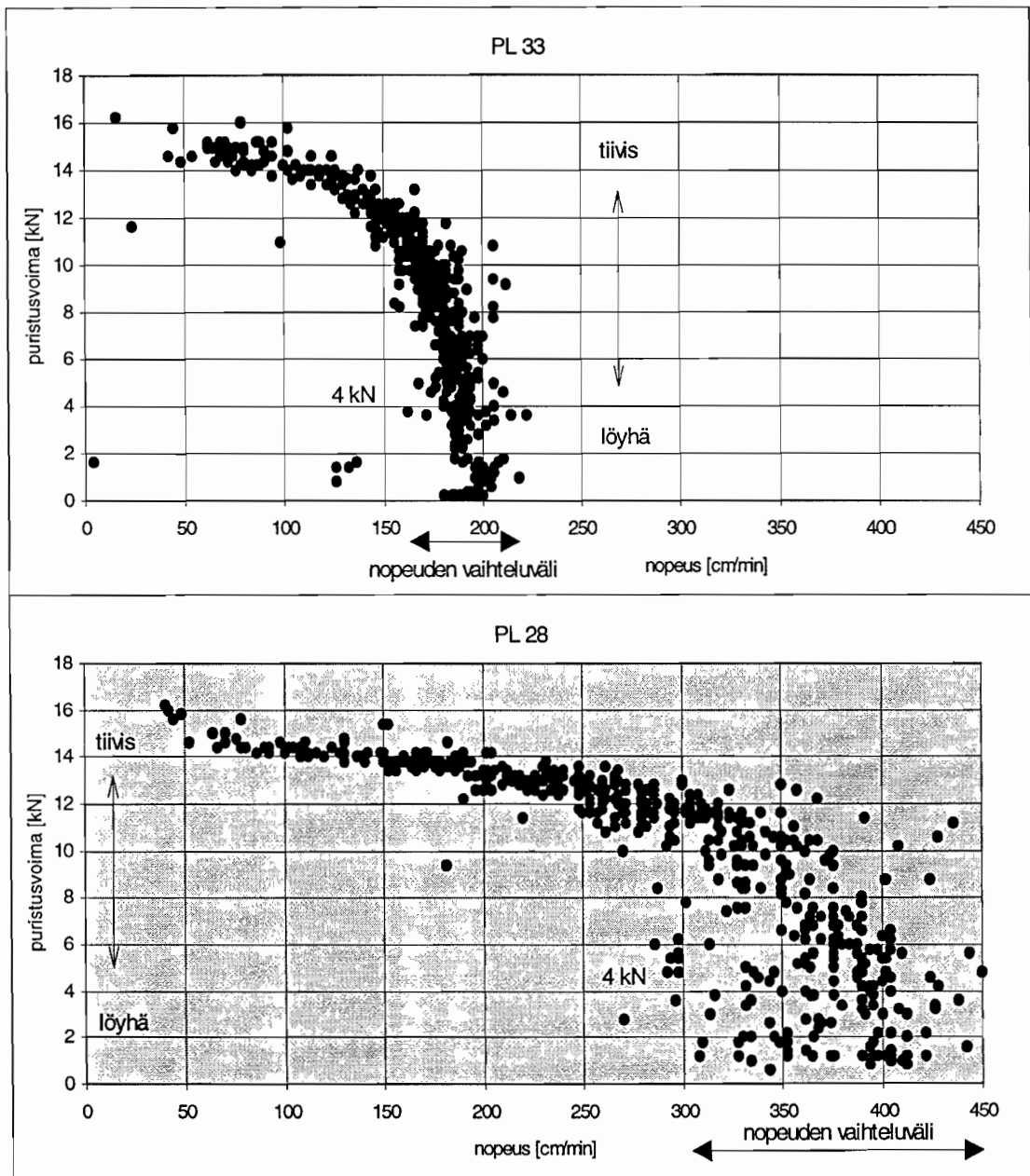
7.1.5 Puristusvoiman ja porausnopeuden vastaavuus porauksen aikana

Jotta puristusvoiman ja porausnopeuden, sekä niiden suhteen, maavastuksen, avulla voitaisiin tehdä johtopäätöksiä maaperän olosuhteista, on tiedettävä onko kyseisillä parametreilla yhteyttä toisiinsa. Ts. on tiedettävä miten puristusvoiman muutokset vaikuttavat porausnopeuteen ja päinvastoin. Toisaalta on tärkeää tiedostaa miten poraustavan muutoksilla voidaan vaikuttaa tulosten vastaavuuteen toisiinsa nähden.

Maksimietenemisnopeudella tarkoitetaan sitä nopeutta, jolla poraus etenee, kun porausvastusta ei ole. Maksimipuristusvoimalla tarkoitetaan arvoa, jonka puristusvoima saavuttaa, kun etenemisnopeus porauksen aikana lähenee nollaa. Tiedetään, että puristusvoimaa kasvattamalla voidaan kasvattaa myös etenemisnopeutta. On kuitenkin otettava huomioon, että kun nopeus ja puristusvoima säädetään ennen porausta, ne ovat erillisiä tapahtumia. Puristusvoima säädettiin koeporauksissa ennen nopeuden määrittämistä jolloin huolimatta maksimipuristusvoiman arvosta poraus ei etene säädettyä etenemisnopeuden maksimiarvoa nopeammin. Sen sijaan maksimipuristusvoiman muutos porauksen aikana vaikuttaa myös etenemisnopeuteen, mikä aiheuttaa ongelmia tulosten tulkinnessa, mikäli ei tiedetä, että puristusvoimaa on säädetty kesken porauksen.

Vuosaaren koekentällä eri porausten säädetty maksimipuristusvoimien arvot olivat lähellä toisiaan. Sen sijaan porausnopeuksien vaihtelu oli suurempaa. Kuvassa 7.13 on esitetty kahden eri nopeuksisen porauksen nopeus - puristusvoima pistejoukko. Kuvasta nähdään, miten nopeus ja puristusvoima muuttuvat porauksen aikana. Ylemmän kuvan porauksessa nopeuden maksimiarvo on asetettu n. 220 cm/min ja alemman n. 450 cm/min. Huomataan, että kun nopeuden arvot lähenivät nollaa, niin puristusvoiman arvot lähenivät asetettua maksimiarvoa, joka tässä tapauksessa on n. 16 kN. Lisäksi voidaan todeta, että alemmassa kuvassa esim. puristusvoimalla 4 kN porattaessa nopeus voi vaihdella välillä n. 300 - 450 cm/min:ssa, kun taas ylemmässä kuvassa nopeuden vaihteluväli samalla puristusvoimalla on 170 -220 cm/min:ssa. Ts. vaihteluvälit em. tapauksissa ovat 150 ja 50 cm/min. Ideaalitapauksessa vaihteluväli

olisi nolla ja yhtä puristusvoiman arvoa vastaisi yksi nopeuden arvo. Menetelmän karkeudesta johtuen tähän ei kuitenkaan voida päästä, mutta valitsemalla oikea nopeus ja puristusvoima voidaan tulosten hajontaa pienentää.



Kuva 7.13 Eri nopeuksilla tehtyjen porausten nopeus - puristusvoima kuviot

Kuvassa 7.14 on esitetty miten eri poraustavoilla suoritettujen porausten puristusvoimat ja porausnopeudet suhtautuvat toisiinsa. Kuva 7.14 a esittää poraustapaa A, 7.14 b poraustapaa B ja 7.14 c poraustapaa C.

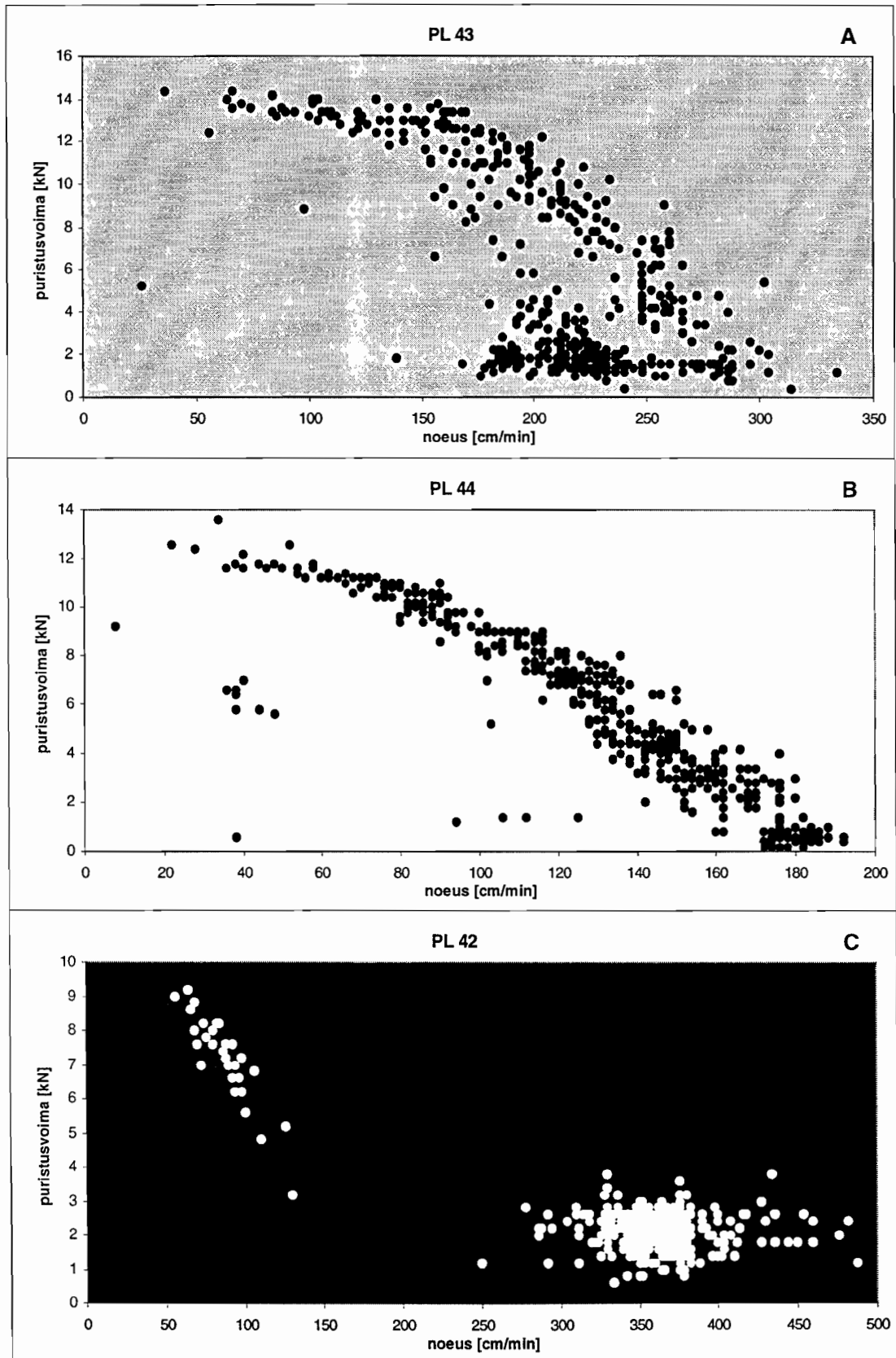
Huomataan, että poraustavalla C, eli isku jatkuvasti päällä, nopeuden ja puristusvoiman muutokset ovat pieniä riippumatta vallitsevista olosuhteista. Ainoastaan lähestyttäessä kallionpintaa, jolloin puristusvoima kasvaa ja nopeus pienenee voidaan havaita rekisteröintiparametrien muutoksilla yhteyttä toisiinsa.

Kuvasta 7.14 a voidaan todeta että poraus nopeuden ja puristusvoiman välillä on havaittavissa selvä yhteys, mutta suuri porausnopeus ja iskun tarpeeton käyttö lisäävät hajontaa ja siten vähentävät puristusvoiman ja nopeuden vastaavuutta.

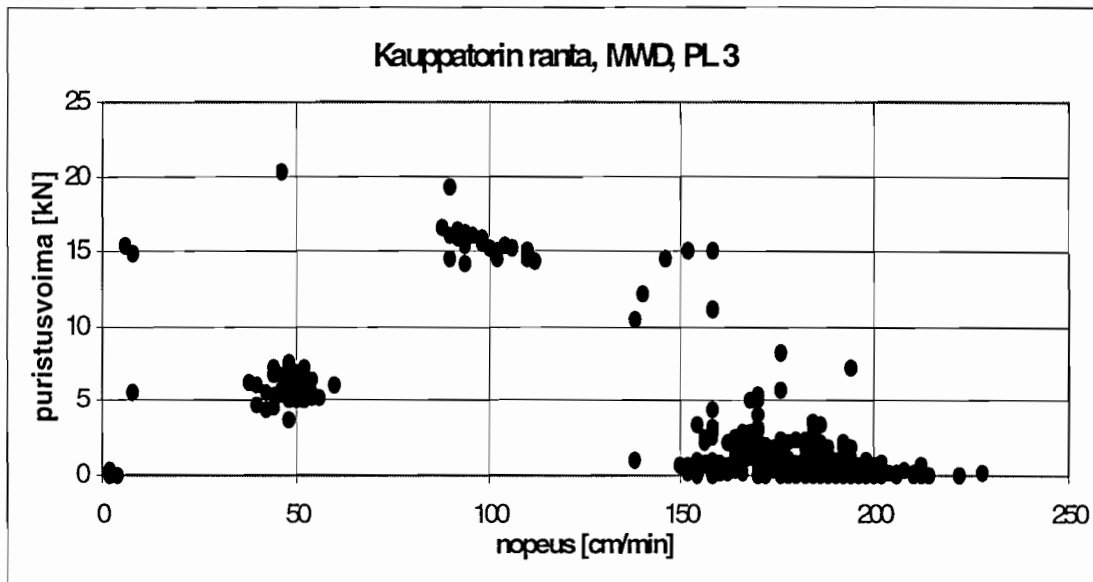
Kuvasta 7.14 b havaitaan että kyseisissä olosuhteissa maksiminopeuden ollessa n 200 cm/min ja iskun käytön minimoinnilla on mahdollista vähentää tulosten hajontaa ja lisätä yhteyttä puristusvoiman ja nopeuden muutosten välillä, joka puolestaan lisää luotettavuutta maavastusarvojen tarkastelussa.

Oikean poraustavan määrittäminen ei kuitenkaan ole näin yksinkertaista. Tässä tutkimuksessa koeporaukset tehtiin suurimmalta osin tiiviiseen kitkamaahan, jolloin tuloksiakin olisi syytä soveltaa vain kitkamaissa suoritettuihin porauksiin.

Kauppatorin rannassa suoritetuissa MWD-porauksissa käytettiin kitkamaihin soveltuvia puristusvoiman ja nopeuden arvoja. Kuvassa 7.15 on esitetty Kauppatorin rannassa suoritetusta MWD-porauksesta tehty nopeus - puristusvoima kuvio. Porauksen alkupäässä on käytetty vaihtelevasti iskua täyte- ja sorakerroksen läpäisemiseen. Suuri osa porauksesta on edennyt siltti- tai savikerroksissa.



