

VIIKINMÄEN KESKUSPUHDISTAMON RAKENNUSGEOLOGISET KALLIOTUTKIMUKSET

Risto Niinimäki • Pekka Raudasmaa



HELSINGIN KAUPUNKI

KIINTEISTÖVIRASTO

G E O T E K N I N E N O S A S T O

ALKULAUSE

Helsingissä on jo pitkään rakennettu teknisen huollon tiloja ja verkostoja maan alle. Kaukolämmön sekä raaka- ja jätevesihuollon pitkiä runkolinjoja on Helsingin kallioperässä yhteensä noin 150 kilometriä. Teknisen huollon sijoittamisella maan alle saadaan useita etuja mm. rakenteiden pitkäikäisyyden ja toimintavarmuuden kautta.

Maanalaisena laitoksena keskuspuhdistamo voitiin sijoittaa maantieteellisesti keskelle kaupunkia ja siten, että uusien kokooja- ja poistotunneliden rakentaminen jää määrältään vähäiseksi. Pitkällä tähtäimellä merkittävää hyötyä koituu siitä, että maanalaisen puhdistamon ympäristörasitukset ovat hallittavissa ja vanhoilta puhdistamoilta vapautuvat alueet voidaan käyttää asuinrakentamiseen.

Viikinmäen puhdistamo on Suomen suurimpia maanalaisia rakennushankkeita. Kallioteknisesti se on ollut laajuutensa sekä niukkojen kallioresurssiensa vuoksi erittäin vaativa kohde, mistä syystä alueella tehtiin huomattavissa määrin ennakkotutkimuksia sekä tilojen että lujitusten mitoittamiseksi sekä louhinnan suunnittelua varten.

Viikinmäen heikkousvyöhykkeistä ja rakoilusta saatiin tutkimuksilla tietoa osa-alueitain. Tässä selvityksessä on alueen geologia käsitelty kokonaisuutena ja samalla on kirjattu eri tutkimusmenetelmillä saadut kokemukset käytettäväksi tulevilla kalliorakennushankkeissa.

Helsingissä, tammikuun 7. päivänä 1992



Usko Anttikoski
osastopäällikkö

TIIVISTELMÄ

Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitoksen toimesta rakennettiin uusi jätevesien puhdistuslaitos Viikinmäkeen. Alue sijaitsee Vanhankaupunginlahden pohjoispuolella Lahden moottoritien, Vantaanjoen ja Herttoniemen teollisuusraiteen rajaamalla alueella. Jätevesien puhdistuksen prosessitilat sijoitettiin kokonaisuudessaan kallioon. Toimisto sekä huoltoon ja kaasunkäyttöön liittyvät tilat sijoitettiin maanpäällisiin rakennuksiin.

Keskuspuhdistamon alueella on korkeat kalliomäet, joiden väliin jää säteettäisen kuvion muodostavat painanteet. Painanteiden muodostaman kuvion kärki sijoittuu Vantaanjokilaaksossa sijaitsevaan kallion ruhjevyöhykkeeseen. Kivilajiltaan alue on pääosin graniitin ja gneissin muodostamaa migmatiittia ja aivan alueen etelä- ja kaakkoisosissa graniittia. Bartonin luokituksen mukaan noin 75 %:a kalliosta oli kohtalaista tai sitä parempaa kalliolaatua.

Keskuspuhdistamon vesiasema muodostuu seitsemästä yli 250 m pitkästä, 19-17 m levyisestä ja 11-18 m korkuisesta hallista. Hallien väliin jäävät pilarit ovat leveydeltään 10-12 m. Kallioteknisesti vaativin alue oli vesiaseman leikkaava ruhjepainanne, jossa rikkonaista kalliokattoa oli vähimmillään noin neljä metriä.

Hankkeen laajuuden vuoksi Viikinmäessä suoritettiin runsaasti erilaisia kallio-utkimuksia. Osaksi tutkimuksilla selvitettiin kallion rakennetta ja osaksi lähtöarvoja kalliomekaanisia laskelmia varten.

Tässä työssä on käsitelty kullakin tutkimusmenetelmällä saadut tulokset, verrattu niitä keskenään ja tunneleista suoritettun rakennusgeologisen kartoituksen tuloksiin.

Louhinnan jälkeen voitiin todeta, että ennakkotutkimuksilla saatiin hyvä kuva kallio-olosuhteista muutamaa poikkeusta lukuunottamatta. Kartoituksessa havaittiin keskeinen heikkousvyöhyke huomattavasti leveämmäksi kuin urakka-asiakirjoissa oli esitetty. Myös muutamia pysty- ja loiva-asentoisia heikkousvyöhykkeitä ei tutkimuksilla ennakkoon havaittu.

ABSTRACT

The City of Helsinki Water and Wastewater Authority constructed a new wastewater treatment plant at Viikinmäki. The site is situated to the north of the Old City Bay and is bounded by the Lahti motorway, River Vantaa and the Herttoniemi industrial rail track. The spaces for wastewater treatment are situated entirely inside the rock. An office and facilities for technical service and gas utilization are situated in buildings on soil surface.

The site consists of high rocky slopes, intervened by depressions forming a radial configuration. The point of convergence of this configuration falls at a crushed rock zone situated at valley of River Vantaa. The rock quality is mainly migmatite consisting of a mixture of granite and gneiss, and largely granite in the south and southeastern parts of the area. According to Barton's classification approximately 75 % of rock was moderate or better rock quality.

The water treatment basin of the plant consists of seven halls of length over 250 m, width 17-19 m and height 11-18 m. Rock pillars between the halls are 10-12 m in width. In terms of rock engineering the most demanding feature was a crushed depression intersecting the water treatment basin, forming a fractured rock cover of 4 metres minimum.

A number of various rock investigations were carried out at Viikinmäki due to the large scope of the project. Investigations were aimed at determining both rock structure and initial parameter values for rock mechanical calculations.

This report concerns the results obtained from each investigation method. They are compared with each other and with results from engineering geological surveys from the tunnels.

It was apparent after excavation that the preliminary investigations gave a good description of rock conditions, with a few exceptions. Surveys revealed the central weakness zone to be considerably more extensive than described in the contract documents. A few vertical and near-horizontal weakness zones went undetected during preliminary investigations.

VIIKINMÄEN KESKUSPUHDISTAMON RAKENNUSGEOLOGISET KALLIOTUTKIMUKSET

NIINIMÄKI, R. & RAUDASMAA, P.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE
TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	1
2. Alueen geologia	3
2.1. Korkeussuhteet	3
2.2. Kallioperä	3
2.3. Maaperä	6
2.4. Pohjavesi	8
3. Alueella suoritettut tutkimukset ja niiden tulkinta	9
3.1. Yleistä	9
3.2. Rakennusgeologinen kalliokartoitus	10
3.2.1. Yleistä	10
3.2.2. Osa-alue I	15
3.2.3. Osa-alue II	15
3.2.4. Osa-alue III	16
3.2.5. Osa-alue IV	17
3.2.6. Itäinen vesijohtotunneli	17
3.2.7. Läntinen vesijohtotunneli	18
3.3. Seisminen refraktioluotaus	18
3.4. Seisminen P- ja S-aaltomittaus	21
3.5. Reikäseisminen mittaus	24
3.6. Maatutkaluotaus	27
3.7. Porakonekairaukset	29
3.8. Kallionäytekairaukset	30
3.8.1. Suunnatut näytteet	33
3.8.2. Vesimenekkimittaukset	36
3.9. Jännitystilamittaukset	37
3.10. Pressometrikokeet	41
3.11. Geofysikaaliset reikämittaukset	42
3.12. Kairauksiin liittyvät laboratoriomittaukset sekä ohuthie- ja röntgendiffraktometritutkimus	43
3.13. Pohjavesitarkkailu	43
4. Rakennusgeologiset tiedot suunnittelussa ja urakka-asiakirjoissa	48
4.1. Tietojen käyttö suunnittelussa	48
4.2. Urakka-asiakirjojen rakennusgeologiset tiedot	50

5. Louhitun tilan rakennusgeologinen kartoitus	54
5.1. Kartoitustavat	54
5.2. Rakennusgeologinen kartoitus	54
5.3. Kartoituksen tulokset	55
5.3.1. Etuselkeytsaltaat	55
5.3.2. Ilmastusaltaat	57
5.3.3. Jälkiselkeytsaltaat	58
5.3.4. Halli K	60
5.3.5. Kulkukäytävät	60
6. Tutkimustietojen vertailu	62
6.1. Yleistä	62
6.2. Kivilajit	62
6.3. Rakoilu	62
6.4. Heikkousvyöhykkeet	62
7. Johtopäätöksiä Viikinmäessä käytetyistä tutkimusmenetelmistä	64
7.1. Yleistä	64
7.2. Rakennusgeologinen kartoitus	64
7.3. Seismiset luotaukset	65
7.4. Maatutkaluotaus	66
7.5. Kallionäytekairaus	66
7.6. Jännitystilamittaus	67
7.7. Muut tutkimusmenetelmät	67
8. Yhteenveto	69
KIRJALLISUUSLUETTELO	71

1. Johdanto

Yhdyskunnan jätehuoltoon liittyvät viemäriverkot toimivat viettoviemäriperiaatteella. Koska pumppaustekniikkaan liittyi aikaisemmin epävarmuustekijöitä, pyrittiin pumppaamoiden rakentamista välttämään. Tämä johti pieniin viemäröintialueisiin ja useisiin meren rannalle sijoitettuihin jätevedenpuhdistamoihin.

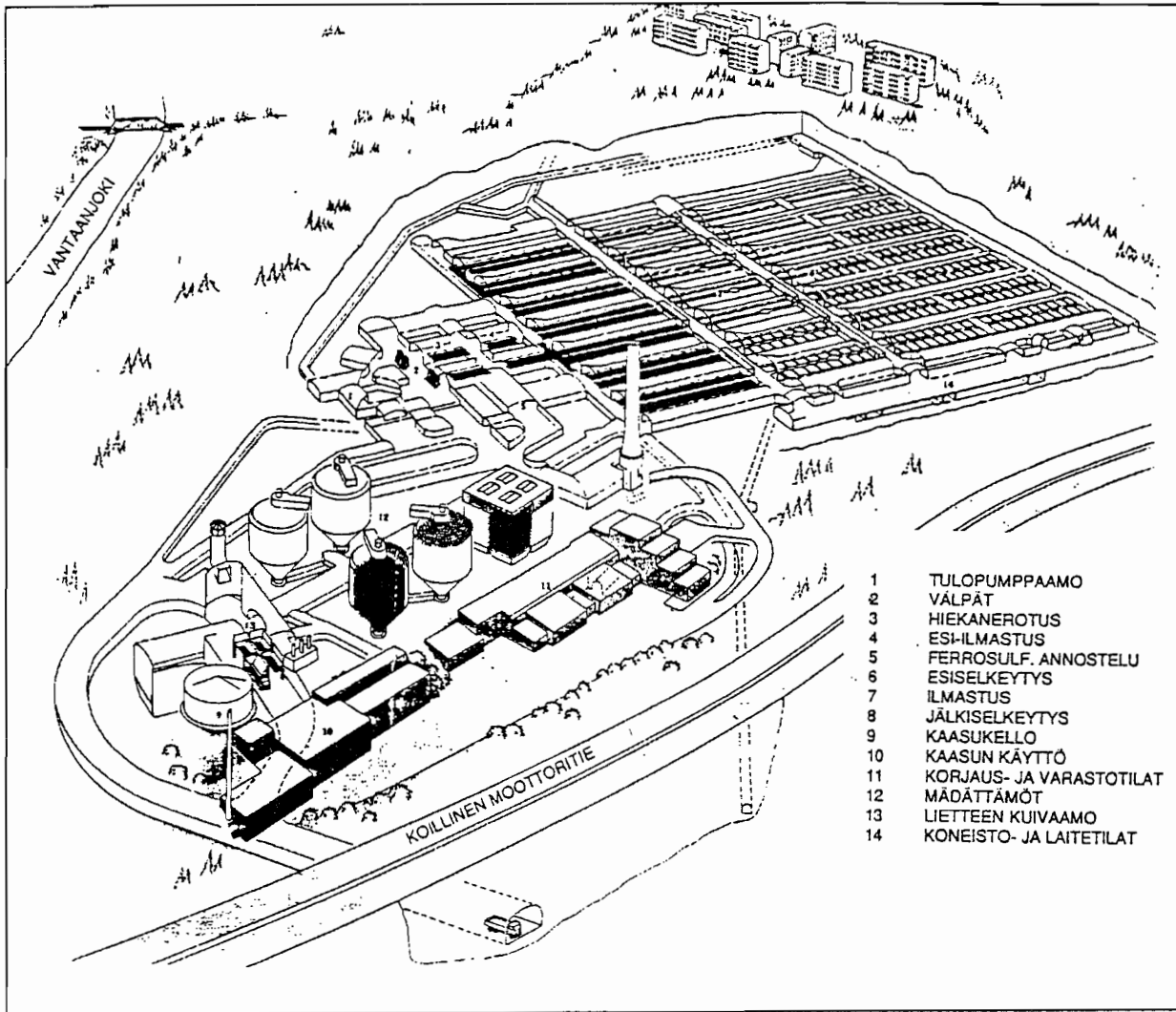
Pumppaustekniikan kehittyminen on antanut mahdollisuuden keskittää jätevesien puhdistamista. Helsingissä ryhdyttiin tutkimaan jätevesien puhdistuksen suorittamista yhdessä suuressa puhdistuslaitoksessa 1980-luvun alussa. Toukokuussa 1986 kaupunginvaltuusto teki päätöksen maanalaisen keskuspuhdistamon rakentamisesta Viikinmäkeen. Uuden Viikinmäkeen sijoitettavan keskuspuhdistamon louhintatyöt alkoivat vuoden 1988 alussa ja päättyivät vuoden 1992 alussa /7/.

Keskuspuhdistamo oli kalliorakennuskohteena vaativa leveiden ja korkeiden hallien ja näiden väliin jäävien melko kapeiden kalliopilareiden vuoksi. Tästä syystä louhintatöiden suorittamista ja lujitusten arvioimista varten on tehty huomattava määrä erilaisia kallioperätutkimuksia. Tutkimuksiin on käytettiin seitsemän miljoonaa markkaa vuoden 1986 rahassa.

Keskuspuhdistamon kallioperätutkimukset suoritettiin noin puolen vuoden aikana. Tutkimuksia tehtiin laajasti ja yhtäaikaaisesti useilla eri menetelmillä. Tutkimustulokset koostuvat useista raporteista, joista tehtiin yhteenveto kutakin louhintaurakkaa varten. Tutkimustulokset ja johtopäätökset esitettiin normaalin rakennuttamiskäytännön mukaisesti.

Tutkimusten kannalta oli kohteessa kiinnostavinta heikkousvyöhykkeiden leikkaama vesiaseman alue, josta tehtiin louhintojen jälkeen rakennusgeologinen kartoitus.

Tässä työssä on esitelty tiivistetysti alueella suoritettut tutkimukset ja niiden tulokset. Saatuja tietoja on verrattu tämän työn yhteydessä tehtyihin maanalaisten tilojen kartoitushavaintoihin. Edelleen on tehty johtopäätöksiä eri menetelmien käyttökelpoisuudesta vastaavanlaisissa kalliorakennuskohteissa. Tuloksista on pyritty rakentamaan kokonaiskuva alueen geologisesta rakenteesta ja erityisesti rakoilu- ja heikkousvyöhykkeistä.



Kuva 1. Viikinmäen keskuskuspuhdistamo /7/.

2. Alueen geologia

2.1. Korkeussuhteet

Topografialtaan alue on suhteellisen jyrkkäpiirteistä. Aluetta hallitsevat hieman säteittäisesti sijaitsevat pitkänomaiset kalliomäet ja näiden väliin jäävät painanteet.

Maanpinta on korkeimmillaan tasossa noin +40 länsi- ja itäpuolisten kalliomäkien lakiosissa. Alimmillaan se on tasossa noin +10 mäkialueen etelä- ja pohjoispuolella. Etelässä maanpinta viettää alaspäin ja saavuttaa Viikin puhdistamon tasalla merenpinnan tason.

Kalliomäet voidaan jakaa topografisesti läntiseen ja itäiseen ryhmään. Läntiseen mäkiryhmään kuuluvat mäet ovat reunoiltaan jyrkkiä ja niiden väliin jää syviä kallionotkelmia. Nämä pitkänomaiset mäet ovat asettuneet hieman säteittäisesti. Itäiseen mäkiryhmään kuuluu laajahko mäki, jonka lakiosan muodostavat useat muutaman metrin korkuiset kalliokumpareet ja niiden väliin jäävät lähinnä koillinen-lounas suuntaiset painanteet.

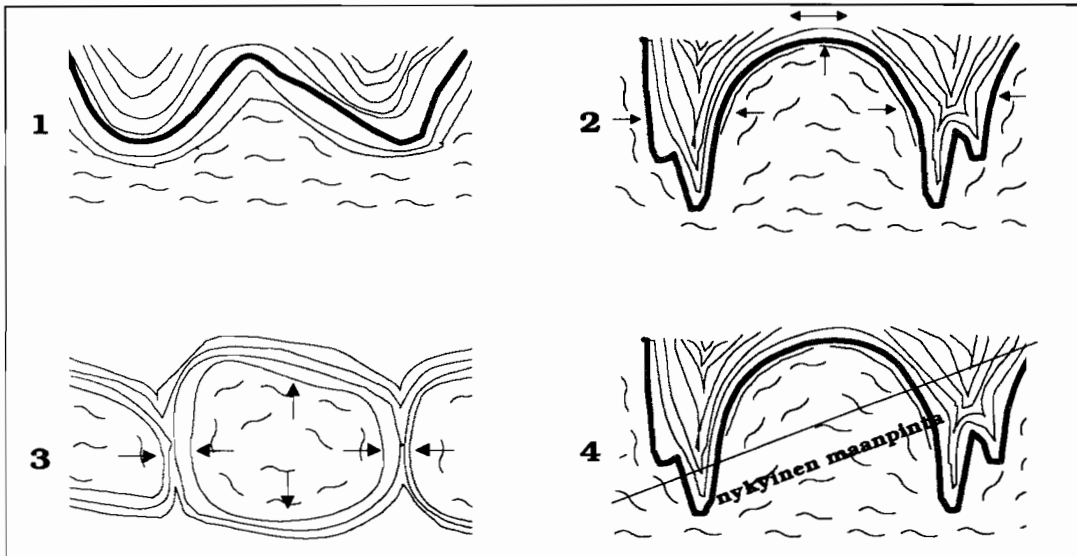
2.2. Kallioperä

Helsingin alueen kallioperä koostuu svekofennisistä gneisseistä, graniittisista kivistä ja metavulkaniiteista. Ne muodostavat Helsingin seudulle kuten myös koko Etelä-Suomelle tyypillisiä graniittisia seoskiviä eli migmatitteja. Usein kivilajialueiden kontaktit ovat vyöhykkeitä, joissa kivilajien suhteelliset osuudet vaihtuvat vähitellen. Paikoin tavataan myös nuorempia juonikivilajeja. Helsingin alueen prekambriset kivilajit ovat iältään noin 1600 - 2300 Ma /10, 11, 13, 14, 21/.

Helsingissä ja sen ympäristössä on kvartsi-maasälpägneissejä, kiillegneissejä ja erilaisia metavulkaniitteja, jotka ovat alueen pintasyntyisiä svekofennialaisia kivilajeja. Kvartsimaasälpägneissit ja kiillegneissit edustavat stratigrafisesti alinta tunnettua sedimenttiorizonttia omilla alueillaan. Näiden kivilajien sedimentaatioalustaa ei tunneta. Se on ilmeisesti kadonnut svekofennidisen metamorfoosin prosesseissa. Nykyisen asunsa ja mineraalikoostumuksensa pintakivilajit ovat saaneet alueen eri vaiheisissa metamorfooseissa /13, 14/.

Syväkivilajeista peridotiitit, gabrot ja kvartsi- ja granodioriitit ovat svekofeniidisen varhais- ja synkinemaattisen vaiheen plutonismissa muodostuneita. Alueelle tyypilliset migmaattiset migrokliinigraniitit ovat muodostuneet myöhäiskinemaattisessa vaiheessa. Varhais- ja synkinemaattisen vaiheen syväkivet ovat oleet mukana myöhemmissä metamorfooseissa ja ovat suurimmaksi osaksi uudelleen kiteytyneitä /6, 13, 19/.

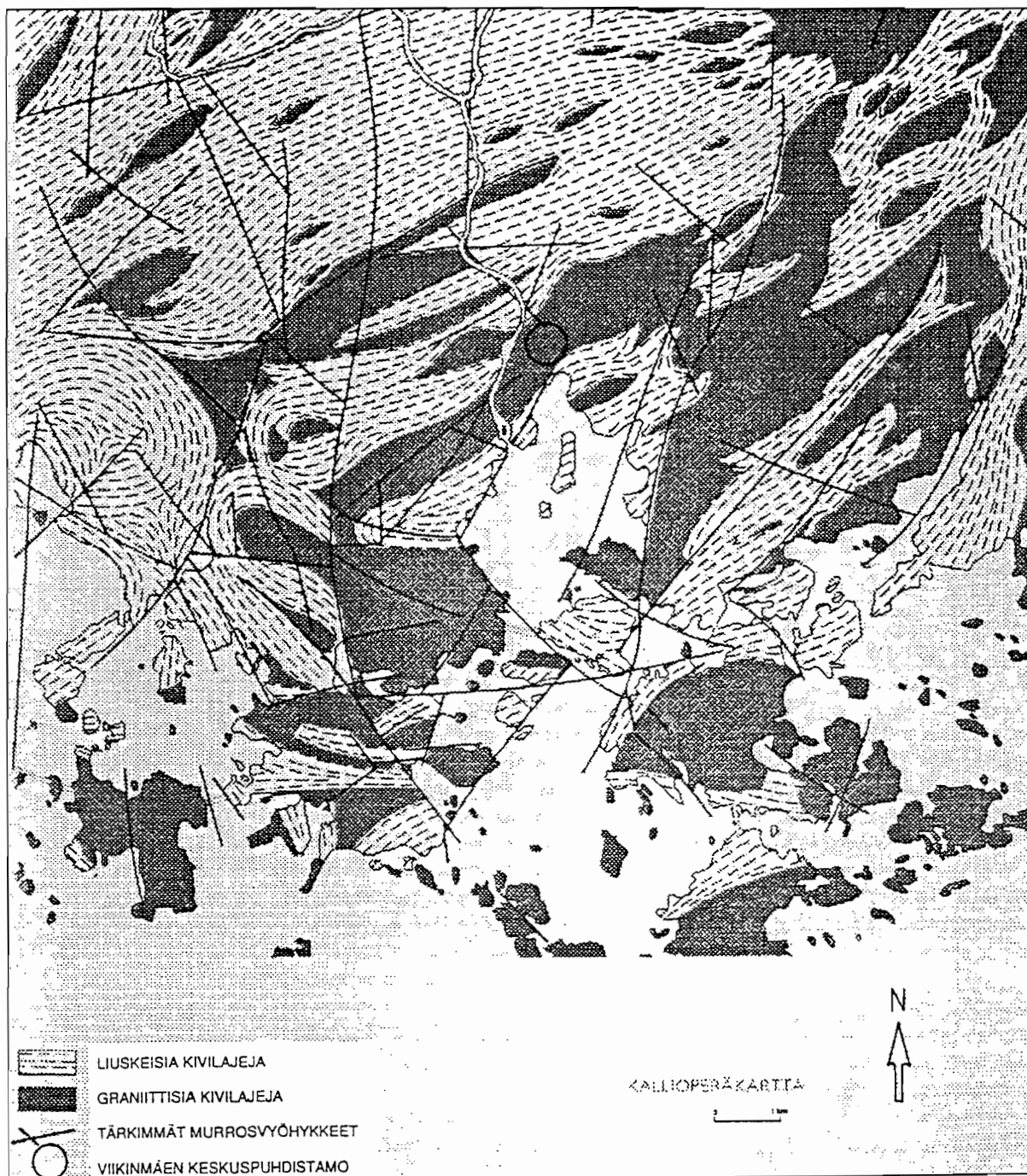
Migmatiittiutumisen voidaan katsoa tapahtuneen kahdessa vaiheessa. Aluksi synorogeeniset syväkivet tunkeutuivat poimuttuneisiin eugoesynkliinivaiheen sedimentteihin. Tällöin poimuttuneiden sedimenttien synkliinit jyrkkenivät isokliineiksi. Migmatiittiutuminen tapahtui varsinaisesti migrokliinigraniitti-intruusioiden syntyessä (kuva 2) /3, 6/.



Kuva 2. *Vaihe 1.* Poimuttuneiden sedimenttien alaosat graniittiutuivat ja muodostunut migmatiittigraniitti alkoi kohota doomeina. *Vaihe 2.* Samalla gneissisyngliinit vajosivat doomien väleihin ja doomien huipulla gneissit venyivät ja litistyivät. *Vaihe 3.* Doomien puristuksissa sedimentteihin syntyi ristikkäistä poimutusta. *Vaihe 4.* Nykyinen kallionpinta leikkaa poimutusvyöhykettä vinosti, minkä seurauksena tektoniset olosuhteet ovat vaihtelevia. Leikkauksen syvyyden mukaan gneissialueet voivat olla yhtenäisiä graniittidoomeja ympäröiviä alueita tai epäjatkovina osueina laajassa graniittivyöhykkeessä /3, 19/.

Helsingin alueella voidaan havaita paikallisia poimu- ja plutonirakenteisiin kuuluvia rakoja ja siirroksia, joiden lisäksi on näitä lävistäviä alueellisia rakoja murreksia. Juuri ruhjeilla on voimakas vaikutus Helsingin alueen pinnanmuodos-

tukseen. Siirrosvyöhykkeissä on havaittavissa suuntia joissa esiintyy useita rinnakkaisia lähes yhdensuuntaisia ruhjelaaksoja. Näitä siirrosvyöhykkeiden pääsuuntia voidaan erottaa Helsingin ympäristössä kolme; luode-kaakko, itä-länsi ja koillinen-lounas. Muut tavattavat ruhjesuunnat ovat heikommin kehittyneet (kuva 3) /10/.



Kuva 3. Liuskeiset ja graniittiset kivilajit sekä tärkeimmät murrosvyöhykkeet /10/.

Viikinmäen alueella kallioperän kivilajit ovat massamainen graniitti sekä liuskeiset kiillegneissi ja amfiboliitti. Varsinkin alueen eteläosissa kallio on massamaista graniittia. Keski- ja pohjoisosissa kallio on graniitista, kiillegneissistä ja amfiboliitista muodostunutta migmatiittia eli seoskivilajia. Migmatiitissa graniitin, kiillegneissin ja amfiboliitin osuudet vaihtelevat, mutta graniitin osuus on yleensä suurin, amfiboliitin pienin. Kallion kivilajit puhdistamoalueen lähiympäristössä Geoteknisen osaston laatiman kallioperäkartan 1:10 000 mukaan on esitetty kuvassa 4 /8, 9/.

