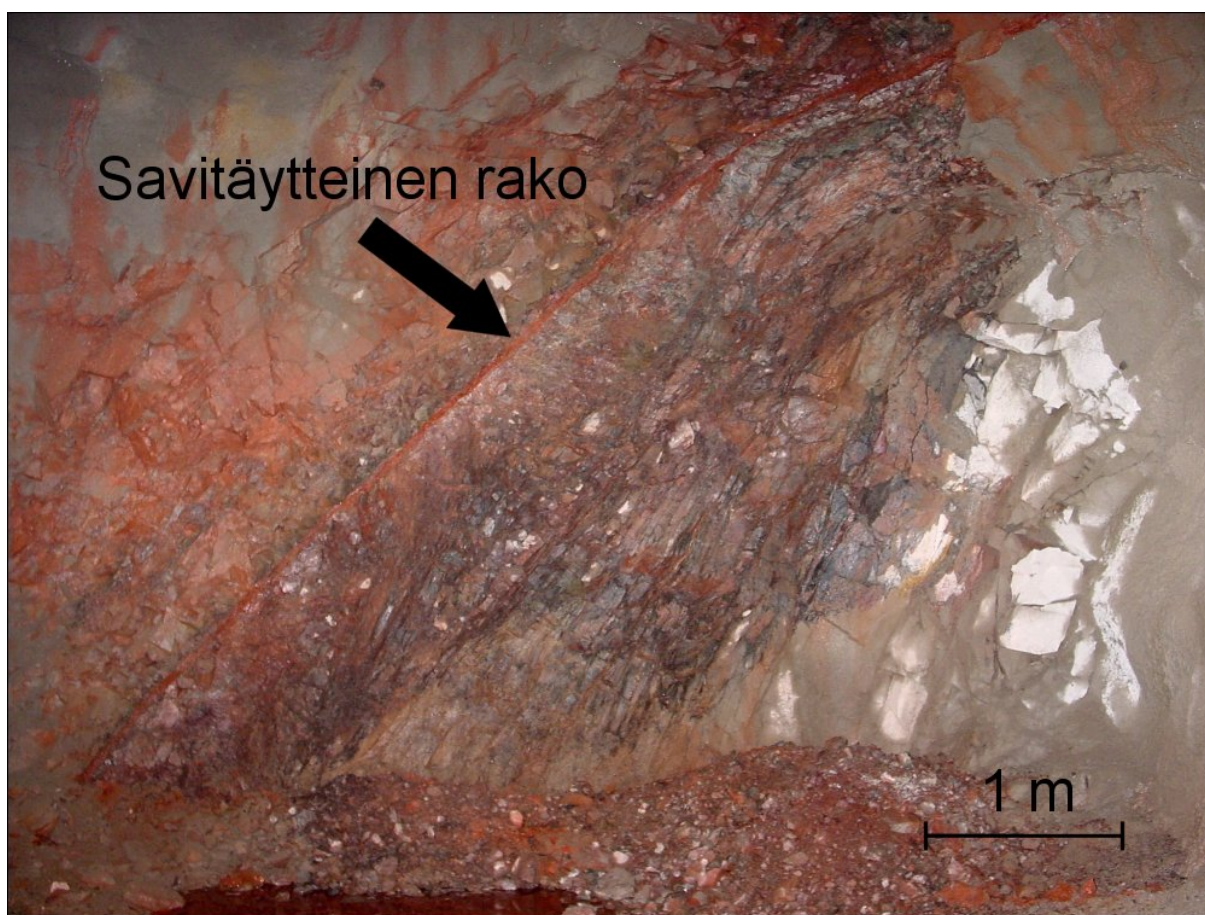


HELSINGIN KESKUSTAN KALLIORUHJEET

Päivi Vänskä
Pekka Raudasmaa



Julkaisu 89/2005

Helsinki 2005
ISBN 952-473-439-7
ISSN 1458-2198

HELSINGIN KESKUSTAN KALLIORUHJEET

**Päivi Vänskä
Pekka Raudasmaa**

TIIVISTELMÄ

Helsingin kallioperässä esiintyy lukuisia kallioruhjeita. Ruhjeiden sijainnin ja ominaisuuksien tunteminen helpottaa kalliorakennuskohteiden suunnittelua ja louhintaa.

Ruhjeet ovat syntyneet kallioperässä tapahtuneiden liikuntojen seurauksena. Svekofennisen orogeenian alkuvaiheessa kallio käyttäytyi plastisesti, mutta kallioperän jäähdytyä kasvava puristusvoima aiheutti kalliomassojen murtumisen, jolloin kallion pintaosissa syntyi siirrosvyöhykkeitä. Erilaisten liikuntojen, rapautumisen, hydrotermisen muuttumisen sekä uudelleenkiteytymisen seurauksena siirrosvyöhykkeistä muodostuu vähitellen ruhjeita.

Ympäristöään rikkonaisempina ruhjeet ovat kuluneet muuta kallioperää nopeammin ja näkyvät kallioperän topografiassa painanteina. Pinnanmuotoihin vaikuttavat ruhjeiden lisäksi kivilajien vaihtelu sekä jääkauden kulutus.

Ruhjelaaksot määräävät pitkälti Helsingin niemen muodon. Helsingin keskustassa havaitaan kolme ruhjevyöhykkeiden pääsuuntaa, joissa ruhjeet ovat muodostuneet siirrosten alueellisten pääsuuntien mukaisesti.

Ruhjeita ei yleensä päästä tutkimaan maan päältä, koska ne ovat paksujen maakerrosten peittämiä. Ruhjeista voidaan kuitenkin havaita viitteitä. Siirrosten syntyminen vaikutti myös ympäröiviin kallioihin, joten ruhjeen lähetyviltä voidaan usein havaita muun muassa lisääntyvää rikkonaisuutta tai mineraalien muuttumista.

Helsingin keskustan ruhjeista on kerätty paljon tietoa, sekä tämän tutkimuksen yhteydessä että ennen sitä. Näiden tietojen perusteella tutkimuksessa on arvioitu ruhjeiden ominaisuuksia ja kulkua keskusta-alueella. Yhteenvetona on esitetty kartta Helsingin keskustan merkittävimmistä kallioruhjeista.

ABSTRACT

Several fracture zones cross in the bedrock of the Helsinki City Centre. The knowledge of the locations and properties of these zones is necessary in planning and excavation of rock constructions.

Fracture zones were formed by rock block movements. At early stages of the Svecofennian Orogeny rock deformations were ductile. Later the rock cooled down and the deformations at topmost layers became brittle, and faulted structures thus were formed. Later on, fault zones were fractured by weathering, hydrothermal alterations, recrystallization and later movements.

Being more fragmented than surrounding areas the fracture zones have eroded more rapidly. Therefore they can be seen as depressions in topography. Other key factors in topography are different rock types and Ice Age.