Kuva 7.14 Poraustavan vaikutus puristusvoiman ja porausnopeuden väliseen yhteyteen Vuosaaren koekentällä

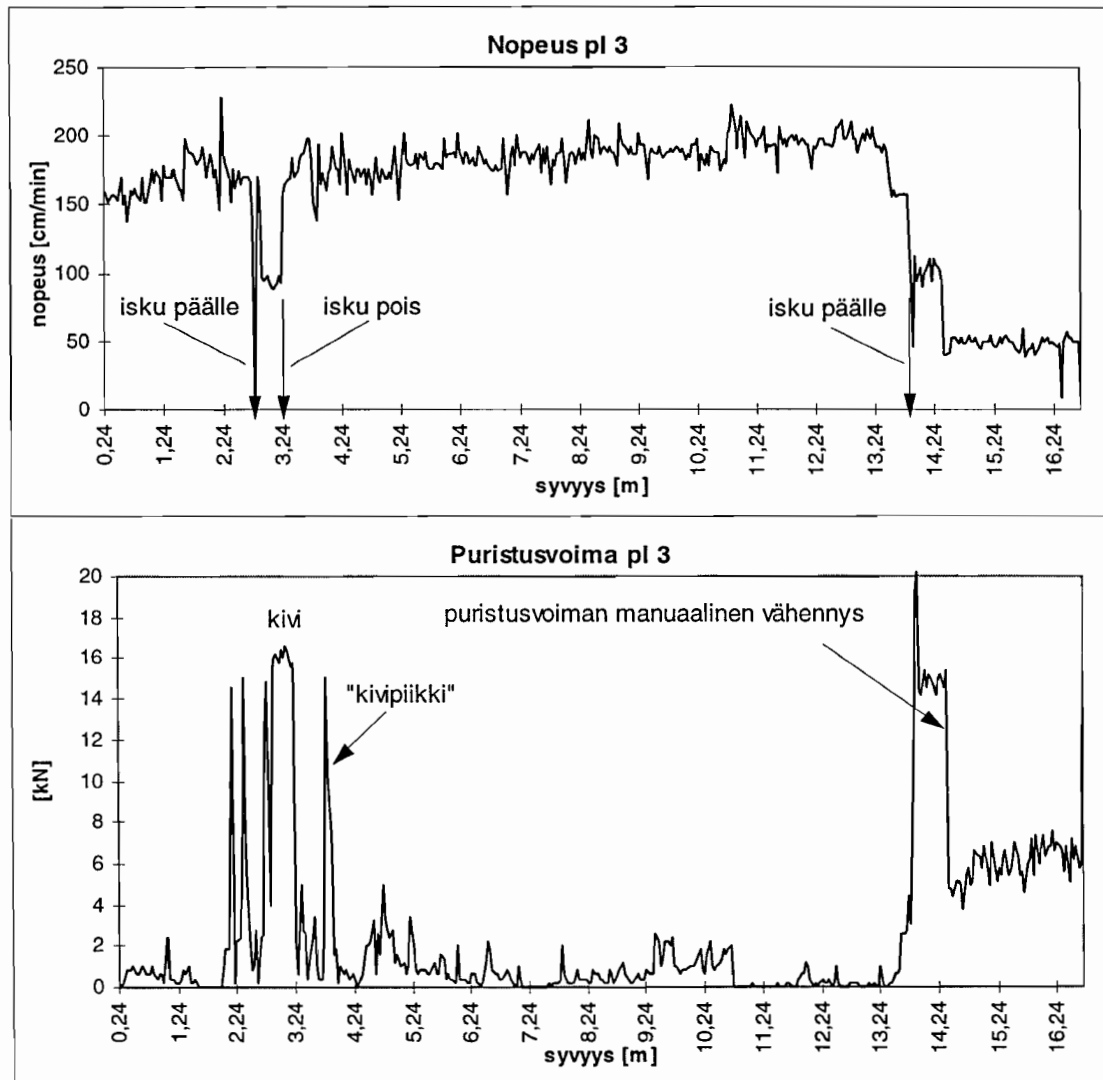


Kuva 7.15 Kauppatorin rannassa tehdyn MWD-porakonekairauksen nopeus-puristusvoimakuvio

Huomataan, että nopeus - puristusvoima-arvot ovat keskittyneet tietylle alueelle huomattavan samaan tapaan kuin iskua käytettäessä kitkamaissa, kuva 7.14 c, vaikka nopeus on ollut alhainen. Siitä voidaan päätellä, että mikäli nopeuden muutosten perusteella olisi haluttu tehdä havaintoja siltti ja savikerroksissa, olisi pitänyt käyttää huomattavasti suurempaa nopeutta, jotta pehmeät kerrokset olisivat aiheuttaneet tarpeeksi vastusta etenemiselle. Toisaalta nyt voidaan havaita, että nopeus on pysynyt pitkälti tasaisena ja havaintoja voidaan tehdä sen perusteella, kuinka suurta puristusvoimaa nopeuden ylläpitäminen on vaatinut, kuva 7.16. Puristusvoiman kuvaajasta voidaan lisäksi todeta, että puristusvoiman 0-asetus on säädetty väärin, koska se on negatiivinen esim. syvyydellä n. 1,5 - 2,0 m.

Syvyydellä n. 2,7 - 3,2 m on porattu kiven läpi iskua käyttäen. Kiven läpi poraus voidaan todeta suuresta puristusvoimasta ja alhaisesta etenemisnopeudesta sekä iskun käytöstä, joka rekisteröitiin porauspäiväkirjaan käsin.

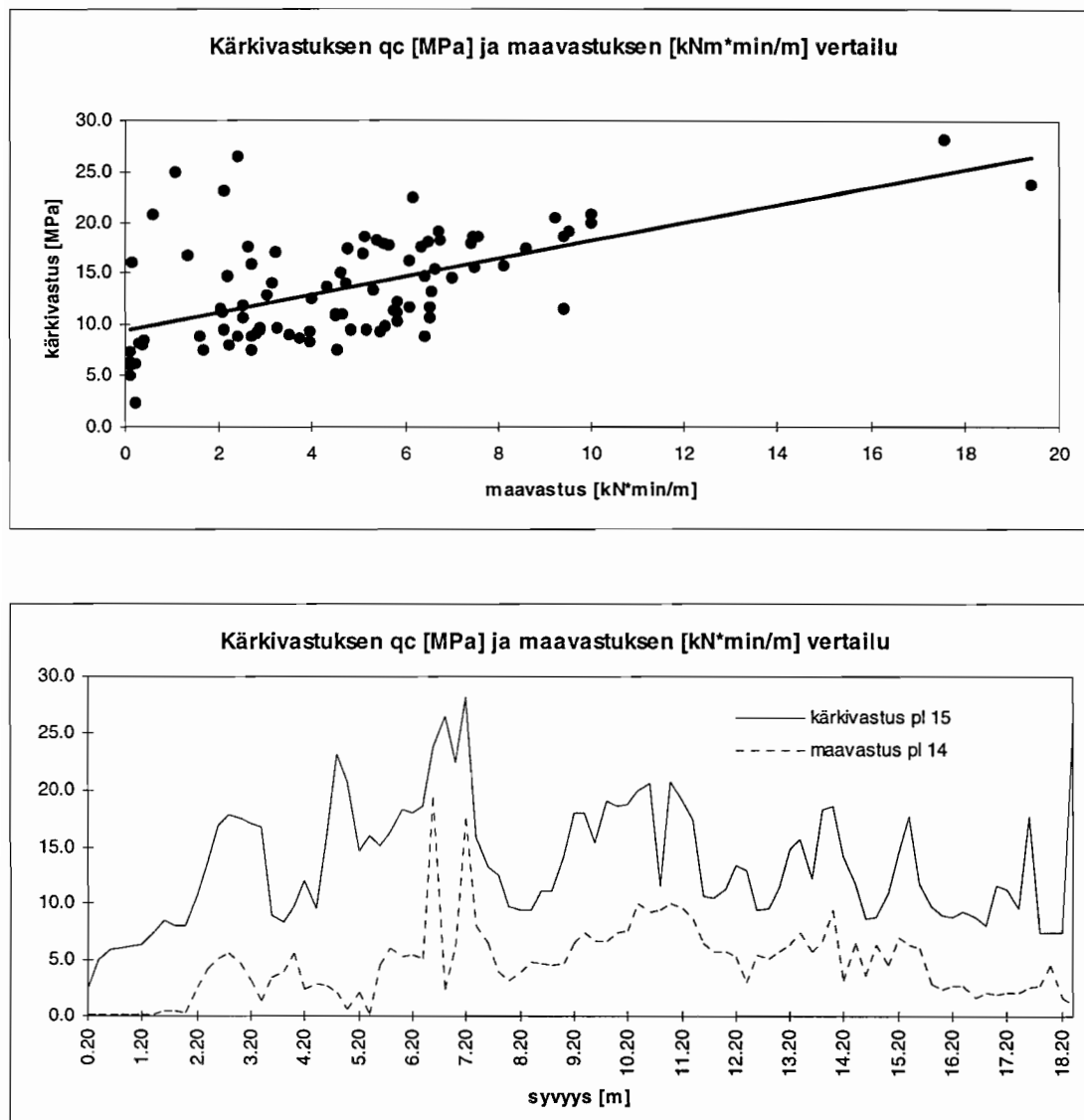
Syvyydellä n. 13,7 m on saavutettu kallio, mikä huomataan puristusvoiman kasvamisena ja nopeuden laskemisena. Tästä noin 0,6 m:n päässä on puristusvoimaa pienennetty manuaalisesti, mikä johtaa myös nopeuden laskemiseen.



Kuva 7.16 Kauppaporin rantaan tehdyn MWD-porakonekairauksen nopeus- ja puristusvoimarekisteröinnit

Lievä lineaarinen kasvaminen etenemisnopeudessa saattaa johtua tankojen lisäyksen aiheuttamasta kasvaneesta painosta. Puristusvoimassa tankojen lisäys on havaittavissa puristusvoiman pienenemisenä. Tuloksissa esiintyvää lineaarista käyntiä on esitetty kappaleen 8. esimerkissä Pasila - Sörnäinen kaukolämpötunneli.

7.2 Maavastuksen ja puristin-heijarikairauksella määritetyn kärkivastuksen vertailu



Kuva 7.17 Kärkivastuksen ja maavastuksen vertailu

Kuvassa 7.17 on esitetty Vuosaaren koekentällä tehdystä puristin-heijarikairauksesta määritetty kärkivastus ja porakonekairauksista määritetty maavastus syvyyden funktiona (alempi), sekä maavastus - kärkivastuskuviona. Kuvat muodostuvat rekisteröintituloksista 20 cm: n välein, eli joka viides rekisteröinti-arvo on näkyvyssä, koska momentin rekisteröinti puristin-heijarikairauksen heijaroitivaiheessa tapahtuu 20 cm: n välein, mikä johtuu menetelmän luonteesta (iskujen lkm./20 cm), jolloin 20

cm:n matkalle tulee vain yksi momentin arvo. Kuvista voidaan saada kuitenkin karkea käsitys siitä kuinka hyvin maavastuksen ja kärkivastuksen arvoja voidaan verrata toisiinsa. On todettava, että kyseessä on ideaalitapaus, jossa MWD-poraus ja PH-kairaus on tehty metrin päähän toisistaan samalla työkoneella ja saman kairajan toimesta ja lisäksi rakentamattomaan luonnonmaahan, jolloin kairauspisteiden välimatkasta horisontaalisuunnassa aiheutuva muutos maakerrosten sijainnille vertikaalisuunnassa on olematon. Puristin-heijarikairauksen kärkivastuksen muutokset kuvaavat maan lujuusvaihtelua, joka riippuu maalajista ja tiiveydestä. Kuvan 7.17 perusteella voidaan myös MWD-porauksella karkeasti määrittellä maan lujuusarvoja. Suhteellisen tiiviyn määrittämistä käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

7.3 Suhteellinen tiiviys D_r

7.3.1 Yleistä

Maan suhteellinen tiiviys D_r on on ilmaistavissa maaperässä vallitsevan huokosluvun e ja kysymyksessä olevan maalajin huokosluvun raja-arvojen $e_{\max}$ ja $e_{\min}$ avulla kaavalla:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad . \quad (4)$$

Huokosluvulla e tarkoitetaan huokostilavuuden ja kiinteän maa-aineksen tilavuuden suhdetta, eli

$$e = \frac{V_h}{V_s} \quad , \quad (5)$$

missä V_h = maa-aineen huokostilavuus

V_s = saman maa-aineen kiinteän aineen tilavuus

Maan huokosluvun minimiarvo $e_{\min}$ on määritettävissä esim. Proctor sullontakokeesta saatavan kuivatilavuuspainon maksimi-arvon $\gamma_{d \max}$ perusteella. Maan löyhintä tilaa vastaava huokosluvun maksimi-arvo $e_{\max}$ määritetään valuttamalla tutkittavaa,

kuivaa maalajia suppilon läpi noin 5 cm:n korkeudelta 1 dm³ kokoiseen astiaan. Tässä koetilanteessa määritettyä kuivatilavuuspainon minimiarvoa $\gamma_{d \min}$ vastaava huokosluku tulkitaan huokosluvun maksimiarvoksi.

Suhteellisen tiiviyden arvot voivat kaavan (4) mukaan vaihdella välillä 0 ... 1. Hiekan suhteellisesta tiiviydestä puhuttaessa käytettäviä tiiveyskuvauksia vastaavat seuraavat suhteellisen tiiviyden D_r arvot:

	<i>löyhä hiekka</i>	<i>keskitiivis hiekka</i>	<i>tiivis hiekka</i>
D_r	0 ... 0,33	0,33 ... 0,67	0,67...1

Taulukko 7.2 Suhteellisia tiiviyden arvoja D_r vastaavat tiiveysluokat (Rantamäki, Jääskeläinen, Tammirinne 1994)

7.3.2 Suhteellisen tiiveyden arviointi puristin-heijarikairauksen avulla

Kalle Rantalan diplomityössä (Rantala 1997) vertailtiin suhteellista tiiviyttä vesivoilymetrillä, CPT:llä ja puristin - heijarikairalla määritettynä. Suhteellista tiiviyttä arviointiin kaavalla (6) (Meigh 1987).

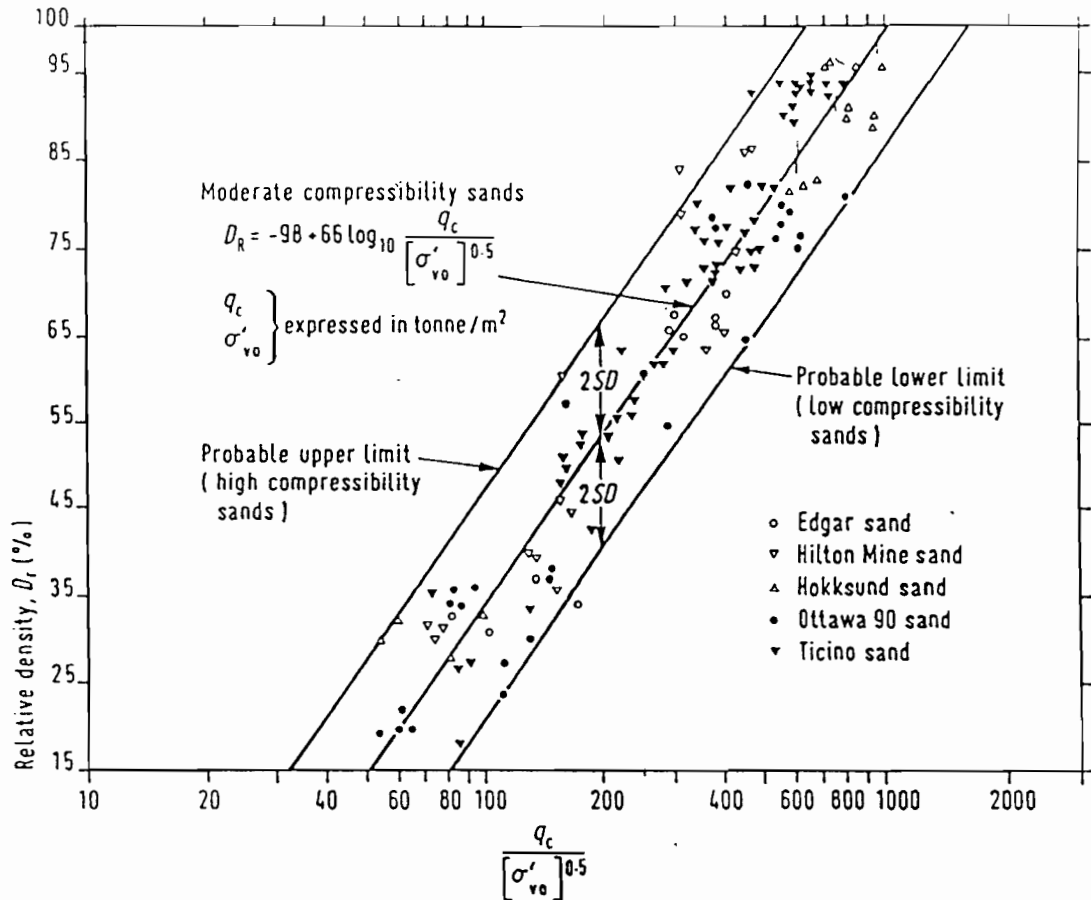
$$D_r = -98 + 6 \cdot \log_{10} \frac{q_c}{\sqrt{\sigma'_{v0}}} , \quad (6)$$

missä D_r = suhteellinen tiiveys

q_c = kärkivastus

σ'_{v0} = tehokas pystysuora jännitys

Puristinheijarikairalla määritetyt tiiviyden arvot on saatu muuntamalla puristusvoiman, vääntömomentin, sekä iskujen lukumäärän / 20 cm arvot vastaaviksi kärkivastuksen arvoiksi q_c .