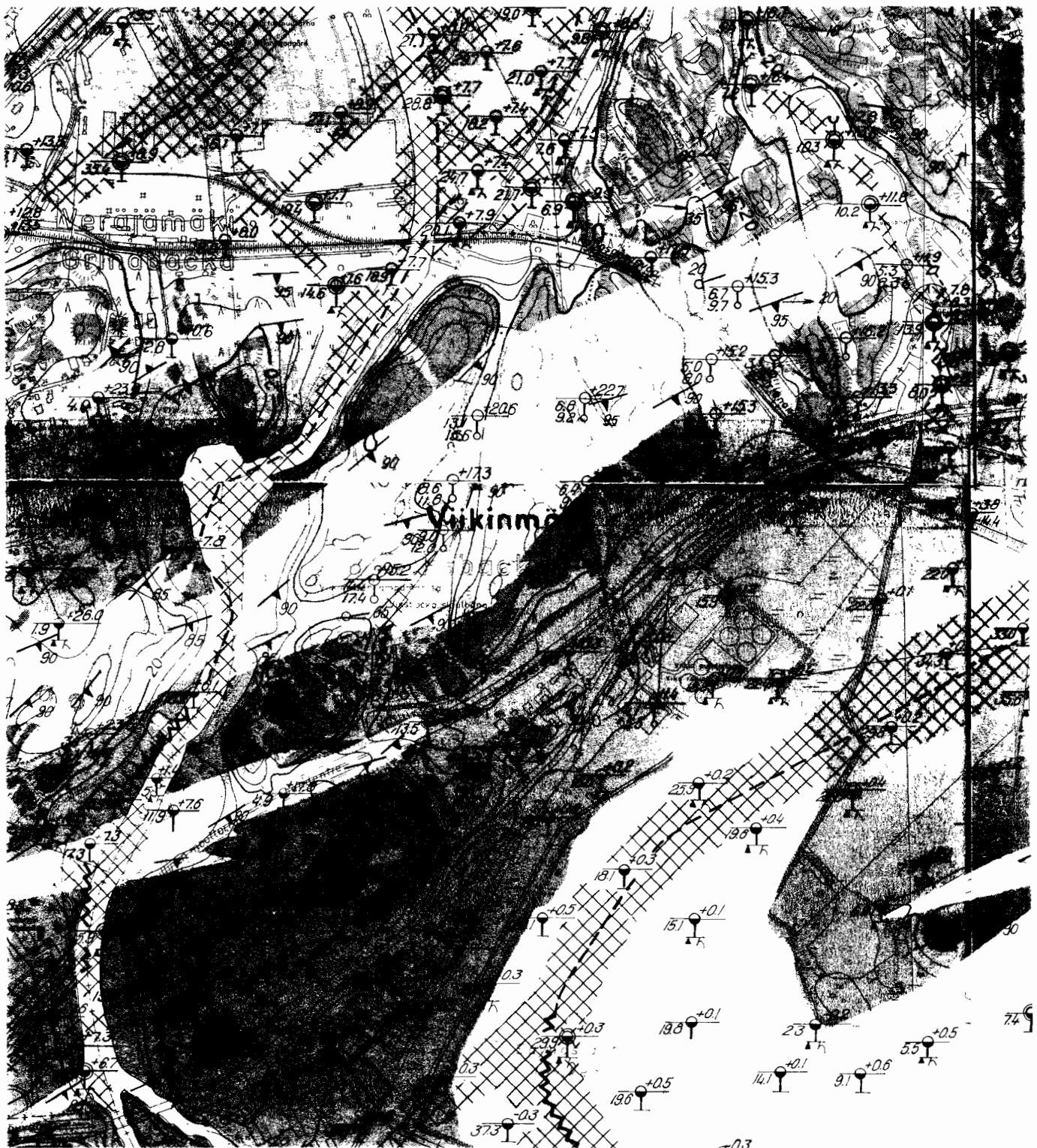
Viikinmäen ja sen lähiympäristön tektoniikkaa on esitetty kuvassa 4. Puhdistamoalueen luoteispuolella on Vantaanjokilaakso, johon sijoittuu kartalla esitetty useiden kilometrien pituinen kallioperän ruhjevyöhyke. Keskuspuhdistamo sijoittuu siirrosvyöhykkeen kaakkoispuoliseen kallioharjanteeseen, joka ulottuu Pihlajamäestä Kumpulän kasvitieteelliseen puutarhaan. Kallioharjanteen kaakkoispuolella kulkee saman suuntainen kallioperän siirrosvyöhyke Vanhankaupungin lahdessa. Kallioharjanne on leikkautunut useista kohdista poikittaisilla heikkousvyöhykkeillä. Keskuspuhdistamon kohdalla heikkousvyöhykkeet muodostavat säteittäisen kuvion.

2.3. Maaperä

Kallioperän päällä oleva maapeite on syntynyt Veiksel-jääkauden ja sen jälkeisen ajan kuluessa. Maapeitteisillä alueilla kallion päällä on alimmaisena kerroksena yleisimmin moreeni. Se on alimmilta osiltaan yleensä tiivistä noin 10% savilajitteita sisältävää pohjamoreenia. Pohjamoreenin päällä on löyhempi moreeni, joka on yleensä hiekkamoreenia. Kummassakin moreeniyksikössä on kulmikkaita kiviä ja lohkareita /10, 11/.

Moreenin päällä on usein paksuina kerroksina soraa, hiekkaa ja silttiä. Helsingin kaupungin alueella on Vuosaarella Kalvikin pitkittäisharjumuodostuma. Maankohoamisen yhteydessä rantavoimien tasoittamia reunamuodostumia edustavat Helsingin ympäristössä mm. Ruskeahiekka ja Hakkilan harju /10, 11/.

Sora-, hiekka- ja silttikerrostumien päälle on syntynyt paksujakin savi ja liejusavikerroksia. Savikerrostumat saattavat olla 20-30 metrin paksuisia. Maannoususta ja rantojen huuhtoutumisesta seurauksena on savikerrostumien päälle kerrostunut soraa ja hiekkaa. Rannan peräytyessä maankohoamisen



**TEKTONIIKKA
TEKTONIK**



Heikkousvyhyke
Svaghetszon



Arvioitu syvin kohta heikkousvyhykkeessä
Uppskattad djupaste sanka i svaghetszon



Arvioitu huomattava ruihe heikkousvyhykkeessä
Uppskattad väsentlig krosszon i svaghetszon

**KIVILAJIT
BERGARTER**



Graniittia
Granit



Amfiboliittia ja metavulkaniitteja
Amfibolitt och metavulkaniter



Kiillegneissid (usein granaatti- ja kordierittiipitoista)
Glimmergnejs (ofta granat- och kordieritförande)

Kuva 4. Viikinkaari ja ympäristön kivilajit ja pääruuhjevyöhykkeet /8/.

yhteydessä ja merenlahtien kuroutuessa lammiksi on osaan näistä muodostunut lieju- ja turvekerroksia. Nämä ovat paikoitellen jopa useiden metrien paksuisia /10, 21/.

Irtaimia maalajeja Viikinmäen alueella on pääasiassa kalliomäkien välisissä ruhjelaaksoissa. Näissä maakerroksen paksuus on suurimmillaan noin 12 m. Kalliomäkien alueella esiintyy maapeitettä vain pienehköissä painanteissa.

Paksujen maapeitteiden alueella alimpana maalajina on moreeni ja sen päällä yleensä silttiä ja savea. Paikoitellen esiintyy vähäisiä määriä hiekkaa /16/. Kalliomäkien välissä olevassa ruhjeessa on saven ja siltin päällä turvekerrostuma. Tämän paksuus on enimmillään noin 2 m. Moreeni, savi ja silttikerrostumien paksuudet vaihtelevat yleensä 0 ja 4 m:n välillä. Ohuet irtomaakerrokset mäkien rinteillä ja kallioalueilla ovat enimmäkseen hiekkaa ja lohkarista moreenia, joita peittää yleensä ohut humuskerros /16, 24, 26/.

2.4. Pohjavesi

Puhdistamoalueella pohjavedenpinta on paikoin lähes maanpinnassa ja kalliomäkien väliset painanteet ovat osittain soistuneita. Puhdistamoalueella pohjaveden pinta on maaperässä tasojen noin +10 - +28 m välillä. Maaperän pohjavesi on korkeimmillaan kalliomäkien välisissä painanteissa. Pohjaveden pinta laskee pohjoiseen ja etelään painanteiden suunnassa. Pohjaveden pinnan vuodenaikaisvaihtelu on voimakkaampaa mäkialueella kuin alueen etelä- ja pohjoisreunoilla. Pohjavedet purkautuvat etelässä Vanhankaupungin lahteen ja pohjoisessa Vantaanjokeen.

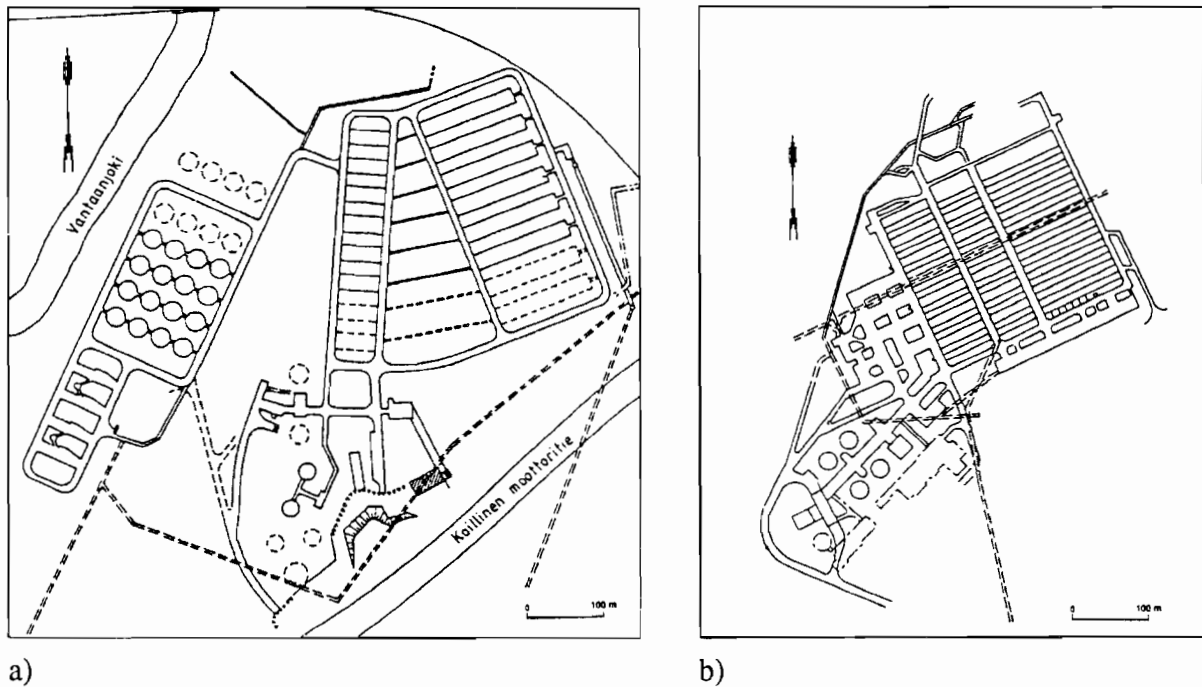
Vedenpintoja on tarkkailtu noin puolen vuoden ajan kallionäytekairausrei'istä ennen niiden betonointia. Vedenpintojen tasot ovat vaihdelleet mittauksissa välillä +10 - +23 m. Koska kallio on verrattain tiivistä ja kairausreikien täyttyminen pohjavedellä vastaamaan kalliopohjavedenpinnan tasoa kestää hyvin pitkiä aikoja, ei tehdyistä havainnoista ole löydetty johdonmukaisuutta. Eräissä rei'issä vedenpinta on ollut huomattavasti alempana kuin pohjavedenpinta lähellä olevassa maapainanteessa.

3. Alueella suoritettut tutkimukset ja niiden tulkinta

3.1. Yleistä

Yleissuunnittelua varten Viikinmäen kallioperästä suoritettiin vuonna 1985 rakennusgeologista kartoitusta ja refraktioseismisiä luotauksia. Myös muutamia kallionäyte- ja porakonekairauksia tehtiin samassa yhteydessä.

Yleissuunnitteluvaiheessa puhdistamo perustui järjestelmään, jonka mukaan esikäsitely, esiselkeytys ja ilmastus olisi rakennettu eri kalliomäkiin ja yhdistetty pientunneleilla (kuva 5a). Myöhemmin päädyttiin ns. kompaktiin ratkaisuun (kuva 5b), mutta tutkimuksia ehdittiin tehdä myös läntisessä kalliomäessä, joka on varattu myöhemmin mahdollisesti rakennettavalle typenpoistoprosessille.



Kuva 5. a) Keskuspuhdistamon yleissuunnitteluvaiheen ja b) lopullinen lay-out.

Rakennussuunnitteluvaiheen tutkimukset suoritettiin keväällä ja kesällä 1986. Aikataulusyistä tutkimuksia suoritettiin rinnakkain useilla menetelmillä. Rahallisesti merkittävimmän osan tutkimuksista muodostivat kallionäyte- ja porakonekairaukset. Muita alueella käytettyjä tutkimusmenetelmiä olivat rakennus-

geologinen kalliokartoitus, seisminen refraktioluotaus, seisminen S- ja P-aaltomittaus, maatumaluuotaus, painokairaus, jännitystilamittaukset, presometrikokeet, erilaiset geofysikaaliset reikämittaukset sekä erilaiset laboratoriomääritykset.

Tässä yhteydessä tulokset on esitetty tiivistetysti ja niistä on laadittu karttoja ja taulukoita tarkempaa tarkastelua varten. Kussakin kohdassa on mainittu suunnitteluryhman kirjaamat päätelmät, mutta niiden lisäksi on tehty pidemmälle meneviä johtopäätöksiä. Tutkimusmenetelmän yhteydessä on pohdittu sekä sen käyttömahdollisuutta tällaisessa tutkimushankkeessa että sillä saadun tuloksen yhteyttä alueen geologiseen rakenteeseen. Samalla on pohdittu miten voidaan tuloksia käyttää hyväksi geologisen yleiskuvan saamiseksi alueesta.

Tuloksia käsiteltäessä on suoritettu osaluejako neljään kalliomäkialueeseen ja painannealueeseen. Jako on esitetty kuvassa 6. Suunnittelun yhteydessä oli osalle aluetta tehty vastaavanlainen aluejako, jota on tässä yhteydessä tarkennettu. Jakoa tehtäessä on pyritty kartalta rajaamaan luonteeltaan erilaiset mäkialueet ja muut osat on luokiteltu painannealueeseen.

Keskuspuhdistamon hallitilojen nimikkeistö ja louhinnan sijoittuminen kalliomäkiin on esitetty kuvassa 7.

3.2. Rakennusgeologinen kalliokartoitus

3.2.1. Yleistä

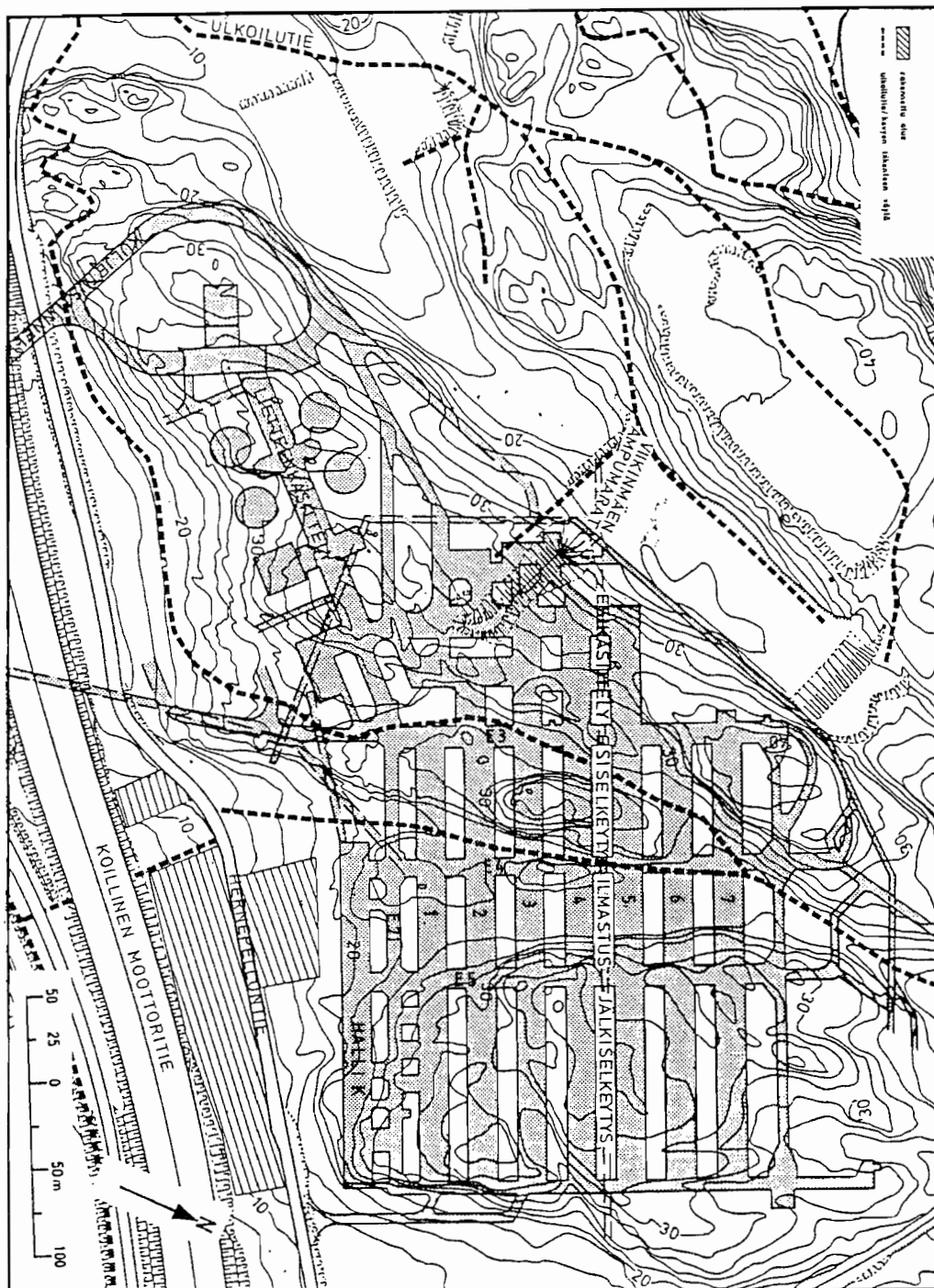
Rakennusgeologinen kallioperäkartoitus on suoritettu Viikinmäen alueelta suunnittelijan toimesta kesällä 1985. Kartoitus tehtiin kalliopaljastumista ja alueen läpi kulkevasta vesijohtotunnelista /27/.

Kallioperäkartoituksen tulokset jaettiin neljään erilliseen osa-alueeseen:

- I: etelä- ja kaakkoisreunan kalliomäkialue
- II: keski- ja itäosan kalliomäet
- III: pohjoisosan kalliomäki
- IV: luoteisosa.

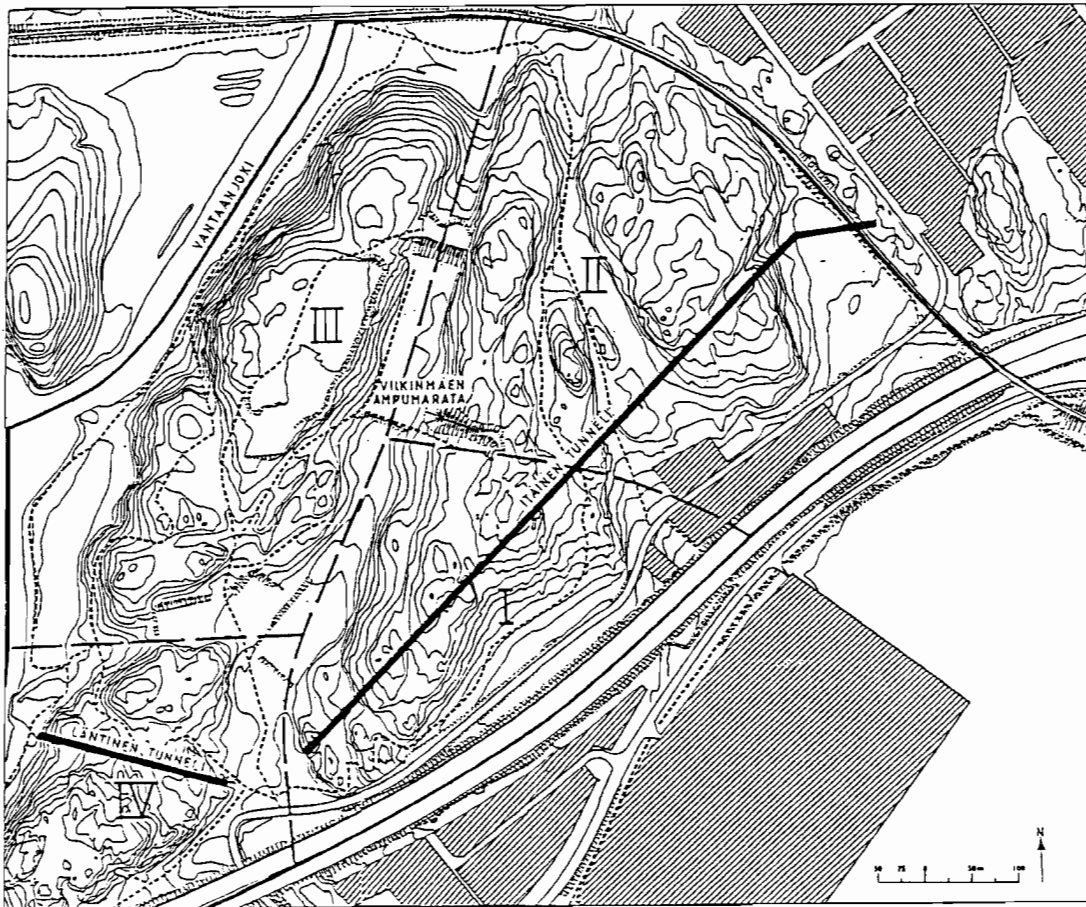


Kuva 6. Viikinmäen osa-aluejako. Alueet A -D jaottelun mäki-alueita.



Kuva 7. Keskuspuhdistamon maanalaiset tilat.

Lisäksi vesijohtotunnelin kartoitus esitettiin kahdessa osassa: itäisen tunnelin ja läntisen tunnelin havainnot. Kuvassa 8 on rakennusgeologisen kartoituksen kartoitusalue ja osa-aluejako. Kuvassa 9 on tärkeimmät kartoitushavainnot.



Kuva 8. Rakennusgeologisen kartoituksen osa-alueet I-IV sekä läntinen ja itäinen vesijohtotunneli /27/.

Kartoituksen yhteydessä kiinnitettiin huomiota kivilajien suuntautuneisuuteen, rakoiluun ja rapautuneisuuteen. Täsmällisten kivilajirajojen määrittäminen ei ole ollut mahdollista kivilajien seoksisuuden takia. Kartoissa on mainittu ensiksi vallitsevin kivilajikomponentti. Rakojen ja heikkousvyöhykkeiden karttamerkintöjä ei ole jatkettu peitteisille alueille, vaikka raot ja heikkousvyöhykkeet peitteisillä alueilla todennäköisesti jatkuvatkin.

3.2.2. Osa-alue I

Pääkivilajina osa-alueella I (kuvat 8 ja 9) on mikrokliinigraniitti, joka on keski- ja karkearakeista ja väriltään punertavaa. Pääkivilajin seassa on kapeita kiillegneissiosueita, jonka osuus alueen pohjoisosissa on suurempi. Gneissi on keskirakeista ja sen sarvivälke- ja kiillepitoisuus vaihtelevat siten, että paikoitellen kivi on kiillegneissistä ja paikoitellen amfiboliittia. Kiinteiltä osiltaan kivilaatu on rapautumatonta, massamaista, suuntauksetonta tai heikosti suuntautunutta. Alueella, jossa gneissien osuus kasvaa, on kivilaatu seoksista, heikosti tai kohtalaisesti suuntautunutta. Liuskeisuuden suunta vaihtelee tällä alueella välillä koillinen-lounas ja itä-länsi ja sen kaade on 80-100^{gon} pystyn molemmin puolin.

Osa-alueen lounaisosissa kallion päärajoitusuunta on kaakko-luode. Kaade on koilliseen 70-85^{gon}. Keskiosassa päärajoitus on pystyasentoista sekä pohjois-suuntaista. Tämän itäpuolella on laaja-alaista vaakarakoitus. Alueen itäosissa vallitseva rakoitus on kaakko-luode -suuntaista ja sen kaade on 100-75^{gon} lounaaseen. Eteläosassa kallio on vähä-runsasrakoista, keski- ja itäosissa harva-vähärakoista. Tyypiltään rakoitus on laatta- ja kuutiorakoitus, mutta seoksisuuden kasvaessa muuttuu rakoitus tyypiltään sekarakoitukseksi.

Osa-alueen kallio on etelä ja keskiosiltaan harva-runsasrakoista massamaista kalliolaatua ja pohjoisosiltaan harva- tai vähärakoista seoksista kalliolaatua. Rikkonaisen kalliolaadun vyöhykkeistä halkeama- ja rakorakenteisia vyöhykkeitä on etupäässä etelä-pohjois- ja itä-länsi -suunnissa. Murros- ja ruhjerakenteisia vyöhykkeitä on etelä-pohjois -suunnassa. Nämä rikkonaisen kalliolaadun alueet ovat melko kapeita, enimmillään noin kolmen metrin levyisiä. Paikoitellen niihin liittyy vähän tai runsaasti rapautuneita alueita.

3.2.3. Osa-alue II

Osa-alueen II (kuvat 8 ja 9) pääkivilaji on graniitti, johon liittyy gneissi- ja amfiboliittiosueita. Kiven seoksisuus ja liuskeisuus on voimakkaimmillaan osa-alueen keskiosassa itä-länsi -suunnassa. Graniittisilla alueilla kivilaji on rapautumatonta, suuntauksetonta tai heikosti suuntautunutta. Vyöhykkeessä, jossa kiillegneissin ja amfiboliitin osuus on kasvanut, kivi on seoksista ja liuskeisuusasteeltaan heikkoa tai kohtalaista. Liuskeisuuden suunta on välillä koillinen-

lounas ja itä-länsi kaateen ollessa 75-100^{gon} pystyn molemmin puolin. Kaadesuunnista etelä-kaakko on pohjoinen-luode -suuntaa yleisempi.

Osa-alueen päärakoilusuunta on kaakko-luode ja rakoilun kaade on 100-75^{gon} länteen. Alueen länsiosassa rakoilun pääsuunta noudattaa liuskeisuuden suuntaa. Kaakkoisosissa on merkittävää vaakarakoilua. Pääosin rakoilu on harvavähärakoista. Keskiosan seoksisemmalla vyöhykkeellä rakoilu on vähärunsasrakoista. Rakoilu on tyypiltään lähinnä laatta- ja kuutiorakoilua.

Osa-alueen kallio on kiinteiltä osiltaan harva- tai vähärakoista, massamaista ja harva-runsasrakoista, seoksista kalliolaatua. Rikkonaisen kalliolaadun vyöhykkeistä halkeama- ja rakorakenteisia vyöhykkeitä on osa-alueen keskiosissa pohjois-eteläsuunnassa ja eteläosassa itä-länsi -suunnassa. Murros- ja ruhjerakenteisia vyöhykkeitä on alueen keskiosassa itä-länsi -suunnassa ja pohjoisosassa pohjois-etelä -suunnassa.

3.2.4. Osa-alue III

Osa-alueen III (kuvat 8 ja 9) pääkivilajina on graniitti jossa on kiillegneis-sisulkeumia. Seoksisuus on suurimmillaan alueen keskiosissa itä-länsi -suuntaisella vyöhykkeellä. Alueen eteläosissa seoksisuus on pienimmillään. Kalliopaljastumien kivilaatu alueella on rapautumatonta, seoksista, heikosti tai kohtalaisesti suuntautunutta. Alueen luoteisreunalla kivilaatu on massamaista, suuntauksetonta tai heikosti suuntautunutta. Liuskeisuuden suunta on koillinen-lounas ja kaade 100-75^{gon} kaakkoon.

Suurimmalla osalla aluetta vallitseva rakosuunta on liuskeisuuden suunta. Osa-alueen länsiosassa päärakoilusuunta on kaakko-luode ja kaade 100-80^{gon} koilliseen. Rakotiheys vaihtelee lyhyellä matkalla harvarakoisesta tiheärakoiseen. Tyypiltään rakoilu on lähinnä laattarakoilua.

Osa-alueen kallio on kiinteiltä osiltaan pääosin harva-runsasrakoista seoksista kalliolaatua. Luoteisreunalla on harva-runsasrakoista massamaista kalliolaatua. Rikkonaisen kalliolaadun vyöhykkeistä halkeama- ja rakorakenteisia vyöhykkeitä on havaittu alueen eteläosissa päärakoilusuunnista poikkeavissa suunnissa. Murros- ja ruhjerakenteisia vyöhykkeitä on etelä- ja keskiosissa hallitsevien rakojen suunnissa.

3.2.5. Osa-alue IV

Osa-alueen IV (kuvat 8 ja 9) pääkivilaji on graniitti. Alueen pohjoisosissa kiillegneissin osuus kasvaa ja kivi muuttuu seoksisemmaksi. Kalliopaljastumissa havaittu kivilaatu on rapautumatonta, massamaista, suuntautumaton tai heikosti suuntautunut. Liuskeisuuden suunta on koillinen-lounas ja sen kaade 100-70^{gon} pystyn molemmin puolin.

Osa-alueella on kaksi runsaana esiintyvää päärakoilusuuntaa. Voimakkaamman rakoilun suunta on kaakko-luode ja sen kaade on pysty tai lähes pysty. Toisen huomattavan rakoilun suunta on koillinen lounas ja sen kaade pääasiassa 100-70^{gon} pohjoiseen. Rakotiheys vaihtelee alueen keski- ja pohjoisosissa harvarakoisesta vähärakoiseen. Eteläosissa rakolu on vähä- tai runsasrakoista. Tyypiltään rakoilu on lähinnä laatta- ja kuutiorakoilua.