Fracture zones have had a great impact in defining the shoreline of the Helsinki City Centre. There are three main directions of fracture zones in the area.

The zones are usually under thick layer of soil and therefore hard to examine. However there are signs of movements on nearby rock surfaces which help to locate the zones.

Significant amounts of data on the fracture zones in Helsinki City Centre have been collected, both in this thesis and in previous researches and construction projects. Locations and properties of zones are estimated based on the data. The maps presenting main fracture zones are included as appendixes.

ALKUSANAT

Helsingissä on vuosikymmenten kuluessa kerätty tietoja kallioperästä tunnelirakentamisen tarpeita varten. Vuonna 1978 julkaistiin koko Helsingin alueen käsittävä geotekninen kallioperäkartta, joka sisälsi ruhjeluokittelun ja jolla ei ollut esikuvaa muualta saatavissa. Kartta perustuu monenlaisiin ja monentasoisin aineistoihin, joista on annettu läpileikkaus tässä julkaisussa. Edelleen julkaisussa on käsitelty kallioperän syntyhistoriaa tiivistetysti ja pyrkien tuomaan esille ne taustatiedot, joilla on huomattavaa merkitystä tunnelikohteiden rakentamisessa. Kuvaa heikkousvyöhykkeistä on tarkennettu käyttäen hyväksi viimeisimmistä tunnelikohteista ja erityisesti Kamppi-Kruununhaka yhteiskäyttötunnelista saatuja yksityiskohtaisia havaintoja. Huomattavimmat heikkousvyöhykkeet Helsingin niemen alueelta on esitetty julkaisuun liittyvässä kartassa.

Julkaisu perustuu tekn.yo Päivi Vänskän diplomityöhön, joka on tehty Helsingin kaupungin geoteknisellä osastolla projektipäällikkö Pekka Raudasmaan ohjauksessa. Työn valvojana on toiminut dosentti Eeva-Liisa Laine Teknillisestä korkeakoulusta.

Helsingissä 20.5.2005



Ilkka Vähäaho
osastopäällikkö

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	5
ABSTRACT	6
ALKUSANAT	7
SISÄLLYSLUETTELO	8
1. JOHDANTO	10
1.1 Tutkimuksen taustaa	10
1.2 Tutkimusongelma.....	10
1.3 Tutkimuksen tavoitteet	10
2. TUTKIMUSAINEISTO	11
2.1 Geologian tutkimuskeskuksen kartat.....	11
2.1.1 Maaperäkartat	11
2.1.2 Kallioperäkartat.....	11
2.1.3 Aeromagneettiset kartat	12
2.1.4 Kallioperän rakennettavuuskartta	14
2.2 Geoteknisen osaston tiedot.....	15
2.2.1 Tietojen kokoamisen vaiheita	15
2.2.2 Geotekniset maaperäkartat	16
2.2.3 Luonnontilaismaaston kartta, kallioperäkartta	16
2.2.4 Kalliopaljastumien geologinen kartoitus.....	17
2.2.5 Geoteknillinen kallioperäkartta.....	17
2.2.6 Kairaustiedot	18
2.2.7 Geofysikaaliset luotaukset.....	19
2.2.8 Rakennuskaivannot.....	19
2.2.9 Tunneleiden rakennusgeologinen kartoitus	20
2.2.10 Lujitusten ja vesivuotojen tallennetiedot	20
2.2.11 Ruhjeraportit.....	20
2.2.12 Sähköiset tietokannat	21
3. RUHJEIDEN SYNTY JA ILMENEMINEN	21
3.1 Kallioperän rakennusgeologinen tulkinta.....	21
3.2 Kallioperän muodostuminen.....	22
3.3 Siirrostien syntyminen.....	24
3.4 Ruhjeet.....	25
3.5 Ruhjeet ja topografia	28
4. HELSINGIN KESKUSTA-ALUEEN RUHJEET	30
4.1 Kluuvin ruhje	30
4.2 Aleksanterinkadun ruhje.....	37
4.3 Bulevardin ruhje	41
4.4 Metsätalon ruhje.....	43

4.5	Arkadian ruhje	44
4.6	Kampin ruhje	45
4.7	Hakaniemen kauppahallin ruhje	45
4.8	Linjojen ruhje	47
4.9	Siltasalmen ruhje	48
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	50
	LÄHTEET.....	52
	LIITTEET	54

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Helsingissä on rakennettu viime vuosina lukuisia maanalaisia tiloja. Louhinnan yhteydessä on törmätty lukuisiin erilaisiin heikkousvyöhykkeisiin.

Tässä työssä ruhjeilla tarkoitetaan kallion heikkousvyöhykkeitä, jotka ovat syntyneet erilaisten liikuntojen, rapautumisen, hydrotermisen muuttumisen sekä uudelleenkiteytymisen seurauksena siirrosvyöhykkeistä. Ruhjeet sisältävät laadultaan vaihtelevia vyöhykkeitä, yleensä kallio on ruhjeissa laadultaan rakennusgeologisen kallioluokituksen (Korhonen ja muut 1974) luokkien Ri III ja Ri V välillä. Ruhjeilla ei siis tarkoiteta vain rakennusgeologisen kallioluokituksen ruhjerakenteista (Ri IV) kalliota.

Työssä on valittu yksityiskohtaisempaan tarkasteluun ruhjeita, joilla on huomattavaa jatkuvuutta kallioperässä ja joista on olemassa kairauksilla ja tunnelilävistyksillä hankittua tutkimustietoa. Ruhjeet on merkitty karttoihin kohtiin, joissa niiden on arvioitu puhkeavan kallionpintaan. Merkinnän leveys ei kerro ruhjeen todellisesta leveydestä.

Helsingin keskusta-alueella tarkoitetaan tässä yhteydessä väljästi Helsingin niemen eteläosaa eli alueita, joihin on rakennettu runsaasti kalliotiloja.

1.2 Tutkimusongelma

Osa kallion rikkonaisuudesta on hyvin paikallista, eikä juuri haittaa louhintaa. Ongelmana ovat kuitenkin ne ruhjeet, jotka laaja-alaisuutensa, erityisen heikon kalliolaatunsa tai näiden molempien takia vaikeuttavat louhintaa merkittävästi ja näin aiheuttavat kalliorakentamiselle lisäkustannuksia.