Kuva 7.18 Kärkivastuksen ja suhteellisen tiivyyden välinen yhteys normaalikonsolidoituneissa kvartsihiekoissa (Meigh 1987).

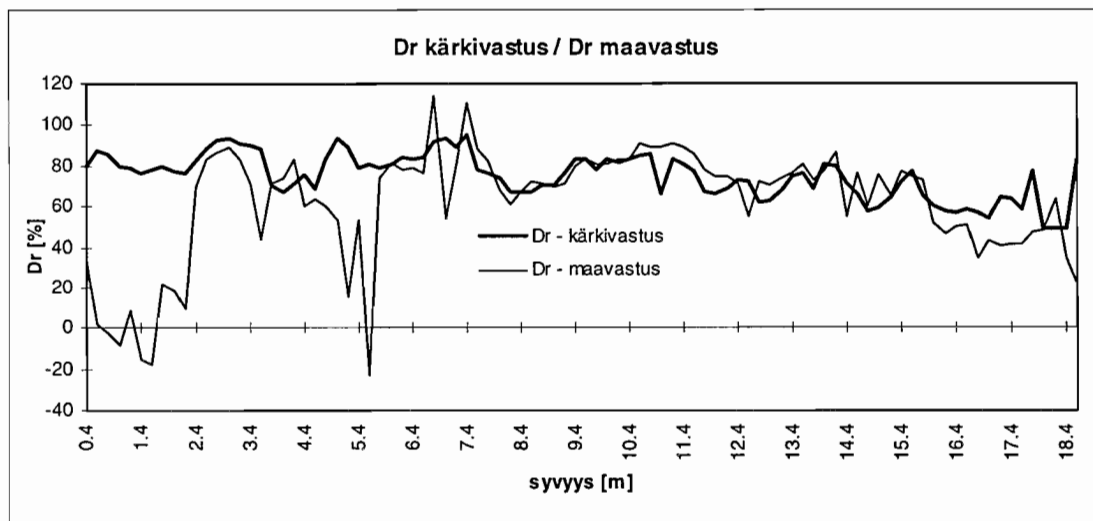
Kuvasta 7.18 voidaan huomata, että tuloksissa, joista regressiosuoran yhtälö on määritetty, on noin 10 %:n poikkeama molempiin suuntiin D_r :n arvoissa. Mikä sinällään asettaa kärkivastuksen q_c avulla arvioidulle suhteelliselle tiivyydelle D_r tietyn virhemarginaalin.

7.3.3 Suhteellisen tiivyyden arviointi MWD-porakonekairauksella

Koska suhteellisen tiivyyden määrittäminen puristin-heijarikairauksen avulla on epävarmaa, olisi esim. porakonekairauksen avulla määritettävien maavastustulosten perusteella epämielikästä pyrkiä suhteellisen tiivyyden tarkkaan määrittämiseen, vaikka yhtäläisyyksiä maavastuksen ja kärkivastuksen välillä löytyisikin. Sen sijaan em. käy-

rien perusteella voidaan päätellä, että karkea arvio maakerrosten suhteellisesta tiiveydestä voidaan porakonekairauksen rekisteröintitulosten perusteella tehdä. Tarkemman määrittelyn edellytyksenä olisi sellaisten kokeiden järjestäminen, joissa tunnetuissa tiiveysolosuhteissa tehdään riittävä määrä sekä puristin-heijarikairauksia, että MWD-porakonekairauksia.

Kuvassa 7.19 on kuvan 7.18 käyrien mediaanien suhteella kerrottu maavastuksen arvot ja laskettu kahden peräkkäisen arvon keskiarvo, jonka jälkeen saadut arvot on sijoitettu kaavaan (6) kärkivastuksen paikalle. Näin on saatu karkea arvio siitä, kuinka hyvin suhteellista tiiveyttä voidaan vertailla rekisteröivän porakonekairauksen tulosten perusteella puristin-heijarikairaustuloksista määritettyyn suhteelliseen tiivyyteen verrattuna.



Kuva 7.19 Kärkivastuksen ja maavastuksen avulla määritetyt suhteellisen tiiveyden arvot

Kuvan 7.19 suhteellisen tiiviyсарvojen määrittämisestä on todettava, että kaavan (6) vallitsevan tehokkaan jännityksen σ'_{v0} määrittäminen on puutteellinen, koska sen laskemiseen tarvittavaa maan tilavuuspainoa γ ei ollut käytettävissä. Laskelmissa on käytetty hiekan tilavuuspainona 18 kN/m^3 koko syvyydeltä..

Saaduista suhteellisen tiiveyden arvoista voidaan todeta, että molemmissa tapauksissa saadaan sama, taulukon 7.2 määritelmien mukainen tiiveysluokka n. 80 %: n osalla kairaussyvyydestä.

Ero käyrien alkupäässä johtuu siitä, että maavastuksen arvot ovat lähellä nollaa, jolloin logaritmifunktio kaavassa (6) saa pienen arvon, joka johtaa suhteellisen tiiveyden D_r arvon huomattavaan pienenemiseen. Tämä mahdollistaa myös suhteellisen tiiveyden arvojen laskemisen alle nollan ja nousemisen 1:n (100 %) yläpuolelle, mikä kaavan (4) mukaan ei ole mahdollista

Yhteenvetona suhteellisen tiiveyden arvioinnista porakonekairauksen avulla voidaan todeta, että se edellyttää MWD-porakonekairausten suorittamisen vakiointia, mikä tarkoittaa, että kaikki kairaajat suorittaisivat porauksen samalla tavalla, jolloin porakonekairausten rekisteröintitulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Myös iskun käyttö joudutaan tällöin merkitsemään ylös, koska isku päällä tai ilman iskua porattujen reikien rekisteröintitulokset eivät vastaa toisiaan. Lisäksi koneiden, joilla MWD-porauksia tehdään, olisi syytä olla varusteltuja samoilla laitteistoilla, jolloin laitteistoista aiheutuvat erot rekisteröintituloksissa saataisiin mahdollisimman hyvin eliminoidua. Tämä tarkoittaa lähinnä hydraulikan, iskuvasaroiden ja rekisteröintiantureiden yhdenmukaisuutta. Kuitenkin muutokset maan tiiveydessä saadaan selville nykyisillä MWD-porauksilla edellyttäen, että iskun käyttöä rekisteröidään.

7.4 Reikävideotulkinnan vertailu rekisteröintituloksiin kallioperässä

7.4.1 Reikävideokuvaus

Kuvauksissa käytetyn kaluston muodostavat kuvausyksikkö, monitori, videonauhuri ja virtalähteet. Kuvausyksikkönä on värillistä ja terävää videokuvaa lähettävä videokamera, jonka kuvauspään halkaisija on 43 mm. Käytännön työskentelysyvyys on n. 0 - 40 m, mutta erikoisjärjestelyin voidaan kuvata aina 200 m:n syvyyteen asti. Virtalähteenä on tavallisesti aggregaatti, mutta myös akkua voidaan käyttää.

Kuvauspäätä lasketaan reikään käsin videokaapelin varassa. Kuvauspäätä sijainti määritetään reikään laskettavan mittanauhan avulla. Paikannustarkkuus on millimetrien luokkaa. Kuvaus on mahdollista suorittaa joko suoraan eteenpäin tai peilin avulla sivulle, jolloin kuvakenttä on noin 30°. Koko 360°:een peitto saadaan kääntämällä kuvauspäätä reiässä kaapelin avulla.

Reikävideokuvauksen avulla kalliosta pääteltäviä asioita ovat mm. kivilaji, kallio-laatu, liuskeisuusaste, heikkousvyöhykkeet, rakoilun suunta, avaukset sekä rapautuneisuus. Ongelmia kuvauksessa saattaa esiintyä, mikäli kallio on niin rikkonaista että reikä "vuotaa" ts. sen seinämät eivät pysy kasassa, jolloin kuvauspäätä saattaa juuttua reikään. Kuvaus on mahdollista myös maapeitteen läpi kallioon ajettujen suojaputkien kautta (Kalliorakentaminen 2000).

7.4.2 Tulosten vertailu

Kuvassa 7.20 on esitetty Eliel Saarisen tien kallioporauksista pisteen 1 reikävideoraportti, jonka yhteyteen on liitetty kyseisen reiän rekisteröintituloksista määritetyt kalliovastuksien arvot syvyyden funktiona. Reikävideoraportin alla on esitetty maavastuksen lisäksi nopeuden ja puristusvoiman rekisteröintitulokset mittakaavassa 1 : 100.

Kuvasta 7.20 ja liitteestä 1 voidaan todeta, että kalliovastuksen paikalliset minimikohdat ja etenemisnopeuden paikalliset maksimikohdat osuvat usein reikävideolla havaittujen rakojen kohdalle, tai ainakin lähelle niitä. On kuitenkin huomattava, että syvyyden rekisteröinnissä porakoneen avulla ja mittanauhalla on kaksi merkittävää eroa. Ensimmäinen on se että mittanauha ei koskaan ulotu reiän pohjaan saakka koska pohjalla on aina jonkin verran porasojaa. Toisaalta porakoneen suorittama syvyyden rekisteröinti riippuu siitä, kuinka paljon kairaa myöhästyy rekisteröintilaitteen käynnistämisestä tankojen vaihdon yhteydessä ja kuinka paljon tanko on painunut maahan ennen porauksen alkua (edellyttäen että kallionpinnassa on maakerros). Näin

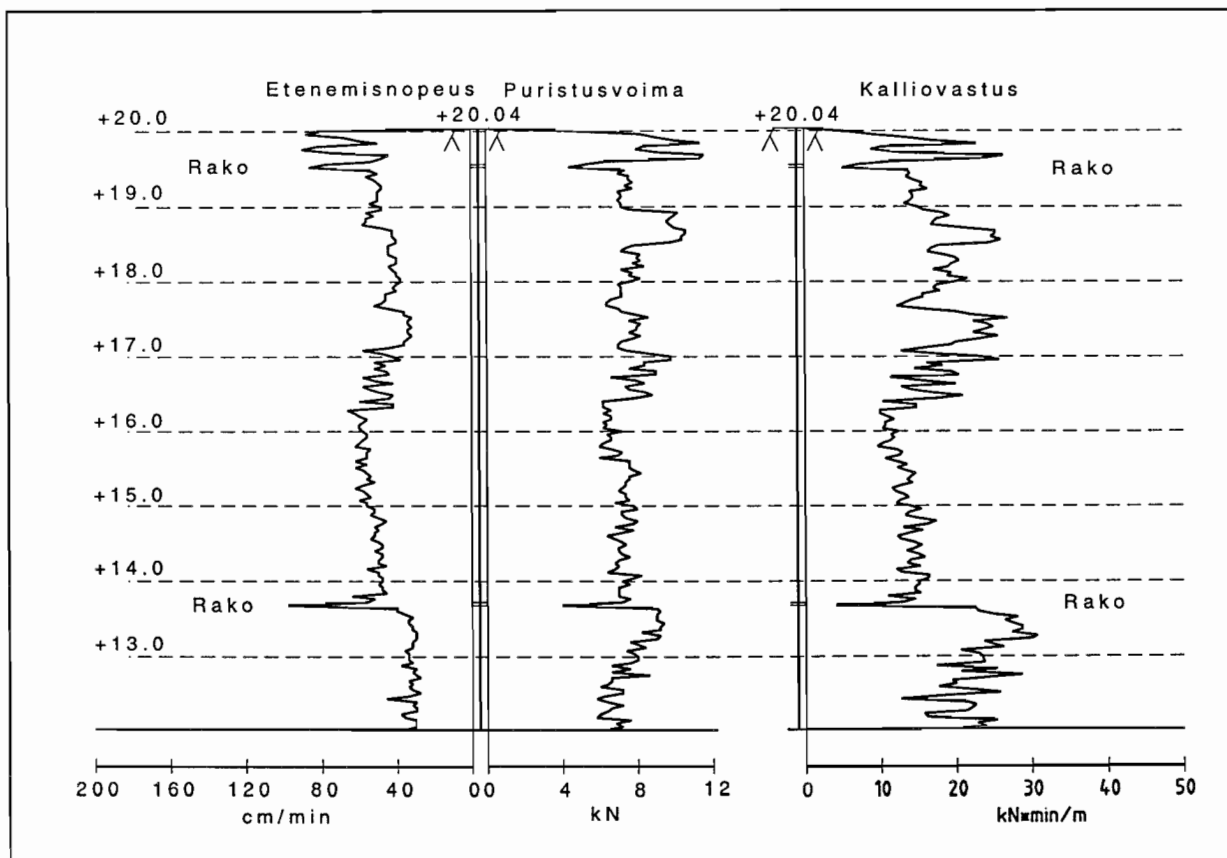
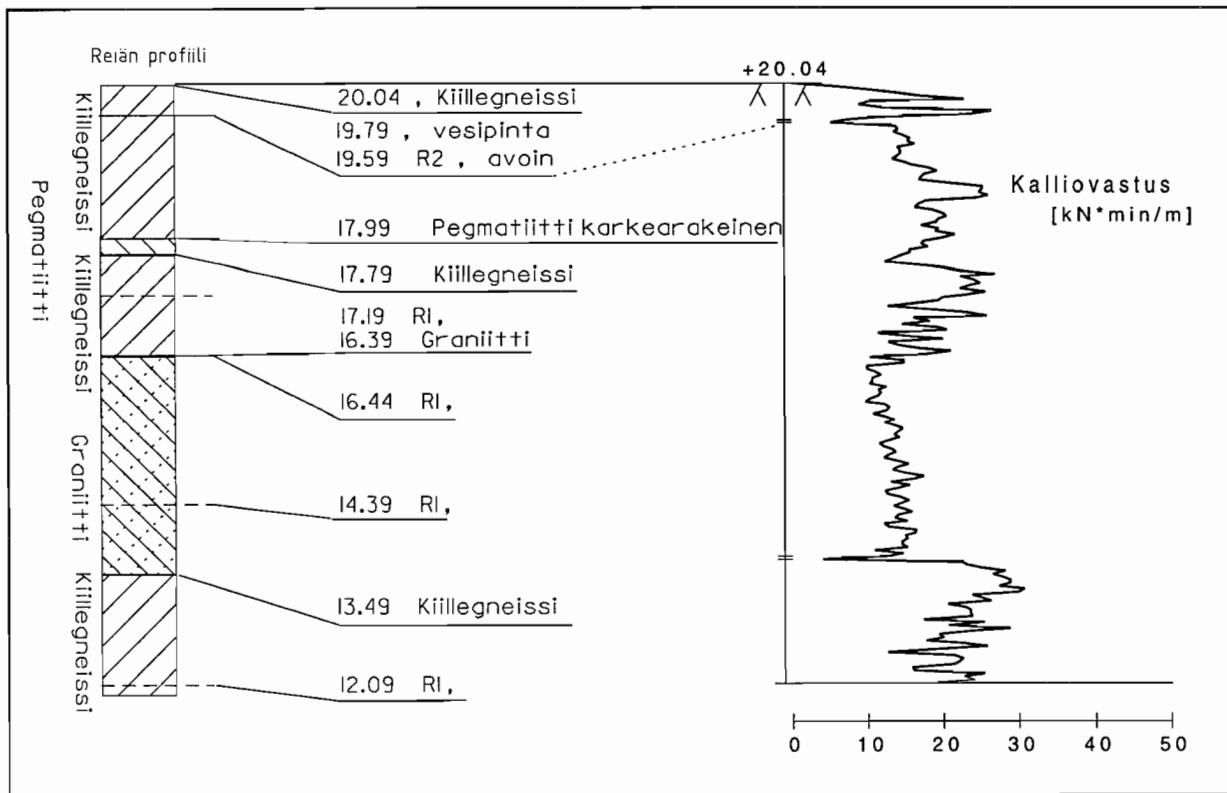
ollen mittanauhan ilmoittamaa syvyyttä ei voida verrata sokeasti rekisteröintituloksiin.

Kuvasta 7.20 voidaan havaita myös kuinka reikävideolla havaitun graniittivyöhykkeen ja kalliovastuksen verrattain tasainen alue osuvat kohdakkain. On kuitenkin huomattava, ettei kivilajia voida määrittää rekisteröintitulosten perusteella. Sen sijaan kivilajin vaihtuminen voidaan todeta. Liitteessä 1 on esitetty rekisteröintitulosten lisäksi kivilajit ja rakoluokitukset.