Osa-alueen kallio on kiinteiltä osiltaan harva-runsasrakoista massarakenteista ja harva- tai vähärakoista seoksista kalliolaatua. Rikkonaisen kalliolaadun vyöhykkeistä halkeama- ja rakorakenteisia vyöhykkeitä on päärakoilun suunnissa. Murros- ja ruhjerakenteisia vyöhykkeitä on koillinen-lounas -suunnassa alueen eteläosissa.

3.2.6. Itäinen vesijohtotunneli

Itäisen vesijohtotunnelin länsipäästä noin 200 metriä pääkivilajina on graniitti, minkä jälkeen kasvaa gneissin ja amfiboliitin osuus (kuvat 8 ja 9). Graniittisella alueella kivi on pääosin rapautumatonta, massamaista, heikosti suuntautunut. Paikoitellen kivi on vähän rapautunut. Nämä kohdat liittyvät rakoiluun. Gneissin ja amfiboliitin osuuden kasvaessa kivi muuttuu seoksiseksi, heikosti- tai kohtalaisesti suuntautuneeksi. Pääosin kivi on rapautumatonta. Vähän rapautuneet alueet liittyvät rakoiluun. Seoksisen kiven alueella liuskeisuuden suunta leikkaa pääosin loivasti tunnelin suuntaa ja liuskeisuuden kaade on lähes pysty.

Tunnelissa havaitut suunnat noudattavat kalliopaljastumissa havaittuja rako-suuntia. Rakotiheys kiinteillä kallionosilla vaihtelee harvarakoisesta tiheärakoiseen.

Kiinteiltä osiltaan kalliolaatu on seoksista, harva-runsasrakoista. Rikkonaisen kalliolaadun vyöhykkeitä on tunnelissa havaittu halkeamarakenteisesta ruhjera-

kenteiseen. Suuntaukseltaan ja sijainniltaan nämä noudattavat maanpinnalta havaittavia painanteita.

3.2.7. Läntinen vesijohtotunneli

Läntisessä vesijohtotunnelissa kivilaatu on pääosin seoksinen, vähän tai kohtalaisesti suuntautunut sekä paikoin massamainen heikosti suuntautunut (kuvat 8 ja 9). Liuskeisuuden suunta leikkaa loivasti tunnelin suuntaa ja liuskeisuuden kaade on lähes pystyä. Itäpäästään tunneli on noin 70 metriä rapautumatonta, minkä jälkeen on kivessä havaittavissa rakoiluun liittyvää heikkoa tai kohtalaista rapautumista.

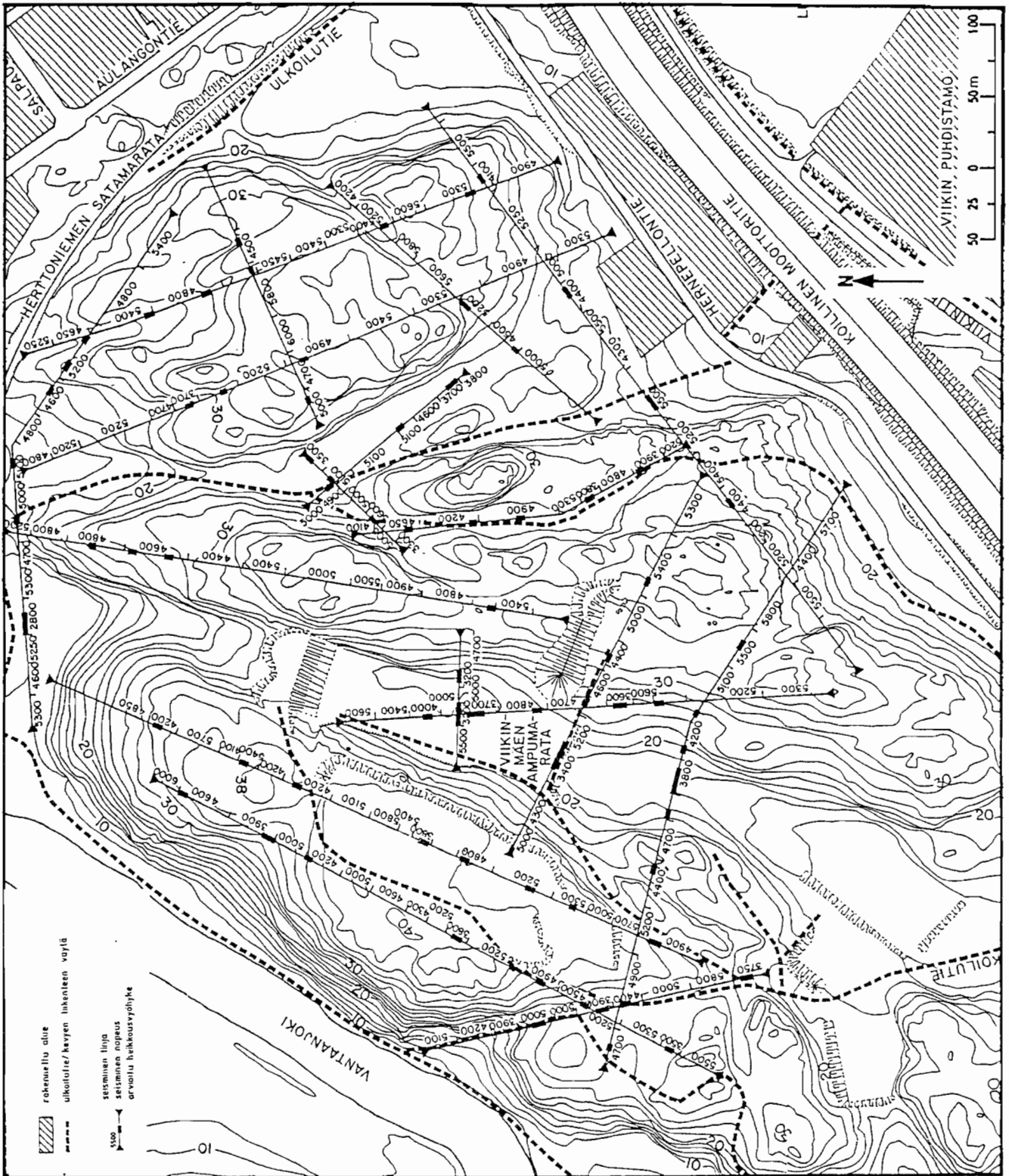
Itäpäästä noin 70 metrin matkalla vallitsevana rakoiluna on lähes kohtisuoraan tunnelia vastaan oleva kaakkoon 35-15^{gon} kallistuva rakoilu. Tämän länsipuolella päärakoilusuunta on liuskeisuuden suunnassa. Rakotiheys vaihtelee kiinteillä osilla vähärakoisesta runsasrakoiseen.

Kalliolaatu kiinteän kallion alueilla on pääosin vähän- tai runsasrakoista, seosrakenteista kalliolaatua. Rikkonaisen kallion vyöhykkeistä on havaittu murros- ja ruhjerakenteisia vyöhykkeitä.

3.3. Seisminen refraktioluotaus

Keskuspuhdistamon alueella seismisiä luotauksia käytettiin lähes yksinomaan kalliolaadun tutkimiseen. Kallion seismisillä nopeuksilla pyrittiin saamaan suuruusluokallisesti käsitys eri kalliomäkien kalliolaadusta ja erityisesti rakoilusta. Samalla voitiin rajata kiinteän ja rikkonaisen kallion alueita, varmistaa paljastumakartoituksesta saatuja havaintoja sekä ohjelmoida mm. kairauksia perustellummin.

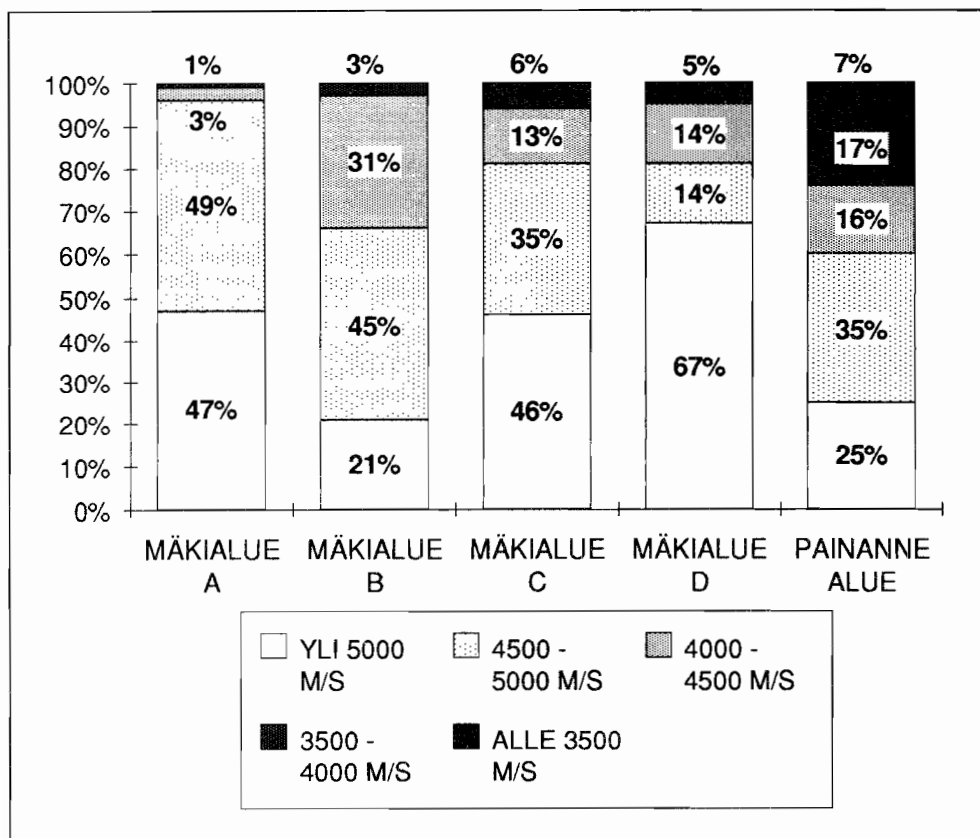
Seismistä refraktioluotausta on tehty Viikinmäessä yhteensä noin 5400 m. Kuvassa 10 on esitetty seismisten refraktioluotauslinjojen sijainti. Luotausten tulostusraportissa /34/ on yleensä esitetty pinta- ja syväkallionnopeus. Luotauslinjoilla on runsaasti kalliopaljastuma-alueita, joilta on pystytty määrittämään vain yksi kallionnopeus. Se on yhdistelmä pinta- ja syväkallionnopeudesta. Pinta- ja syväkallionnopeuksien erot olivat Viikinmäessä pieniä, minkä vuoksi käytettiin



Kuva 10. Seismiset linjat ja nopeudet sekä arvioidut heikkousvyöhykkeet /34/.

laskelmissa pintakallionopeuksien arvoja alueilla, joille oli ilmoitettu molemmat seismiset nopeudet.

Kuvassa 11 on esitetty seismisten nopeuksien jakaantuminen eri mäkialueilla ja painannealueilla. Taulukossa on esitetty prosenttimäärät eri kallionopeusluokissa. Luotauseismisistä syistä ei kaikilta luotauslinjojen osilta ole saatu kallionopeutta, mutta kuvaa laadittaessa on eri alueiden kallionopeuksien osuuksia laskettaessa jätetty huomioimatta ilman nopeutta olevat linjat.



Kuva 11. Seismisten nopeuksien jakauma Viikinmäessä.

Kalliomäkialue A:n kallionopeuksista 96% ovat yli 4500 m/s. Tämä osoittaa kallion olevan pääasiassa harvatai vähärakoista. Paikoitellen on tulkittu alueelle rikkonaisen kallion vyöhykkeitä, mutta niiden osuus on vähäinen. Samoin alle 4000 m/s olevien kallionopeuksien osuus on yhden prosentin luokkaa. Luotauslinjoilla esitetyt heikkousvyöhykkeet esiintyvät pääasiassa alueen reunaosissa ja pienissä painanteissa.

Kalliomäki B:ssä tehtyjen luotausten määrä on melko vähäinen. Kuitenkin on havaittavissa, että nopeuksien 4000 - 4500 m/s osuus on suurin koko tutkimusalueesta. Näin voidaan olettaa tällä mäki-alueella olevan runsaimmin runsasrakoista kalliota tai harva- ja runsasrakoisessa kalliiossa useampia murros- tai ruhjerakenteisia vyöhykkeitä. Luotauslinjoista tehdyssä tulokinnassa ei ole kuitenkaan esitetty runsaasti ruhjehavaintoja. Mäki B on melko kapea ja pitkä. Se sijoittuu kahden voimakkaan ruhjevyöhykkeen väliin. Nämä tekijät voivat vaikuttaa mäen kalliolaatuun.

Kalliomäkien C ja D kallionopeuksista on vähän yli 80% yli 4500 m/s. Loput nopeudet jäävät nopeuksien 4500 ja 3500 m/s väliin. Tämä osoittaa, että näissä kalliomäissä on enemmän runsasrakoista kalliolaatua tai runsaammin murros- ja ruhjerakenteisia rikkonaisuusvyöhykkeitä kuin kalliomäki-alueella A. Tähän vaikuttavat alueen ruhjevyöhykkeiden ja mäkien keskinäiset sijainnit. Mäki-alue C on sijoittunut voimakkaan Vantaanjokilaaksossa kulkevan ruhjevyöhykkeen viereen, jolloin sulkamaisesti isosta ruhjevyöhykkeestä lähtevät pienemmät ruhjeet kulkevat mäen poikki. Alue D on viuhkamaisen ruhjevyöhykkeen eteläosassa, jolloin sen läpi kulkee muutamia viuhkamaisesti asettuneita kapeita ruhjeita. Mäki-alueen D runsaan yli 5000 m/s nopeuden esiintymisen voidaan olettaa johtuvan ruhjeiden viuhkaantumisella ja kapenemisella, jolloin väliin jäävien lohkojen kalliolaatu on melko hyvä.

Painannealueilla esiintyy melko runsaasti yli 4500 m/s nopeuksia. Tämä johtuu siitä, että painannealueet eivät ole kokonaan huonolaatuista kalliota, vaan rikkonaisen kallion vyöhykkeet ja kiinteän kallion vyöhykkeet vaihtelevat. Etenkin mitattaessa ruhjeiden suunnassa saattavat nopeimmat aallot kulkea mittauslinjan sivuitse ehjemmän kallion kautta eivätkä linjan kohdalla olevaa rikkonaista kalliota pitkin. Painannealueet ovat alueita, joissa on mitattu merkittävästi alle 3500 m/s nopeuksia. Tällöin voidaan olettaa, että kallio on ruhje- tai savirakenteista rikkonaisen kalliolaadun aluetta tai raparakenteista kalliota.

3.4. Seisminen P- ja S-aaltomittaus

Kohteen kalliorakennussuunnitteluun kuului tilojen ja lujitusten mitoitus käyttäen apuna kalliomekaanisia laskelmia, joissa tarvitaan lähtötietoina mm. kallion kimmokerrointa, Poissonin lukua, leikkausmodulia sekä tilavuus-

modulia. Tavallisesti laskelmaparametrit voidaan määrittää laboratoriossa kivi-
näytteistä.

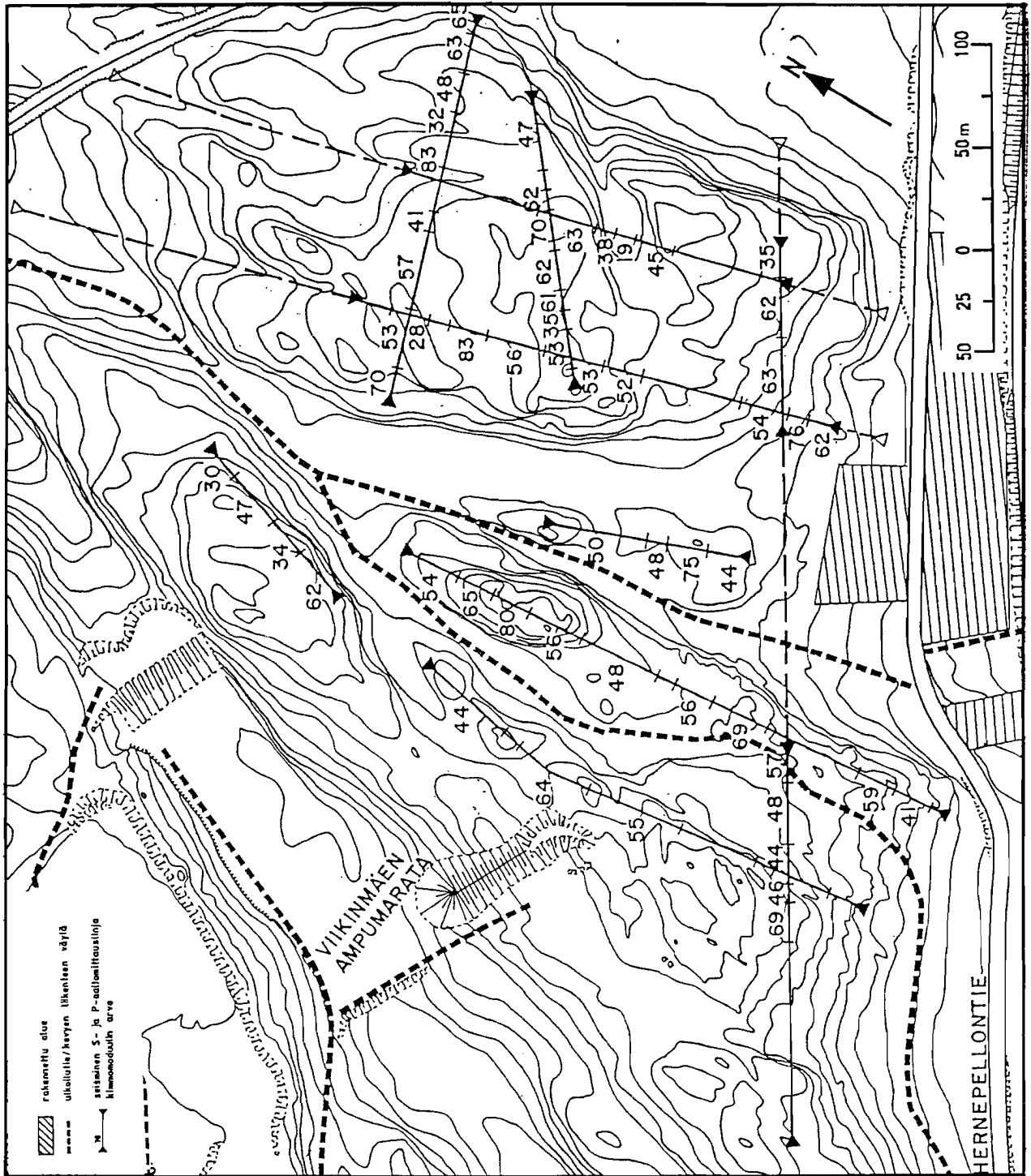
Keskuspuhdistamon laajuuden vuoksi sekä sen suurista hallien leveyksistä
suhteessa pilareiden paksuuteen tarvittiin suunnittelua varten mahdollisimman
paljon alueellista tietoa kallion kimmo-ominaisuuksista. Keskuspuhdistamoa
varten arvot määritettiin laboratoriokokeiden lisäksi maastossa mittaamalla
kallion seismisen P- ja S-aallon nopeudet. Seismisellä menetelmällä saatavat ar-
vot on käsitettävä kalliomassan ominaisuuksiksi eikä pistekohtaisiksi kiven
ominaisuuksiksi. Seismisesti määritetyt kallion kimmo-ominaisuudet ovat
dynaamisia ja laboratoriossa määritetyt ovat staattisia ominaisuuksia /38/.

Viikimäessä suoritettiin kallioperän kimmo-ominaisuuksien määrittämistä
varten seismistä P- ja S-aaltomittausta noin 1800 m, mutta kaikkia tuloksia ei
kuitenkaan ole voitu tulostaa. Kuvassa 12 on esitetty suoritettut luotauslinjat ja
seismisten S- ja P-aaltojen avulla lasketut kallioperän dynaamiset kimmo-
modulit /35/.

Tarkasteltaessa laskettuja kimmomoduleiden arvoja ei voida havaita selkeitä
eroja mäki-alueiden keski- ja reunaosien välillä. Muutamissa pienissä kalliokum-
pareissa, kuten ulkoiluteiden väliin jäävä kalliokumpare, voidaan kuitenkin
havaita kimmomodulin olevan keskiosissa mäkeä suurempi kuin reunoilla.
Isommissa mäissä vastaavaa ei ole havaittavissa. Isoissa mäissä kallion pin-
taosien kalliolaatu vaikuttaa seismisten aaltojen nopeuteen enemmän kuin reu-
na- ja keskiosien erilaisuus. Pienissä kumpareissa kuitenkin erot on helpommin
havaittavissa.

Muutamissa paikoissa on havaittavissa pienissä kallion painanteissa kimmo-
modulin arvojen pienentymistä.

Kalliomäessä A on seismistä S- ja P-aaltomittausta suoritettu kahdessa toisiaan
lähes kohtisuorassa suunnassa. Toinen suunnista on lähes kallion kivilajien
liuskeisuuden suuntainen ja toinen likipitäen kohtisuora sitä vastaan. Linjoista
laskettiin kimmodulin keskiarvot ja mediaanit luotausmetreittäin. Näissä ei ollut
havaittavissa huomattavia eroja. Liuskeisuuden suuntaisten luotauslinjojen
kimmodulien keskiluvut olivat vain noin 1 - 2 prosenttia suurempia. Toisissa
mäki-alueissa erisuuntaisten luotauksen määrä on niin vähäinen, että liuskei-
suuden tai muun kallion ominaisuuden vaikutusta kimmoduliin ei ole mahdol-
lista verrata.



Kuva 12. Seismiset S- ja P-aaltomittauslinjat ja mittauksista lasketut kimmo-modulien arvot /35/.

3.5. Reikäseisminen mittaus

Viikinmäessä suoritettiin kallionäyttereikien SK15 ja SK16 välillä reikäseisminen tutkimus ohuen kalliokaton kohdassa, jossa kairauksessa SK7 esiintyi runsasta näytehukkaa ja jossa tehtiin laskelmia katon pysyvyyden selvittämiseksi.

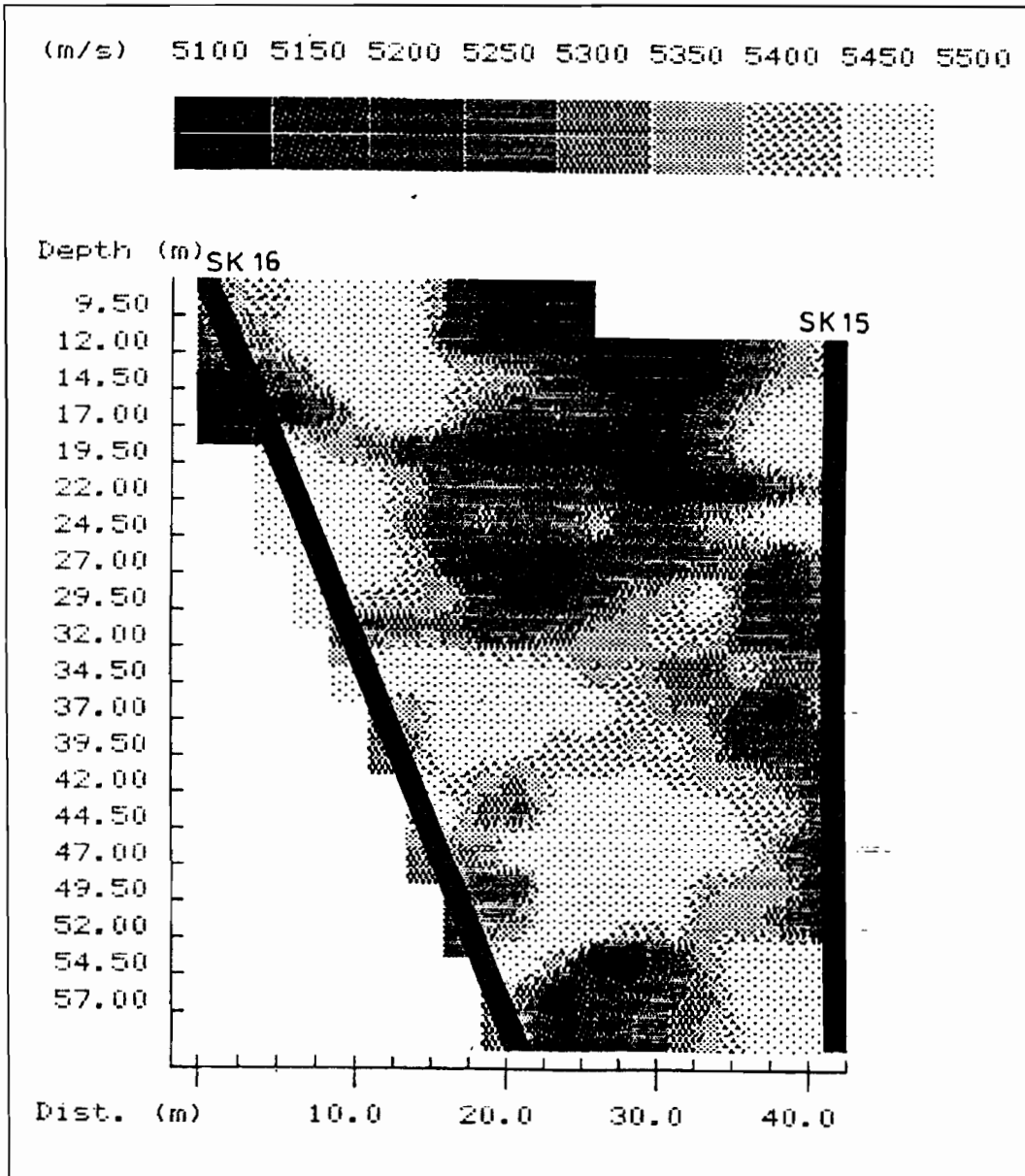
Reikäseismit tutkimukset tehtiin heikkousvyöhykkeen tarkemman sijainnin ja laadun selvittämiseksi. Samalla pyrittiin selvittämään menetelmän käytökelpoisuutta Viikinmäen alueella. Myöhemmin tutkimuksissa pyrittiin selvittämään kallioperän dynaamisia muodonmuutosominaisuuksia mittaamalla kairausreikien välillä kallion P- ja S-aaltojen nopeuksia.

Viikinmäessä tulosten tulkinta on tehty käyttäen tomografista tulkintaa, jossa käytetään iteroivaa laskutapaa. Nopeusjakauma tulostetuissa kuvissa on melko pieni, eikä niissä ole refraktioseismissä tutkimuksissa totuttuja heikkojen kallionopeuksien arvoja. Tulosten tulkinta tapahtuu kaksikulotteisen mallin mukaisesti. Kuitenkin tutkimuksessa on tutkittava kohde kolmiulotteinen massa, jolloin aiheutetun täryaallon nopein reitti ei ole suora tutkimusreikien välillä, vaan se saattaa kiertää tutkimustasoa kohtisuorassakin suunnassa, mikäli heikkousvyöhykkeen geometria on tähän otollinen.