Varsinkin pitkillä tunnelilinjoilla joudutaan usein läpäisemään monia ruhjeita. Poikkileikkaukseltaan pienissä tunneleissa ruhjeet eivät yleensä aiheuta ylityspääsemättömiä ongelmia, mutta hidastavat tunnelin etenemistä ja näin lisäävät kustannuksia. Suurien hallien louhinnassa ruhjeet ovat erityisen haitallisia ja voivat lisäkustannusten ohella aiheuttaa vakavia työturvallisuusongelmia.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Työn tavoitteena on esittää Helsingin keskustan merkittävimmät kallioruhjeet. Kalliorakentamisen kannalta on oleellista tietää ruhjeiden ominaisuudet ja niiden sijainti kallioperässä. Ruhjeiden ominaisuudet ja niiden kulku riippuvat siitä kuinka ruhjeet ovat syntyneet. Näin ollen työhön kuuluu oleellisena osana myös ruhjeiden muodostumisen esittäminen.

2. TUTKIMUSAINEISTO

2.1 Geologian tutkimuskeskuksen kartat

2.1.1 Maaperäkartat

Ensimmäiset geologiset kartoitukset Helsingin alueelta on tehty vuosina 1879-1881 ja julkaistu vuonna 1881 karttalehdessä nro 3, Helsinki. Tässä 1:200 000-mittakaavaisessa kartassa on yhdistettynä maa- ja kallioperäkartta. (Moberg 1881)

Vuonna 1948 julkaistiin Esa Hyypän Helsingin alueesta laatima maaperäkartta mittakaavassa 1:50 000. Karttaan liittyy selitys vuodelta 1950 (Hyypä 1950). Hyypä on laatinut myös Geologisen tutkimuslaitoksen vuosina 1946-1948 suorittamien maaperäkartoitusten ja Helsingin kaupungin suorittamien kairaustutkimusten perusteella mittakaavassa 1:60 000 maaperäkartan, joka on liitteenä Geologisen tutkimuslaitoksen julkaisussa Helsingin seudun geologiaa (Hyypä 1960).

Geologinen tutkimuslaitos on julkaissut Helsingin alueesta maaperäkartan myös mittakaavassa 1:100 000. Helsingin alue jakaantuu kahdelle eri karttalehdelle, 2034 Helsinki (Haavisto ja muut 1973) ja 2043 Kerava (Virkkala 1956). Helsingin lehdestä selityksen ovat laatineet Haavisto ja Kukkonen (Haavisto ja Kukkonen 1975) ja Keravan lehdestä Virkkala (Virkkala 1959). Maaperäkartoja on myöhemmin tarkennettu 1:20 000-mittakaavaisilla karttalehdillä.

Geologinen tutkimuslaitos on lisäksi ollut mukana laatimassa yhdessä Geoteknisen osaston edeltäjän, maaperätutkimusjaoksen, kanssa 1950-luvun lopulla Helsingin alueelta yleispiirteisiä geologisia maaperäkartoja mittakaavassa 1:20 000 ja kallioperäkartoja keskusta-alueelta mittakaavassa 1:10 000.

Ruhjevyöhykkeiden esiintymistä voidaan arvioida maaperäkarttojen avulla, sillä huomattavimmat kallioperän ruhjevyöhykkeet näkyvät maaperäkartoissa yhtäjaksoisina savitäytteisinä painanteina.

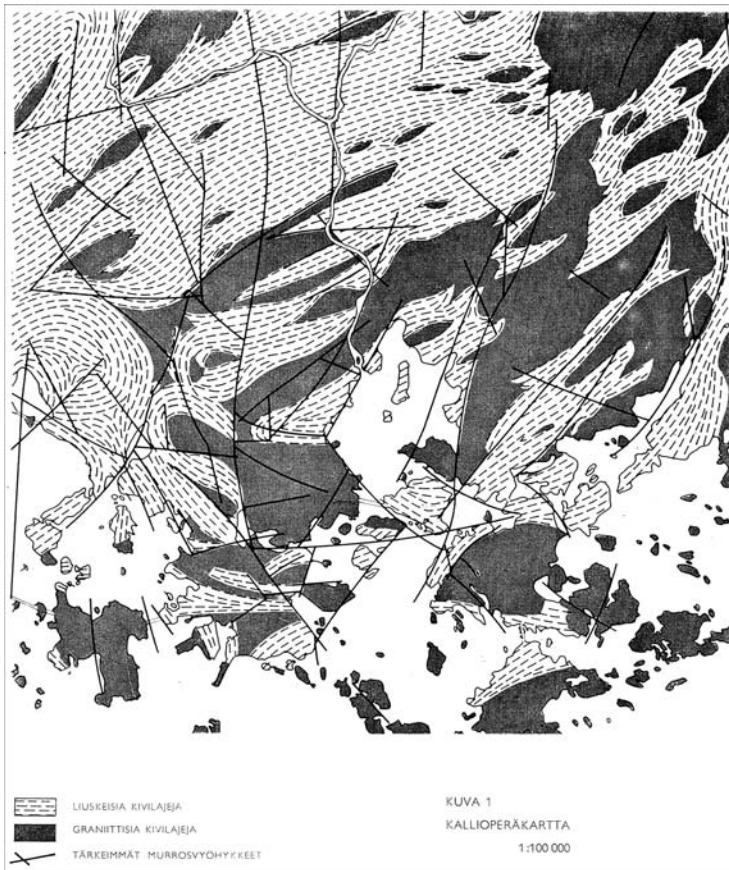
2.1.2 Kallioperäkartat

Geologinen tutkimuslaitos aloitti 1800-luvun lopulla yleiskartoituksen mittakaavassa 1:400 000 julkaistavia kivilajikartoja varten. Helsingin alueen kivilajikartta C1-D1 (Härme 1978a) selityksineen (Härme 1980) on viimeinen osa tästä karttasarjasta.

Uusi kartoitus aloitettiin 1940-luvun alussa mittakaavassa 1:100 000 julkaistavia kallioperäkartoja varten. Samoin kuin 1:100 000-mittakaavaisissa maaperäkartoissa Helsinki jakautuu myös kallioperäkartoissa kahdelle karttalehdelle: karttalehti 2034, Helsinki (Laitala 1967) ja selitys siihen (Laitala 1991) sekä karttalehti 2043, Kerava (Härme 1969) ja sen selitys (Härme 1978b).

Ruhjetulkinnan Helsingin alueesta on tehnyt Esa Hyypä 1960 (Kuva 1). Hyypän kartassa on murrosvyöhykkeiden lisäksi merkittynä kivilajialueet. Kartan mittakaava on 1:100 000. (Hyypä 1960)

Mittakaavan ja vähäisten tutkimustietojen takia Hyypän kallioperäkartan ruhjetulkinta on huomattavasti suurpiirteisempi kuin uudempien karttojen tulkinnat. Kartasta löytyvät kuitenkin jo useat Helsingin keskustan näkyvimmistä ruhjeista. Kartassa on esitettyä muun muassa Kluuvin ruhje ja Siltasalmen ruhje.