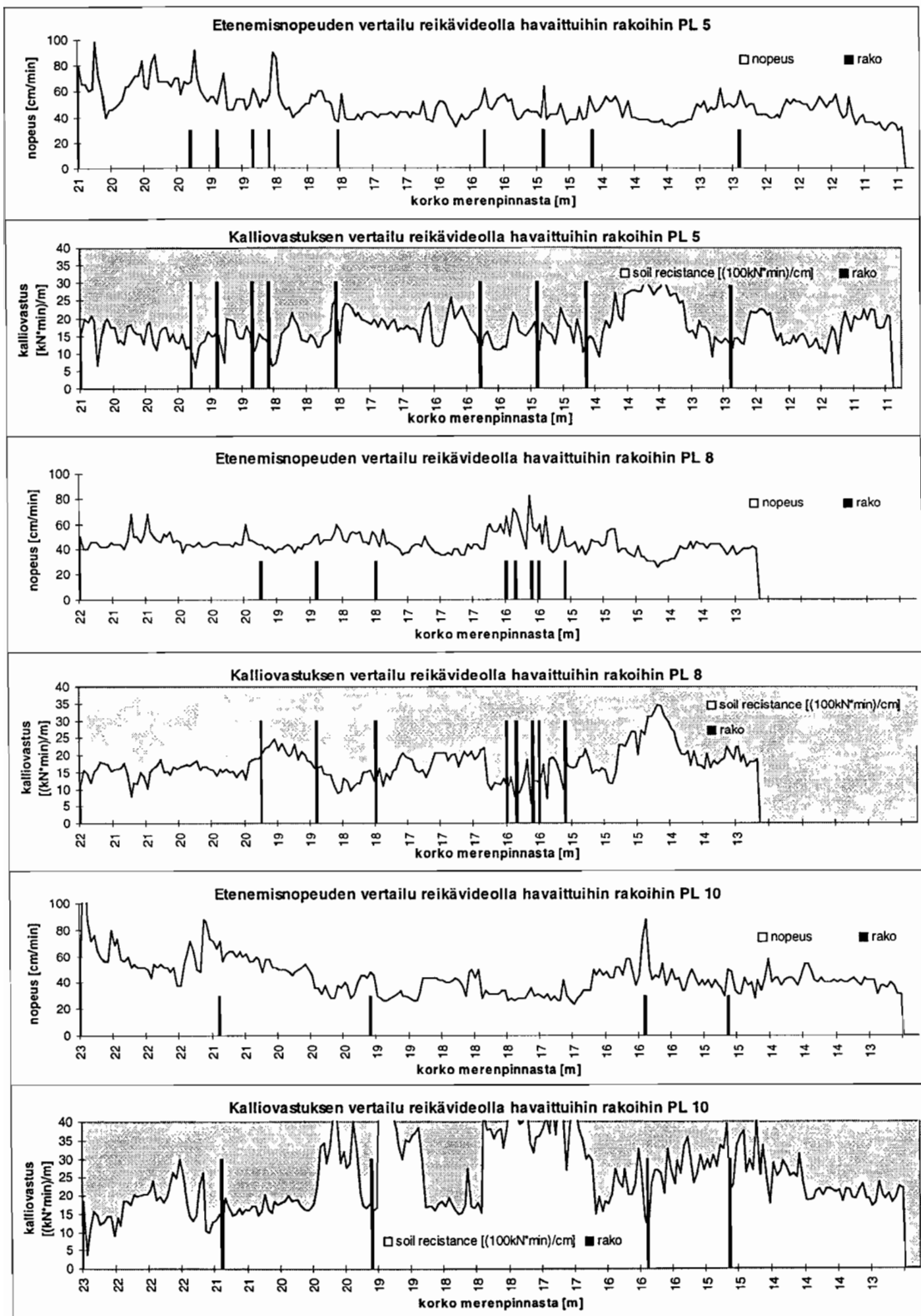
Kuvassa 7.21 on esitetty kaikki reikävideoista havaittavat raot. Se etteivät kaikki reikävideolla havaitut raot näy selvästi rekisteröintituloksista johtuu siitä että puristusvoiman ja nopeuden rekisteröinti tapahtuu 4 cm:n välein ja toisaalta rakojen paksuus kaikissa tähän tutkimukseen sisältyvissä porarei'issä on suurimmillaankin vain noin 0,5 cm:n luokkaa. Tällöin ne raot, jotka eivät osu rekisteröintikohdalle jäävät huomaamatta.

Rekisteröinnit olisi mahdollista suorittaa 1 cm:n välein, mutta se johtaisi rekisteröintitiedoston koon nelinkertaistumiseen, ja sitä kautta tulostiedostuksen vaikeutumiseen mm. sen johdosta että tulostiedostojen koko kasvaisi suureksi, jolloin rekisteröintiin käytetyn geoprintterin muistia joutuisi useammin tyhjentämään. Rekisteröintiä 1 cm:n välein niissä kallioporauksissa, joiden yhteydessä suoritetaan reikävideokuvauksia voisi kokeilla, jolloin voitaisiin todeta lisääntykö rekisteröintituloksissa havaittavien rakojen määrä reikävideolta määritettyihin rakoihin verrattuna.

Käytännössä nykyisillä tietokoneilla em. tilanteessa syntyvien suurten tiedostojen käsittelyyn olisi varmasti löydettävissä useitakin ratkaisuja. Eri asia on se saadaanko rekisteröintiä tihentämällä tuloksia merkittävästi paremmiksi, jolloin ratkaisuja tulostiedostukseen liittyviin ongelmiin kannattaisi etsiä.



Kuva 7.20 Reikävideoraportin ja rekisteröintitulosten vertailu



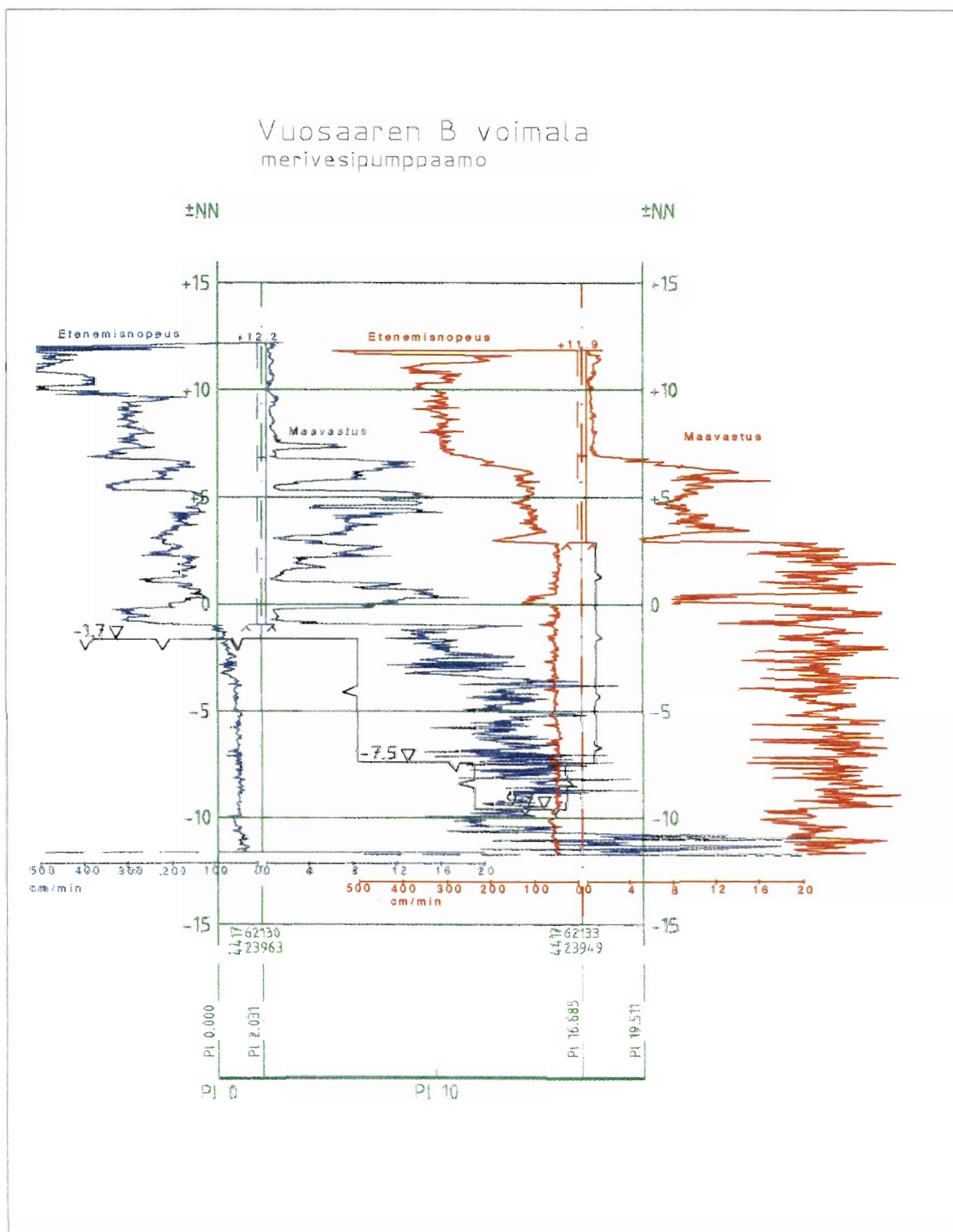
Kuva 7.21 Eliel Saarisen tiellä porattujen reikien 5, 8 ja 10 rekisteröintitulokset ja rakahavainnot

8. ESIMERKKEJÄ MWD - PORAKONEKAIRAUKSEN KÄYTÖSTÄ

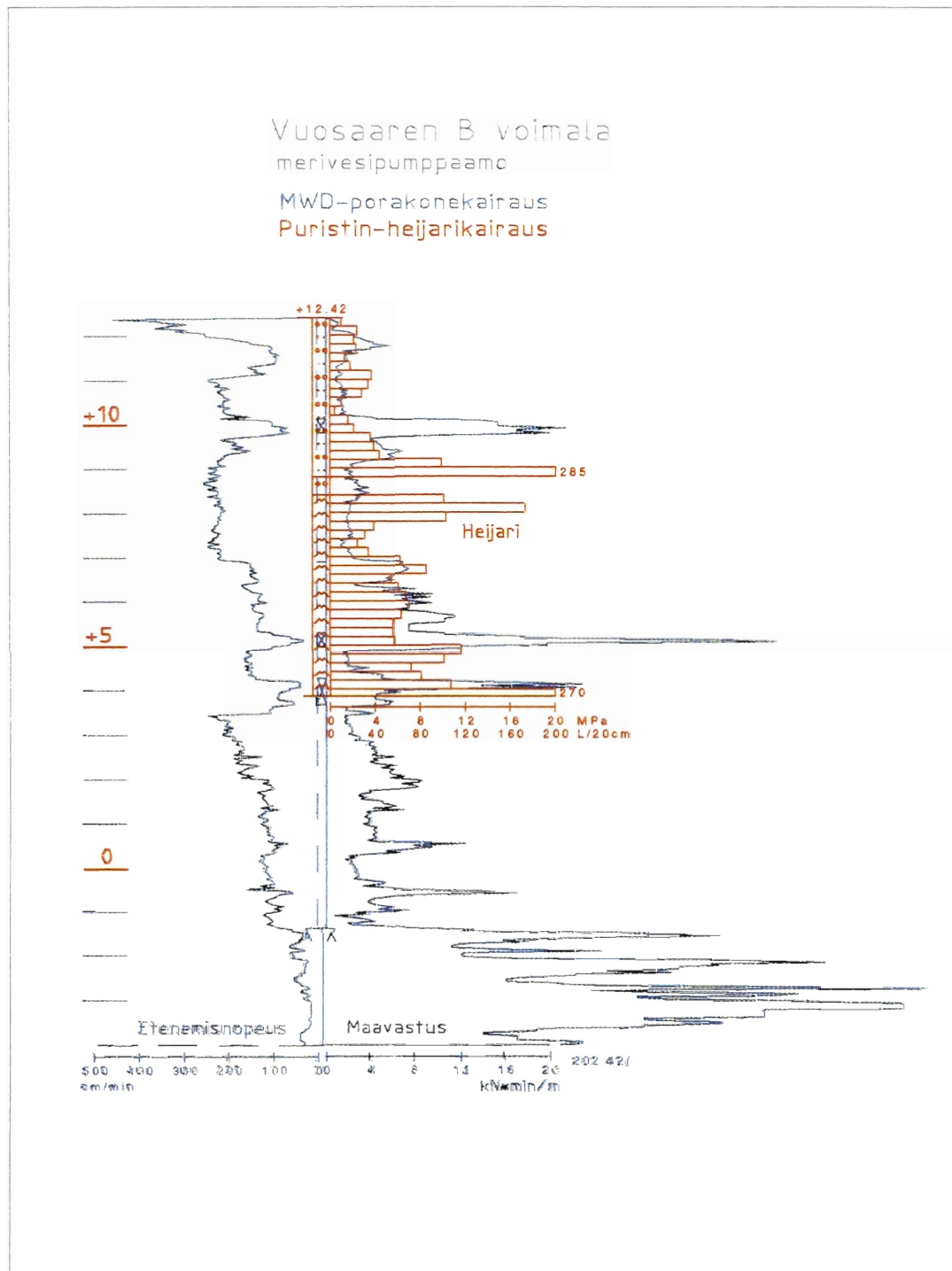
8.1 Vuosaaren B voimalan pohjatutkimukset

Kuten aikaisemmin on mainittu, porakonekairausta käytetään yleensä silloin kun kevyemmillä menetelmillä ei päästä haluttuun syvyyteen. Hyvä esimerkki tästä on Vuosaaren B voimalan pohjatutkimuksissa tehdyt kairaukset, missä kitkamaa- ja moreenikerrokset olivat niin tiiviitä ettei kaikissa puristin-heijarikairauksissa päästy perustamistasoon asti. Haluttiin selvittää onko perustamistason alapuolella mahdollisia pehmeitä kerroksia, jonka vuoksi tutkimukset jouduttiin suurelta osin suorittamaan porakonekairausta käyttäen. Lisäksi voimalan yhteyteen tehdyn merivesipumppaamon (kuva 8.1) pohjataso, joka tuli tasoon -9,7 m, sijaitsi yli 10 m kalliopinnan alapuolella, jolloin myös kalliopinnan rakennetta jouduttiin tutkimaan porakonekairauksen avulla.

Kuvassa 8.1 on esitetty kahden em. merivesipumppaamon kohdalle tehdyn porakonekairauksen maavastus- ja nopeusdiagrammit. Vasemmanpuoleisesta diagrammista voidaan todeta seuraavaa: Poraus on aloitettu isku päällä ja suurta, n.500 cm/min, etenemisnopeutta käyttäen. Noin tasolla +10 nopeutta on vähennetty manuaalisesti, koska maavastusdiagrammissa mikään ei viittaa siihen että puristusvoima olisi ko. kohdassa kasvanut. Noin tasolla +7 on ilmeisesti otettu isku pois päältä, koska ko. tasolta aina tasolle n. 0 asti nopeuden ja maavastuksen arvoissa on huomattavia muutoksia, jotka maavastuksen arvoista päätellen viittaisivat tiiviiseen soraan tai moreeniin. Tätä ajattelua tukee myös oikeanpuoleinen diagrammi, jossa isku on ilmeisesti ollut päällä koko porauksen ajan, minkä huomaa nopeuden tasaisuudesta eri maakerroksissa porauksen aikana. Ko. diagrammista voidaan selkeästi erottaa kolme kerrosta: hiekka- ja sorakerros n. +12 - +7, pohjamoreeni +7 - +3, jonka jälkeen kallio. Kalliosta voidaan erottaa heikkousvyöhyke juuri ennen nollatasoa.



Kuva 8.1 Vuosaaren B voimalan merivesipumppaamon MWD-poraukset



Kuva 8.2 Samaan pisteeseen tehty puristin-heijari- ja porakonekairaus

Kuvassa 8.2 on esitetty kyseisen alueen tutkimuksissa samaan pisteeseen tehty porakone- ja puristin-heijarikairaus. Puristin-heijarikairauksesta voidaan nähdä, että se on kokonaisuudessaan tehty kitkamaahan, koska puristusta ei ole käytetty. Osassa kairausta puristusta olisi voitu käyttää, mutta kairautuloksen yhdenmukaistamiseksi ja tulkinnan selkeyttämiseksi kairaus on suoritettu kokonaan heijarikairauksena.