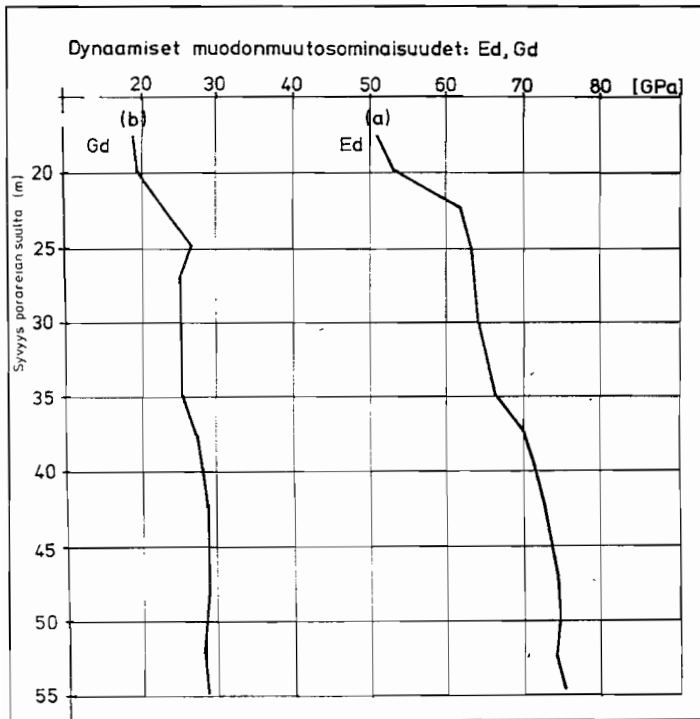
Kallionäytekairausreikien SK15 ja SK16 välillä suoritettussa reikäseismissä tutkimuksessa on käytetty sekä lähetin- että vastaanottorei'ässä viiden metrin havaintoväliä. Kuvassa 13 esitetyssä nopeusjakaumassa on nopeudet välillä 5100-5500 m/s. Tulkitussa tuloksessa on havaittu kallion heikkousvyöhykkeitä seuraavasti; heikkousvyöhykkeen pääsuuntaus leikkauksessa 50-60^{gon} länteenpäin ja syvemmällä olevat vyöhykkeet hieman loivempana, vaakasuorat vyöhykkeet tasoilla noin +4 ja -6 sekä itään viettävä heikkousvyöhyke noin 40^{gon}. Alueella oleva tunneli havaitaan heikkona reiän SK15 lähellä tasolla +0. Tunnelin heikko erottuvuus on seurausta havaintoverkon harvuudesta lähetysreiän läheisyydessä /5/.

Kairausreikien SK15 ja SK16 välillä suoritettiin myös seisminen S- ja P-aaltomittaus. Seismiten P-aaltojen nopeudet vaihtelivat välillä 5549-6245 m/s ja S-aaltojen nopeudet 2701-3330 m/s. Saaduista tuloksista laskettiin Poissonin luku, dynaaminen kimmomoduli ja dynaaminen leikkausmoduli. Poissonin luku vaihteli välillä 0,2733-0,3646. Dynaamisten kimmodulin ja leikkausmodulin vaihtelu syvyyden suhteen on esitetty kuvassa 14. Kuvassa 15 on esitetty rakennemalli

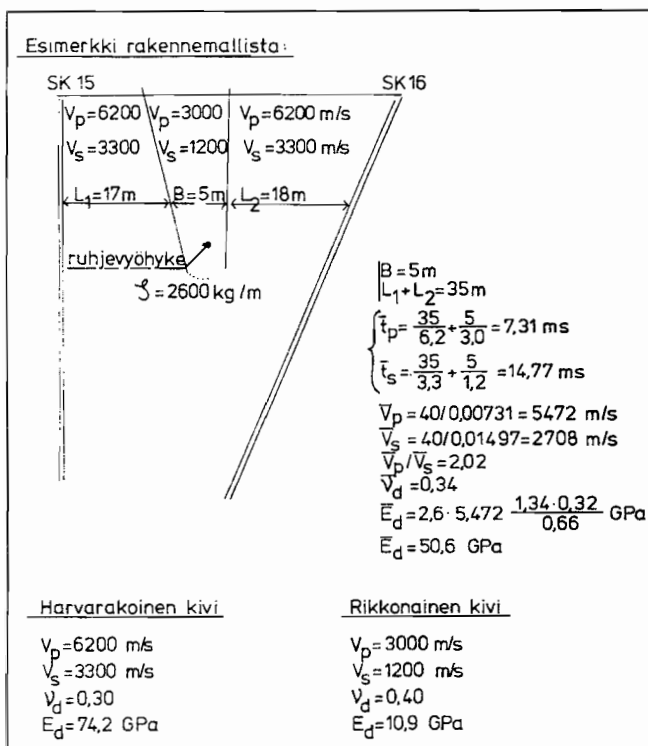
ruhjevyöhykkeestä ja kallion ominaisuuksista kallionäyttereikien SK15 ja SK16 välillä.



Kuva 13. Viikinmäessä suoritetun reikäseismisen luotauksen nopeusjakauma /5/.



Kuva 14. Dynaamiset muodonmuutosominaisuudet syvyyden suhteen /5/.



Kuva 15. Rakennemalli kallion ominaisuuksista kairareikien SK15 ja SK16 väliltä /5/.

3.6. Maatutkaluotaus

Maatutkaluotauksia käytettiin keskuspuhdistamon tutkimusten yhteydessä alueen kallion rakoilun ja heikkousvyöhykkeiden tutkimiseen.

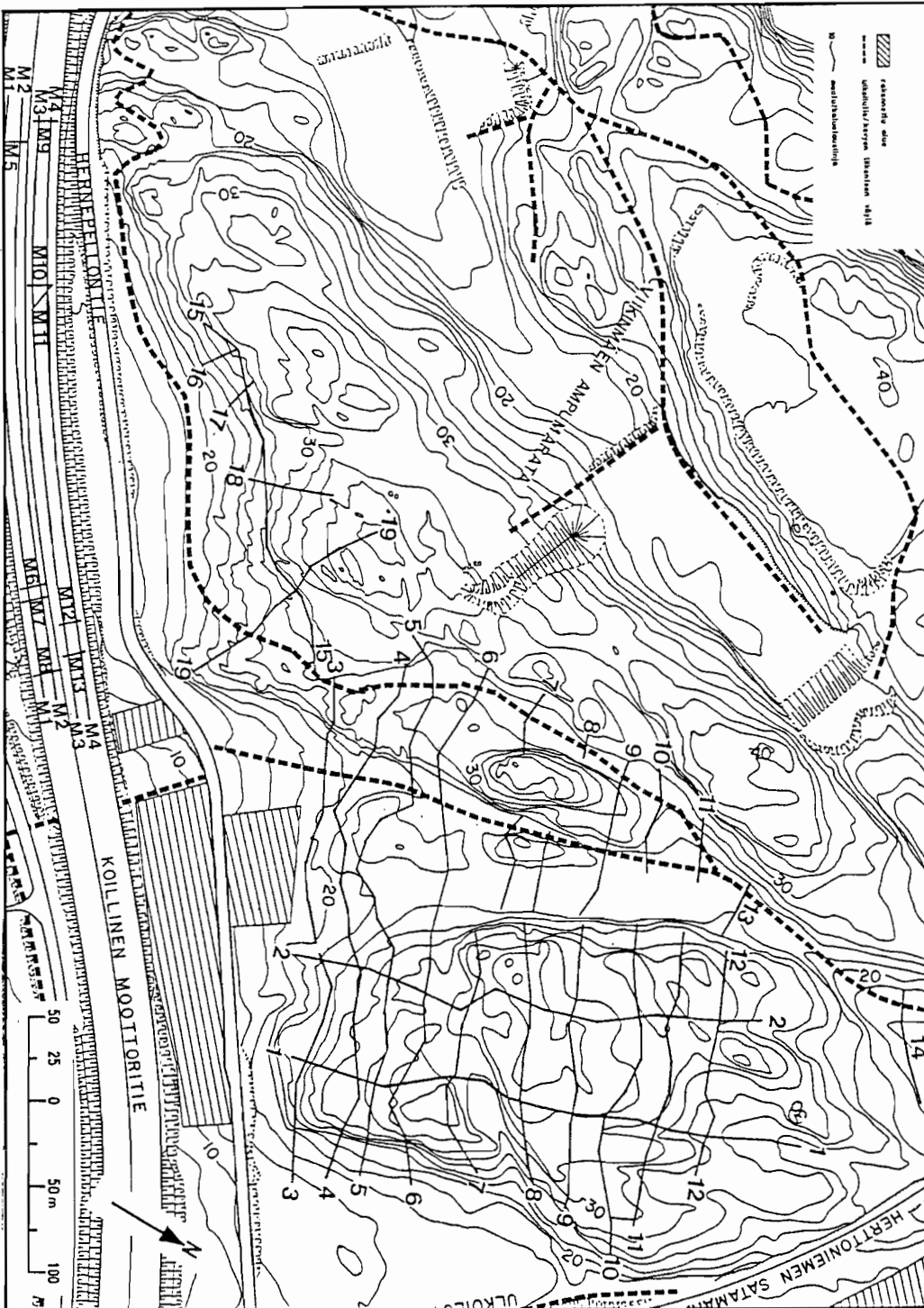
Koska kalliomäkien alue on varsin laaja ja erityisesti niiden eteläosien rinteissä esiintyy rakennusgeologisen kartoituksen mukaan runsasta vaakarakoilua, olisi vaakarakoilun selvittämiseksi tarvittu runsaasti pystysuoria kallionäytekairauksia. Kalliomäkien luotauksilla pyrittiin selvittämään vaakarakoilun jatkumista ja sen mahdollista systemaattista esiintymistä. Painanteissa luotauksilla pyrittiin erityisesti selvittämään heikkousvyöhykkeiden geometriaa. Geometrian tunteminen auttaa kallionäytekairausten optimaalisessa suuntaamisessa.

Kallioperän tutkimuksissa maatutkalla voidaan havaita kallioperän ruhjevyyhykkeitä hyvin, koska niiden sähköjohtavuus ym. ominaisuudet poikkeavat selvästi ympäröivästä ehjästä kalliomassasta. Luotaus ei ole kuitenkaan mahdollista savialueilla, mikä rajoittaa menetelmän käyttöä ruhjetutkimuksissa /12/.

Mikäli alueella on runsaasti vaakasuoraa rakoilua tutkan syvyystunkeutuvuus jää heikoksi. Kalliossa voidaan päästä Rouhiaisien /12/ mukaan 40 m:n syvyyteen. Kallion päällä ei saa kuitenkaan olla paksuja maapeitteitä eikä savikerroksia.

Viikinmäen maatutkaluotaukset on suoritettu, tulostettu ja tulkittu kesällä 1987. Tulkinnan apuna ei ole ollut muita tukevia tutkimuksia. Tutkimuslinjoilla moottoritiellä ja Viikinmäessä on yhteispituutta 5500 m. Kuvassa 16 on esitetty tutkimuslinjojen sijainti /4/.

Viikinmäessä maatutkalla päästiin kalliomäkien alueilla enintään noin 15 m syvyyteen. Johtopäätös luotauksista oli, ettei järjestelmällistä vaakarakoilua esiinny luodatulla syvyydellä. Paikoin luotauksien syvyys jäi liian pieneksi, sillä maanpinta mäki-alueilla on suurella osalla tasossa noin +30 - +40, jolloin hallitilojen ylimmillään tasossa noin + 10 olevien kattotasojen ja luodatusosan väliin jäi vielä 5 - 15 m luotaamatonta kalliomassaa. Paikoin luotauksilla saatiin hyvä kuva alueen heikkousvyöhykkeiden geometriasta.



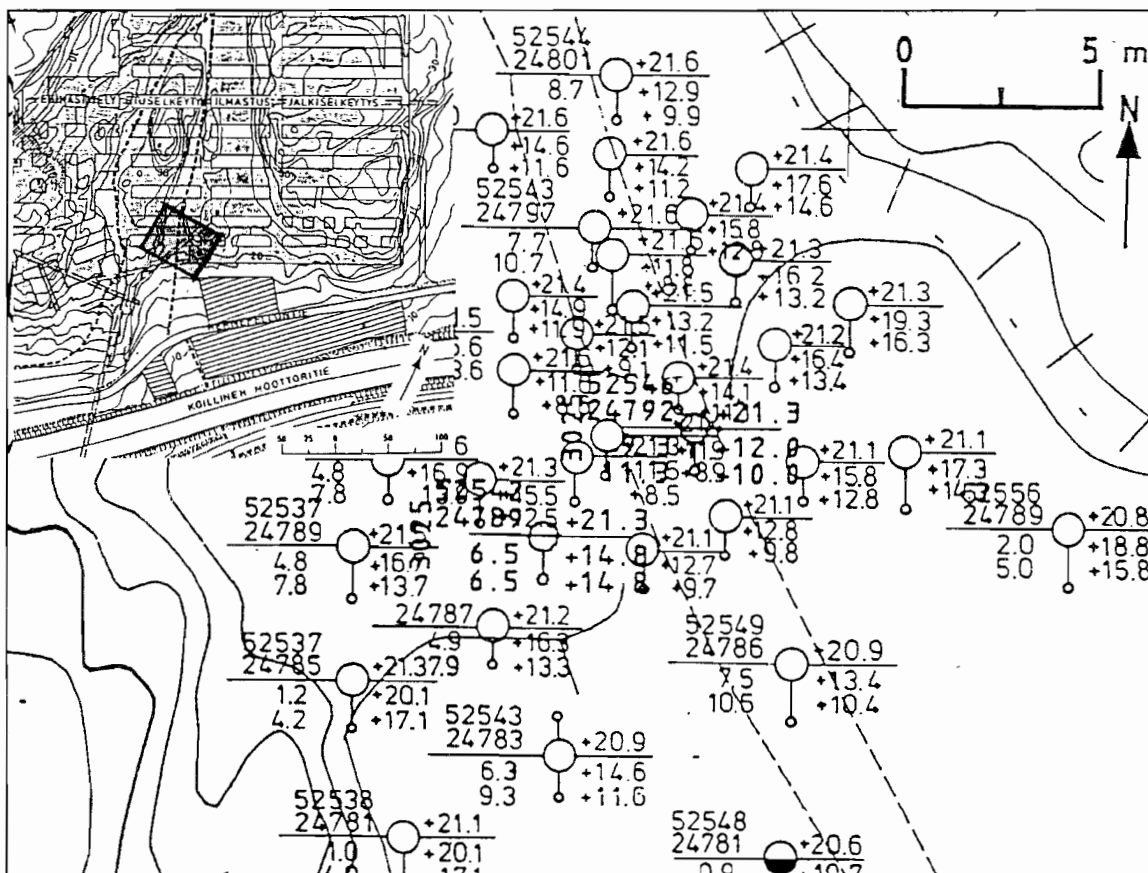
Kuva 16. Maatutkaluotauslinjat 1 - 19 sekä M1 - M13 /4/.

3.7. Porakonekairaukset

Porakonekairauksilla on selvitetty maapeitteisillä alueilla kallionpinnan korkeusasema. Kaikkiaan porakonekairauksia tehtiin noin 1300:ssa pisteessä /32/.

Paikoin kairaustiheys on erittäin suuri, koska painanteiden kalliopinnoissa on jyrkkiä vaihteluita.

Osaksi porakonekairausten suurehkoon määrään oli syynä se, että tunneleiden kattotasot sijoittuivat varsin lähelle painanteiden kalliopintaa. Hallitilojen korkeusasemaan vaikutti puolestaan se, että puhdistusprosessi haluttiin saada selvästi 0-tason yläpuolelle, jotta vesi voidaan johtaa painovoimaisesti mereen ohjuoksutuksella. Prosessitasoksi valittiin noin +4, jolloin hallien katot ovat ylimmillään tasossa noin +10. Porakonekairausten tiheyttä kalliokaton kriittisillä alueilla on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Porakonekairauspisteitä ohuen kalliokaton alueella /32/.

3.8. Kallionäytekairaukset

Keskuspuhdistamon kohdalla pyrittiin siihen, että kalliotilojen alue lävistetään kattavasti kallionäytekairauksilla, jotta saadaan luotettava pohja suunnittelulle ja itse rakennustyössä välttyttäisiin kallion rakenteen aiheuttamilta yllätyksiltä.

Kiinteän kallion alueilla suoritetuista kairauksista saatuja rakoilutietoja käytettiin lähtötietoina kalliomekaanisessa laskelmissa, joiden perusteella arvoitiin mm. sallittuja hallien jännevälejä, pilaripaksuuksia ja lujitustarvetta.

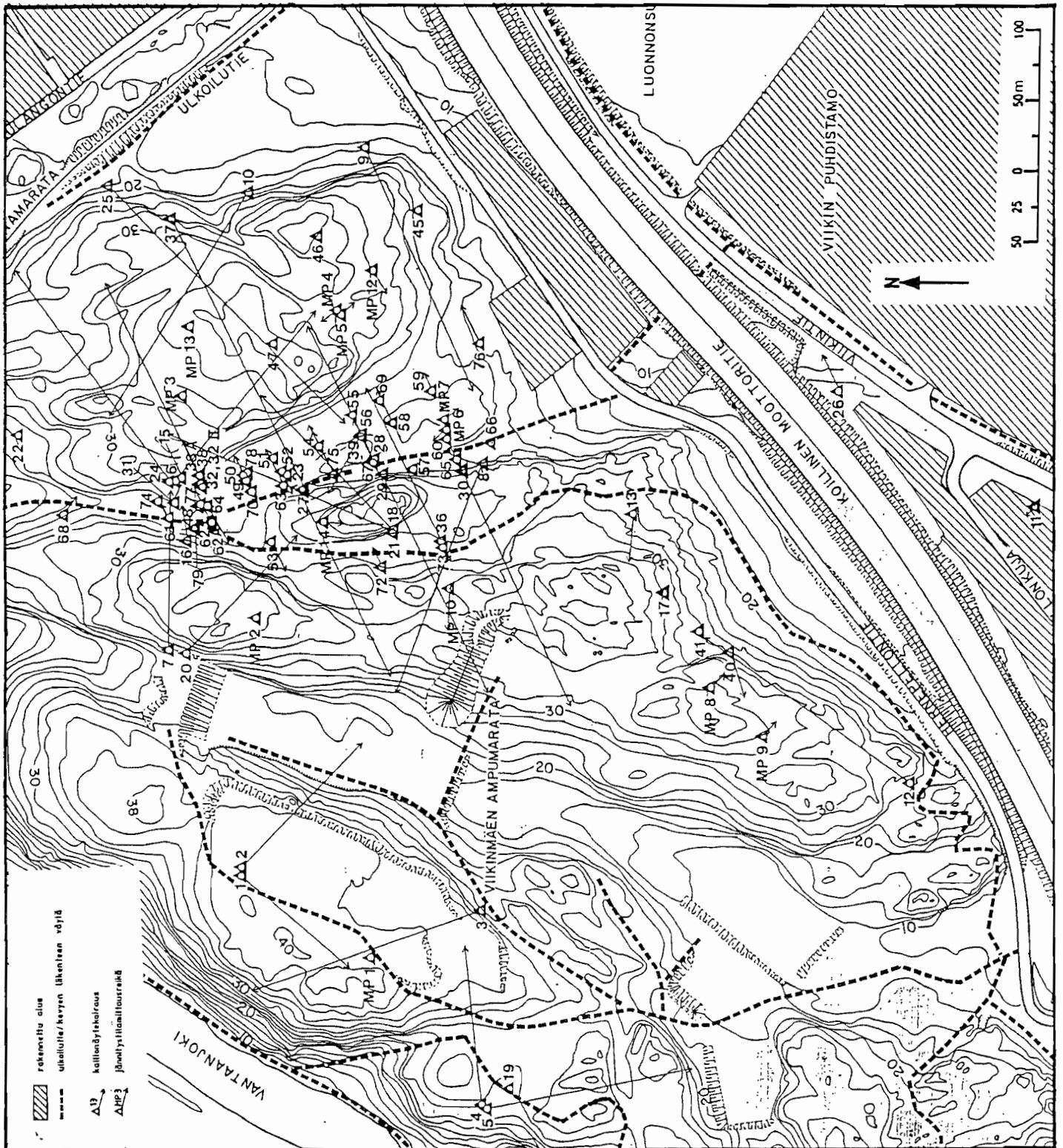
Painannealueilla kairaustietoja käytettiin mm. louhintatavan ja lujitustarpeen arviointiin. Kairaus- ym. tutkimustietojen perusteella päädyttiin siihen, että hallit voidaan myös ohuen kalliokaton kohdissa toteuttaa maanalaisena rakennustyönä, mikä merkitsi huomattavaa kustannusetua verrattuna kaivanto- ja betonikattovaihtoehtoon.

Kallionäytekairauksia tehtiin 73:ssa pisteessä. Varsinaisten kallionäytekairausten lisäksi saatiin kallionäytettä 13:sta jännitystilamittausreiästä. Kaikkiaan kallionäytettä kairattiin noin 5600 m. Näytteet ovat halkaisijaltaan pääasiassa 32 mm. Jännitystilamittauksista saadut näytteet ovat halkaisijaltaan välillä 42-86 mm. Jokaisesta kairauksesta laadittiin erillinen raportti. Kuvassa 18 on esitetty kallionäytekairausten sijainti /30/.

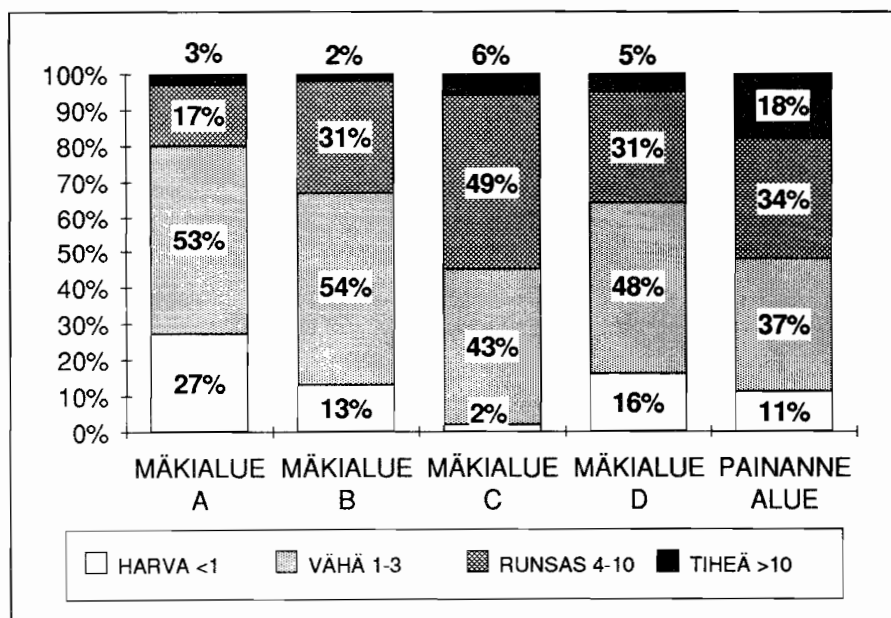
Kallionäytekairausten yhteydessä otettiin huomattava määrä suunnattuja näytteitä. Lisäksi lähes jokaisessa reiässä tehtiin vesimenekikokeita. Näytteenoton jälkeen tutkimusreiät jätettiin auki mahdollisia myöhemmin suoritettavia geofysikaalisia mittauksia varten.

Tämän työn yhteydessä on kairaustietojen perusteella suoritettu tilastollinen tarkastelu rakotihedden vaihteluista Viikinmäen alueella. Suunnitteluryhmä Viikinmäki suoritti samansisältöiset tarkastelut eteläisen ja pohjoisen louhinturakan osalta.

Kuvassa 19 on esitetty eri alueiden rakoiluluokkien prosenttiosuudet alueelle sijoittuneiden kairauksien perusteella.



Kuva 18. Kallionäytekairaukset /30/.



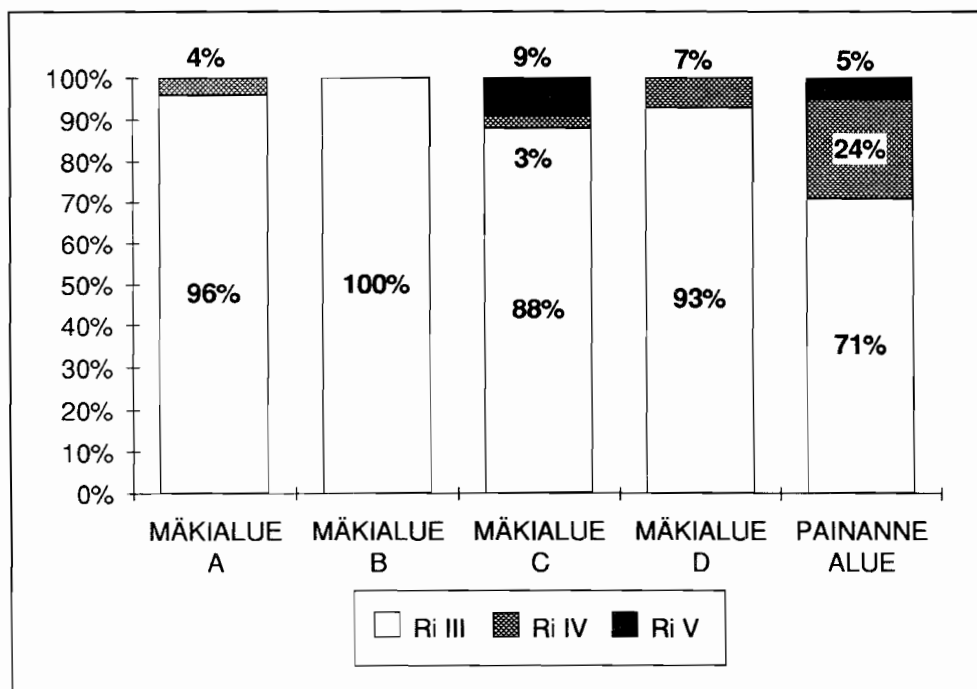
Kuva 19. Rakoluokkien esiintyminen kallionäyttekairausten perusteella.

Kuvan 19 perusteella voidaan arvioida rakotihedden jakaantumista. Mäkialueessa A on harva- ja vähärakoisen kallion osuus suurin. Edelleen mäkialue A:ssa on runsaimmin harvarakoista kalliota. Mäkialueet B ja D ovat rakotihedeltään hyvin samanlaisia. Niissä kaikkien rakotihedysluokkien osuudet ovat lähes yhtä suuria.

Mäkialueista alue C on selvästi huonointa. Siinä harvarakoisen kallion osuus on pienin ja vähärakoisenkin kallion osuus on pienempi kuin muissa mäkialueissa. Runsarakoisen kallion osuus C alueella on huomattavasti suurempi kuin muissa mäkialueissa. Kalliomäen C rakoiluun voi vaikuttaa se, että kalliomäki sijaitsee kahden ison ruhjevyöhykkeen välissä. Varsinkin Vantaanjokilaakson ruhjevyöhykkeestä viuhkaantuu kapeita heikkousvyöhykkeitä kalliomäkeen ja sen läpi.

Painannealueiden rakoilusta noin viidesosa kuuluu tiheän rakoilun luokkaan. Harva- ja vähärakoista kalliota esiintyy painanne-alueella noin puolessa koko kairausmäärästä. Huomattavaa on, että tiheää tai runsasta rakoilua olevat vyöhykkeet kattavat ruhjevyöhykkeeksi tulkitusta painanteesta tässäkin tapauksessa vain noin puolet, ja niiden väliin jää hyvälaatuista kalliota.

Tässä yhteydessä on tarkasteltu osa-alueittain myös rikkonaisuusluokkien jakautumaa Viikinmäen alueella (kuva 20).



Kuva 20. Rikkonaisuusluokkien jakautuma kallionäyttekairausten perusteella

Mäkialueiden heikkousvyöhykkeet ovat lähes yksinomaan murrosrakenteista kalliota. Ruhje- ja savirakenteisen kallion osuus on vähäinen.

Painannealueella yli kaksi kolmaosaa rikkonaisen kallion vyöhykkeestä on murrosrakenteista. Savirakenteista rikkonaisuusvyöhykettä on viisi prosenttia.

3.8.1. Suunnatut näytteet

Kallionäyttekairausten yhteydessä otettiin suunnattuja näytteitä. Aluksi näytteitä otettiin yhdeksän metrin välein ja myöhemmin kuuden metrin välein. Suunnatuilla näytteillä pyrittiin saamaan kolmiulotteinen käsitys rakosuunnista kalliomekaanisia laskelmia ja edelleen lujitustarpeen määrittelyä varten.

Suunnitteluryhmä laati suunnattujen näytteiden perusteella rakosuuntien esiintymisestä vesiasemien urakkoiden yhteydessä tarkastelut Schmidtin verkkoa käyttäen.

Eteläistä vesiasemaa koskevassa tarkastelussa havaintojen konais määrä oli 350 kappaletta. Lisäksi tarkasteltiin erikseen seosrakenteisen kiinteän kalliolaadun, massarakenteisen kiinteän kalliolaadun sekä ruhje- ja ruhjeiden reuna-alueiden rakahavainnot. Laaditut projektiot on esitetty kuvassa 21.

Pohjoisen vesiaseman osalta havaintojen kokonais määrä oli 440 kappaletta. Pohjoisen vesiaseman yhteydessä on tehty eteläisen vesiaseman kaltaiset tarkastelut, kuitenkin massamaisen kalliolaadun alueen tarkastelua ei ole voitu suorittaa. Projektiot on esitetty kuvassa 22.