Kuva 1. Helsingin kallioperäkartta, mittakaava 1:100 000. (Hyypä 1960)

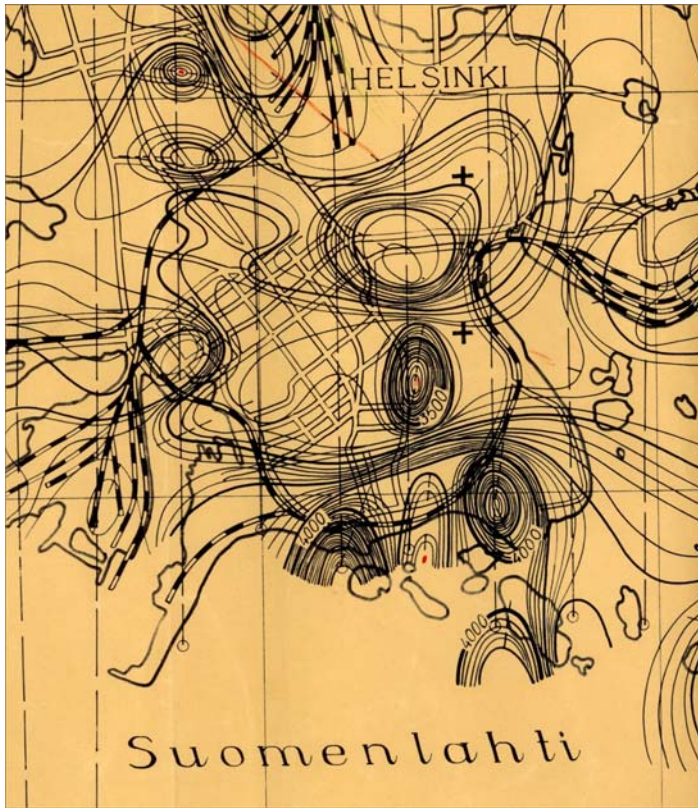
Geologian tutkimuskeskus on julkaissut vuonna 1994 kartan Helsingin kallioperästä ja vanhoista kaivoksista mittakaavassa 1:50 000 (Laitakari ja Saltikoff 1994).

Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäkartat ovat luonteeltaan kivilajikarttoja, joissa on esitetty tietoja muun muassa liuskeisuudesta ja poimuakseleista. Ruhjetulkintaa näissä kartoissa ei ole, poikkeuksina Hyypän kallioperäkartta sekä kallioperän rakennettavuuskartta.

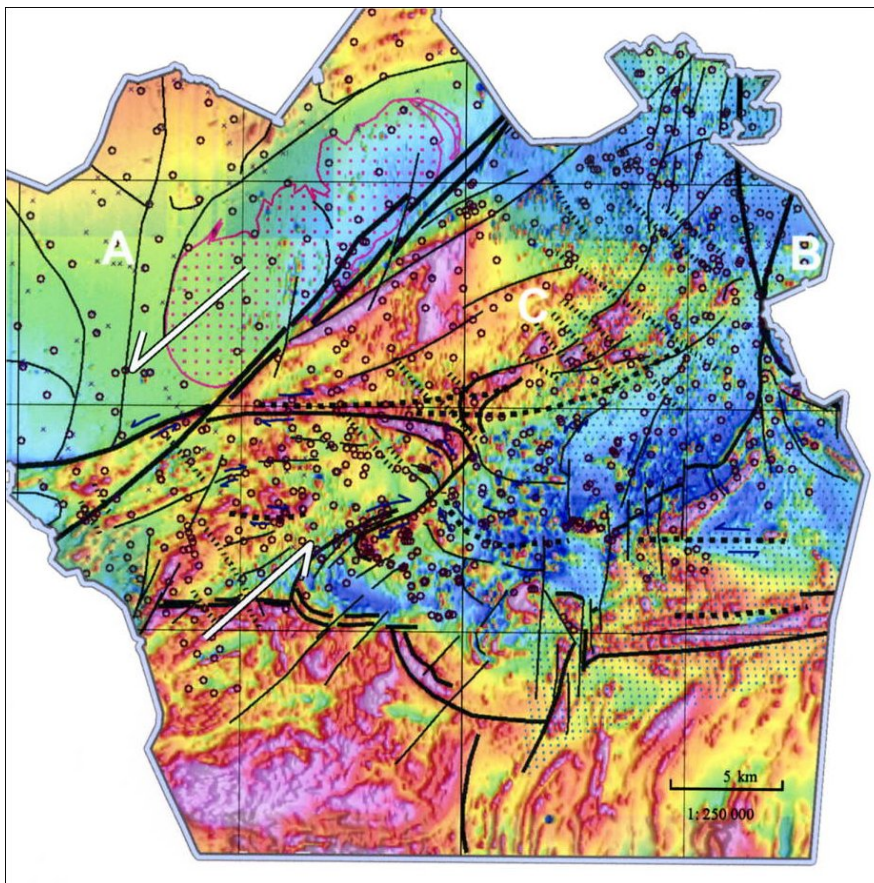
2.1.3 Aeromagneettiset kartat

Geologinen tutkimuslaitos on julkaissut Helsingin keskusta-alueelta vuonna 1953 aeromagneettisen totaali-intensiteetikartan mittakaavassa 1:20 000 (Kuva 2). Mittalennot suoritettiin yhteistyössä Kar-Air Oy:n kanssa toukokuussa 1952. Lentokorkeus mittalenoilla oli 150 metriä. (Geologinen tutkimuslaitos 1953)

Vuonna 1953 julkaistun aeromagneettisen kartan jälkeen Geologian tutkimuskeskus on suorittanut Helsingin alueella magneettisia lentomittauksia vuonna 1999. Vuonna 1999 tehtyjen mittauksen tuloksia (Kuva 3) hyödynnettiin kallioperän rakennettavuuskartan teossa.



Kuva 2. Ote vuonna 1953 julkaistusta aeromagneettisesta kartasta. (Geologinen tutkimuslaitos 1953)



Kuva 3. Rakennettavuuskartan yhteydessä julkaistu aeromagneettinen kartta pääkaupunkiseudusta. (Pajunen ja muut 2002)