Porakonekairauksesta ei voida tässä tapauksessa päätellä esim eri kerrosten tiiviys-
siä, koska ei tiedetä missä kohdissa iskua on käytetty. Sen sijaan kivet näkyvät las-
keneina nopeuden arvoina ja kasvaneina puristusvoiman arvoina. Selkeimmin on
todettavissa kalliopinnan kohtaaminen, kun nopeus laskee reilusti alle 100:aan
cm/min:ssa ja maavastus kohoaa pysyvästi yli 15:sta. Kallionpinnan voidaan lisäksi
todeta olevan rikkonaista, koska maavastuksen arvoissa on havaittavissa suurta
vaihtelua.

Vuosaaren B-voimalan tutkimuksissa MWD-porauksen käyttö kuitenkin onnistui,
koska tuloksista oli pääteltävissä perustamistason alapuolisen kerroksen likimääräi-
set lujuusvaihtelut

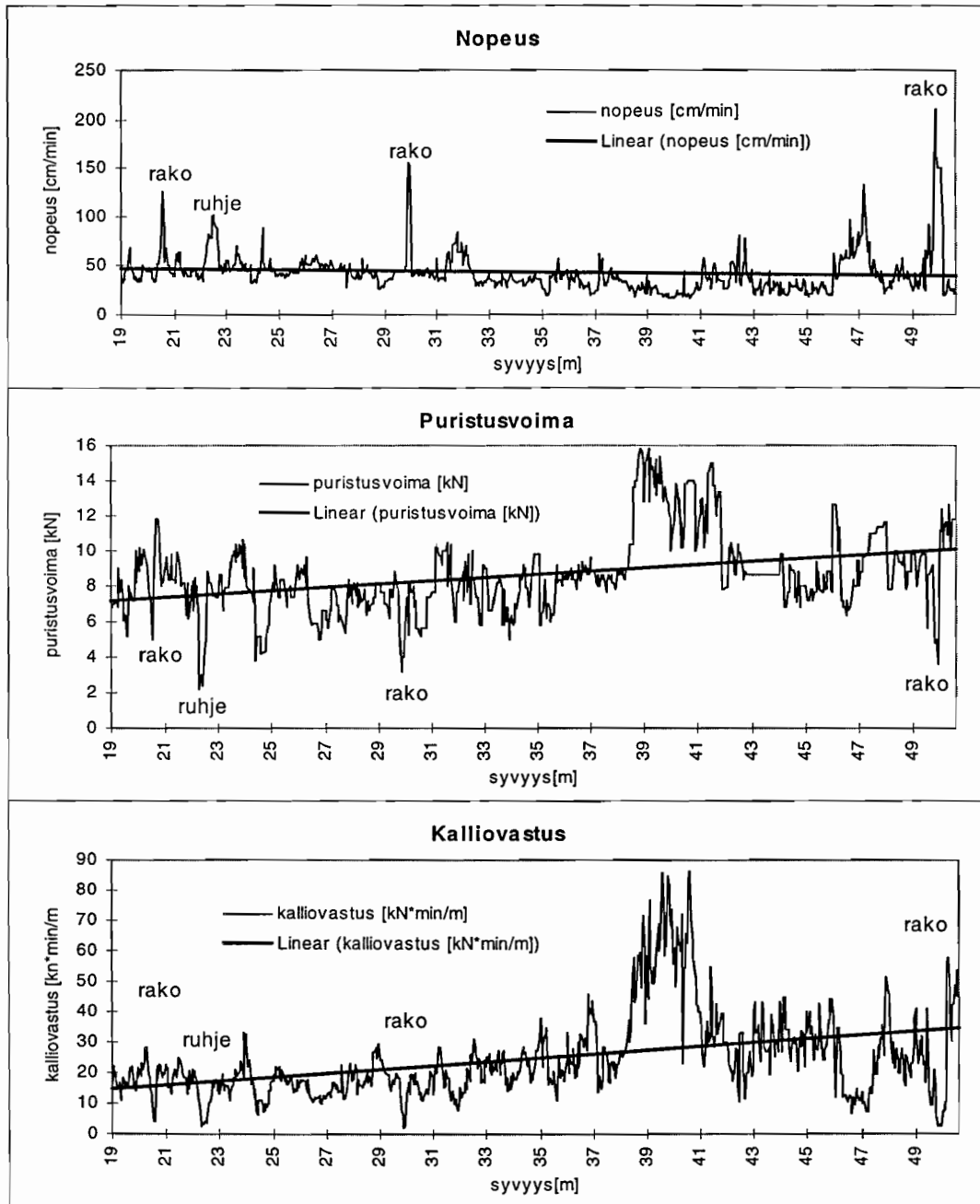
8.2 Pasila - Sörnäinen kaukolämpötunneli

Kuvassa 8.3 on esitetty kyseistä tunnelia varten tehtyjen kallioporausten nopeus-,
puristusvoima- ja kalliovastusrekisteröinnit. Kuvaajiin on lisäksi piirretty tulosten
lineaarista käyttäytymistä kuvaavat suorat, sekä oletettujen rakojen sijainti.

Kuvista huomataan, että nopeus vähenee lineaarisesti ja puristusvoima kasvaa line-
aarisesti, minkä seurauksena kalliovastus kasvaa lineaarisesti. Kyseisessä porauk-
sessa on kuitenkin huomioitava n. kohdalla 38,5 m tapahtuva huomattava muutos
puristusvoimassa, vaikka nopeuden pieneneminen kyseisellä kohdalla on suhteelli-
sen vähäistä.

Vertailtaessa lineaarista käyntiä kallioporauksissa ja maaporauksissa pehmeisiin
maakerroksiin huomataan, että kallioporauksessa puristusvoiman lineaarinen käynti
on positiivista ja pehmeisiin maakerroksiin porattaessa negatiivista. Kallioporauk-

sessä lineaarinen käynti johtuu siitä, että reiän syvetessä ja tankoletkan kasvaessa puristusvoima ei välity yhtä tehokkaasti poranterälle, mikä johtaa nopeuden pienenemiseen ja puristusvoiman kasvamiseen. Pehmeitä maakerroksia porattaessa puristusvoiman negatiivinen lineaarinen käynti johtuu tankopainon kasvamisesta, mikä johtaa siihen, että saman etenemisnopeuden ylläpitämiseen tarvitaan pienempää puristusvoimaa, vrt. kuva 7.17.



Kuva 8.3 kallioporausrekisteröintitulokset

8.3 Syvätiivistyksen vaikutuksen arviointi Salmisaaren voimalaitosalueella MWD-porakonekairauksen ja PH-kairauksen avulla

Syksyllä -96 Salmisaaren voimalaitosalueella suoritettiin puristin-heijarikairauksia, joiden tarkoituksena oli selvittää tulevan tukimuurin perustustavat. Kairauksen jälkeen tukimuurin alustat syvätiivistettiin. Syvätiivistyksen jälkeen, keväällä -97, alueella suoritettiin uudet kairaukset syvätiivistyksen vaikutusten toteamiseksi. Tällöin kairausmenetelminä käytettiin sekä puristin-heijarikairausta, että MWD-porakonekairausta.

Syvätiivistyksen jälkeen oli tarkoituksena tehdä puristin-heijarikairaukset samaan syvyyteen ja samoihin kohtiin kuin ennen syvätiivistystä. Kairauksen aikana kuitenkin todettiin, että syvätiivistyksen ansiosta ei kyseisellä menetelmällä päästä samaan syvyyteen kuin ennen syvätiivistystä. Tämän takia käytettiin pelkästään MWD-porakonekairausta, jonka avulla kairaus suoritettiin haluttuun syvyyteen.

Kuvassa 8.4 esitetyistä kairausdiagrammeista, joissa on esitetty eri ajankohtina tehdyt kairaukset voidaan todeta seuraavaa:

Puristin-heijarikairaus ennen syvätiivistystä (3.12.96 punainen)

- tiivistystarve syvyydellä 0 - -3 m
- muualla tiivistä tai keskitiivistä täyttöä ja kitkamaata, ts. hiekkaa ja soraa

Puristin-heijarikairaus syvätiivistyksen jälkeen (19.5.-97 sininen)

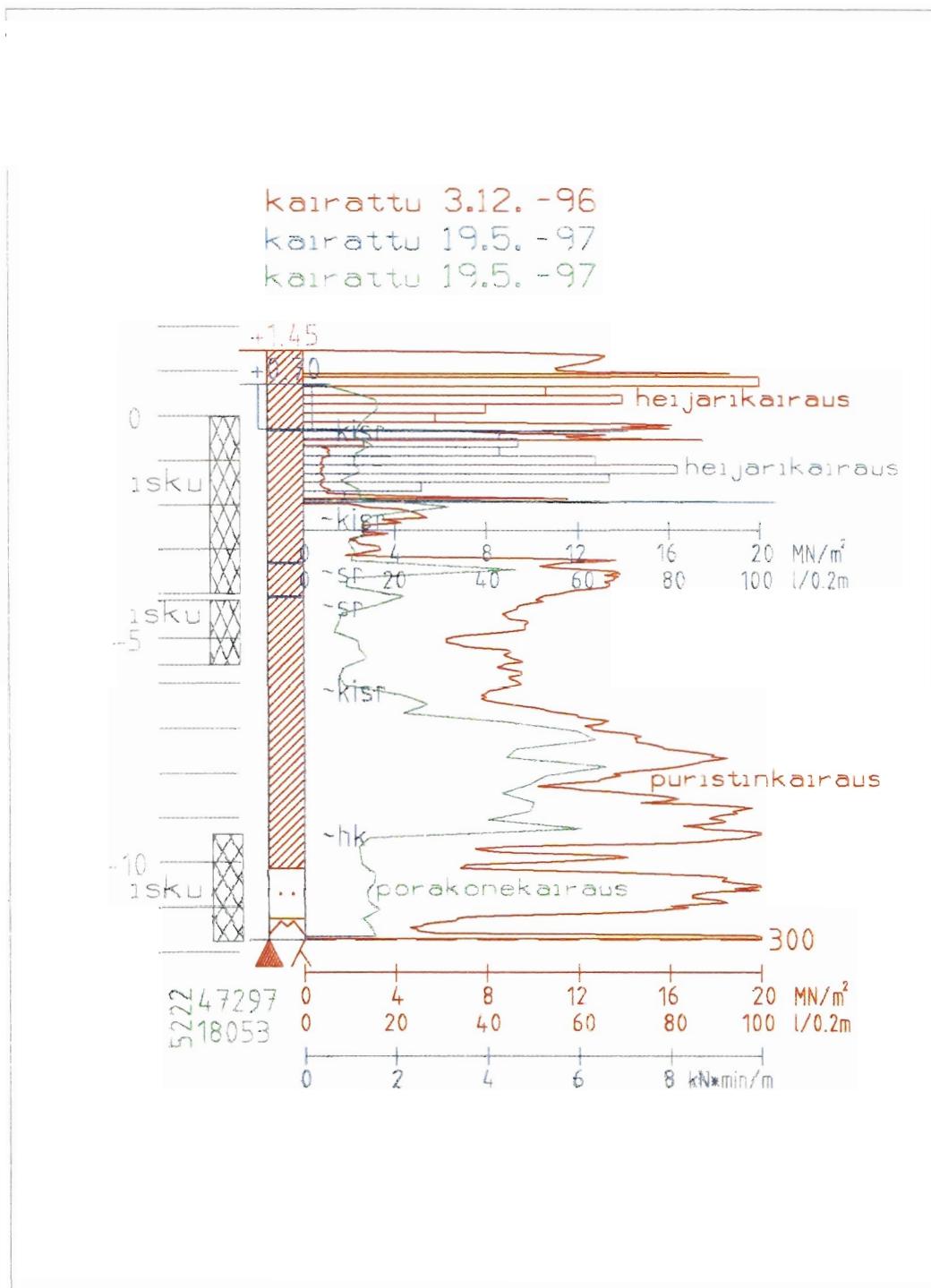
- tiivistyminen tapahtunut kriittisimmällä alueella 0 - -3 m
- tiivistymisen johdosta jouduttu käyttämään heti heijarikairausta
- kairaus on päättynyt syvyydelle noin -2 m, eli noin 3,5 m:n syvyydelle ennen syvätiivistystä olleesta maanpinnasta mitattuna

Porakonekairaus syvätiivistyksen jälkeen (19.5.-97 vihreä)

- oleellista on todeta erot eri porausmenetelmien välillä
- ilman iskua poratut osuudet löyhempiä kuin muut, silti tiiviitä (isku korostettu rasteroinnilla kuvaajan vasemmalla puolella)
- varsinaisia löyhiä kohtia ei löydy, koska isku päällä poratun osuuden kuvaaja pysyy keskimäärin vakiona koko reiän syvyydeltä

Huom., vaikka porakonekairauksen maavastuskuvaaja kulkeekin miltei kautta linjan puristinkairauksen kuvaajan “alapuolella”, kyse ei ole maakerrosten löyhenemisestä, vaan erosta kairausmenetelmien välillä.

Tulosten perusteella voidaan tiivistymisen todeta tapahtuneen ylimmissä, kriittisissä maakerroksissa. Alemmissa, sinällään jo tiiviissä kerroksissa, tiivistymistä ei voida varmuudella todeta.



Kuva 8.4. Syvätiivistyksen vaikutusten arviointi puristin-heijari ja porakonekairauksen avulla

Kuva 8.4 Syvätiivistyksen vaikutusten arviointi puristin-heijari- ja porakonekairauksen avulla

8. VIRHELÄHTEET MWD-PORAKONEKAIRAUKSESSA

8.1 Laitteistosta aiheutuvat virheet

Kappaleessa 4 todettiin, että käytetyistä paineantureista aiheutuu 0,025 %:n virhe puristusvoimaan ja momenttiin. Huuhteluveden- ja ilmanpaineen mittanturista aiheutuu 0,5 %:n virhe ko. suureisiin. Näistä virheistä mitään ei voida pitää merkittävänä tulkinnan kannalta porakonekairauksen luonteesta johtuen. Ts. muut häiriötekijät ovat niin paljon merkittävämpiä, ettei näin pieniä virheitä voida ottaa huomioon.

Lisäksi puristusvoimaan aiheutuu virhettä, koska tankojen painoa ei lisätä siihen syvyyden kasvaessa. Yksi poratanko painaa 10,6 kg ja sen pituus on 1,83 cm. Näin ollen poratangon lisäys lisää puristusvoimaa n. 104 N eli n. 0,1 kN jokaisen tangon vaihdon yhteydessä.

8.2 Kairaajasta aiheutuvat virheet

Kairaajan työskentelyllä on tulosten kannalta suurin merkitys, koska kaikki toimenpiteet, jotka kairaaja suorittaa ennen kairauksen alkua ja kairauksen aikana vaikuttavat syntyvään rekisteröintitulokseen. Tällaisia ovat mm.

- puomin asento
- aloitusyvyvyyden asetus
- puristusvoiman ja momentin nollakalibrointi
- maksimipuristusvoiman ja -syöttönopeuden suhteen säätö ennen kairauksen alkua ja kairauksen aikana
- huuhtelupaineen säätö
- tankojen vaihto
- rekisteröintilaitteen käynnistys tankojen vaihdon jälkeen
- iskun käyttö

Em. toimenpiteiden erilaisia suoritustapoja ei voida pitää virheellisenä, mikäli selkeitä ohjeita menettelytavasta kussakin tilanteessa ei ole annettu. Sen vuoksi olisikin syytä selvittää tapauskohtaisesti minkälaisilla nopeuksilla ja puristusvoimilla kairaus tulisi suorittaa, koska on ilmeistä, että savi ja siltipitoiset maakerrokset vaativat suuremman nopeuden käyttöä kuin kitkamaakerrokset parhaan mahdollisen rekisteröintituloksen saamiseksi. Ja mikäli tietoa siitä, minkälaisia maakerroksia todennäköisesti on odotettavissa, ei ole, ja näin ollen erillisiä ohjeita ei pystytä antamaan, tulisi kairaajilla olla yhtenäinen käsitys siitä, miten kone säädetään ennen kairauksen aloittamista.

8.3 Tulkinnasta johtuvat virheet

Tulkintavaiheessa tapahtuvat virheet pohjautuvat usein epätietoisuuteen siitä, mitä porausvaiheessa on tapahtunut, mikäli tulokset eivät ole johdonmukaisia. Varsinkin MWD-porakonekairauksessa, missä tulosten käsittely on vielä kehitysvaiheessa, aiheutuu suurin osa virheistä juuri tiedonpuutteen takia.