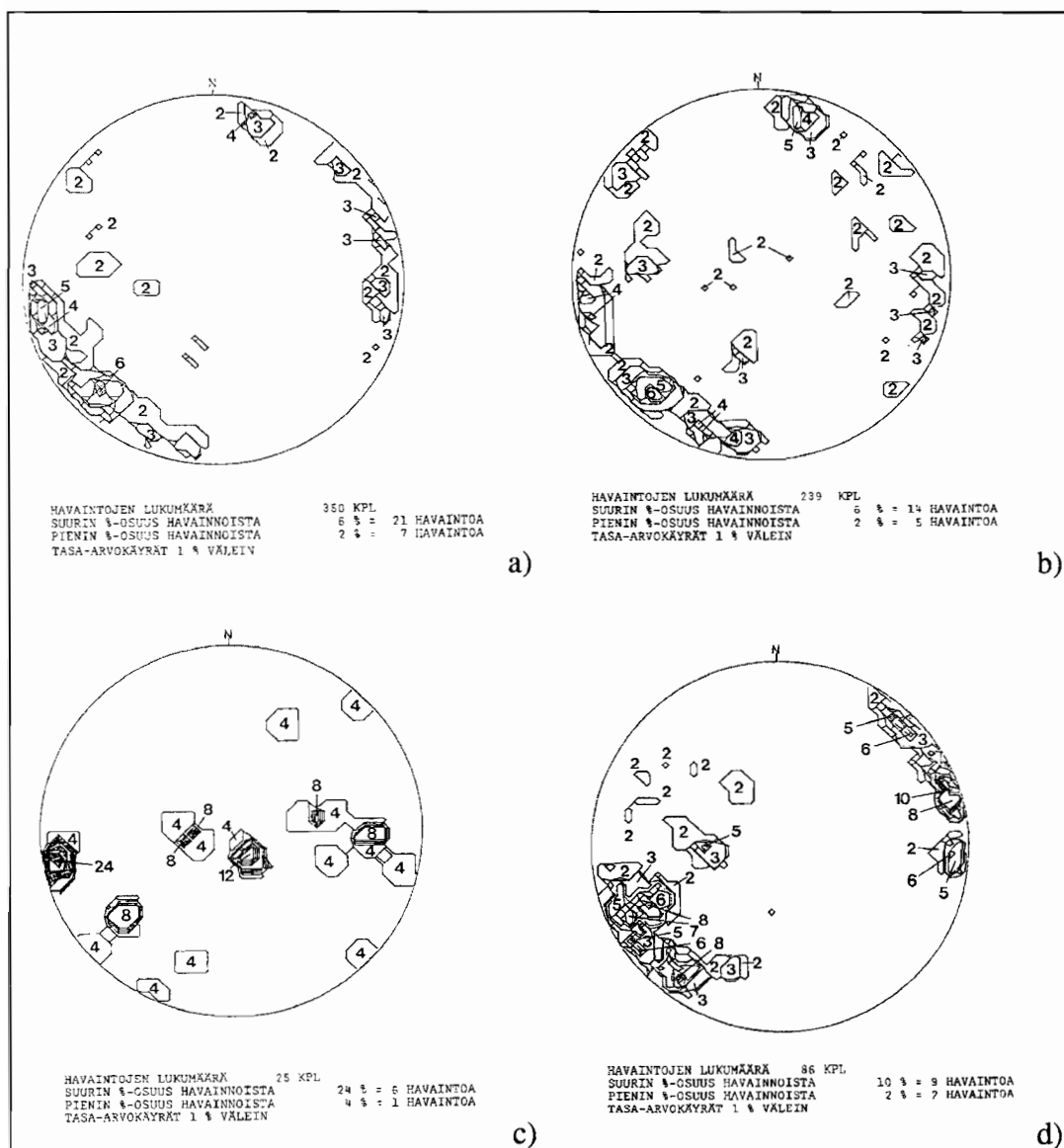
Eteläisen vesiaseman kaikkia havainnot tarkastelemalla on havaittavissa suunnan 100-200^{gon} suuntainen pystyn molemminpuolin oleva jyrkkäkaateinen rakoilu (kuva 21a).

Kuvan 21b perusteella on rakoilu eteläisen vesiaseman seoksisen kalliolaadun alueella melko vaihtelevaa. Runsaimmin esiintyy kaakko-luode-suunnan molemmin puolin olevaa rakoilua, jonka kaate vaihtelee melko jyrkästi pystyn molemmin puolin. Lounaan suuntainen kaate on yleisempi.

Massarakenteisen kallion alueella esiintyy etelä-pohjoinen suuntaista melko pystyä rakoilua. Hyvin erottuu myös alueen vaaka-asentoinen rakoilu (kuva 21c).

Eteläisen vesiaseman ruhjeiden ja niiden reuna-alueiden rakahavainnot vaihtelevat suunnan kaakko-luode molemmin puolin. Kaateeltaan rakoilu on melko pystyä vaihdellen pystyn molemmin puolin. Havaittavissa on myös loiva-asentoinen, noin 30^{gon} kulmassa oleva etelä-pohjoinen suuntainen rakojen tihentymä (kuva 21d).

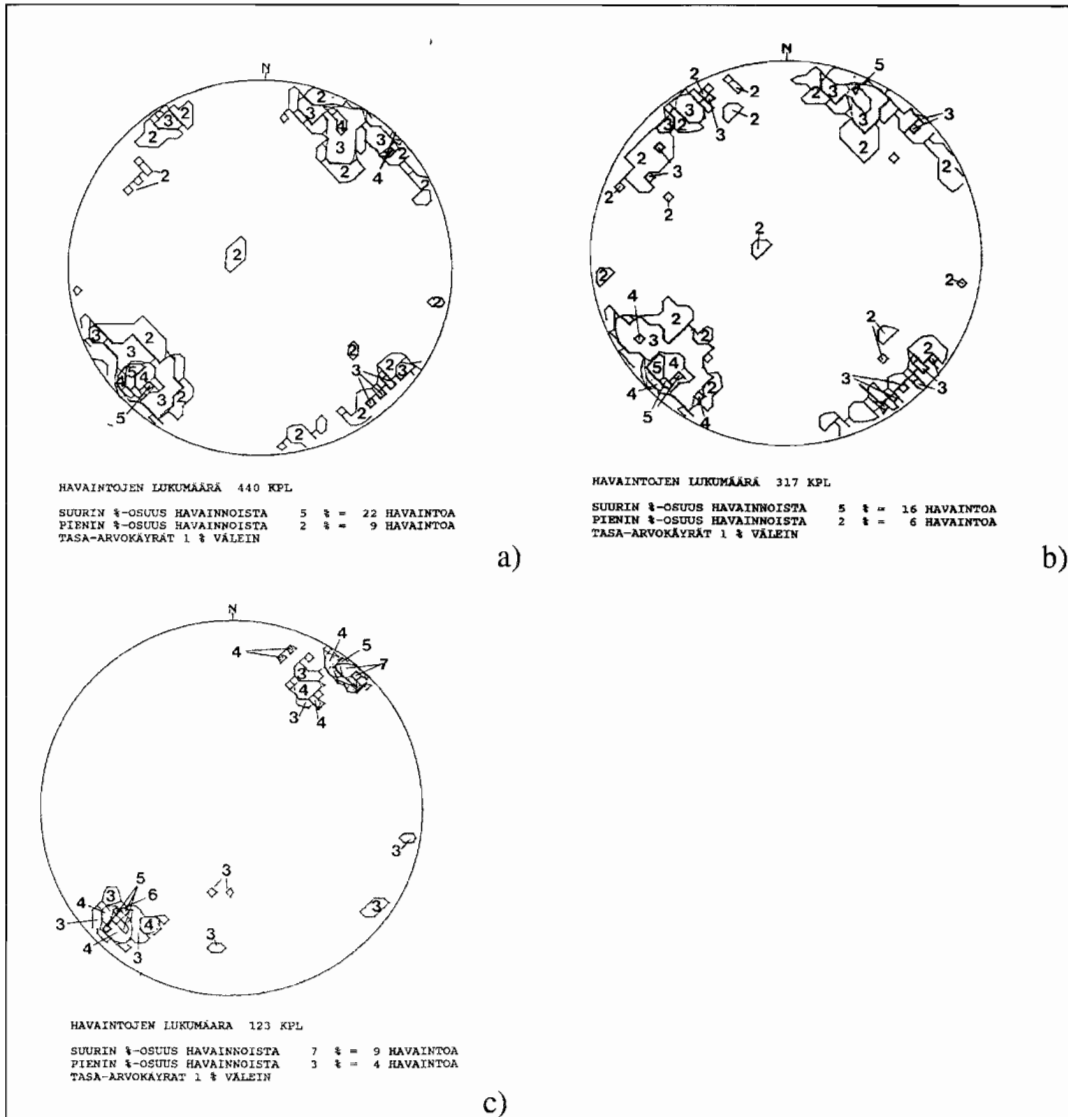
Pohjoisen vesiaseman aluetta tarkkailtaessa voidaan todeta rakoilun noudattavan melko selvästi kuutiorakoilua. Rakoilun suunnat ovat koillinen-lounas, kaakko-luode sekä vaaka-asentoinen rakoilu. Koillinen-lounas suuntainen rakoilu on runsainta noudattaen lähinnä alueen ruhjeiden suuntaa (kuva 22a).



Kuva 21. Eteläisen vesiaseman louhintaurakan pintatarkat alapalloprojektiot (Schmidtin verkko), tasa-arvokäyrät. a) kaikki havainnot, b) seosrakenteisen kalliolaadun alue, c) massarakenteisen kalliolaadun alue ja d) ruhjeet ja ruhjeiden reuna-alueet /29/.

Pohjoisen vesiaseman alueelta voidaan havaita kiinteän kallion osalta jyrkästi pystyn molemmin puolin olevat koillinen-lounas ja kaakko-luode suuntaiset rakoilut. Havaittavissa on myös hieman vaaka-asentoista rakoilua (kuva 22b).

Ruhjeiden alueella ja ruhjeiden reuna-alueilla päärajoitus suunnaksi näyttää tulevan kaakko-luode suuntainen melko jyrkkä pystyn molemmin puolin oleva rakoilu (kuva 22c).



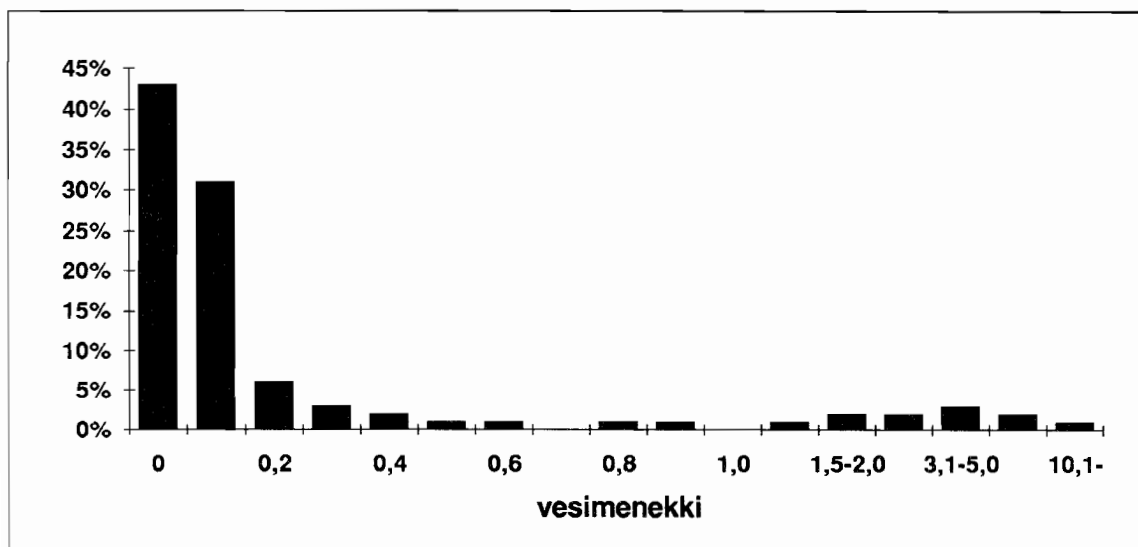
Kuva 22. Pohjoisen vesiaseman louhintaurakan pintatarkat alapalloprojektiot (Schmidtin verkko), tasa-arvokäyrät. a) kaikki havainnot, b) seorakenteisen kalliolaadun alue ja c) ruhjeet ja ruhjeiden reuna-alueet /29/.

3.8.2. Vesimenekkimittaukset

Viikimäessä suoritettiin kallionäyttekairauksen rei'issä säännöllisesti vesimenekkimittauksia. Mittaukset suoritettiin 1-tulppamenetelmällä noin yhdeksän metrin välein. Vesimenekkimittauksia suoritettiin näyttereii'issä noin 4800 reikämetrin pituudella /30/.

Yleensä vesimenekkimittauksilla pyritään selvittämään kallion tiiviyttä ja injektointitarvetta. Vedenläpäisevyyteen vaikuttavat lähinnä kallion rakoilu ja rakojen avonaisuus ja täytteisyys.

Saatujen tulosten perusteella tutkitun alueen kallioperä on melko vähän vetäläpäisevää. Lähes 75% mitatuista arvoista ovat 0-0,1 Lugeonia (kuva 23). Tämä vastaa k-arvoa pienempi kuin $2 \cdot 10^{-8}$.



Kuva 23. Viikiniemessä Lugeon-yksiköissä laskettujen vesimenekkien prosentuaalinen jakautuminen.

Kalliorakennuskohteissa on usein määrätty, että esi-injektointi on aloitettava, jos Lugeon-arvo on suurempi kuin yksi.

3.9. Jännitystilamittaukset

Helsingissä on useissa kalliorakennuskohteissa suoritettu jännitystilamittauksia, joissa on saatu suuria vaakajännitysten arvoja. Myös muualla Suomessa mm. kaivoksissa on mitattu vastaavansuuruisia arvoja. Edelleen on korkean vaakapuristuksen olemassaolo havaittu muuallakin maailmassa kiteisen kallioperän alueilla.

Koska keskuspuhdistamon tilat ovat suuria kapeiden pilareiden jakamia kallio-tiloja, tehtiin jännitystilamittauksia useassa pisteessä tilojen pysyvyyden ja lujuustarpeen selvittämiseksi.

Kallion jännitystilan mittaamiseksi on kehitetty useita menetelmiä. Ne voidaan jakaa irtiporaukseen ja hydrauliseen paineenmittaukseen perustuviin menetelmiin. Irtiporaukseen perustuvia mittausmenetelmiä on useita.

Viikinmäessä käytettiin neljää jännitystilan mittaamenetelmää. Hastin menetelmällä mitattiin kolmessa reiässä, Leemanin menetelmällä kuudessa reiässä, Leeman-Hiltscherin menetelmällä neljässä reiässä ja modifioidulla Leeman menetelmällä yhdessä reiässä. Nämä menetelmät ovat irtiporaukseen perustuvia, jolloin halkaisijaltaan isomman reiän pohjaan kairataan keskeisesti pienempi reikä. Pieneen reikään kiinnitetään tai jännitetään mittalaitteet. Tämän jälkeen kairataan isommalla terällä kalliosta näyte, jonka sisässä mittalaitteet sijaitsevat. Tässä vaiheessa kalliosta vallitsevien jännitystilojen vuoksi näyte muuttaa muotoaan ja mittauslaitteiden avulla havaitaan muutokset tai mittalaitteisiin kohdistuvat jännitykset. Kun kiven kimmokerroin ja Poissonin luku tunnetaan, voidaan niiden ja muodonmuutosten avulla laskea kalliosta vallitsevat jännitystilat /15, 36/.

Viikinmäessä suoritetuissa mittauksissa saatiin suurimmaksi vaakasuoraksi jännitystilan keskiarvoksi 6,8 MPa. Eri mittausrei'issä mitatut keskimääräiset vaakajännityskentät on esitetty kuvassa 24 /20/.

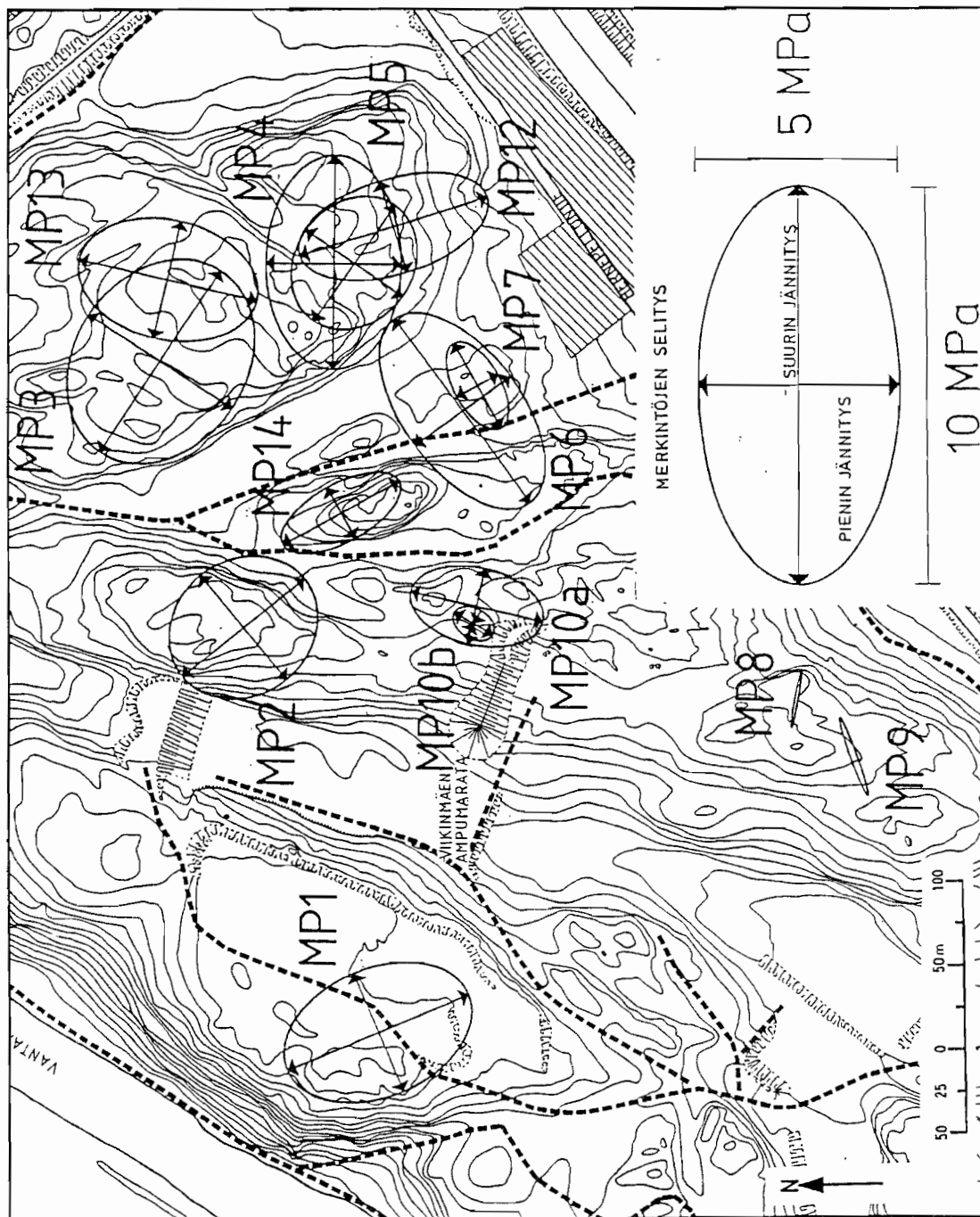
Tarkasteltaessa jännitystilamittausten tuloksia ja Viikinmäen mäkien ja ruhjeiden sijoittumista ei suurimpien vaakajännitysten ja alueen tektoniikan välillä ole havaittavissa johdonmukaisuutta. On kuitenkin huomattava, että mittaukset on tehty kolmessa eri vaiheessa.

Vuonna 1985 tehtiin kolmessa reiässä mittauksia melko läheltä maanpintaa suurten mäkien keskeltä. Näihin mittauksiin käytettiin Hastin menetelmää.

Vuoden 1986 mittaukset tehtiin Leeman-menetelmällä jo aikaisemmin louhittuista vesijohtotunnelista. Vesijohtotunnelista tehtyjen mittausreikien pituus oli 13-14 metriä.

Vuoden 1987 mittaukset tehtiin käyttäen Leeman-Hiltscher ja modifioitua Leeman-menetelmää. Käytettyjen reikien pituudet vaihtelivat 42 metristä 53 metriin. Reiät kairattiin maanpinnalta.

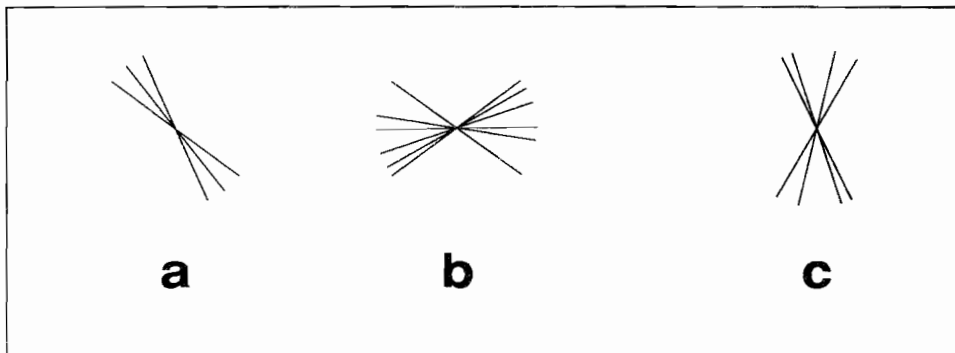
Tarkasteltaessa vesijohtotunnelista tehtyjen jännitystilamittausten tuloksia havaitaan näissä suurimpien vaakajännitysten suunnan poikkeavan muista tehdyistä mittauksista (kuva 25). Koska mittaukset vesijohtotunnelista on tehty lyhyissä rei'issä lähellä jo louhittua tunnelia on todennäköistä, että louhittu tunneli vaikuttaa jännityskenttään lähiympäristössään. Tällöin poikittain tunnelin kulkusuuntaan oleva vaakakenttä olisi päässyt heikkenemään ja tunnelin suunnasta vaakakenttä muodostuisi suurimman vaakajännityksen suunta.



Kuva 24. Jännitystilamittaukset /20/.

Taulukko 1. Jännitystilamittausten ja suurimman horisontaalisen jännityksen suunnan keskiarvot mittausrei'ittäin.

REIKÄ	SUURIN HORISONT.	SUUNTA	PIENIN HORISONT.	VERTIKAALINEN
	MPa	gon	MPa	MPa
MP 1	5,8	174	3,8	-
MP 2	4,6	158	4,0	-
MP 3	6,5	140	5,1	-
MP 4	6,4	99	4,0	0,6
MP 5	4,2	140	3,5	0,0
MP 6	6,8	59	3,5	1,0
MP 7	2,9	67	1,4	0,4
MP 8	1,7	110	0,1	-0,3
MP 9	2,4	79	0,2	0,8
MP 10a	4,0	17	2,3	1,1
MP 10b	1,3	33	-0,9	-2,9
MP 12	5,8	180	2,8	-1,4
MP 13	5,4	14	3,6	-1,3
MP 14	3,9	171	1,7	1,0



Kuva 25. Jännitystilamittausten suurimman vaakasuoran jännitysten keskiarvojen suunta eri menetelmillä ja ajankohtina mitattuna: a) Hastin menetelmä 1985, b) Leeman-menetelmä 1986, c) Leeman-Hiltscher ja modifioitu Leeman-menetelmä.

Koska jännitystilamittaukset ovat melko herkkiä häiriöille, saattaa tuloksiin tulla virhettä helposti myös tästä syystä. Tämän vuoksi tulisi olla laskenta- tai

muita menetelmiä, joiden avulla virheelliset tulokset voitaisiin poistaa. Näin saataisiin lasketut jännitystilat vastaamaan paremmin todellisuutta.

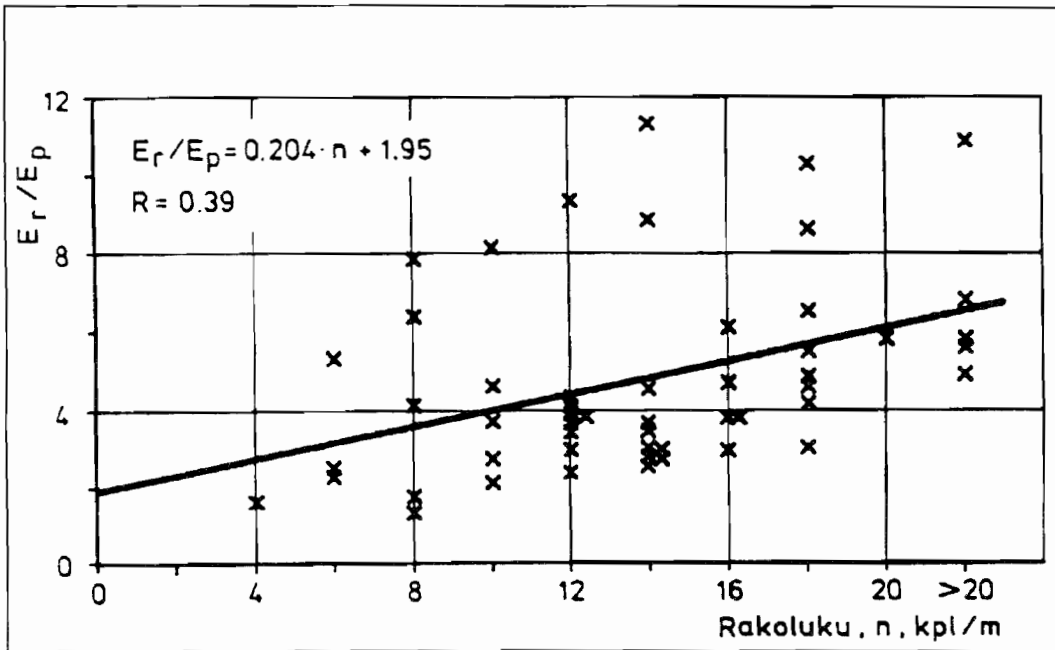
3.10. Pressometrikokeet

Pressometrikokeessa käytetään säteittäisesti laajenevaa pitkää sylinteriä, joka aiheuttaa ympäristöönsä jännitysmuodonmuutoksia ja siirtymiä. Muodonmuutokset mitataan käytettävän painesylinterin tilavuuden muutoksina. Kalliossa pressometrillä käyttö rajoittuu lähinnä kuormitus-, palautus- ja toistokuormitusmoduulin määrittämiseen. Menetelmä on käytetty yleensä maaperän kimmo-ominaisuuksien määrittämisessä. Kalliossa menetelmän käyttö rajoittuu rikkonaisen kallion ominaisuuksien mittaamiseen. Kallion ominaisuuksien mittaamiseen käytetään dilatometrimitausta, koska se sietää suurempia paineita ja mittaa paremmin pieniä muodonmuutoksia kuin pressometrikoe /18, 21/.

Pressometrimitaus on harvoin Suomessa kalliorakennuskohteissa käytetty mittaumenetelmä. Viikinmäessä menetelmää käytettiin heikkousvyöhykkeessä, jonka kohdalla 17 metrin levyisen hallin kalliokaton paksuus on pienimmillään noin neljä metriä. Vyöhykkeeseen tehdyissä kallionäytekairauksissa esiintyi huomattavassa määrin näytehukkaa. Lujuuslaskelmia varten haluttiin mitata osittain rapautuneen ja rikkonaisen kallion ominaisuuksia.

Viikinmäessä pressometrikokeita suoritettiin painanteen heikkousvyöhykkeiden alueella olevissa 18 reiässä noin 70 kappaletta. Pressometrmoduli ja palautusmoduli pienenevät rakoluvun kasvaessa pressometrmodulin arvojen ollessa pääasiassa 0,3-10 ja palautusmodulin 0,8-30. Muutamissa mittauksissa saatiin suurempiakin arvoja. Tuloksista laskettiin palautusmodulin ja pressometrmodulin välinen suhde. Laskettua suhdelukua verrattiin mittauskohdan rakolukuun. Rakoluvun ja lasketun suhdeluvun välinen korrelaatio oli heikko (kuva 26) /33/.

Suurin osa mittauksista osui alueelle, jossa rakoluku oli suurempi kuin kymmenen. Rapautumisasteeltaan kallio oli mittauskohdissa pääasiassa vähän rapautunutta. Vain muutamassa kohdassa kallio oli runsaasti tai täysin rapautunutta. Näinollen rapautumisasteen ja modulien välistä vuorovaikutusta ei voitu tutkia tilastollisesti.