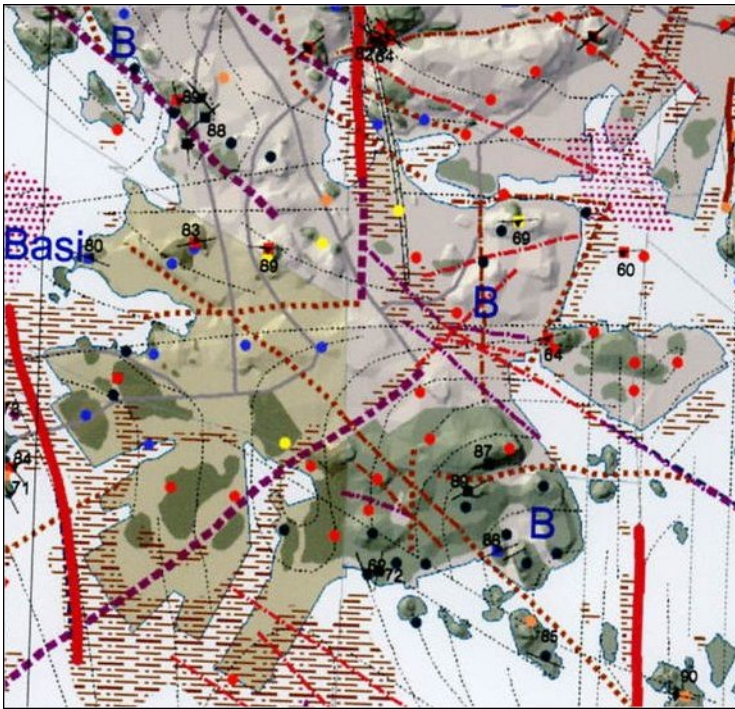
Aeromagneettisia karttoja voidaan käyttää hyödyksi kallioperän suurrakenteiden määrittämisessä. Heikkousvyöhykkeitä voidaan paikallistaa magneettisten karttojen avulla, koska heikkousvyöhykkeissä on tapahtunut ferrimagneettisten mineraalien ja siten myös vyöhykkeiden magneettisten ominaisuuksien muutoksia. Muuttumisprosessissa joko magnetiitti tuhoutuu, kun pelkistävä lämpimämpi metamorfinen liuos tunkeutuu kylmempään kiveen, tai magnetiitti muodostuu, kun hapettava kylmempi liuos tunkeutuu metamorfoosissa kiveen, tai magnetiitti hapettuu hematitiksi, kun ruhjevyyöhykkeessä tapahtuu rapautumista alhaisessa lämpötilassa. (Peltoniemi 1988)

2.1.4 Kallioperän rakennettavuuskartta

Vuosina 1999-2002 Geologian tutkimuskeskuksessa toteutettiin projekti, jossa kehiteltiin kallioperän rakennettavuusmallia taajamiin. Kallioperän kehitysvaiheet tunnetaan kivilajien poimutuksen ja muovautumisen osalta melko hyvin, mutta geologisessa historiassa nuorempien murtumisvyöhykkeiden ja siirrosten syntymekanismien tutkiminen on ollut vähäistä. Projektissa selviteltiin muun muassa kallioperän syntyyn ja kehitykseen liittyvien geologisten tekijöiden ja rikkonaisuusvyöhykkeiden yhteyttä. Tutkimusalueeseen kuuluivat Helsinki, Espoo ja Vantaa. Projektiin sisältyi geofysikaalinen lentomittauskarttoitus 200 m linjavälein lentokorkeuden ollessa pääosin 30-70 metriä, Helsingin keskusta-alueella 160 metriä. Laitteistoilla mitattiin magneettisuutta, sähkönjohtokykyä ja taustasäteilyä. (Pajunen ja muut 2002)

Projektista on tulostettu mittakaavassa 1:50 000 kallioperän rakennettavuuskartta (Kuva 4). Kartta ulottuu Helsingin ympäristöön ja siinä tulevat voimakkaimmin esille koillis-lounaissuuntaiset heikkousvyöhykkeet. Huomattavin näistä heikkousvyöhykkeistä on useiden kymmenien kilometrien pituinen Porkkala-Mäntsälä-vyöhyke, jolle on havaittu vastinetta myös Viron pohjoisrannikolla. Samansuuntaisia vyöhykkeitä Helsingissä ovat Pikku-Huopalahden ja Vanhankaupunginlahden ruhjevyyöhykkeet, jotka jatkuvat Helsingin alueelta Vantaan puolelle. Helsingin keskustassa tätä ruhjesuuntaa edustaa Bulevardin ruhje.

Kartasta on havaittavissa runsaasti ruhjeita myös luode-kaakkosuunnassa, mutta ne ovat lyhyempiä ja katkonaisempia kuin koillis-lounaissuuntaiset vyöhykkeet. Luode-kaakkosuuntaa Helsingin keskustassa edustavat Eteläsataman ruhje sekä Kluuvin ruhjeen eteläosa. Laajalahden pohjoispuolella havaitaan kartassa itä-länsisuuntaisten vyöhykkeiden tihentymä. Tämä ruhjesuunta on yleinen myös Helsingin keskustassa. Tämän suuntaisia ruhjeita ovat muun muassa Aleksanterinkadun sekä Arkadian ruhjeet. Rakennettavuuskartasta on paikoin todettavissa myös huomattavassa määrin pohjois-eteläsuuntaisia ruhjeita. Tätä suuntaa Helsingin keskustassa edustaa lähinnä Kluuvin ruhjeen pohjoisosa. Yhtenäisillä kivilajialueilla, kuten Pohjois-Espoon graniittialueella, ruhjeverkosto on geometrinen ja säännönmukainen. Epähomogeenisilla alueilla, kuten Helsingin keskustassa, ruhjeverkosto on epäsäännöllisempi ja paikallisilla kallioperän muutoksilla on suuri merkitys ruhjevyyöhykkeiden suuntiin.



Kuva 4. Ote kallioperän rakennettavuuskartasta. Kuvassa näkyy Helsingin niemen eteläosa, kartta-alueen leveys on noin viisi kilometriä. Ruhjeiden lisäksi kartassa on esitettyä myös tietoja rakoilusta ja maakerrospaksuuksista. (Pajunen ja muut 2002)

Kartalla heikkousvyöhykkeet on luokiteltu käytettävissä olevien laatutietojen ja osittain geologisen syntyhistorian perusteella kolmeen luokkaan (Liite 1). Rakennettavuuskartan ruhjetulkinnassa ja luokituksessa on käytetty hyväksi Helsingin kaupungin aineistoa.

2.2 Geoteknisen osaston tiedot

2.2.1 Tietojen kokoamisen vaiheita

Vanhimmat säilyneet kairaustiedot Helsingin alueelta ovat Töölönlahdelta vuodelta 1903. Järjestelmällisesti pohjatutkimuksia on suoritettu vuodesta 1940. Vuonna 1955 perustettiin kaupunkimittausosaston yhteyteen maaperätutkimusjaos, jonka ensimmäisiä tehtäviä oli koota yhteen hajanainen pohjatutkimusaineisto ja muokata se käyttökelpoiseen ja jatkuvasti täydennettävään muotoon. Tehtävää jatkoi vuonna 1964 perustettu itsenäinen geoteknillinen toimisto, jonka nimi muutettiin vuonna 1980 geotekniseksi osastoksi.