Tulkintavirheiden välttämiseksi olisi kommunikointi kairaajan ja tulosten tulkit-sijan välillä erittäin tärkeää ja voisi hyödyttää molempia osapuolia; sekä kairaa-jalle että tulkitsijalle selviäisi eri toimenpiteiden vaikutus tuloksiin. Lisäksi kairaa-ja saisi selvyyttä siitä, kuinka tärkeää tulosten luotettavuus on niiden käytettä-vyyden kannalta. Tämän vuoksi poraustyön aikana on erittäin tärkeää merkitä po-rauspöytäkirjaan kaikki poikkeavat työtapaukset ja havaitut häiriötilanteet iskun-käytön lisäksi.

9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuten kairaustulosten tulkinnasta ja eri kairaustapojen vaikutuksesta tuloksiin voidaan todeta, on erittäin suuri merkitys sillä, että kairaajat suorittavat kairaukset tietyllä ennalta määrätyllä tavalla, jolloin tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Tulosten vertailukelpoisuuteen vaikuttaa lisäksi erot koneiden varustuksessa, jolloin olisi aiheellista tietää, minkälaista rekisteröintijälkeä kukin kone tekee samantlaisissa olosuhteissa.

MWD-porakonekairauksen käyttö maakerrosten arvioinnissa kitkamaalajien, moreenin, sekä kallion osalta on mahdollista jo nyt, mutta pehmeämpien, silttisten ja savisten maalajien arvioinnin selvittäminen vaatisi vielä joitain koeporauksia kyseisiin olosuhteisiin siten, että tiedettäisiin minkälaisia toimenpiteitä porauksen aikana on tehty mm. iskun käytön suhteen. Samalla voitaisiin selvittää minkälaisia nopeuksia pehmeämmät maalajit vaativat hyvän rekisteröintituloksen saamiseksi.

Lisätietoa voisi antaa myös perehtyminen iskun käytön ja siitä aiheutuvan äänen tulkintamahdollisuuksiin maalajien ominaisuuksien tarkastelussa, sillä muutokset iskun taajuudessa ja siitä aiheutuvan äänen voimakkuudessa eri maakerroksissa on selkeästi huomattavissa porauksen aikana. Sitä vastoin poraustärinän vaikutusta tuloksiin tutkittiin Kalliorakentaminen 2000-projektin yhteydessä heikoin tuloksin.

Jo tutkimuksen alussa oli tiedossa, että porakonekairaus menetelmänä on vaikea tulkinnan kannalta, ja että sen avulla ei voida saada yhtä tarkkoja tuloksia kuin esim. puristin-heijarikairauksella. Näin ollen keskityttiin niiden tietojen, mitä menetelmällä on saatavissa, mahdollisimman selkeään havainnollistamiseen. Tällaisia tietoja ovat mm.

- tiiviin/kovan ja löyhän/pehmeän maakerroksen karkea erottaminen: isku päällä/pois
- maakerrosten kivisyyden arviointi rekisteröintituloksissa esiintyvien "kivipiikkien" perusteella
- maakerrosten tiiviiden karkea arviointi ilman iskua suoritetusta porauksesta
- hiekan ja soran erottaminen rekisteröintitulosten hajonnan perusteella, ts. tulostulokäyrien "sahalaitakuvion" karkeuden perusteella
- kalliopinnan syvyyden määrittäminen
- kalliopinnan laadun määrittäminen
- kalliolaadun arviointi poraparametrien perusteella
- kalliorakojen paikantaminen kalliovastuksen paikallisten minimikohtien perusteella

Edellisten lisäksi keskeinen osa tutkimusten tuloksista liittyy poraustavan ja porauksen aikana suoritettavien toimenpiteiden vaikutukseen rekisteröintituloksiin, jonka perusteella on tehty kappaleessa 10. esitetty suositus porakonekairauksen suorittamisesta.

10. SUOSITUS MWD - PORAKONEKAIRAUKSEN SUORITTAMIESTA

Kyseinen suositus on tarkoitettu Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston GM 4000 monitoimikairausvaunuilla suoritettavaan MWD-porakonekairaukseen, eikä sitä tulisi soveltaa muulla kalustolla suoritettaviin porakonekairauksiin.

10.1 Poraus

1. Ennen jokaista porausta tulisi suorittaa puristusvoiman ja nopeuden nollakalibrointi siten, ettei puristusvoima tyhjää kelkkaa ajettaessa laske nolnaan, vaan pysyy esim. 0,5 kN :ssa. Lisäksi rekisteröintilaitteen ja poraparametripanelin tulee näyttää samaa arvoa.
2. Maksimipuristusvoima tulisi säätää ennen maksimietenemisnopeuden määrittämistä. Sääto tehdään puristamalla tankoa leukoja vasten. Sopiva arvo maksimipuristusvoimalle on n. 12 - 15 kN.
3. Maksimietenemisnopeus säädetään ohjauspanelin etenemisnopeudensäätöruuvista tyhjää kelkkaa ajamalla ja seuraamalla etenemisnopeutta rekisteröintilaitteen näytöstä. Etenemisnopeutena kitkamaissa tulisi käyttää n. 250 cm/min. Mikäli voidaan olettaa ennen porauksen aloittamista, että odotettavissa on pehmeitä ts. silttisiä tai savisia maakerroksia, voidaan nopeutta harkinnan mukaan kasvattaa aina n. 500 cm/min:ssa. Käytettävistä nopeuksista tulisi keskustella työmaakohtaisesti tulosten tulkitsijan kanssa.
4. Puristusvoiman ja etenemisnopeuden säätötoimenpiteitä tulisi välttää porauksen aikana, koska kyseisten toimenpiteiden suorittaminen aiheuttaa tuloksiin tulkinnan kannalta ongelmallisia alueita. Mikäli säätöjä kaikesta huolimatta joudutaan tekemään tulisi siitä mainita porauspöytäkirjassa (syvyys / säätötoimenpide). Myös muista mahdollisista ongelmatilanteista tulisi mainita porauspöytäkirjassa.
5. Iskun käytöstä porauksen aikana tulisi pitää kirjaa (päällä / pois), kunnes sen rekisteröinti saadaan kytkettyä rekisteröintilaitteen yhteyteen.

6. Porattaessa tulisi jokainen tanko ajaa niin loppuun kuin mahdollista, jolloin tangon vaihto osuu tasaisille välimatkoille. Tämä helpottaa tangonvaihdosta johtuvien 0-kohtien poistamista tuloksista tulkinnan yhteydessä.
7. Syvyysrekisteröinnin tarkentamiseksi tulisi rekisteröintilaitteen käynnistämiseen tankojenvaihdon jälkeen kiinnittää erityistä huomiota. Näin voidaan välttää ilman rekisteröintiä jäävien syvyyksien syntyminen.

10.2 Tulkinta

1. Ensimmäiseksi tulisi tutustua tarkasti porauspöytäkirjan sisältöön mahdollisten kairaajan tekemien säätötoimenpiteiden ja muiden mahdollisten, porauksen aikana ilmenneiden ongelmien huomioon ottamiseksi.
2. Tämän jälkeen tulisi todeta porauksen aikana käytetty nopeus sekä puristusvoiman suuruus, joiden avulla voidaan karkeasti arvioida, minkälaisissa olosuhteissa poraus on suoritettu.
3. Tämän jälkeen tuloksista tulee poistaa ylimääräiset nopeuden ja puristusvoiman 0-kohdat, jotka johtuvat tankojen vaihdoista ja mahdollisista muista häiriöistä porauksen aikana. On kuitenkin huomattava, ettei kaikkia tuloksissa esiintyviä piikkejä, jotka johtuvat esim. maaperän kivisyydestä ja kallion raoista, tule poistaa. Kivi aiheuttaa samanaikaisesti nopeuden vähenemisen ja puristusvoiman lisääntymisen. Raon kohdalla nopeus- ja puristusvoimalukemat käyttäytyvät päinvastoin. Mikäli vain jommassa kummassa rekisteröitävässä parametrissa on piikki, johtuu se todennäköisesti mittausvirheestä.
4. Seuraavaksi tulee ottaa huomioon kohdat, joissa iskua on käytetty tai porattu ilman iskua. Tällöin saadaan käsitys suurimpien kivien ja tiiviiden moreenipeitteiden sijainnista. Myös täytteen paksuutta voidaan arvioida matkalla, jolla iskua on käytetty epätasaisesti.

5. Kun edelliset seikat on otettu huomioon, voidaan niiden ja käyrien muotojen perusteella arvioida eri maakerrosten paksuudet. Otettaessa MWD-porakonekairaustuloksia kannasta esim. Microstation-ohjelmaan, tulisi huomioda, että pelkän maavastuksen avulla ei voida tehdä kaikkia päätelmiä, vaan olisi syytä käyttää hyväksi myös puristusvoiman ja etenemisnopeuden antamaa informaatiota. Kaikkien käyrien tarkastelu auttaa huomattavasti mm. kalliopinnan tarkan sijainnin määrittämistä.

11. LÄHDELUETTELO

Environmental Mechanics Ab : Geoprinter 60, järjestelmäkuvaus. 20 s.

Korhonen, O., 1994: Vuosaaren B voimala, Merivesipumppaamo, Pohjarakennus-suunnitelma. Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto, työnumero 4417. 6 s.

Kuivamäki, A., Paananen, M., Vuorela, P., Suppala, I., Gustavsson, N., Halkola, H., 1995.: Kalliorakentaminen 2000 teknologohanke, Porauksen ja kairauksen rekisteröinti ja tulkinta kalliorakennus ympäristössä. Espoo 1995, Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL r.y. 156 s.

Leivo, P., 1997: Porakone- ja puristin-heijarikairauksen käyttö syvätiivistyksen vaikutusten arvioinnissa Salmisaaren voimalaitosalueella. Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston raportti, työnumero 5222. 5 s.

Meigh, A.C., 1987: Cone penetration testing, Methods and interpretation. Construction Industry, Research and Information Association. 140 s.

Melander, K., 1989: Puristin - heijarikairaus kairausmenetelmänä, Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston tiedote, GEO 48/1989. 97 s.

Rantala, K., Halkola, H., 1987: Paalun kantavuuden arviointi puristin-heijarikairauksen avulla, Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston tiedote, GEO 74/1997. 87 s.

Rantamäki, Jääskeläinen, Tammirinne, 1994: Geotekniikka, Otatieto. 295 s.

Suomen Geoteknillinen yhdistys ry, 1983: TPO - 83 talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet. Rakentajain Kustannus Oy. 94 s.

Suomen Geoteknillinen yhdistys ry., 1986: Kairausopas V, Porakonekairaus. Rakentajain Kustannus Oy . 53 s.

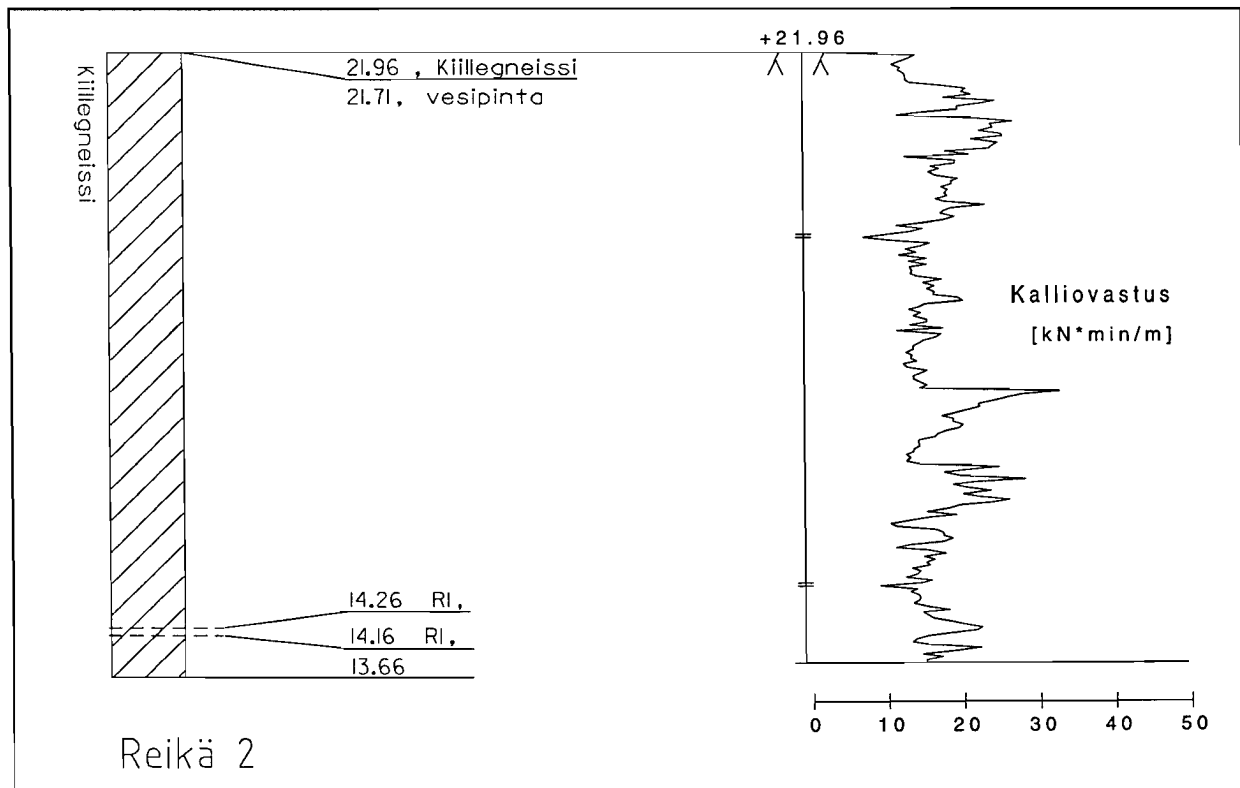
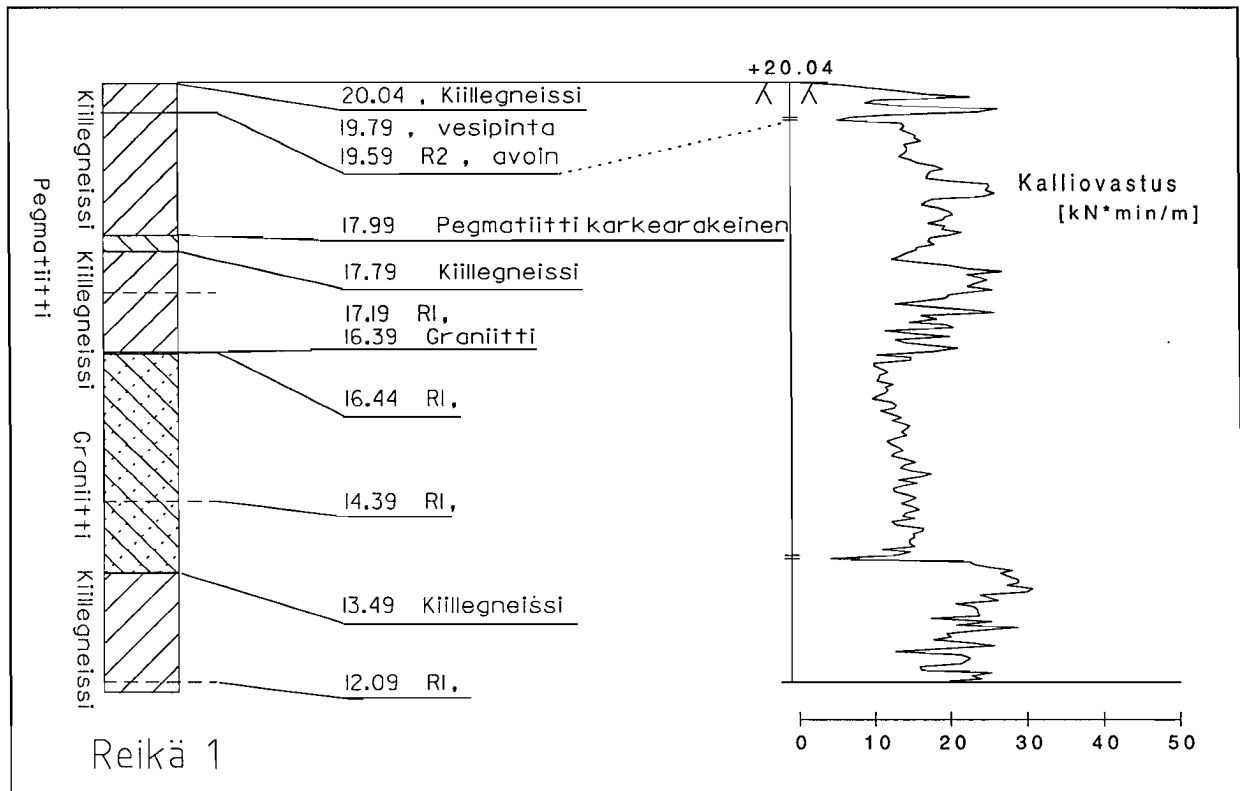
Suomen Geoteknillinen yhdistys, 1987: Kairausopas IV, Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen. Helsinki 1987, Rakentajain Kustannus Oy. 56 s.