Kuva 26. Rakoluvun sekä palautusmodulin ja pressometrmodulin suhteen havainnot ja korrelaatio /33/.

3.11. Geofysikaaliset reikämittaukset

Koska oli tarkoitus tehdä paljon kallionäytekairauksia, haluttiin tutkimusten alkuvaiheessa selvittää geofysikaalisten reikämittausten mahdollisuudet. Koe-
luontoisesti suoritettiin rei'issä SK1, SK2 ja SK3 gamma-gamma- ja neutron-
neutron-mittauksia, suskeptiivisuusmittaus, ominaisvastusmittaus sekä radio-
aktiivisen säteilyn totaali-intensiteettimittaus. Gamma-gamma- ja neutron-neut-
ron-mitauksia tehtiin ainoastaan reiässä SK2 ja vain 30 metriä.

Rei'issä SK1, SK2 ja SK3 tehdyt geofysikaaliset reikämittaukset jäivät louhittu-
jen tilojen ulkopuolelle, eikä niistä saatuja tuloksia näinollen päästy vertai-
lemaan rakennetusta tilasta tehdyn rakennusgeologisen kartoituksen kanssa.
Myöhemmin rakennettavaksi suunnitellun, mahdollista typenpoistoa varten
rakennettavan tilan yhteydessä voidaan näitä tarkastella tarkemmin. Yleisesti
voidaan todeta ominaisvastusmittauksen korreloivan suhteellisen hyvin ja
suskeptiivisuusmittauksen korreloivan jonkin verran rakoilun kanssa.
Tarkemmin tulokset on esitetty Geoteknisen osaston tiedotteessa nro 46.

3.12. Kairauksiin liittyvät laboratoriomittaukset sekä ohuthie- ja röntgendiffraktometritutkimus

Kairasydännäytteistä määritettiin kiven puristusmurtolujuus, vetomurtolujuus, pistekuormitusindeksi, koheesio ja sisäinen kitkakulma. Erityyppisistä raoista määritettiin niiden koheesio, kitkakulma, normaalijäykkyys ja leikkausjäykkyys. Näiden tutkimusten tavoitteena oli antaa lisää tietoja kallioteknistä mitoitusta varten /31/.

Kallionäytekairauksista tehdyistä ohuthieistä selvitettiin näytteiden mineraalikoostumusta, muuttumistuloksia ja kiven sisäistä rakennetta.

Röntgendiffraktiotutkimuksen avulla selvitettiin kalliosaven savimineraalit. Määrittämisen mukaan savimineraalit ovat kaoliniittia, illiittia ja illiittivermikuliittia. Paisuvahilaisia savimineraaleja ei tutkimuksessa havaittu /24, 26/.

3.13. Pohjavesitarkkailu

Viikinmäen alueella pohjavedenpintoja alettiin kesän ja syksyn 1987 aikana tarkkailla alueelle asetetuissa pohjavesiputkissa ja muutamissa lähialueen kaivoissa, joista yksi oli porakaivo. Myös osassa alueelle tehdyistä kallionäytekairausrei'istä mitattiin pohjavedenpintoja. Louhintatyön käynnistyessä kalliossa olevat näytteriät betonoitiin umpeen eikä niissä sen jälkeen voitu jatkaa tarkkailua. Alueella suoritettujen maanpäällisten rakennustöiden seurauksena ovat pohjaveden tarkkailupisteet louhintatyön aikana vähentyneet. Rakennustyön aikanakin on asennettu muutamia uusia pohjavesiputkia vanhojen käytöstäpoistuneiden tilalle. Keväällä 1989 tarkkailussa oli 15 pohjavesiputkea kaksi rengaskaivoa ja yksi porakaivo.

Tarkkailupisteet sijaitsevat rakennuskohteen ympärillä ja yläpuolisessa osassa. Kuvassa 27 on esitetty osa pitkään säilyneistä pohjavesipintojen tarkkailupisteistä.

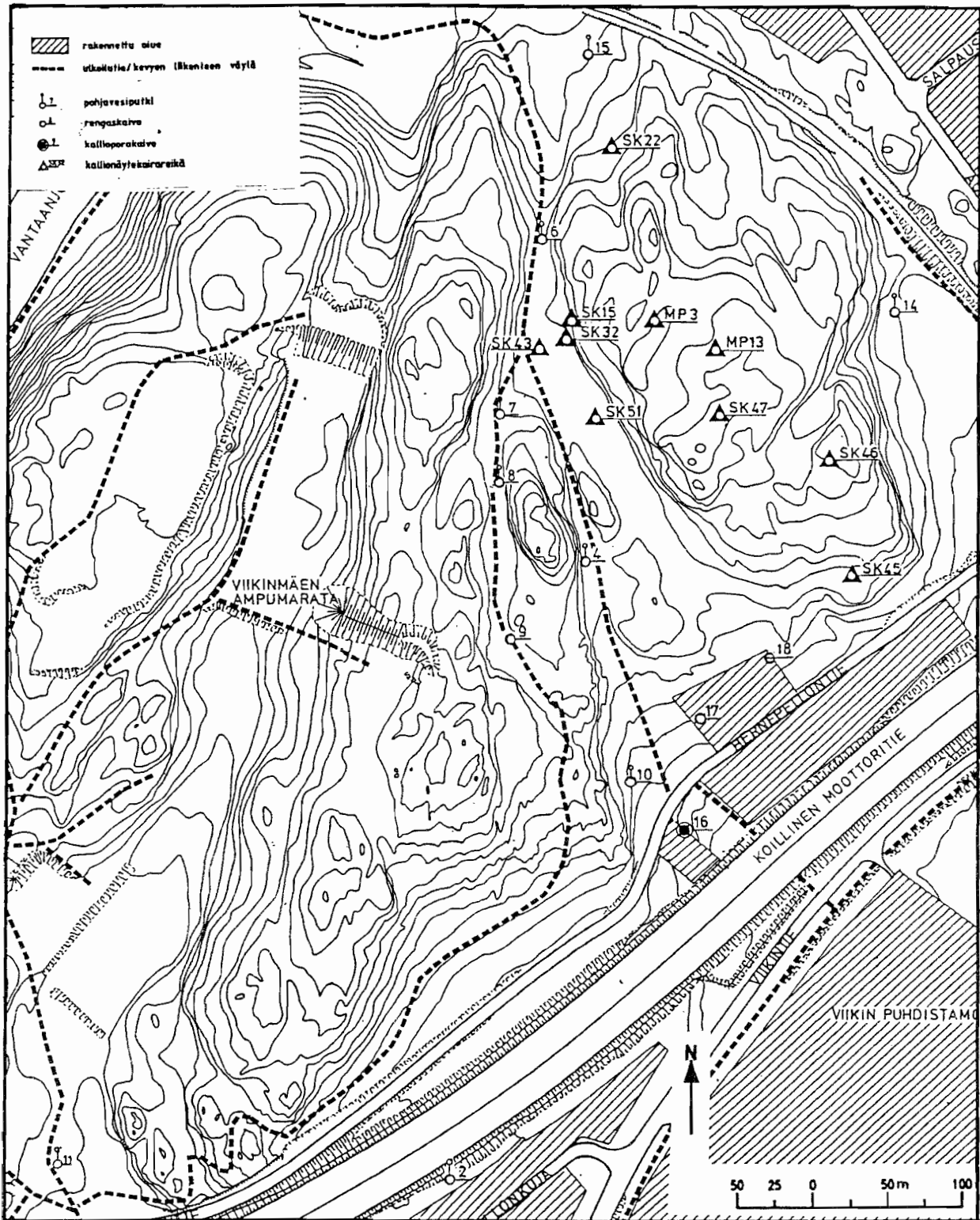
Kuvassa 28 on esitetty louhintatyömaan eteläpuolella sijaitsevan kallioporakaivon pohjavedenpinnan korkeuden muutokset vuoden 1987 syksystä vuoden 1991 alkuun. Kuvassa 29 on esitetty useiden pitkään tarkkailussa olleiden pohjavesipisteiden pohjavedenpinnan tasojen muutokset. Kuvassa 30 on esitetty muutamien kallionäytekairausreikien pohjavedenpinnoissa tapahtuneita muutoksia.

Varsinaisesti ei voida havaita mitenkään yksiselitteisiä merkkejä louhinnan vaikutuksesta pohjavesipinnan tasoon. Osassa tarkkailupisteistä voidaan havaita pientä keskimääräisen pohjavesipinnan laskua. Kuitenkin tähän ovat saattaneet vaikuttaa myös alueella suoritettut maanpäälliset rakennustyöt. Pohjavesikäyrät noudattavat lähes kaikissa pisteissä samanlaista vuodenaikoihin liittyvää vaihtelua. Joissakin pisteissä vaihtelu on runsaampaa kuin toisissa. Tilanteeseen vaikuttaa lähinnä ympäröivän vesivaraston suuruus. Näinollen voidaankin todeta ampuradan painanteessa sijaitsevien tarkkailupisteiden kohdalla vähäisempää pohjavesipintojen vaihtelua kuin mäkialueiden A, B ja D läheisyydessä olevien pisteiden kohdalla.

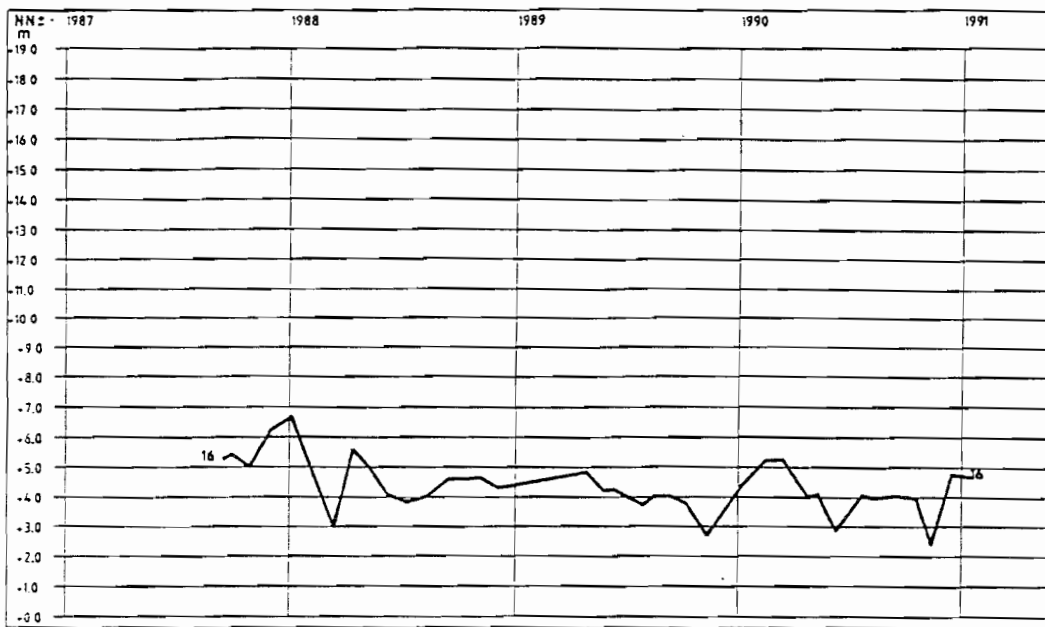
Porakaivossa havaittavat pohjavedenpinnan muutokset eivät noudata samaa rytmiä kuin muissa tarkkailupisteissä. Onkin muistettava, että kyseinen kaivo on talousvesikäytössä, joten kaivon pohjavedenpinnan tasoon voi vaikuttaa se, kuinka paljon vettä talous on käyttänyt ennen mittaushetkeä.

Porakaivosta on tehty myös talousvesitutkimus. Tutkimusten mukaan vesi on sopivaa juoma- ja talousvedeksi. Suurimpia pitoisuuksia esiintyi lähinnä kloridien ja nitraattien kohdalla. Pitoisuudet eivät ylittäneet muulle talousvedelle asetettuja raja-arvoja. Muut tutkitut pitoisuudet eivät ylittäneet vesilaitosten ja elintarvikkeiden valmistukseen ja käsittelyyn käytettävän veden pitoisuuksien raja-arvoja.

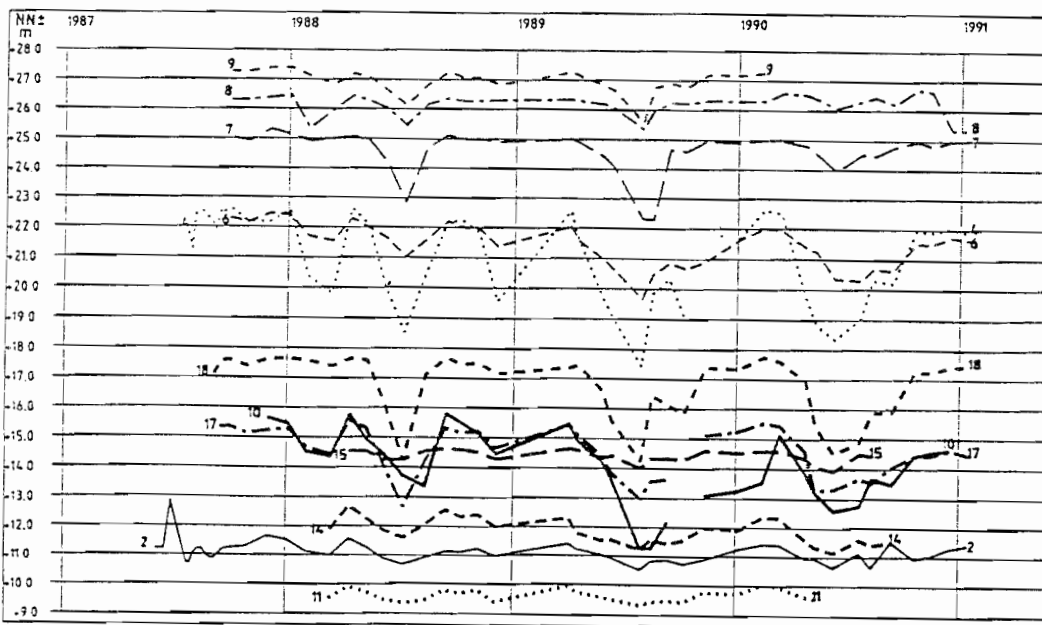
Kaikissa kallionäyttekairausrei'issä havaituilla pohjavedenpinnoilla ei ole havaittavissa samanlaista vuodenaikaisvaihtelua, kuin irtomaakerroksissa olevalla pohjavesipinnalla. On havaittavissa, että osassa rei'istä pohjavedenpinta on huomattavasti alempana kuin ympäröivissä maakerrostumissa. Samoin voidaan havaita osassa rei'issä huomattavaa pohjavedenpinnan laskemista. Lähekkäinkin olevissa rei'issä pohjavedenpinnat vaihtelevat hyvin eri tavalla



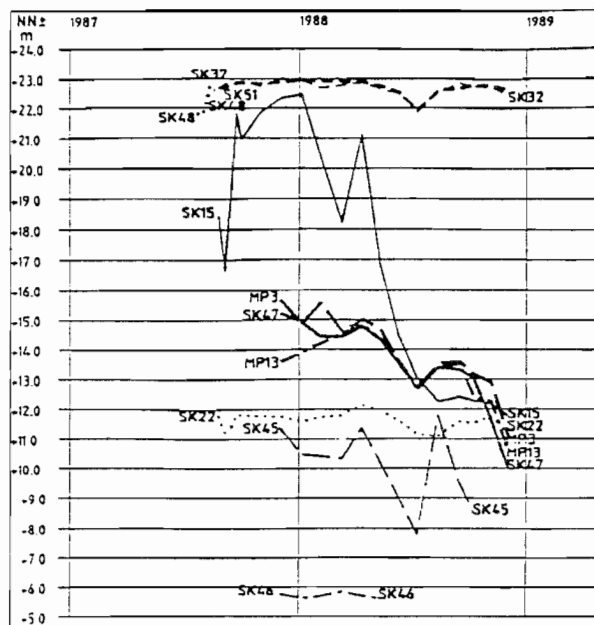
Kuva 27. Pohjavesihavaintopisteet.



Kuva 28. Porakaivon pohjavesihavaintokäyrä.



Kuva 29. Pohjavesipisteiden havaintokäyrät.



Kuva 30. Kallionäytteri-istä mitatut pohjavedenpinnan havaintokäyrät.

4. Rakennusgeologiset tiedot suunnittelussa ja urakka-asiakirjoissa

4.1 Tietojen käyttö suunnittelussa

Erityisesti suurten kalliotilojen suunnittelussa tarvitaan huomattavissa määrin enemmän yksityiskohtaista kallioperätietoa kuin mitä urakka-asiakirjoissa voidaan esittää. Keskuspuhdistamon mittasuhteet ja mm. paikoin ohuet kalliokatot edellyttivät yksityiskohtaisia kalliomekaanisia laskelmia tilojen pysyvyyden ja lujitusten arvioimiseksi.

Keskuspuhdistamon eteläisen vesiaseman tutkimustietojen tulkinnessa käytettiin kansainvälisiä NGI- ja CSIR-luokituksia. NGI-luokitus on Bartonin Norjan geologisessa instituutissa ja CSIR-luokitus Benjawskin kehittämä menetelmä. Luokituksia käytettiin lähinnä kokeiluluonteisesti normaalien kalliomekaanisten laskelmien rinnalla ja niiden tulokset oli tarkoitettu lähtö- ja lisätiedoksi suunnittelijoille, jotka ovat perehtyneitä kyseisiin luokituksiin.

NGI-luokitus perustuu käytännön kokemuksiin noin 200 kalliotilasta. Tiloista saatujen tietojen avulla on määritetty kuusi kallion ominaisuutta, jotka korreloivat kalliotilan lujitustarpeen kanssa. Näiden kallion ominaisuuksien perusteella määritetään Q-luku (= kallion laatuluku) ja sen avulla kallion lujitustarve. Q-luvun määrittämisessä tarvittavat ominaisuudet ovat: RQD-luku (kairausnäytteessä 10 cm tai yli olevien ehjien sydännäytteiden prosenttiosuus koko reiän pituudesta), rakosuuntien lukumäärätekijä, rakopintojen karkeusluku, rakopintojen muuttuneisuusluku, rakojen vedenläpäisevyysluku ja jännitystilaluku. Q-luvun perusteella kallio jakautuu yhdeksään pysyvyys-aikaluokkaan, joiden avulla voidaan laskea tarvittavat lujitukset /1, 23, 25, 37/.

CSIR-luokitus perustuu myös kalliotilojen toteutuksen yhteydessä saatuihin kokemuksiin. Luokitus perustuu viiteen kallion ominaisuuteen, joiden avulla voidaan laskea kallioluokka. Ominaisuuksia ovat pistekuormitusindeksi tai yksiaksiaalinen puristuslujuus, RQD-luku, rakolaatu, rakoväli ja pohjavesi. Näiden avulla saadaan määritettyä CSIR-luokituksen RMR-luku. Lisäksi voidaan tarvittaessa huomioida erikseen rakosuuntien vaikutus tunnelissa antamalla siitä omat pisteet. RMR-luvun perusteella kallio jaetaan viiteen luokkaan /2, 23, 25, 37/.

Keskuspuhdistamon eteläisen vesiaseman NGI-luokituksessa Q-luvut vaihtelivat laajoissa rajoissa, koska kallio oli alueella osaksi heikkousvyöhykkeiden rikkomaa ja osaksi harvarakoista ja kiinteää /1/.

Suoritetussa luokittelussa alueet jaettiin siten, että eriteltävissä oli alueet, joilla Q-luku oli 4:ää pienempi tai suurempi. Alle 4:n alueet ovat luokituksen mukaan kalliolaadultaan heikkoja tai sitä huonompia. Yli 4:n alueet olivat kohtalaisia tai sitä parempia. Alueiden pinta-alat suhtautuvat toisiinsa siten, että heikon luokan osuus oli noin 30 %:a. Jos vastaavanlainen jako suoritettaisiin koko puhdistamon alueelta, voidaan arvioida, että päädytään jakaumaan, jossa heikon osuus on noin 25 %:a

CSIR-luokituksessa RMR-luvun mediaani vaihteli luokissa 21-40, 41-60 ja 61-80, ja näiden luokkien edustamat kalliolaadut ja luokat ovat huono IV, kohtalainen III ja hyvä II /2/.

Luokituksilla saatuja lujitussuosituksia ei kirjattu, eikä niitä siten suoranaisesti käytetty lujitusten ennakoarviointiin. Tässä yhteydessä on koemielessä tarkasteltu luokituksista johdettavia lujitussuosituksia. Kohteeksi on otettu esiselkeytys- ja ilmastusaltaat allaslinjalta 3, jossa kalliolaatu vaihtelee ruhjerakenteisesta rikkonaisesta kiinteään harvarakoiseen. NGI-luokituksen mukaisesti Q-luku vaihteli edellä mainitulla alueella välillä 0,01-100. Louhitavan tilan jänneväli on 17 m ja se muutettiin suosituksen mukaiseksi muutetuksi ulottuvuudeksi joka on 13 m. Näin saatujen lukujen mukaisesti lujitusluokat vaihtelevat luokkien 9 ja 5 rajalta luokkien 35 ja 38 rajalle. Lujitusluokkaan 5 kuuluvan kallion lujittamiseen suositellaan jännittämätöntä juotettua pulttia. Luokka 38 on jaettu vielä neljään eri lujitusta suosittavaan osaluokkaan kalliutilan ja kallion ominaisuuksien perusteella. Yli kymmenen metriä leveissä halleissa suositellaan teräsbetonikaarta paksuudeltaan 1000-3000 mm, jos ei esiinny paisuvia tai plastisia materiaaleja /23/.

CSIR-luokituksen mukainen RMR-luku vaihteli tarkasteltavalla alueella välillä 30-80. Kun RMR-luku on 30, kallion katsotaan olevan huonoa, ja kun RMR-luku on 80, on kallio hyvää. CSIR-luokituksen mukaiset lujitussuositukset hevosenkenkämuodon 10 metrin levyisen tunnelin rakentamiseen alueella, jossa pystyjännitys on 25 Mpa, ovat kallioluokalle huono seuraavat: järjestelmäpulttitus katossa ja seinissä 1,5-2 metrin pulttivälillä ja 4 metrisellä pultilla ja katossa verkotus, ruiskubetonia 100-150 mm katossa ja 100 mm seinissä. Hyvässä kalliossa on lujitussuositus samoissa olosuhteissa: paikoitellen katon pulttitus 2,5 metrin ruutuun ja verkotus paikoitellen, tarvittaessa 50 mm:n ruiskubetonointi /23/.

Edellämainittujen luokitusten perusteella joillakin alueilla näyttäisi tulevan erittäin raskaita lujitusrakenteita. Kyseiset vyöhykkeet eivät kuitenkaan ole

kovin leveitä ja näinollen vyöhykkeen molemmilla puolilla olevan paremman kalliolaadun vuoksi eivät näin suuret lujitukset olisi tarpeellisia. On huomattava, että luokitukset kattavat kaikki kivilaadut ns. pehmeistä kivistä alkaen ja näin kovan kiven olosuhteet ovat vain kapea osa koko luokituksista. Kun lisäksi kalliolaatu vaihtelee pienelläkin aluella runsaasti, olisi kyettävä ottamaan huomioon alueen keskimääräinen tilanne.

4.2. Urakka-asiakirjojen rakennusgeologiset tiedot

Kalliotilojen rakennusohjeissa /22/ on esitetty, että kalliotutkimusten ja niihin liittyvien pohjatutkimusten tulokset on esitettävä kalliotutkimusasiakirjoissa, joita ovat tutkimuspiirustukset sekä selostukset kallioperästä ja pohjaolosuhteista. Laadituista tutkimuspiirustuksista ja -selostuksista on käytävä ilmi kallio- ja pohjasuhteet sekä vaikuttavat maasto- ja ympäristötekijät. Edelleen ohjeiden mukaan tutkimusten luotettavuus ja riittävyys on voitava arvioida asiakirjojen perusteella.

Vaikka tutkimustulokset tulkitaan, ei rakennuttajan asiantuntijan tule RIL:n ohjeiden mukaan esittää pitkällemeneviä johtopäätöksiä esim. louhittavuudesta, vaan tämä on jätettävä urakoitsijan tehtäväksi. Urakoitsijan edellytetään alan asiantuntijana pystyvän tulkitsemaan tutkimustietoja /17, 22/.

Kalliotutkimusohjeiden mukaan kalliotutkimustietoja ei välttämättä tarvitse siirtää kalliorakennussuunnitelman taso-, pituusleikkaus- ja poikkileikkauspiirustuksiin. Tutkimustulokset voivat siten olla erillisinä raporteina, jolloin tulosten lukeminen ja tulkinta on usein aikaavievää ja vaikeaa. Vaarana on myös, että urakoitsija ei kykene lyhyen tarjousvaiheen aikana käyttämään täysimittaisesti hyväksi tehtyjen tutkimusten tietoja.

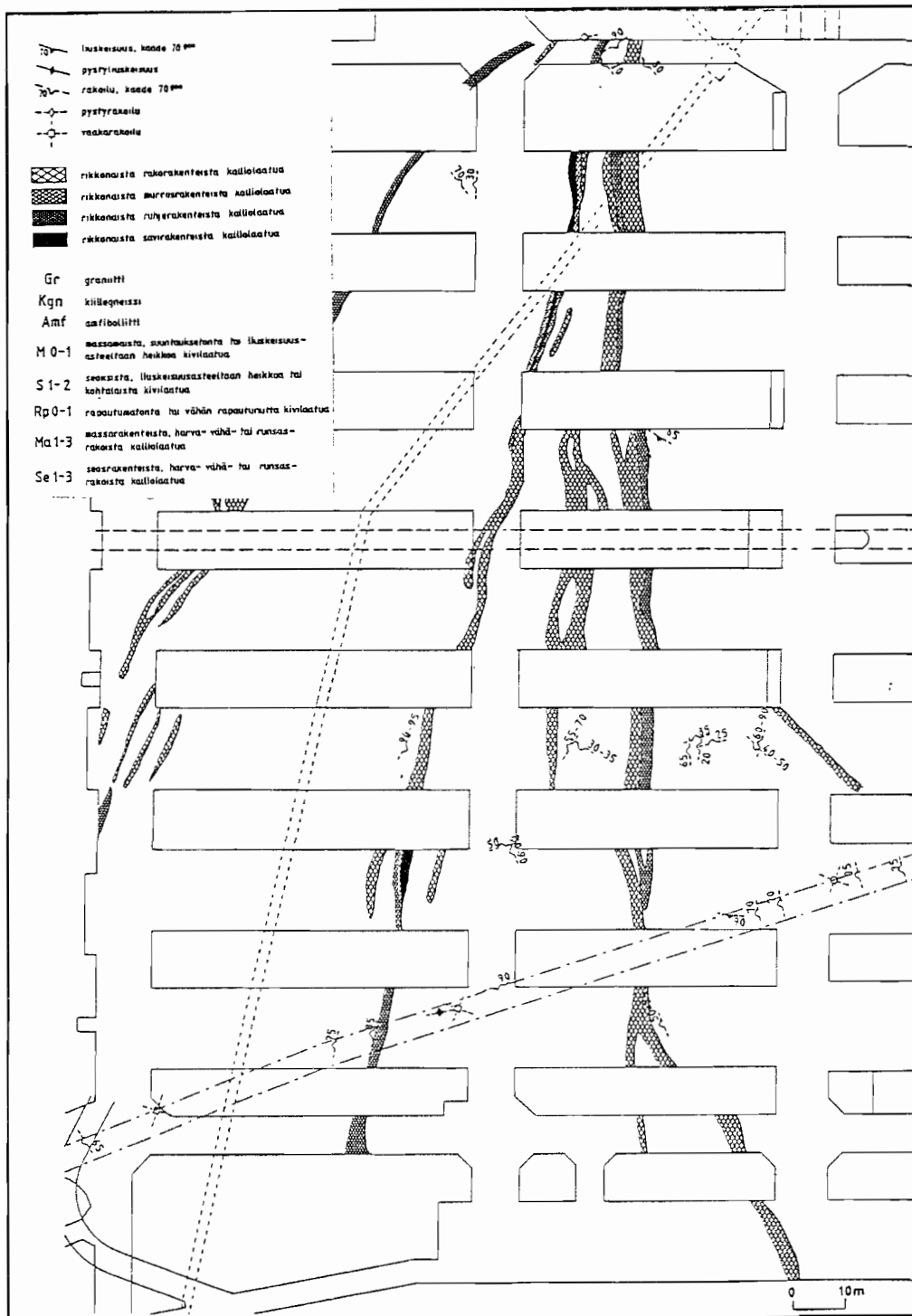
Kehittyneempi menettely tutkimustietojen esittämisessä on niiden siirtäminen käsiteltyinä kalliorakennuspiirustuksiin. Tällöin sekä suunnittelija että urakoitsija voivat paremmin muodostaa kolmiulotteisen kuvan kallion rakenteesta. Kriittiset alueet ovat nähtävissä ja huomioitavissa esimerkiksi louhintajärjestystä suunniteltaessa.