Kalliopinnan korkeusasemasta ja kallion laadusta on tavallisesti aikaa vievää ja kallista saada tietoa maapeitteisillä alueilla, etenkin tiheästi rakennetuilla alueilla. Siksi on tärkeää kerätä pitkäjänteisesti tietoja esimerkiksi toteutetuista kalliotiloista ja louhituista rakennuskaivannoista. Tietojen jalostaminen yhteenvetomuotoon on tarpeellista erityisesti hankkeiden laaja-alaisuuden vuoksi.

Geoteknisen osaston tiedot ovat osa Helsingin kaupungin paikkatietojärjestelmää, jossa muita rakentajaa palvelevia paikkatietokantoja ovat muun muassa kaupunkisuunnitteluviraston kaavatiedot sekä kaupunkimittausosaston pohjakarttatiedot ja johtojen yhdistelmäkarttatiedot.

2.2.2 Geotekniset maaperäkartat

Geoteknisten karttojen järjestelmässä mittakaavana oli aluksi 1:2 000. Järjestelmässä kairauspisteet ja savimaalajien syvyyskäyrästä oli piirretty omille muoveilleen, jolloin niitä voitiin kopioida päällekkäin kaupunkimittausosaston pohjakartan kanssa. Kairauspisteitä oli mahdollista lisätä ja käyrästä tarkentaa, minkä lisäksi geotekninen yhdistelmäkartta oli aina saatavissa ajan tasalla olevan pohjakartan kanssa. Karttajärjestelmä säilyi käytössä 1980-luvun puoliväliin asti, jolloin kairautietoja oli tallennettu tietokantaan ja geoteknisiä karttoja oli tulostettavissa halutussa yhdistelmässä ja mittakaavassa.

Kaupunkisuunnittelun tarpeiden johdosta geoteknillinen toimisto julkaisi vuonna 1972 painetun geoteknisen kartan kuusivärisenä mittakaavassa 1:10 000. Kartta sisälsi maalajialueet, savimaalajien alapinnan syvyyskäyrät ja tyypillisimmät kairauspisteet. Geoteknisen kartan uudistettu painos julkaistiin vuonna 1989. Kartta on saatavissa myös numeerisessa muodossa, numeerinen aineisto päivitettiin vuonna 2002.

Sekä kairauspistetiedot että pehmeikköjen paksuudet antavat runsaasti viitteitä kallioperän ruhjevyöhykkeistä. Jo ensimmäiset geotekniset kartat vahvistivat käsityksiä suurimmista kallioperän ruhjevyöhykkeistä syvien kairauspisteiden kautta. Lisäksi tuli esille myös yllättäviä paksujen maapeitteiden kalliopainanteita ja viitteitä ennen tuntemattomista heikkousvyöhykkeistä.

2.2.3 Luonnontilaismaaston kartta, kallioperäkartta

Heti maaperätutkimusjakson perustamisen aikoihin alkoivat metrotutkimukset keskustassa. Koska maapohja oli laajalla alueella kaupunkirakenteen peitossa, kokosi kaupunkimittausosasto tutkimusten tueksi luonnontilaismaaston kartan vuosina 1956-1958. Kartta koottiin vanhasta, vuosilta 1810-1910 peräisin olevasta aineistosta. Se julkaistiin painettuna mittakaavassa 1:10 000. Kartalla erottuvat hyvin toisaalta kallioiset ja toisaalta maapeitteiset alueet. Kartta on ollut suureksi hyödyksi erilaisten kalliotilojen alustavassa suunnittelussa. Luonnontilaiskartasta painettiin myös versio, jossa oli esitetty kivilajit ja huomattavimmat ruhjevyöhykkeet (Kuva 5). Tektonisen tulkinnan suorittivat Ilpo Laiti ja Ahti Saraste, ja siinä oli huomioitu myös tuolloin käytettävissä olleet kairautiedot.

Luonnontilaismaaston karttaan on merkitty rantaviiva, kalliopaljastumat sekä korkeuskäyrät. Kallioperätiedoista kartassa on esitettyinä liuskeisuushavainnot ja siirrosvyöhykkeet, todetut ja todennäköiset ruhjelaaksot sekä mannerjään pääliikesuunta. Lisäksi kartassa on esitettyinä kivilajialueet: graniittivaltaiset kivilajialueet ja liuskevaltaiset kivilajialueet.

Vaikka luonnontilaismaaston kartta on julkaistu jo 50-luvulla, on sen ruhjetulkinnassa paljon samaa kuin uudempien karttojen tulkinnassa. Tietyillä alueilla, kuten Kluvinlahden kohdalla, on ollut helppo määrittää ruhjeen paikka. Alueilla joissa maanpinnanmuodot eivät anna yhtä selkeitä viitteitä ruhjeista on uusiin karttoihin pystytty määrittämään ruhjeiden paikat tarkemmin. Esimerkiksi Aleksanterinkadun ruhjetta luonnontilaismaaston kartassa ei ole lainkaan.



Kuva 5. Ote Helsingin luonnontilaismaaston kartasta. (Kaupunkimittausosasto 1958)

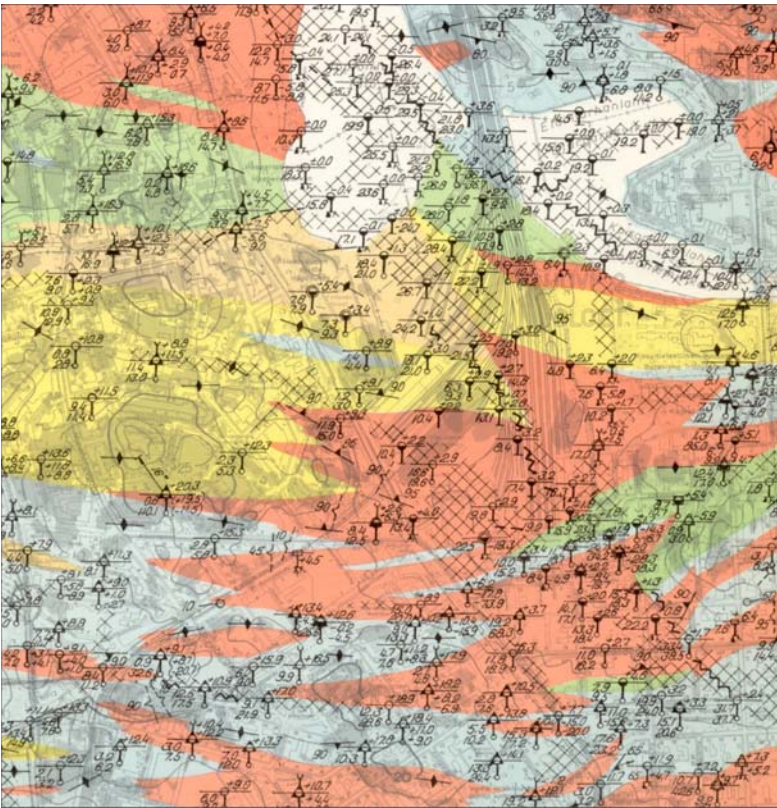
2.2.4 Kalliopaljastumien geologinen kartoitus

Helsingin alueella suoritettiin vuosina 1959-1960 yksityiskohtainen kalliopaljastumien kivilajikartoitus yhteistyössä Geologisen tutkimuslaitoksen kanssa. Erityistä huomiota kiinnitettiin liuskeisuuteen, rakoiluun ja eheyteen. Kustakin havaintokohdasta kirjoitettiin seikkaperäinen kuvaus sitoen tiedot kaupungin koordinaatistoon. Tietojen perusteella laadittiin käsin värityksellä kivilajikartta mittakaavassa 1:10 000. Kartta toimi pohjana vuonna 1978 painetun kallioperäkartan kivilajikäsitykselle. Kenttäkartoituksen kalliopaljastumatiedot on tallennettu myöhemmin myös sähköiseen muotoon.