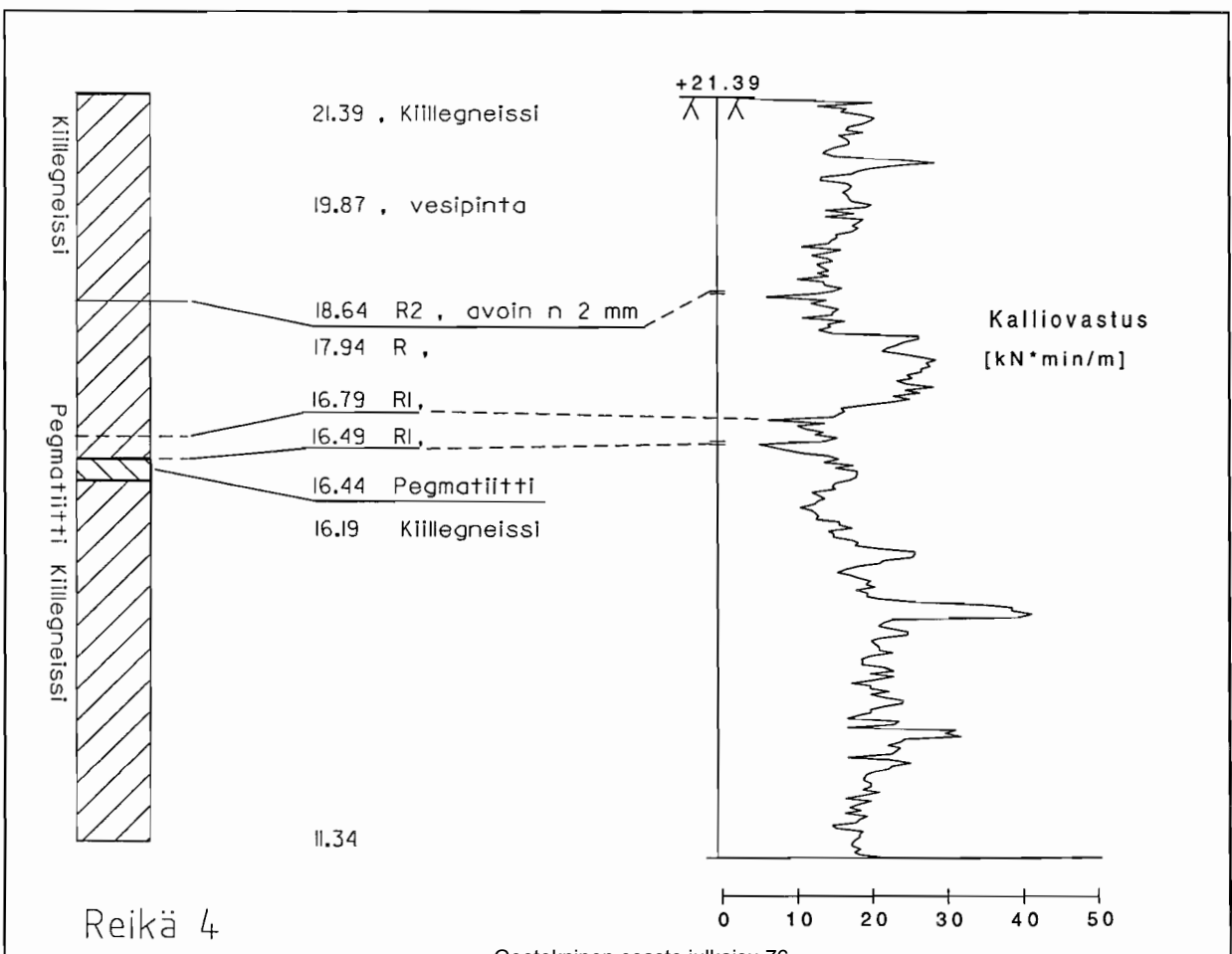
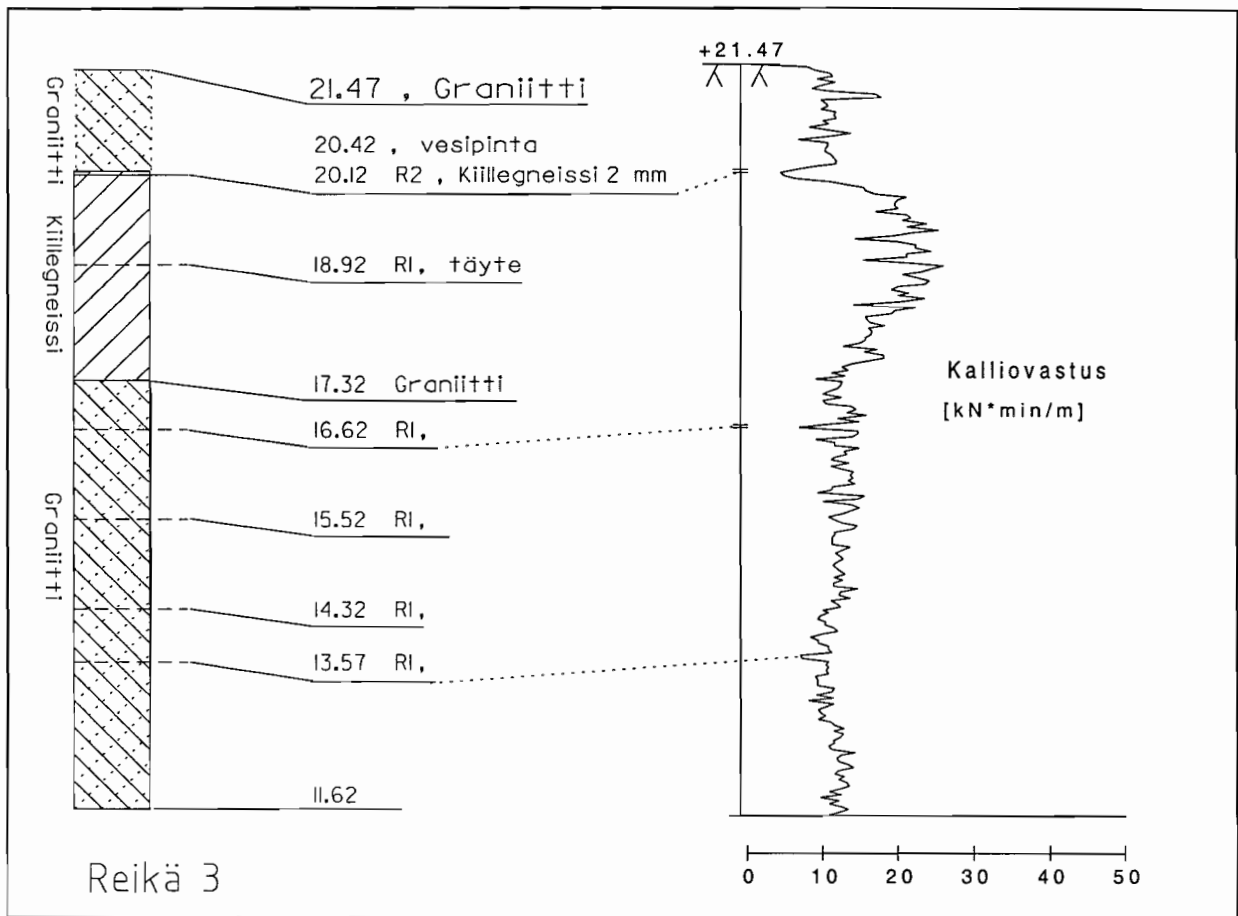
Ulmala, O., Halkola, H., 1994: Puristinporakonekairaus, Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston tiedote, GEO 65/1994, s. 39.

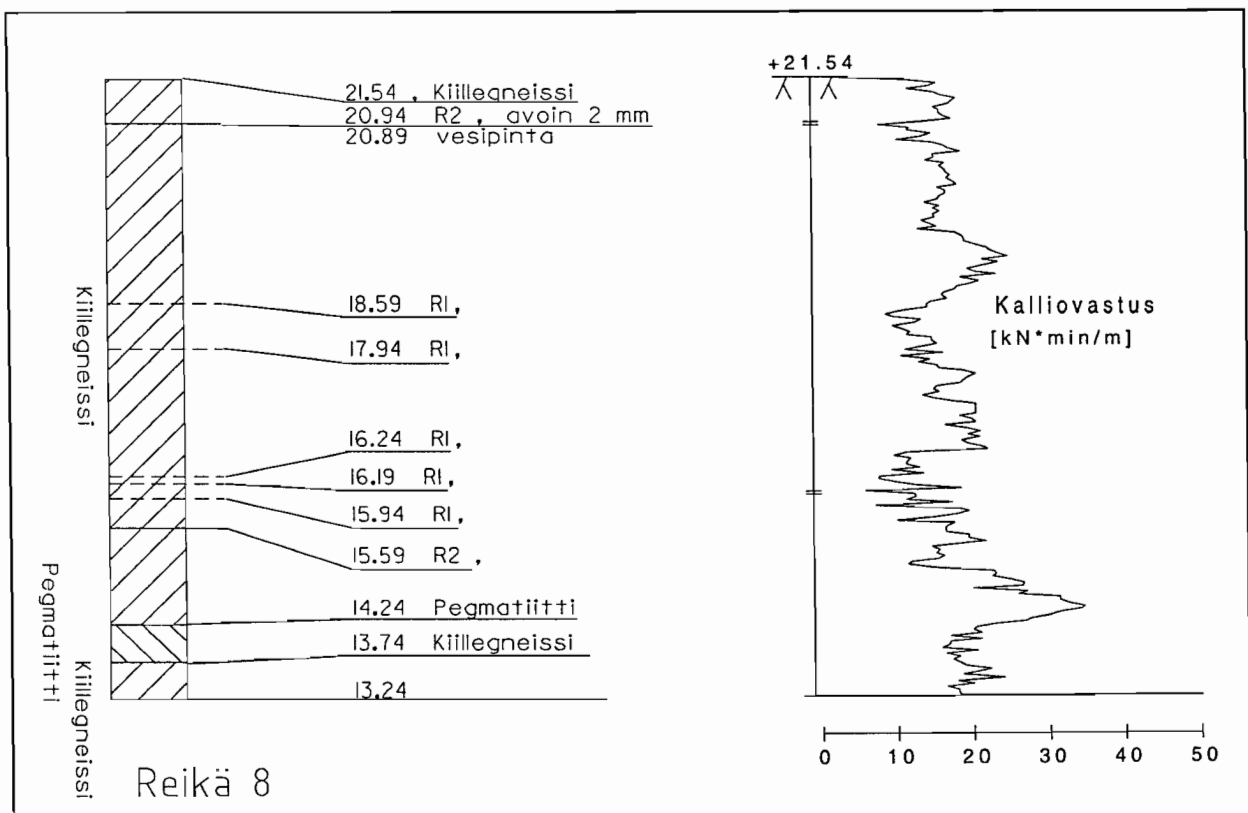
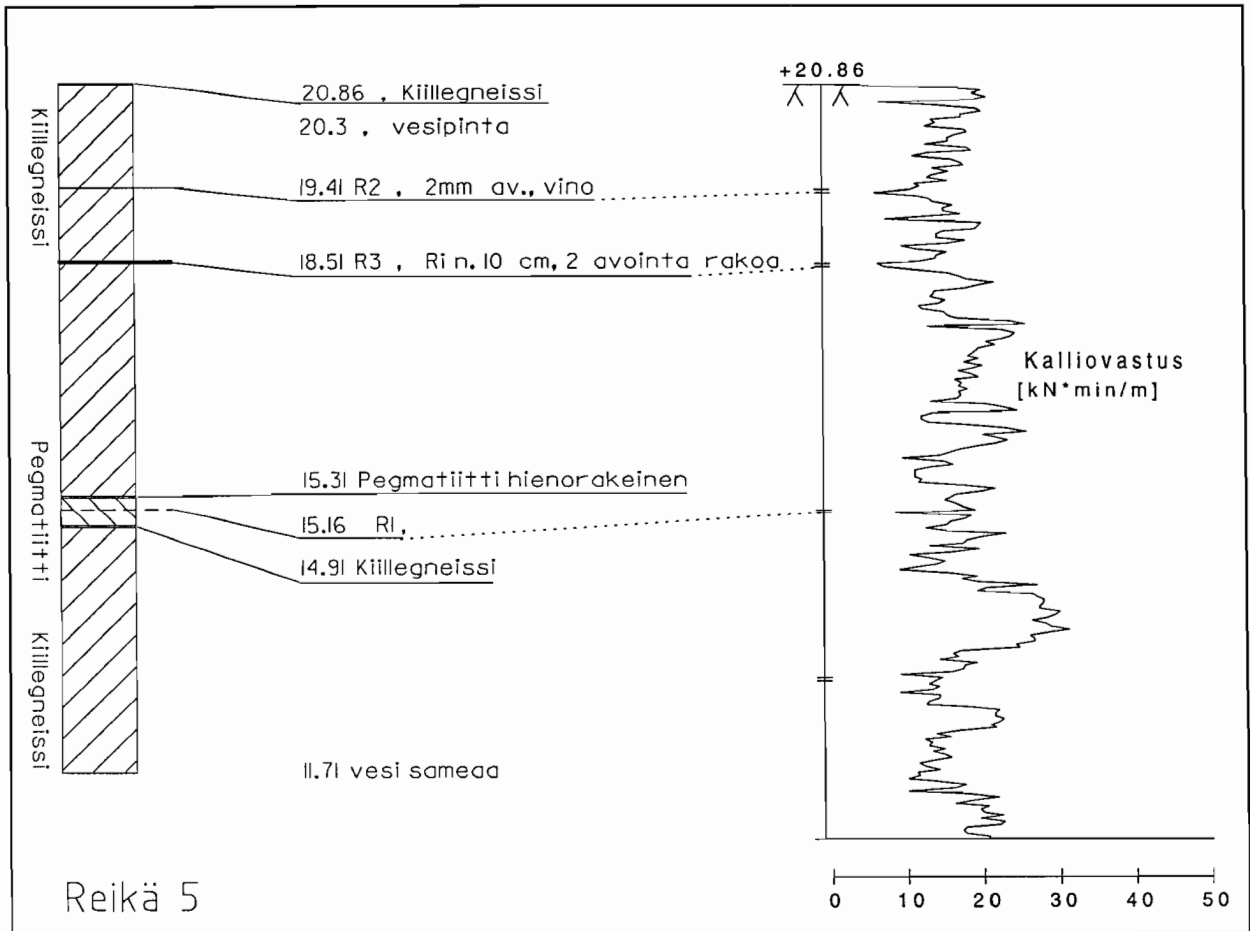
Vuolio, R., 1991: Räjätystyöt. Helsinki 1991, Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y. 318 s.