Helsingin kaupungin kohteissa tutkimustulokset on siirretty kalliorakennuspiirustuksiin, mutta sen lisäksi tulokset on pyritty esittämään tulkittuna. Tällöin on lähdetty siitä, että tutkimustulosten aikaavievään tulkintaan on parhaat mahdollisuudet suunnitteluvaiheessa. Kun sitoudutaan tulkinnan esittämiseen,

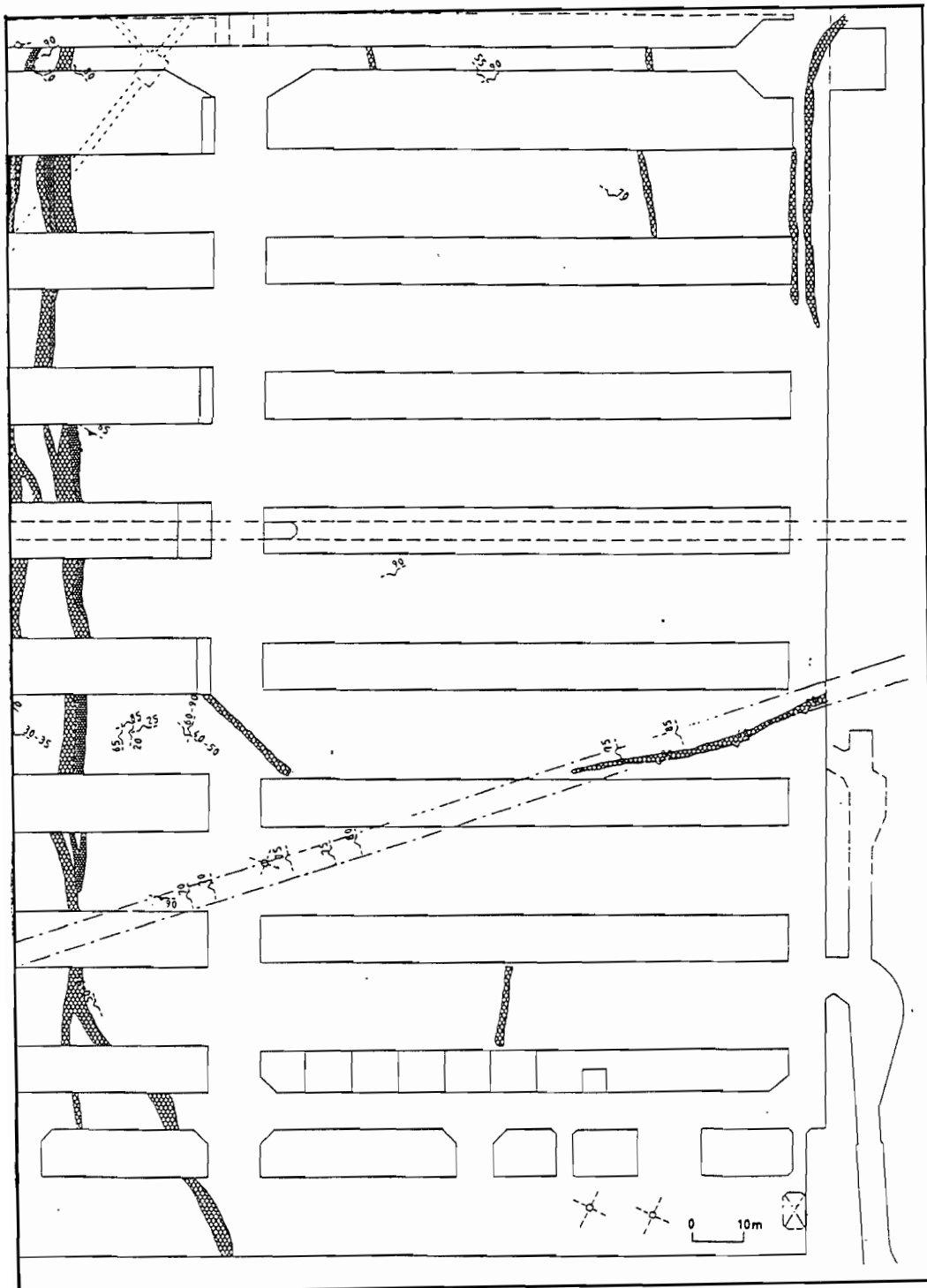
on sitä suoritettava jo tutkimustöiden kuluessa, jolloin lopullinen tulkinta on vain viimeisimmän tulkinnan esittämistä. Kuitenkin on korostettu, että tehdyt tulkinnat ovat suuntaa-antavia ennusteita ja urakoitsijan tulee suhtautua niihin asiantuntijana ja hyväksyä kohtuulliset poikkeamat ennusteiden ja todellisen tilanteen välillä.

Keskuspuhdistamon tutkimustulokset esitettiin urakka-asiakirjoissa pitkälle tulkittuina. Tutkimuksista laadittiin yhteenvetoraportti, jossa oli käsitelty erikseen mm. kivilajit, rakoilu, heikkousvyöhykkeet, tektoniikka ja jännitystila. Suunnitteluryhmän toimesta oli mm. seismisistä luotauksista ja kallionäytekairauksista laadittu taulukot, joissa esiteltiin eri kalliolaatuluokkien tai kallionopeuksien esiintymistä osa-alueittain. Varsinaiset tutkimusraportit eivät olleet mukana urakkakyselyssä, mutta urakoitsijalla oli mahdollisuus perehtyä niihin tarjousta tehdessään.

Yhteenvetoraportissa oli kallion rakenteista esitetty yleistys 1:2000 mittakaavaisilla kartoilla. Kartoilta ilmenivät kalliomäkien ja maastopainanteiden sijainti, liuskeisuuden ja rakoilun pääsuunnat, kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeiden sijainti, suurimmat vesimenekit sekä vaakajännitykset mittauspisteissä. Lisäksi raporttiin sisältyivät 1:500 mittakaavaiset kartta- ja leikkauspiirustukset, joissa tutkimustulokset esitettiin verrattain yksityiskohtaisesti. Heikkousvyöhykkeistä oli laadittu tulkinta tasolta +5 (kuvat 31 ja 32).



Kuva 31. Hallitilojen länsiosien ruhjetulkinta /24, 26/.



Kuva 32. Hallitilojen itäosien ruhjetulkinta /24, 26/.

5. Louhittujen tilojen rakennusgeologinen kartoitus

5.1 Kartoitustavat

Helsingissä kalliotilojen rakennusgeologista kartoitusta suoritetaan pääasiassa kahta tarkoitusta varten. Etupäässä tilat kartoitetaan sen takia, että kaupunkialueella rakennetaan tunnelitiloja jatkuvasti ja tiedot ovat hyödynnettävissä seuraavissa hankkeissa. Kallioteknisesti vaikeissa kohteissa kuten keskuspuhdistamossa tilat on pyritty kartoittamaan myös siitä syystä, että esimerkiksi tilojen pysyvyyden tai vesivuotojen suhteen saattaa käyttötilanteessa ilmetä ongelmia, jolloin tilanne on helpommin korjattavissa kartoitustietojen avulla.

Rakennusgeologista kartoitusta voidaan suorittaa hyvin monella tavalla ja tarkkuusasteella. Esimerkiksi yleispiirteisessä kartoituksessa saatetaan havainnoida vain pääkivilajit ja päärakoilusuunnat. Havaintojen paikallistamisessa ei suoriteta mittauksia, jolloin merkinnät ovat lähinnä alueellisia. Tulostus tapahtuu 1:2000 - 1:500 mittakaavassa.

Tavallisesti kalliokartoitus suoritetaan lähinnä siten, että osasta raoista mitataan kulku ja kaade. Mitattujen tietojen perusteella voidaan muiden rakojen kulut ja kaateet arvioida melko tarkasti. Rakohavainnon paikantaminen suoritetaan yleensä työmaan paalutuksesta. Kartoitus suoritetaan yleensä 1:500 - 1:100 mittakaavassa. Keskuspuhdistamon kalliokartoitussuoritettiin tätä menettelyä käyttäen.

5.2 Rakennusgeologinen kartoitus

Rakennusgeologinen kalliokartoitus Viikinmäen keskuspuhdistamon louhintatyömalla aloitettiin helmikuussa 1989. Suunnitteluryhmän toimesta oli joitakin alueita jo tähän mennessä kartoitettu /28/. Vesiasemien alueella kartoitusta tehtiin viimeisen kerran E3-alatunnelissa kesäkuussa 1990.

Kartoitustyötä suoritettiin pääasiassa hallien kattoperävaiheessa. Kartoitus suoritettiin 1:200 mittakaavassa millimetripaperille, jolta havainnot myöhemmin siirrettiin 1:500 mittakaavaiselle pohjalle. Tässä vaiheessa joitakin havaintoja jouduttiin merkintöjen runsauden vuoksi ja havainnollisuuden säilyttämiseksi

jättämään pois. Tämä pyrittiin tekemään siten, että poistetut merkinnät eivät aiheuttaisi muutoksia alueen geologista luonnetta tarkasteltaessa.

Kartoitushavainnot on esitetty esiselkeytys- ja ilmastusaltaiden osalta kuvassa 33 ja jälkiselkeytysaltaiden osalta kartassa 34.

Muutamit alueet jäivät kartoittamatta välittömien ruiskubetonointien takia. Näitä ovat hallin 5 jälkiselkeytysallas, hallin 6 jälkiselkeytysallas lukuunottamatta altaan länsipäätä, kulkukäytävä E7 sekä osia kulkukäytävistä E3-E8 sekä laitteistohallin K länsipää.

Lietteenkäsittely- ja esikäsitteilyalueesta on suoritettu omat kartoituksensa, mutta ne rajataan tämän esityksen ulkopuolelle.

5.3. Kartoituksen tulokset

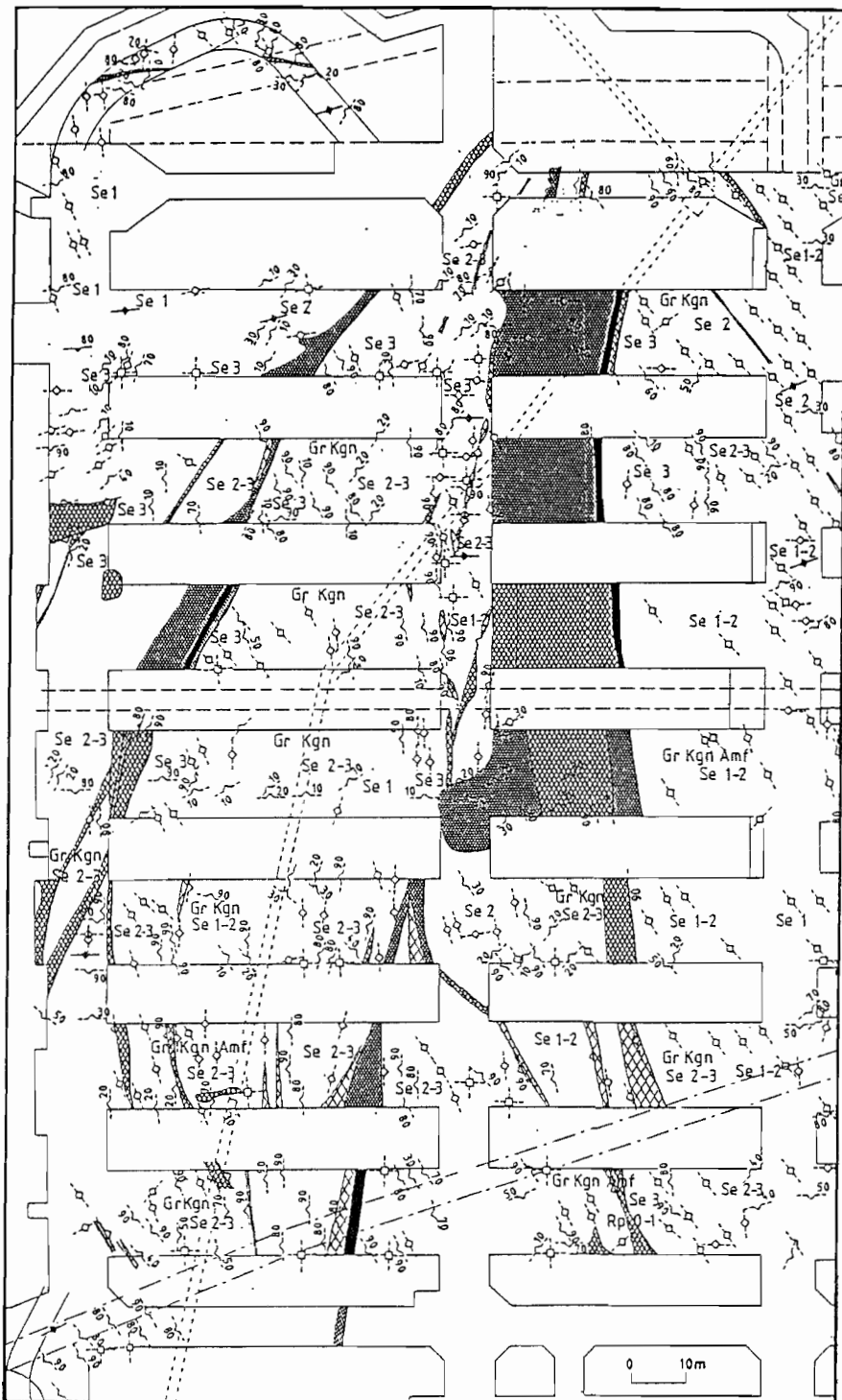
5.3.1. Esiselkeytysaltaat

Rikkonaista kalliota esiintyy esiselkeytysaltaiden alueella yleensä melko kapeina vyöhykkeinä. Suurimmaksi osaksi rikkonaisen kallion alueet ovat murros- ja ruhjerakenteista rakennetyyppejä.

Eteläisimmissä halleissa esiintyy useita kapeita ruhjevyöhykkeitä, joiden suunnat vaihtelevat pohjoinen-etelä ja kaakko-luode välillä. Hallissa 1 on havaittu savirakenteinen ruhjevyöhyke.

Etuselkeytysaltaiden 4-7 vinosti poikki kulkee pohjois-etelä-suuntainen ruhjevyöhyke, jonka rakennetyyppi vaihtelee rakorakenteisesta savirakenteiseen ollen kuitenkin suurimmaksi osaksi ruhjerakenteista. Tästä ruhjevyöhykkeestä haarautuu muutamia kapea-alaisia rikkonaisuusvyöhykkeitä.

Rakoilultaan esiselkeytysaltaat ovat kartoitetusta alueesta vaihtelevinta. Esiselkeytysaltaiden eteläosissa rakoilu on runsainta kohtisuoraan allaslinjaa poikkittain lähes pohjois-etelä-suunnassa. Altaiden pohjoisosassa rakoilun suunta on myös melko vaihtelevaa, pääosin välillä koillinen-luode kaakko-lounas. Kaateeltaan rakoilu on joko melko jyrkkää pystyn molemmin puolin tai loiva-asentoista ja vaakasuoraa. Kaateen suunnista läntinen suunta on vallitsevampi.



Kuva 33. Hallitilojen länsiosien rakennusgeologinen kartoitus.

Kivilajiltaan kallio on gneissia, graniittia, pääasiassa näiden muodostamaa seoksista kivilajia ns. migmatiittia ja paikoin vähäisissä määrin amfiboliittia. Eteläisissä osissa kivilajina on pelkkää graniittia, josta pohjoisempaan siirryttäessä gneissin osuus kasvaa.

Rakotiheys kiinteän kallion alueilla vaihtelee pääosin vähä- ja runsasrakoisena. Esiselkeytysaltaiden 3, 4 ja 7 alueella esiintyy vyöhykkeitä, joissa kallion rakotiheys on harvaa.

5.3.2. Ilmastusaltat

Ilmastus- ja esiselkeytysaltaiden välinen käytävä E4 käsitetään tässä yhteydessä kuuluvan ilmastusaltaisiin.

Ilmastusaltaiden 1-3 poikki kulkee leveimmillään kymmenen metriä leveitä rikkonaisuusvyöhykkeitä. Nämä ovat rakennetyypiltään rako- ja murrosrakenteisia. Altainen 4-7 läntisen pään poikki kulkee noin 40 metrin levyinen rikkonaisen kallion vyöhyke jossa kallion rakennetyyppi vaihtelee murrosrakenteisesta savirakenteiseen. Savirakenteisen kallion leveys on suurimmaksi osaksi metrin verran ja enimmilläänkin pari metriä. Vyöhykkeestä haarautuu useita kapeita ruhjealueita sen länsipuolelle. Nämä ovat lähinnä rako- ja murrosrakenteisia.

Hallin 4 katon tasalla on havaittavissa luoteeseen noin 30^{gon} kulmassa oleva rikkonaisen kallion vyöhyke, jossa kallio on murros- ja ruhjerakenteista. Hallin 3 alueella se on jo kohonnut kattotason yläpuolelle. Hallien 5 ja 6 seinissä vyöhyke on havaittavissa. Tämä loiva-asentoinen vyöhyke on rajautunut sen liki pystysuorien ruhjevyyhykkeiden väliseen alueeseen, eikä se jatku niiden ulkopuolella louhitulla ja kartoitetulla tasolla.

Rakoilun suunta ilmastusaltaiden alueella vaihtelee suurimmaksi osaksi itä-länsi kaakko-luode välillä. Ruhjealueen itäpuolella rakoilun suunta on vähemmän vaihtelevaa kuin sen länsipuolella. Kulkukäytävän pohjoisosassa rakoilun suunta on vaihtelevaa. Kaateeltaan rakoilu on joko melko jyrkkää pystyn molemmin puolin tai sitten loiva-asentoista. Vaakasuoraa rakoilua esiintyy alueen eteläosassa ja kulkukäytävän pohjoisosassa. Melko pystyn kaltevan rakoilun kaateen suunta on enemmän lounaaseen kuin kaakkoon. Loiva asen-

toisen rakoilun kaadesuunta noudattaa alueella olevan loiva-asentoisen ruhjevyyhykkeen suuntaa.

Ilmastusaltaiden kivilajit ovat gneissi, graniitti ja vähäisissä määrin amfiboliitti. Graniittia esiintyy yksinään alueen eteläosissa, mutta gneissin osuus lisääntyy pian aivan eteläisimmiltä alueilta pohjoiseen siirryttäessä. Gneissi ja graniitti muodostavat seoksisen ns. migmatiitin.

Kallion rakoilu vaihtelee kiinteän kallion alueilla harvarakoisesta runsasrakoiseen. Halleissa 1, 6, ja 7 kiinteän kallion rakotiheys on vähä- ja runsasrakoista. Halleissa 2 ja 3 rakotiheys vaihtelee harvarakoisesta runsasrakoiseen ja halleissa 4 ja 5 harvarakoisesta vähärakoiseen.

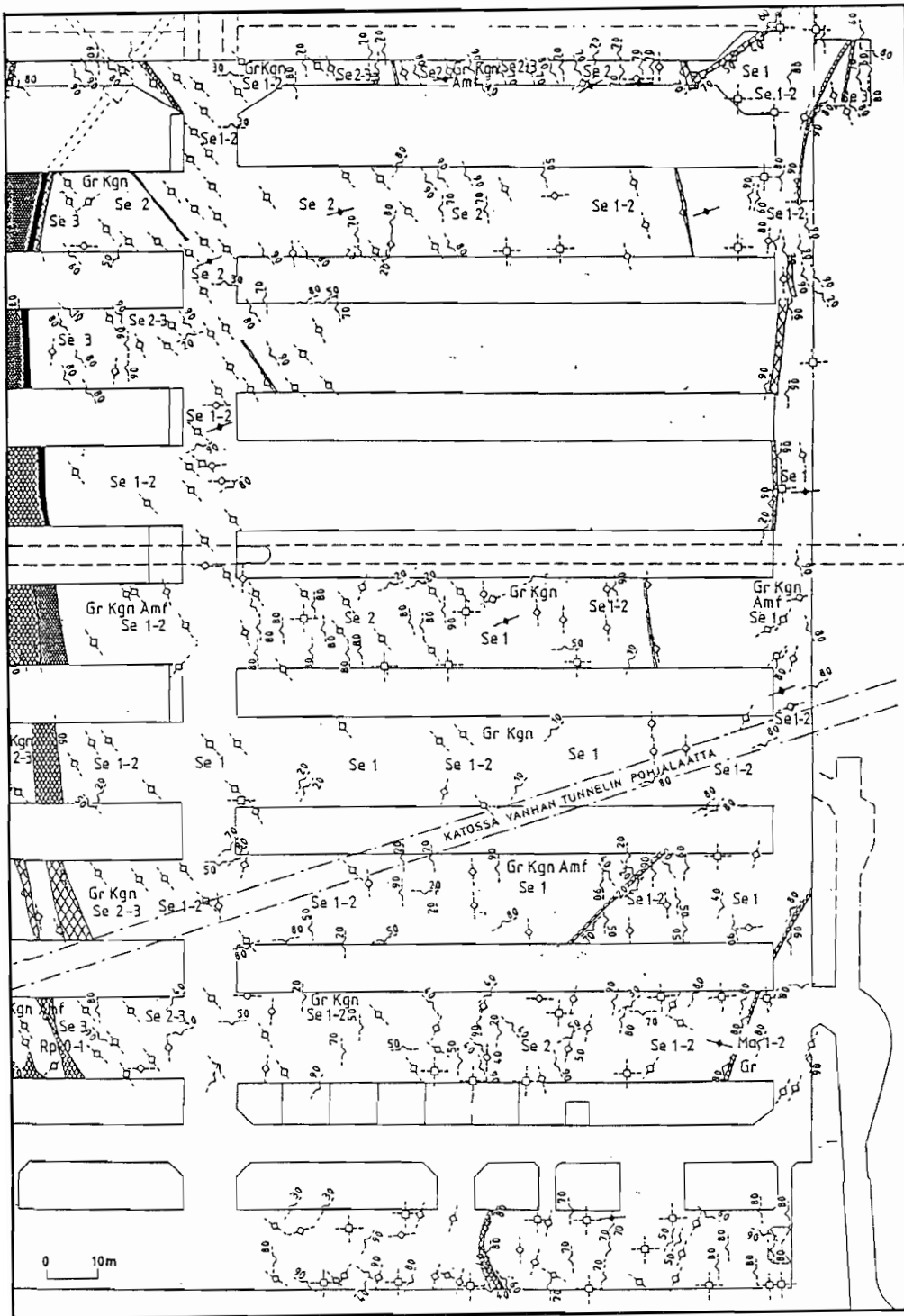
5.3.3. Jälkiselkeytsaltaat

Jälkiselkeytyks- ja ilmastusaltaiden väliinjäävä kulkukäytävä E5 käsitellään tässä yhteydessä jälkiselkeytsaltaiden kanssa.

Rikkonaisen kallion vyöhykkeitä jälkiselkeytsaltaiden alueella on melko vähän, ja olemassaolevat vyöhykkeet ovat kapeita enimmillään noin metrin levyisiä. Hallien 5-7 itäpäässä kulkutunnelin E6 risteysalueella on havaittu hallien poikki kulkeva rikkonaisen kallion vyöhyke. Hallien 4 ja 7 poikki kulkee myös kapeat heikkousvyöhykkeet. Vyöhykkeet ovat rakennetyypiltään rako- ja murrosrakenteisia.

Kallion rakoilu on jälkiselkeytsaltaiden eteläalueella vaihtelevampaa kuin pohjoisemmissa altaissa. Eteläisissä osissa rakoilun suunta vaihtelee suurimmaksi osaksi pohjois-etelä ja kaakko-luode välillä. Kaateet vaihtelevat pystystä vaakaan siten, että välille 80-40^{gon} sijoittuu pääosa rakoilusta. Vaakarakoilua esiintyy hallissa 1 huomattavissa määrin.

Pohjoisosan halleissa rakoilun suunta on lähinnä kaakko-luode ja itä-länsi suuntien välissä. Kaateeltaan rakoilu on suurimmaksi osaksi pystyä tai lähes pystyä. Kaltevien rakojen kaateen suunta on suurimmaksi osaksi lounaan suuntainen.



Kuva 34. Hallitilojen itäosien rakennusgeologinen karttoitus.

Kivilajiltaan jälkiselkeytsaltaiden alue on gneissia, graniittia ja vähäisessä määrin amfiboliittia. Eteläosissa esiintyy paikoin pelkkää graniittia, mutta pohjoiseen päin gneissin määrä lisääntyy ja gneissi ja graniitti muodostavat migmatiitin.

Kiinteiltä osiltaan kallion rakotiheys jälkiselkeytsaltaiden alueella on harva- tai vähärakoista.

5.3.4. Halli K

K hallin kartoitetulla alueella on havaittu yksi rikkonaisen kallion vyöhyke. Se sijaitsee hallin länsiosassa. Laadultaan kallio tässä ruhjeessa on murrosrakenteista.

Päärakoilusuunta vaihtelee hallissa välillä kaakko-luode etelä-pohjoinen. Kaateeltaan päärajoilu on jyrkkää pystyn molemmin puolin. Lisäksi hallissa on huomattavissa määrin vaaka- ja loiva-asentoista rajoilua.

Kivilajiltaan kallio on pääasiassa graniittia. Paikoin on myös kiillegneissia ja amfiboliittia. Alue on pääosin massamaista, paikoin seoksista, vähärakoista kalliolaatua.

6.3.5. Kulkukäytävät

Kulkukäytävien E3-E6 kartoittamista ei ole kaikin paikoin suoritettu alueilla, joilla hallien osuus kulkukäytävästä on huomattava. Monessa paikassa kulkukäytävien katto oli kartoitusvaiheessa niin korkealla, että pohjalta ei nähty yksityiskohtia riittävän hyvin. Näinollen hallien väliset pilariosuudet käytävistä ovat jääneet paikoin kartoittamatta kartoitustyön painottuessa hallien ja yksittäisten kulkukäytävien alueelle. Kulkukäytävät E4 ja E5 on käsitelty jo ilmastus- ja jälkiselkeytsaltaiden yhteydessä.

Kaikissa kulkukäytävissä esiintyy heikkousvyöhykkeitä. Heikkousvyöhykkeet ovat pääosin melko kapea-alaisia. Pääosin heikkousvyöhykkeet ovat pystyasentoisia. E3-alatunnelissa esiintyy loivasentoisia noin 30^{gon} kaateella länteen kaltevia heikkousvyöhykkeitä. Kulkutunnelissa E7 on havaittu kallion rikkonaisuusvyöhyke käytävän länsiosassa. Heikkousvyöhyke sijaitsee maanpäällisen

kalliopainanteen kohdalla. Louhinnan yhteydessä onkin puhkaistu kallio siten, että tunnelista on voitu havaita katossa pohjamooreenia.

E3-kulkukäytävässä kallion rakoilu vaihtelee pääosin harvarakoisesta runsasrakoiseen. Käytävän pohjoisosassa kallio on vähärakoista. Kiinteiltä osiltaan E3-alatunnelin kallion rakotiheys on samanlaista kuin yläpuolisessa kulkukäytävässäkin. E6-kulkukäytävässä kallion rakoilu on kiinteillä kallion alueilla vähä- tai harvarakoista. E8-kulkukäytävän rakotiheys kallion kiinteillä osilla vaihtelee vähärakoisesta runsasrakoiseen.

6. Tutkimustietojen vertailu

6.1. Yleistä

Koska ennakkotutkimukset olivat kattavia, ei kartoituksessa tullut esiin merkittäviä poikkeamia kallio-olosuhteissa. Joitakin täsmennyksiä alueen geologiseen kokonaiskuvaan voidaan kuitenkin tehdä kartoituksen perusteella.

6.2. Kivilajit

Gneissin ja graniitin raja sijaitsee kartoituksen mukaan etelämpänä kuin ennakoita oli esitetty. Myös etelä-kaakkoisosan keski-karkearakeisen graniitin osuus on vähäisempi kuin esitetyn vaihettumisvyöhykkeen sijainnin perusteella olisi ollut odotettavissa.

6.3. Rakoilu

Kartoituksen perusteella erottuvat mäkien reuna-alueet ja ruhjeiden lähialueet rakotiheydeltään mäkien keskiosista runsaamman rakoilunsa vuoksi. Tämä seikka olisi voitu urakka-asiakirjoissa esittää korostetummin.