2.2.5 Geoteknillinen kallioperäkartta

Metrosuunnittelun alkaessa vuonna 1956 ryhdyttiin suorittamaan maaputki- ja kallionäytekairauksia sekä kalliopinnan että kallion laadun selvittämiseksi. Kairauksia tehtiin melko laajalla alueella kantakaupungissa. Jo 1950-luvulla alkoivat myös Katajaluotoon johtavan poistotunnelin sekä puhdistamojen vähentämiseen tähtävien viemäritunneleiden suunnittelu kenttätutkimuksineen. Kun metrotunnelit Junatieltä Kamppiin ja useita muita tunneleita oli louhittu 1970-luvun puoliväliin mennessä, kallioperätietoa katsottiin olevan riittävästi geoteknillisen kallioperäkartan painamiseen koko kaupungin alueelta.

Geoteknillinen kallioperäkartta (Kuva 6) julkaistiin vuonna 1978, kartan mittakaava on 1:10 000. Kartassa on yleisselvitys Helsingin kallioperästä, ja siinä on esitettyä vuosina 1958 – 1978 kairatuista pisteistä merkittävimmät. Kartalla on esitettyä kivilajit, luonnontilaiset kalliopaljastumat, kalliotunnelit, kalliopinnan syvyyttä kuvaavat kairauspisteet ja kallionäytekairausten pisteet sekä kallion tektoniset ominaisuudet. Lisäksi kartalla on esitettyä heikkousvyöhykkeet ja niiden osalta arvioita kalliopinnan syvimmästä kohdasta ja rapautuneimmasta ruhjekohdasta. Ruhjetulkinnan karttaa varten on laatinut geologi Ahti Saraste. Ensisijaisesti kartta on tarkoitettu palvelemaan maankäytön suunnittelua ja kalliorakennuskohteiden hanke- ja esisuunnittelua. (Geoteknillinen toimisto 1978)



Kuva 6. Ote geoteknisestä kallioperäkartasta. (Geoteknillinen toimisto 1978)

Helsingissä on toteutettu useita pitkiä tunnelinlinjoja kartan painamisen jälkeen. Kartta on ollut suureksi hyödyksi näiden tunneleiden ja muiden kalliorakennuskohteiden esisuunnittelussa.

2.2.6 Kairaustiedot

Geoteknisen osaston tietokannassa on tiedot noin 1200 kallionäytekairauksesta. Kairattujen näytteiden pituus on yhteensä noin 46 kilometriä. Näytteet on yleensä valokuvattu ja raportoitu käyttäen kunakin ajankohtana käytössä olleita menetelmiä ja luokituksia. Rakennusgeologisen kallioluokituksen tultua käyttöön 1970-luvulla saatiin ohjeet myös kairausnäytteiden kuvaukselle (Korhonen ja muut 1974). Raportissa oli kuvattava kalliolaatu, kivilaatu- ja rakoiluvaihtelu, rakoilutyyppi, rakoluku, katkossumma, rakojen laatu, näytehukka, suuntaus ja vesimenekki. Viime vuosina on näytteistä määritetty myös Q-luokituksen parametreja. Raportoinnin jälkeen näytteet on arkistoitu Geologian tutkimuskeskuksen keskusvarastoon Lopelle.

Geoteknisen osaston tietokannassa olevista noin 200 000 kairauspisteestä on noin 42 000 porakonekairauksia. Näitä on tehty kalliopinnan määrittystä varten, jolloin samalla on porattu yleensä kolme metriä kallioon. Porari kirjaa havaintonsa kallion laadusta kairausilmoitukseen, jolloin porakonekairausten tietoja voidaan käyttää alustavassa heikkousvyöhykkeiden kartoituksessa. Tarvittaessa on tehty poraamalla syvempiäkin reikiä kallion laadun arvioimiseksi. Viime vuosina ovat yleistyneet porauksen etenemisnopeutta ja muita poraustapahtuman parametreja rekisteröivät automaattiset laitteet, jolloin kallion laadusta on saatavissa porakonekairauksilla enemmän tietoa.

2.2.7 Geofysikaaliset luotaukset

Geofysikaalisia luotauksia Helsingin maa- ja merialueella on tehty useita kymmeniä kilometrejä. Luotaukset ovat olleet refraktio- ja reflektioluotauksia sekä maatumkaluotauksia.

Puhdistettujen jätevesien poistotunnelin kallioperätutkimukset aloitettiin 1950-luvun lopulla. Refraktioluotauksia tehtiin noin 8 kilometrin pituista meriosaa varten noin 80 kilometriä. Yleensä refraktioluotausta on käytetty tunnelikohteiden alustavissa tutkimuksissa lähinnä kalliopinnan määrittelyyn, mutta luotausta käytetään usein myös ohutpeitteisillä alueilla kalliolaadun ja erityisesti ruhjeiden paikantamiseen. Menetelmää on käytetty myös keskustaolosuhteissa sijoittamalla pienet räjähdyspanokset kallioon porattuihin reikiin.

Merialueella reflektioluotausta on käytetty paikoin runsaasti. Se soveltuu hyvin laajojen vesialueiden maakerrosten paksuuksien ja laadun alustavaan selvittelyyn. Paksujen orgaanista ainesta sisältävien liejujen alueilla ei menetelmällä ole saatu tuloksia.

Maatumkaluotausta on käytetty runsaasti kallion laadun tutkimisessa menetelmän ja erityisesti tulkinnan kehityttyä 1980-luvulla. Menetelmä perustuu kallion ja vettä sisältävien rakojen sähköisten ominaisuuksien suureen eroon. Hyvin sähköä johtavia materiaaleja ei pystytä läpäisemään tutka-aalloilla (Peltoniemi 1988). Näin ollen paksujen savikerrosten peittämistä ruhjeista ei maatumkaluotauksella saada tietoa.

Muutamissa tapauksissa on käytetty myös kallioreikien videokuvausta, reikäseismistä menetelmää sekä reikäutumkaluotausta.