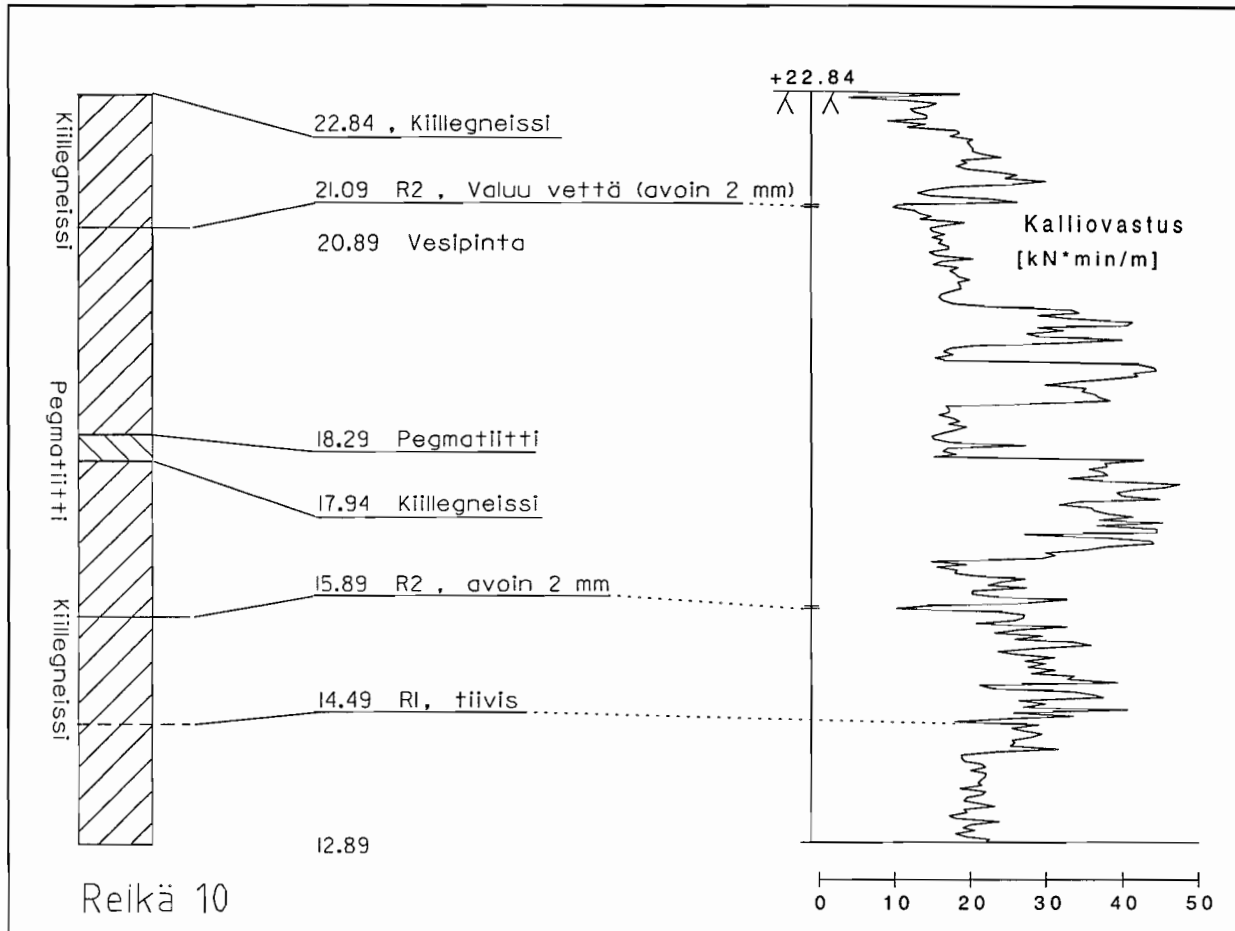
12. LIITTEET

1. Rekisteröintitulosten ja reikävideoraporttien vertailu









Published by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION MALMIN ASEMATIE 3 A FIN-00700 HELSINKI PHONE +358-9-1691, FAX +358-9-169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo	Series title, number and date Geotechnical Division, report 76/1998 May 1998	
	Project number(s) 6523	
Author(s) Pekka Leivo Hannu Halkola	Commissioned by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION	
Title MWD-drilling in valuation of ground and rock conditions		
Abstract This research project was conducted at the geotechnical department of the real estate office of the city of Helsinki. The study was aimed at developing of the valuation of ground- and rock conditions from the registration results of MWD-drilling. Top hammer drillings are traditionally made to value the depth of rock surface and to penetrate different fill levels. Earlier the result of interpretation was made by the driller during the drilling, so the designer did not have a possibility to participate in interpreting. Digital result registration has made also the interpretation after the drilling possible. This research were to investigate the interpretation possibilities on the basis of the registration results and the influence of different drilling styles on the registration results and their interpretability. The research was carried out by comparing reliable drilling results achieved by other drilling methods and by taking soil samples. The method mainly used in comparison was static - dynamic penetration test and its registration results. In interpretation of rock drilling results were used joint cartographys that were made on basis of video recordings made in drill holes. This research showed that by using MWD-drilling the following matters can be solved from the registration results: Rough discrimination of tight soil level from loose one, valuation of stone density, discrimination of sand from gravel, thickness of blasted rock level, accurate position of the rock surface, valuation of rock surface quality on basis of drilling parameters, placing of rock joints on basis of rock resistance values. The most important factor in research of different drilling styles appeared to be the use of hammering and manouvers that cause difference to registration results made by the driller, like changes in drilling velocity and compress force. The result was that registration results with hammering and without hammering are not comparable, so the registration of hammering turned out to be necessary to get reliable results.		
Keywords MWD-drilling, registration, compress force, drilling velocity, soil- and rock resistance		
ISSN 0788-6209	ISBN 951-718-084-5	Class (UDC) 624.1
Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 90 p.	

Julkaisija HELSINGIN KAUPUNGIN KIIENTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO MALMIN ASEMATIE 3 A 00700 HELSINKI PUHELIN (09) 1691, FAX (09) 169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo		Julkaisusarja, numero ja julkaisu-aika Geoteknisen osaston tiedotteet 76/1998 Toukokuu 1998	
		Projektinnumero(t) 6523	
Tekijä(t) Pekka Leivo Hannu Halkola		Toimeksiantaja(t) HELSINGIN KAUPUNKI KIIENTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO	
Nimike Maa- ja kallioperätietojen tulkinta porakonekairauksen rekisteröintituloksista			
Tiivistelmä Tämä tutkimus on tehty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisellä osastolla tavoitteena selvittää maa- ja kallioperätietojen tulkintamahdollisuuksia rekisteröivän porakonekairauksen rekisteröintituloksista. Porakonekairauksia tehdään mm. kalliopinnan syvyyden määrittämiseksi sekä täyterostosten läpäisemiseksi. Aikaisemmin tulostulkinnan suoritti kairaaja porauksen aikana, eikä suunnittelijalla ollut mahdollisuutta osallistua tulosten tulkintaan. Digitaalinen tulosrekisteröinti on mahdollistanut kairaustulosten tulkinnan myös porauksen jälkeen. Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään tulkintamahdollisuuksia rekisteröintitulosten perusteella, sekä poraustyylin vaikutusta rekisteröintituloksiin ja niiden tulkittavuuteen. Tavoitteeseen pyrittiin vertailemalla rekisteröintituloksia muilla kairausmenetelmillä selvitettyihin, paikkansapitäviksi todettuihin maakerroshavaintoihin sekä ottamalla maanäytteitä. Vertailuaineistona käytettiin mm. puristin-heijarikairauksen rekisteröintituloksia. Kallioporausten tulostulkinnassa käytettiin apuna porareijästä kuvattuja reikävideonauhoja sekä niiden perusteella tehtyjä rakokartoituksia. Tutkimuksia varten tehtyjen koekairauksen ja muun aineiston perusteella voidaan todeta, että porakonekairauksen rekisteröintitulosten avulla voidaan määrittää mm. seuraavat seikat: tiiviin kerroksen karkea erottaminen löyhästä, maakerrosten kivisyyden arviointi, hiekan erottaminen sorasta, louhetäyteen paksuuden arviointi, kalliopinnan tarkka sijainti, kalliopinnan laadun arviointi, kalliolaadun arviointi poraparametrien perusteella, merkittävimpien kalliorakojen paikantaminen kalliovastustulosten perusteella. Poraustyylin vaikutusten tutkimuksissa tärkeimmäksi tekijäksi osoittautui iskun käyttö sekä kairaajan tekemien, rekisteröintitulokseen vaikuttavien toimenpiteiden, kuten nopeuden ja puristusvoiman, muutokset porauksen aikana. Voitiin todeta, että isku päällä tai ilman iskua saadut rekisteröintitulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia, joten iskun rekisteröinti todettiin välttämättömäksi.			
Avainsanat MWD-porakonekairaus, rekisteröinti, puristusvoima, etenemisnopeus, maa- ja kalliovastus			
ISSN 0788-6209		ISBN 951-718-084-5	
		Luokitus (UDK) 624.1	
Kieli suomi, engl. tiivistelmä		Sivuja 90 s.	

1	<i>Anttikoski, Usko</i>	Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen	1973	
2	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	1973	*
3	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	1974	*
4	<i>Mäkinen, Reino</i>	Täyttömäken rakentaminen kaupunkialueella	1974	*
5	<i>Saarela, Matti</i>	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	1974	*
6	<i>Hartikainen, Jorma</i>	Kitkapaalujen kantavuus	1976	
7	<i>Petäjä, Jouko</i>	Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen	1977	
8	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Metrotunnelien injektointi	1977	*
9	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kalliotunnelien käyttö varastointiin	1977	*
10	<i>Tikkanen, Heikki</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	1978	
11	<i>Arkima, Olli</i>	Kluuvin ruhjeen jäädytys	1978	*
12	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Puiset perustusrakenteet	1979	
13	<i>Havukainen, Jorma</i>	Voimalalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa	1979	
14	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen	1979	*
15	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Pohjavesitarkkailu -80	1980	
16	<i>Anttikoski, Usko</i>	Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunnelikonferenssin kokemusten perusteella	1979	*
17	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunneliin	1981	
18	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa	1981	*
19	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys	1981	
20	<i>Vuola, Pekka</i>	Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta	1981	
21	<i>Havukainen, Jorma & Korhonen, Osmo</i>	Tonttialueiden maarakenteet	1981	
22	<i>Havukainen, Jorma</i>	Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä	1981	
23	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	1982	
24	<i>Latvala, Ahti</i>	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	1982	
25	<i>Havukainen, Jorma & Härmäläinen, Alpo & Sulamäki, Antti</i>	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	1982	
26	<i>Halkola, Hannu</i>	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmäessä	1982	*
27	<i>Paavola, Pertti</i>	Kunnallisteknisten tunnelien louhintakustannus selvitys	1982	
28	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Maarakennusta koskeva mallityöselitys	1982	*
29	<i>Gulin, Kai</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa	1982	
30	<i>Halkola, Hannu</i>	Syvästabilointiin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät	1982	
31	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet	1983	
32	<i>Havukainen, Jorma</i>	Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar	1983	
33	<i>Havukainen, Jorma</i>	The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines	1983	
34	<i>Salmela, Juhana</i>	Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta	1983	
35	<i>Havukainen, Jorma</i>	Matkakertomus kivihiilituhkien ympäristövaikutuskonferenssista	1983	
36	<i>Hytti, Pekka</i>	Esi-injektointin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa	1984	
37	<i>Leinonen, Jukka</i>	Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa	1984	
38	<i>Pirinen, Jussi</i>	Kelluvan rantapenkereen rakentaminen	1984	*
39	<i>Latvala, Ahti</i>	Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti	1984	*
40	<i>Korpela, Jaakko & Schüller, Mikael</i>	Jäykkien liitosjohtojen pohjarakennus selvitys (Jäli-selvitys)	1984	
41	<i>Lahtinen, Eeva-Riitta</i>	Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, väliraportti)	1985	
42	<i>Korpi, Juhana</i>	In Situ -kuormituskoe painumien määrittämiseksi	1985	
43	<i>Havukainen, Jorma</i>	Esirakentamisen kehittäminen	1985	
44	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Jäädytysmenetelmän käyttö	1987	
45	<i>Havukainen, Jorma & Härmäläinen, Alpo & Latvala, Ahti</i>	Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	1987	*
46	<i>Julkunen, Arto</i>	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	1987	
47	<i>Hutri, Kaisa-Leena</i>	Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin	1988	
48	<i>Melander, Kari</i>	Puristin-heijarikairaus kairausmenetelmänä	1989	
49	<i>Leppänen, Mikko</i>	Vahvisinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa	1989	
50	<i>Vähäaho, Ilkka & Ryhnen, Hannu</i>	Sulamiskonsolidaation vaikutukset savessa	1989	
51	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Effects of Thaw Consolidation on Geotechnical Properties of Clay	1989	
52	<i>Koskela, Pekka</i>	Routastabilointiin vaikutus ruoppausmassaan	1989	
53	<i>Saari, Mauri & Korhonen, Osmo</i>	Paalujen dynaaminen koestus PDA-laitteistolla	1990	
54	<i>Saari, Mauri & Volanen, Niilo</i>	Ruoholahden koepaalu	1990	
55	<i>Yrjänä, Jouko & Korhonen, Osmo</i>	Pystyöjitus Pikku-Huopalahdessa	1991	
56	<i>Nimimäki, Risto & Raudasmaa, Pekka</i>	Viikkinmäen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kalliotutkimukset	1992	
57	<i>Nieminen, Jarmo & Johansson, Erik & Holopainen, Pekka</i>	Viikkinmäen keskuspuhdistamon louhinnan aikainen kalliomekaaninen seuranta	1992	

58	Ahola, Jukka & Viitala, Raimo	Lujitus- ja tiivistysmäärät Helsingin pientunneleissa	1992	
59	Ravea, Timmo & Korhonen, Osmo	Helsingin tulvapadon rakentamisen edellytykset	1992	
60	Taipale, Hannu & Korhonen, Osmo	Paalutustarinan arviointi kirjallisuuden ja mittauksen perusteella	1992	
61	Karlstedt, Paul & Halkola, Hannu	Ylijäämäsavien massastabilointi	1993	
62	Leiskalho, Antti & Lehtonen, Jouko	Maankäytön geotekninen suunnittelu	1993	
63	Anttikoski, Usko & Kumar, Seppo & Saarelainen, Seppo	Kalliokaivanto jätehuollossa (esiraportti)	1993	*
64	Rekonen, Rita & Halkola, Hannu	Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnalla	1994	
65	Ulmala, Oja & Halkola, Hannu	Puristin-porakonekairaus	1994	
66	Havukainen, Jorma	Katsaus ympäristötekniikkaan kansainvälisen kongressin valossa (matkakertomus)	1995	
67	Korkeakoski, Pasi & Lehtonen, Jouko	Asuinrakennusten tontti- ja pohjarakennuskustannukset	1996	
68	Puumalainen Nina & Havukainen Jorma	Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Torpparinmäessä	1996	
69	Mehdä, Jani & Korhonen, Osmo	Puotilan metroaseman pohjavesivaikutusten arviointi numeerisilla menetelmillä	1996	
70	Nieminen, Jarmo & Anttikoski, Usko	EU:n rahoitustuki Helsingin kaupungin tutkimustoiminnassa	1996	
71	Junnila, Antti & Lehtonen, Jouko	Geotekninen kustannustiedosto, Geokuti 96	1996	
72	Wegelius, Arto & Viitala, Raimo	Kallioluokitusmenetelmien käyttö tunnelien lujituksessa	1996	
73	Vähäaho, Ilkka	Savien stabilointi eri sideaineilla, kentäkokeiden tulokset	1996	
74	Rantala, Kalle & Halkola, Hannu	Paalon kantavuuden arviointi puristin-heijarikairalla	1997	
75	Wegelius, Arto & Holopainen, Pekka	Paisuvat kalliosavet	1997	
76	Leivo, Pekka & Halkola, Hannu	Maa- ja kalliooperättöjen tulkinta porakonekairauksen rekisteröintituloksista	1998	
77	Nauska, Jari & Havukainen Jorma	Esirakentaminen 1998	1998	
78	Svanström, Terhi & Raudasmaa, Pekka	Pohjavesi Helsingin kaupunkiympäristössä: esiintyminen, käyttö, suojele ja vaikutus rakentamiseen	1998	
GEO 10 K	Kalliooperäkarta - Berggrundskarta 1:10.000, Helsinki - Helsingfors		1978	
GEO 10 M	Maaperäkarta - Jordmånskarta - Geotechnical Atlas of Soil Deposits 1:10.000, Helsinki - Helsingfors		1989	

*) painos loppuunmyyty

Hinnat

tiedotteet	1 kpl 90 mk, 2-3 kpl 80 mk, 4-6 kpl 70 mk, 7- kpl 65 mk (sis. alv)
karttakirjat	450 mk/kpl (sis. alv)

Tilauslomake <http://www.kv.hel.fi/geo/tilaus.html>

Helsingin kaupunki
Kiinteistövirasto/geotekninen osasto
Malmin asematie 3 A 00700 Helsinki
puhelin 09-1691 fax 09-169 4555
Email geo@kv.hel.fi
<http://www.kv.hel.fi/geo>