Kartoituksen mukaan liuskeisuutta kohtisuoraan oleva rakoilu on huomattavasti runsaampaa kuin liuskeisuuden suuntainen rakoilu. Urakka-asiakirjoissa perusteella ei ole arvioitavissa näin selkeätä eroa rakosuuntien välillä.

6.4. Heikkousvyöhykkeet

Kun verrataan suunnittelijan tasolta +5 laatimaa esitystä (kohta 4.2. kartat 31 ja 32) ja kartoituksen perusteella laadittuja (kohta 5.4. kartat 33 ja 34) karttoja voidaan muutamissa kohdissa havaita poikkeamia.

Suunnittelijan laatima heikkousvyöhykkeiden tulkinta täsmää hyvin kartoituksessa todettuun tilanteeseen. Muutamissa kohdissa heikkousvyöhykkeet ovat ennakoitua leveämpiä. Kartoituksissa on havaittu myös muutamia kapeita noin metrin tai osaksi jopa alle metrin levyisiä ruhjevyöhykkeitä, joita ei ennakkoon

ole esitetty. Nämä sijoittuvat lähinnä mäen D alueelle eteläisiin esiselkeytysaltaisiin.

Lähinnä painannealueeseen ja osittain myös mäkialueen D kärjen alla sijaitsevaan vyöhykkeeseen havaittiin liittyvän loiva-asentoinen noin 30^{gon} kulmassa oleva heikkousvyöhyke, josta ei ollut ennakkotietoa. Vyöhykkeen kaateen suunta on luoteeseen ja se rajoittuu pääosin kahden pystysuuntaisen ruhjevyöhykkeen väliin. Kattotason vyöhyke leikkaa lähinnä hallin 4 ilmastusaltaan länsipäässä ja samalla kohtaa sijaitsevan kulkukäytävän E4 alueella (katso kohta 5.4, kartta 33). Maanpinnan muotoihin nähden se sijoittuu mäkialueen D itäisimmän lohkon pohjoiskärjen alle. Ruhjevyöhyke jatkuu samansuuntaisena hallin 3 kattotason yläpuolella ja saavuttaa kallion pinnan hallin 2 kohdalla.

Myös E3-alatunnelista on työn kuluessa tullut esiin loiva-asentoisia noin 30^{gon} kaltevuudella olevia heikkousvyöhykkeitä. Näiden paksuus on enimmillään noin metrin.

Mäkialueen D pohjoisosan kalliokumpareiden muodon perusteella voidaan havaita myös niissä loiva-asentoisia ruhjevyöhykkeitä vastaava loiva rinne, jonka perusteella olisi voitu ennakoida alueen loiva-asentoista rakoilua ja rikkonaisuusvyöhykkeitä.

7. Johtopäätöksiä Viikinmäessä käytetyistä tutkimusmenetelmistä

7.1. Yleistä

Viikinmäessä käytetyt tutkimusmenetelmät ovat tavanomaisia tunnettuja kalliotutkimusmenetelmiä. Harvemmin käytettyjä ovat mm. seisminen P- ja S-aaltomittaus, reikäseisminen luotaus ja pressometrimittaus.

Tutkimusmenetelmät jakaantuvat alueellisiin menetelmiin ja jotakuinkin täsmällistä tietoa antaviin menetelmiin. Laajahkon kalliorakennuskohteen kalliotutkimuksissa pyritään yleensä etenemään vaiheittain siten, että alussa käytetään alueellisia menetelmiä, joiden perusteella ohjelmoidaan yksityiskohtaiset tutkimukset. Tavoitteena tulisi olla, että tutkimustyön kuluessa tehdään jatkuvasti geologisia tulkintoja, joita voidaan käyttää hyväksi seuraavien tutkimusten ohjelmoinnissa.

Viikinmäessä tutkimukset oli tehtävä niin lyhyen ajan kuluessa, että alueellisia ja yksityiskohtaisia tutkimusmenetelmiä käytettiin rinnakkain, eikä vaiheittain eteneminen ollut kaikin osin mahdollista. Esimerkiksi kallionäytekairauksia tehtiin samanaikaisesti useassa pisteessä, jolloin edellisen kairauksen tietoa ei useinkaan voitu käyttää hyväksi seuraavan ohjelmoinnissa. Samanaikaisesti oli myös suoritettava tiettyjen erityisalueiden kuten ohuen kalliokaton alueen yksityiskohtaisia tutkimuksia. Koska tutkimuksia ei aikataulusyistä ollut mahdollista tehdä optimaalisessa järjestyksessä, saattoi se vaikuttaa lisäävästi tutkimusten määrään.

7.2. Rakennusgeologinen kartoitus

Paljastumien rakennusgeologisen kartoituksen tiedot esimerkiksi rakotihyden osalta pitivät hyvin paikkansa sekä kallionäytekairaustietojen että maanalaisista tiloista tehtyjen kartoitushavaintojen kanssa. Usein arvioidaan, että mäkialueilakin paljastumissa kallio on parempilaatuista kuin viereisillä peitteisillä osilla. Jos paljastumien määrä kuitenkin on huomattavan suuri kuten Viikinmäessä, voidaan kartoituksella saada hyvä käsitys mm. rakoilusta.

Rakennusgeologiseen kartoitukseen tulisi tavallisesti liittää tutkimusten ohjelmoinnissa käytettävät tulkinnat mm. rakoilu- ja heikkousvyöhykkeistä.

Esimerkiksi viitteet vaakasuoran rakoilun tai heikkousvyöhykkien esiintymisestä tulisi käyttää hyväksi tutkimusten ohjelmoinnissa.

7.3. Seismiset luotaukset

Seisminen refraktioluotaus osoittautui edulliseksi menetelmäksi, koska kyse oli suhteellisen suuren alueen tutkimisesta. Yleisimmista kivilajeista kuten Viikinkimäen kaltaisista graniiteista ja gneisseistä on käytettävissä runsaasti tilastollista tietoa seismisen kallionopeuden merkitsevyydestä rakoilun suhteen. Seisminen menetelmä antaa helposti ymmärrettävää numerotietoa suunnittelijalle. Menetelmällä voidaan seuloa suuret alueet lävitse ja havaita muutoin piiloon jääviä heikkousvyöhykkeitä.

Jyrkkärinteisten painanteiden tutkimuksissa tulokset ovat epätarkempia, koska mm. nopein aalto saattaa kulkea muualta kuin luotauslinjan kohdalta. On myös huomattava, että vaakarakoilsta seisminen menetelmä ei anna tietoa.

Reikäseismistä menetelmää on käytetty etupäässä syvälle sijoitettavien tilojen kuten ydinjätevarastojen tutkimuksissa. Rakennuskohteeseen sovellettuna menetelmässä ilmeni muutamia ongelmia. Kairatut tutkimusreiät oli tuettava putkittamalla, jotta tutkimusvälineet eivät olisi jääneet reikiin. Putkituksen vuoksi reiät oli kairattava 56 mm:ksi. Reikien sijainti oli mitattava tarkasti, koska tulosten tulkinnan takia sijaintivirhe reikien millä kohdalla tahansa saa olla korkeintaan 0,3 metriä.

Menetelmän käytön vaikeutena ovat luodattavien reikien geometriavaatimukset. Keskuspuhdistamalla tutkimusreiät jouduttiin sijoittamaan kallion rakenteen kannalta epäedullisesti tutkittavan heikkousvyöhykkeen molemmille puolille, eikä näiden avulla siten voitu saada lisätietoa tutkittavasta heikkousvyöhykkeestä. Yleisemminkin kalliotilat sijoittuvat lähelle maanpintaa, jolloin kallionäytekairausreiät pyritään tekemään loivina ja siten, että reiät leikkaavat mahdollisimman edustavasti sekä rakennettavia tiloja että kallion rakenteita. Yhdensuuntaisia reikiä tehdään harvoin. Toistaiseksi kahden reiän välin luotaaminen on myös kalliimpaa kuin kolmannen reiän tekeminen.

7.4. Maatutkaluotaus

Tutkimuksia joudutaan usein suorittamaan poissulkevalla periaatteella, jolloin tietyllä menetelmällä pyritään sulkemaan pois tietyn kielteisen ominaisuuden esiintyminen alueella. Viikinmäessä maatutkaa käytettiin kalliomäkien alueilla juuri tässä tarkoituksessa. Maatutkaluotauksella pyrittiin tutkimaan lähinnä kallion vaakarakoilun jatkuvutta pintakerroksia syvemmälle. Menetelmällä saatiin paikoin täydennettyä kuvaa heikkousvyöhykkeiden sijainnista ja geometriasta.

Maatutkaluotaus soveltuu käytettäväksi seismisen menetelmän rinnalla sekä myös alueilla, joilla seismistä luotausta ei voida suorittaa. Sen etuina ovat mm. häiriöttömyys ja mahdollisuus luodata linjoja lähes missä suunnassa tahansa.

7.5. Kallionäytekairaus

Viikinmäen kallionäytekairauksista suurin osa oli melko loiva-asentoisia. Tällöin vaaka- ja loiva asentoiset rakoilut ja heikkousvyöhykkeet eivät välttämättä tulleet esiin. Vaikka Viikinmäessä tehtiin ruhjealueella pystyasentoisia kallionäytekairauksia, olisi niiden määrä voinut olla ehkä hieman suurempi, sillä silloin olisi paremmin havaittu loivasentoinen heikkousvyöhyke, joka louhinnan jälkeen kartoituksissa havaittiin ilmastusaltaiden kattotasolla.

Viikinmäessä otettiin runsaasti suunnattuja näytteitä, mikä vaikutti suuressa määrin kairauskustannuksiin. Näytteiden mukaan päärakoilusuunnat olivat samat kuin kalliopaljastumistakin todetut eli liuskeisuuden suunta ja sitä kohtisuora suunta. Nämä rakosuunnat otettiin rakoverkkoon, jota käytettiin kalliomekaanisissa laskelmissa, jotka olivat kaksiulotteisia. Päätelmät laskelmissa käytettävistä yleistetyistä päärakoilusuunnista olisi todennäköisesti voitu tehdä pienemmälläkin tutkimusmateriaalilla.

Kallionäytekairauksilla ja seismisellä luotauksella kallion laadusta saadut tiedot vastaavat toisiaan melko hyvin, mutta mäkien C ja D alueella havaitaan kallionäytekairausten perusteella enemmän rakoilua kuin seismisillä tutkimuksilla. Tämä saattaa johtua havaintojen suhteellisen pienestä osuudesta ja mittausmenetelmien erilaisesta suuntauksesta mäkien alueella.

7.6. Jännitystilamittaus

Jännitystilamittauksia tehtiin useassa pisteessä ja useilla menetelmillä, mikä oli perusteltua maanalaisten tilojen laajuuden ja kalliomäkien mahdollisen erilaisuuden vuoksi. Saatuja tuloksia on vaikea sovittaa yhteen keskenään ja myös tektoniikan kanssa.

Jännitystilamittauksissa törmätään sekä mittaustekniikan vaikeuteen että mitaustuloksen edustavuuteen. On ilmeistä, että mittaustuloksissa on mittausten menetelmistä johtuvia virheitä. Vesijohtotunnelista tehtyjen mittausten tulokset viittaavat siihen, että tunneli oli jo muuttanut primäärijännityskenttää.

On epäiltävissä, että jännitystilamittauksissa liittyy virhetekijöitä esimerkiksi mittausturiden kiinnittämiseen liimaamalla aina vähintään kosteiden reikien seinämiin. Keskuspuhdistamolla herättävät kysymyksiä mittaustekniikan suhteen mm. suuret pystysuorat vetojännitykset.

Omat ongelmansa liittyy siihen, miten hyvin rakojen rajoittaman kappaleen jännitystila vastaa kalliomassan tilannetta. Esimerkiksi kairausten vesimenekkimittauksissa voidaan todeta avoimia rakoja, joten erot yksittäisten rakojen rajoittamien kappaleiden jännitystilojen välillä saattavat olla suuriakin.

7.7 Muut tutkimusmenetelmät

Muita alueella käytettyjä tutkimusmenetelmiä olivat painokairaukset, porakonekairaukset, pohjavesitarkkailu, pressometrikokeet, erilaiset laboratoriomittaukset ja ohuthietutkimukset.

Osaksi tutkimusmenetelmät ovat vakiintuneita kuten painokairaus, porakonekairaus ja pohjavesitutkimukset. Painokairauksia käytettiin pehmeikköalueilla selvittäessä mm. työmaateiden perustamista. Porakonekairauksilla selvitettiin peitteisillä alueilla kallionpinnan korkeusasemaa. Pohjavesitarkkailulla seurattiin vuotojen vaikutusta ympäristöön ja erityisesti kaivoihin.

Pressometrikokeet ovat käyttökelpoisia tutkittaessa osaksi rapautuneen kallion kalliomekaanisia ominaisuuksia kairatuista rei'istä. Tutkimustuloksiin liittyy huomattavan suuri hajonta.

Osa tutkimuksista oli lähtötietoina kalliomekaanisiin laskelmiin ja ne ovat siten perusteltuja kalliorakennuskohteissa. Näihin kuuluivat laboratoriossa suoritettut erilaiset kiven lujuuteen liittyvät tutkimukset.

Ohuthietutkimuksilla selvitettiin kivessä mahdollisesti esiintyviä sen lujuutta heikentäviä tekijöitä, kuten mineraalien muuttumistuloksia ja rapautumista. Rakotäytteiden mineralogisilla tutkimuksilla saatiin varmuus ettei rakosavissa esiinny paisuvahilaisia mineraaleja.

8. Yhteenveto

Helsingin Viikinmäkeen rakennettu keskuspuhdistamo on ollut vaativa kalliorakennuskohde aluetta leikaavien ruhjevyöhykkeiden sekä leveiden hallitilojen ja niiden väliin jäävien kapeiden pilareiden vuoksi. Puhdistamon suunnittelun yhteydessä tehtiin paljon kallioperän tutkimuksia ja niistä suuri osa melko lyhyen ajan kuluessa. Käytettyjä tutkimusmenetelmiä olivat rakennusgeologinen kartoitus, seismiset luotaukset, maatutkaluotaus, paino-, porakone-, kallionäytekairaukset sekä näihin liittyvät suunnatut näytteet, vesimenekkimitaukset, jännitystilamittaukset, pressometrikokeet, erilaiset geofysikaaliset reikämittaukset, erilaiset laboratoriotutkimukset ja pohjavesimittaukset.

Kalliopaljastumien rakennusgeologisen kartoituksen perusteella kallio on pääosin graniitista ja gneissistä muodostunutta migmatiittia. Paljastumien rakennusgeologisella kartoituksella saatiin hyvä käsitys kivilajeista ja rakoilusta. Tunneleista suoritetun kartoituksen perusteella voitiin todeta, että liuskeisuutta vastaan kohtisuora rakoilu on runsaampaa kuin liuskeisuuden suuntainen rakoilu.

Seismisillä refraktioluotauksilla saatiin alue jaetuksi kalliolaatunsa puolesta eri-arvoisiin osa-alueisiin. Kallion seismiset nopeudet korreloivat hyvin sekä kartoitustietojen että kallionäytekairausten kanssa. Seismisen refraktioluotauksen perusteella noin puolessa kalliosta seisminen nopeus on 5000 m/s tai yli. Kalliomäkien alueella alle 3500 m/s nopeuksia esiintyy vain muutaman prosentin verran. P- ja S-aaltomittauksilla saaduilla kimmomodulien arvoilla ei todettu yhteyttä kallion rakenteeseen. Kokeiluluonteisesti tehdystä yksittäisestä reikäseismisestä luotauksesta ei voitu tehdä merkittäviä johtopäätöksiä.

Maatutkaluotausten avulla saatiin selville, että vaakarakoilya ei esiinny systemaattisena koko alueella. Samalla saatiin lisätietoa ruhjevyöhykkeistä ja niiden geometriasta .

Kallionäytekairausten tulosten mukaan kalliosta on mäki-alueilla 60 - 70 % harva- tai vähärakoista ja noin neljä prosenttia tiheärakoista. Suunnattujen näytteiden avulla tehdyt rakohavainnot tukivat kartoituksen tietoja päärakoilusuunnista. Vesimenekkimittausten tulosten mukaan k-arvot ovat yleensä pienempiä kuin $2 \cdot 10^{-8}$ eli kallio on melko vähän vettäläpäisevää.

Kairaustietojen perusteella kallion laatua arvioitiin osalla aluetta käyttäen myös Bartonin kallioluokitusta. Soveltaen osa-alueen tietoja koko alueeseen voidaan

arvioida, että keskuspuhdistamon alueesta noin kolme neljäsosaa oli kohtalaista tai parempaa kalliolaatua (Q-luku yli 4) yhden neljäsosan ollessa heikkoa kalliolaatua.

Jännitystilamittausten tulosten ja tektoniikan välille ei löydetty yhteyksiä. Tuloksissa havaittiin suurimman vaakajännityksen suunnassa tutkimusmenetelmien välistä hajontaa, joka saattaa pääasiassa johtua siitä, että osa tutkimuksista tehtiin lyhyissä rei'issä louhitun tunnelin vierestä.

Louhinnan aikana työmaalla suoritettiin louhittujen vesiasemien osalta rakennusgeologinen kartoitus. Ennakkotutkimusten kattavuuden vuoksi ei rakennusgeologisessa kartoituksessa tullut esiin kallio-olosuhteissa merkittäviä poikkeamia. Alueen keskeisesti leikkaava ruhjevyyhyke oli paikoitellen ennakoitua leveämpi. Muutamista kapeista pystyistä sekä loiva-asentoisista heikkousvyöhykkeistä ei ollut ennakkotietoa.

Käytetyt tutkimusmenetelmät ovat vakiintuneita ja niillä saadut tutkimustulokset vastasivat ennakko-odotuksia. Pääasiassa saatu kuva alueen geologisesta rakenteesta perustui rakennusgeologisen kartoituksen lisäksi kallionäytekairauksiin ja refraktioseismisiin luotauksiin.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ BARTON, N., LIEN, R. JA LUNDE, J., (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. NGI publication nr. 106, Oslo, 48 s.
- /2/ BIENIAWSKI Z.T., (1984) Rock mechanics design in mining and tunneling. A.A Balkema, Rotterdam.
- /3/ EDELMAN, N., (1960) The Gullkrona region, S. W. Finland. Bull. Comm. Géol. Finlande 187. 87 s.
- /4/ GEO-WORK OY, Maatutka 1987
- /5/ GEOSEISMO OY, Reikäseismiset mittaukset.
- /6/ GRIFFIN, V. S. Jr., (1979) Diapirism, polydeformation and amoeboidal tectonic patterns in Svecofennidic area of southwestern Finland. GTL, tutk.rap. 41. 16 s.
- /7/ HELSINGIN KAUPUNGIN VESI- JA VIEMÄRILAITOS, (1989) Viikinmäen keskuspuhdistamo. Helsinki.
- /8/ HELSINGIN KAUPUNKI, GEOTEKNINEN OSASTO, (1978) Kallioperäkartta 1:10 000. Geo K10.
- /9/ HELSINGIN KAUPUNKI, GEOTEKNINEN OSASTO, (1985) Viikin keskuspuhdistamo, Yhteenveto esisuunnitteluvaiheen kalliotutkimuksista. työn:o 3025. Helsinki
- /10/ HYYPPÄ, E., (1950) Helsingin seudun geologiaa. Helsingin kaupungin julkaisu no 9. 7 s.
- /11/ HYYPPÄ, E., (1950) Helsingin ympäristö, maaperäkartan selitys . GTL. Helsinki. 53 s.
- /12/ KALLIOMEKANIKKATOIMIKUNTA, (1987) Geofysiikkaa kalliorakennusprojekteihin. Seminaari 18.5.1987.
- /13/ LAITALA, M., (1991) Helsingin kartta-alueen kallioperä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 47 s.
- /14/ LAITI, I., SARASTE, A., (1960) Selostus Helsingin keskusta-alueen geologisesta rakenteesta. Ylipainos Hgin kaup. metrotoimikunnan mietinnön I osasta, Helsinki. 7 s.
- /15/ LAPPALAINEN, P., (1980) Jännitystilasta Suomen Kallioperässä. Kalliomekaniikan päivä 1980. 15 s.

- /16/ MAA JA VESI OY, (1986) Viikinmäen keskuspuhdistamo, lietteen ja kaasunkäsittely, yleissuunnitelma. työ F21634
- /17/ POKKI, E., (1989) Geologiset tiedot urakkasopimuksien osana. RGY julkaisu, Vol 18, Helsinki.
- /18/ RANTAMÄKI, JÄÄSKELÄINEN, TAMMIRINNE, (1984) Geotekniikka, 464. Espoo. 293 s.
- /19/ SIMONEN, A., (1980) The Precambrian in Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 304. 58 s.
- /20/ SUOMEN MALMI, Jännitystilamittaukset Helsingin Viikinmäessä 1985, 1986, 1987.
- /21/ SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO, (1976) Maa- ja kalliorakennus. RIL 98, Helsinki. 520 s.
- /22/ SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO, (1987) Kalliotilojen rakennusohjeet. RIL 169-1987, Helsinki, 97 s.
- /23/ SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO, (1987) Tunneli- ja kalliorakennus I, Helsinki 364 s.
- /24/ SUUNNITTELUKESKUS OY, (1988) Viikinmäen keskuspuhdistamo, Eteläisen vesiaseman louhintaurakka, Kallioperätutkimusraportti. no 100-6294
- /25/ SUUNNITTELUKESKUS OY, (1988) Viikinmäen keskuspuhdistamo, Eteläisen vesiaseman louhintaurakka, Kallioluokitus ja kalliotekninen osajako. no 100-6294
- /26/ SUUNNITTELUKESKUS OY, (1988) Viikinmäen keskuspuhdistamo, Pohjoisen vesiaseman louhintaurakka, Kallioperätutkimusraportti. no 100-6294
- /27/ SUUNNITTELUKESKUS OY, Kallioperäkartoitus 1985
- /28/ SUUNNITTELUKESKUS OY, Rakennusgeologinen kartoitus 1989.
- /29/ SUUNNITTELUKESKUS OY, Rakohavaintoprojektiot 1987.
- /30/ TERRAPLAN OY, Kallionäyttekairausraportit 1 - 79.
- /31/ TERRAPLAN OY, Kallionäytteiden pistekuormituskokeet 1987.
- /32/ TERRAPLAN OY, Keskuspuhdistamon geoteknilliset tutkimukset 1986-1987
- /33/ TERRAPLAN OY, Pressometrikokeet 1987.
- /34/ TERRAPLAN OY, Seisminen refraktioluotaus. 1985

/35/ TERRAPLAN OY, Seisminen S- ja P-aaltomittaus. 1987

/36/ VUORIMIESTYHDISTYS, (1981) Jännitystilamittaukset Suomessa. Sarja A, No 64, Helsinki. 109s.

/37/ VUORIMIESTYHDISTYS, (1982) Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja, Helsinki s.88-129.

/38/ ÄIKÄS, K., (1982) Kalliomassan dynaamisen in-situ deformaatiokertoimen määrittäminen seismisesti. Kalliomekaniikan päivä 1982. 9 s.

GEOTEKNISEN OSASTON TIEDOTTEET

20.3.92

1	<i>Anttikoski, U.</i>	Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen	Suomi	1973
2	<i>Anttikoski, U.</i>	Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	Suomi	1973 *
3	<i>Anttikoski, U.</i>	Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	Suomi	1974 *
4	<i>Mäkinen, R.</i>	Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella	Suomi	1974 *
5	<i>Saaremaa, M.</i>	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	Suomi	1974 *
6	<i>Saaremaa, M.</i>	Kitkapaalujen kantavuus	Suomi	1976
7	<i>Petäjä, J.</i>	Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen	Suomi	1977
8	<i>Raudasmaa, P.</i>	Metrotunnelien injektointi	Suomi	1977 *
9	<i>Anttikoski, U.</i>	Kalliotunnelien käyttö varastointiin	Suomi	1977 *
10	<i>Tikkanen, H.</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	Suomi	1978
11	<i>Arkima, O.</i>	Kluuvien ruuhkeen jäädytys	Suomi	1978 *
12	<i>Raudasmaa, P.</i>	Puiset perustusrakenteet	Suomi	1979
13	<i>Havukainen, J.</i>	Voimalalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa	Suomi	1979
14	<i>Vähäaho, I.</i>	Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen	Suomi	1979 *
15	<i>Raudasmaa, P.</i>	Pohjavesitarkkailu -80	Suomi	1980
16	<i>Anttikoski, U.</i>	Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunnelikonferenssin kokemusten perusteella	Suomi	1979 *
17	<i>Roinisto, J.</i>	Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunnelihin	Suomi	1981
18	<i>Havukainen, J.</i>	Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa	Suomi	1981 *
19	<i>Roinisto, J.</i>	Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys	Suomi	1981
20	<i>Vuola, P.</i>	Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta	Suomi	1981
21	<i>Havukainen, J. & Korhonen, O.</i>	Tonttialueiden maarakenteet	Suomi	1981
22	<i>Havukainen, J.</i>	Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä	Suomi	1981
23	<i>Havukainen, J.</i>	Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	Suomi	1982
24	<i>Latvala, A.</i>	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	Suomi	1982
25	<i>Havukainen, J. & Hämäläinen, A. & Sulamäki, A.</i>	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	Suomi	1982
26	<i>Halkola, H.</i>	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmäessä	Suomi	1982 *
27	<i>Paavola, P.</i>	Kunnallisteknisten tunnelien louhintakustannus selvitys	Suomi	1982
28	<i>Vähäaho, I.</i>	Maarakennusta koskeva mallityöselvitys	Suomi	1982 *
29	<i>Gulin, K.</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa	Suomi	1982
30	<i>Halkola, H.</i>	Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät	Suomi	1982
31	<i>Havukainen, J.</i>	Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet	Suomi	1983
32	<i>Havukainen, J.</i>	Användning av stenkolaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar	Svenska	1983
33	<i>Havukainen, J.</i>	The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines	English	1983
34	<i>Salmelainen, J.</i>	Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta	Suomi	1983
35	<i>Havukainen, J.</i>	Matkakertomus kivihiilituhkien ympäristövaikutuskonferenssista	Suomi	1983
36	<i>Hyyti, P.</i>	Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa	Suomi	1984
37	<i>Leinonen, J.</i>	Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa	Suomi	1984
38	<i>Pirinen, J.</i>	Kelluvan rantapenkereen rakentaminen	Suomi	1984 *
39	<i>Latvala, A.</i>	Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti	Suomi	1984
40	<i>Korpela, J. & Schuller, M.</i>	Jäykkien liitosjohtojen pohjarakennus selvitys (Jäli-selvitys)	Suomi	1984
41	<i>Lahtinen, E.-R.</i>	Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, väliraportti)	Suomi	1985
42	<i>Koppi, J.</i>	In Situ-kuormituskoe painumien määrittämiseksi	Suomi	1985
43	<i>Havukainen, J.</i>	Esirakentamisen kehittäminen	Suomi	1985
44	<i>Vähäaho, I.</i>	Jäädytysmenetelmän käyttö	Suomi	1987
45	<i>Havukainen, J. & Hämäläinen, A. & Latvala, A.</i>	Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	Suomi	1987
46	<i>Julkunen, A.</i>	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	Suomi	1987
47	<i>Hutri, K.-L.</i>	Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin	Suomi	1988
48	<i>Melander, K.</i>	Puristin-hejarikairaus kairausmenetelmänä	Suomi	1989
49	<i>Leppänen, M.</i>	Vahvisinkankaiden käyttö Vanhakaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa	Suomi	1989
50	<i>Vähäaho, I. & Ryhänen, H.</i>	Sulamiskondolidaation vaikutukset savessa	Suomi	1989
51	<i>Vähäaho, I.</i>	Effects of Thaw Consolidation on Geotechnical Properties of Clay	English	1989
52	<i>Koskela, P.</i>	Routastabiloinnin vaikutus ruoppausmassaan	Suomi	1989
53	<i>Saari, M. & Korhonen, O.</i>	Paalujen dynaaminen koestus PDA-laitteistolla	Suomi	1990
54	<i>Saari, M. & Volanen, N.</i>	Ruoholahden koepaalutus	Suomi	1990
55	<i>Yrjänä, J. & Korhonen, O.</i>	Pystyjoitus Pikku-Huopalahdessa	Suomi	1991
56	<i>Niisimäki, R. & Raudasmaa, P.</i>	Viikniemen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kallio tutkimukset	Suomi	1992

Hinnat: 1 kpl, 80 mk, 2-3 kpl 70 mk, 4-6 kpl 60 mk, 7- kpl 55 mk

*) painos loppunmyyty