2.2.8 Rakennuskaivannot

Rakennuskaivannot ovat usein syviä ja suurialaisia ja niiden kallioseinämistä on saatavissa informaatiota kallion laadusta. Käytännöllinen tapa on valokuvata kaivannot (Kuva 7). Valokuvauksen lisäksi voidaan piirroksin tarkentaa näkyvissä olevia rakenteita. Yksi vanhimmista kuvatuista kohteista on City-korttelin kaivanto vuodelta 1966. Rakennuskaivantojen lisäksi on tehty havaintoja katualueiden johtokaivannoista.

Välillä ruhjeita voidaan paikallistaa suoraan rakennuskaivantojen seinistä (Kuva 7), mutta usein kallion pinta kuitenkin laskee ruhjeiden kohdalla niin alas että ruhjetta ei voida nähdä kalliossa. Välillisiä havaintoja ruhjeista voidaan silti usein tehdä. Kaivannossa näkyvät kalliomäet, joiden välissä on syvä savitäyteinen painanne, viittavat usein ruhjeeseen (Kuva 16). Lisäksi näkyvissä kallioissa voidaan havaita rapautumista tai siirroksia, mitkä viittaavat usein ruhjeen läheisyyteen



Kuva 7. Kansakoulukadun ruhje leikkaa rakennuskaivantoa, ruhjeen heikoin kohta on ruiskubetonoitu. (Martti Terrihauta 1985)

2.2.9 Tunneleiden rakennusgeologinen kartoitus

Tunneleista on tehty erityyppisiä rakennusgeologisia kartoituksia geoteknisen osaston perustamisesta alkaen. Alkuvaiheessa ne olivat perinteisiä geologisia kivilajikartoituksia täydennettyinä itsekehitettyillä kallion rikkonaisuutta koskevilla termeillä ja merkinnöillä. Esimerkiksi rakoilua voitiin kuvata runsaaksi, vaikka ei oltu määritelty kuinka monta rakoa metrillä termi tarkoittaa. Näin ollen merkintöjen tulkinta ei ollut yksikäsitteistä. Vuonna 1974 Valtion teknillinen tutkimuskeskus julkaisi rakennusalan kallioluokituksen, jota ryhdyttiin käyttämään tunneleiden rakennusgeologisessa kartoituksessa (Korhonen ja muut 1974).

Heikoimmat kohdat tunneleista ruiskubetonoidaan pian louhinnan jälkeen, joten kartoittajan tekemät havainnot ovat usein ainoa tieto tunnelin läpäisemistä heikkousvyöhykkeistä. Näin ollen myöhempää selvitystä varten yksityiskohtainen rakennusgeologinen kartoitus on erittäin tärkeää. Luvussa 4 kuvattujen Helsingin keskusta-alueen ruhjeiden tiedot perustuvat suurelta osin tunnelikartoituksista saatuihin havaintoihin.

2.2.10 Lujitusten ja vesivuotojen tallennetiedot

Geotekninen osasto otti käyttöön 1980-luvulla seurantapiirustukset, joissa tunnelin leikkauspiirustukseen lisättiin kartoitus- ja lujitustietoja. Lujituksista on esitetty lujitustyyppi ja lujitusmäärät. Edelleen piirustuksessa on esitetty vesivuotoja ja louhinnan edistymisnopeutta koskevia tietoja. Seurantapiirustuksia on laadittu useiden kymmenien tunnelikilometrien pituudelta.

2.2.11 Ruhjeraportit

Muutamista, etupäässä keskustan kallioperää halkovista, ruhjeista geotekninen osasto on laatinut erillisiä raportteja, joista ilmenevät kustakin ruhjeesta kairauksista, tunneleista ja muista kohteista saadut tiedot. Raportteihin on hahmoteltu ruhjeiden kulkua, ja niihin on kerätty tietoa ruhjeiden ominaisuuksista. Raportit helpottavat

uusien kohteiden suunnittelua, koska aikaisempi tieto ruhjeista on helposti saatavissa.

2.2.12 Sähköiset tietokannat

Geotekninen sähköinen paikkatietokanta sisältää tiedot noin 200 000 kairauspisteestä ja 4500 pohjavesiputkesta. Kallionäytekairauksista on tallennettuna tiedot sijainnista, kairauksen pituudesta, suunnasta sekä kaltevuudesta. Kairausnäytteen kuvaus- ja luokittelutiedot ovat raporttimuodossa manuaaliarkistossa. Lisäksi osasta kallionäytekairauksista on tallennettu myös sähköisesti tiedot kalliolaadusta, rakoluvusta sekä vesimenekistä. Myös geofysikaalisten linjojen sijainnit löytyvät digitaalisesta indeksikartasta, mutta luotausraportit ovat vain manuaaliarkistossa. Maatutkaluotausten tiedot ovat tallennettu digitaaliseen kolmiulotteiseen kuvatiedostoon.

Kairaustietoja on helppo tutkia ja niiden tuloksia hahmottaa, kun tiedot ovat sähköisessä muodossa. Erilaiset pintamallit auttavat hahmottamaan topografian muutoksia. Kairareikiä leikkaavien heikkousvyöhykkeiden kulkua ja kallion pintaan puhkeamista on helpompi arvioida esimerkiksi leikkauksista kuin pelkästä kirjallisesta raportista.

3. RUHJEIDEN SYNTY JA ILMENEMINEN

3.1 Kallioperän rakennusgeologinen tulkinta

Luonnontilaisen kallion rakennusgeologisessa selvitystyössä lähtökohdan muodostaa kartta- ja ilmakuvatulkinta. Alustavan selvitystyön perusteella voidaan arvioida alueen yleispiirteiset maa- ja kallioperäsuhteet, kallion makrorakenteet sekä myöhempi tutkimustarve. Mitä enemmän kallioperän kivilajeista ja tektoniikasta on ennakkotietoa, sitä parempiin tuloksiin tulkinnassa päästään.

Helsingin alueella selvitystyötä helpottavat lähes kaikkialta saatavat kairaustiedot maakerrospaksuudesta. Toisaalta laajat rakennetut alueet ja paksut savikerrokset peittävät usein viitteet kallion rakenteesta alleen. Myös lajittuneiden maalajien alueilla, kuten Vuosaarella ja Malmin hautausmaan alueella, kallioperä kuvastuu huonosti maapeitteiden lävitse. Jos alueellisesta geologiasta on löydettävissä avain ruhjetulkintaan, on siitä suurta hyötyä yksityiskohtaisten tutkimusten suuntaamisessa. Kaupunkiolosuhteissa kuva alueellisesta geologiasta on vähitellen kehitettävissä kokoamalla hankkeista saatavat tiedot ja laatimalla niistä käyttökelpoisia yhteenvetoja, esimerkiksi karttamuodossa.

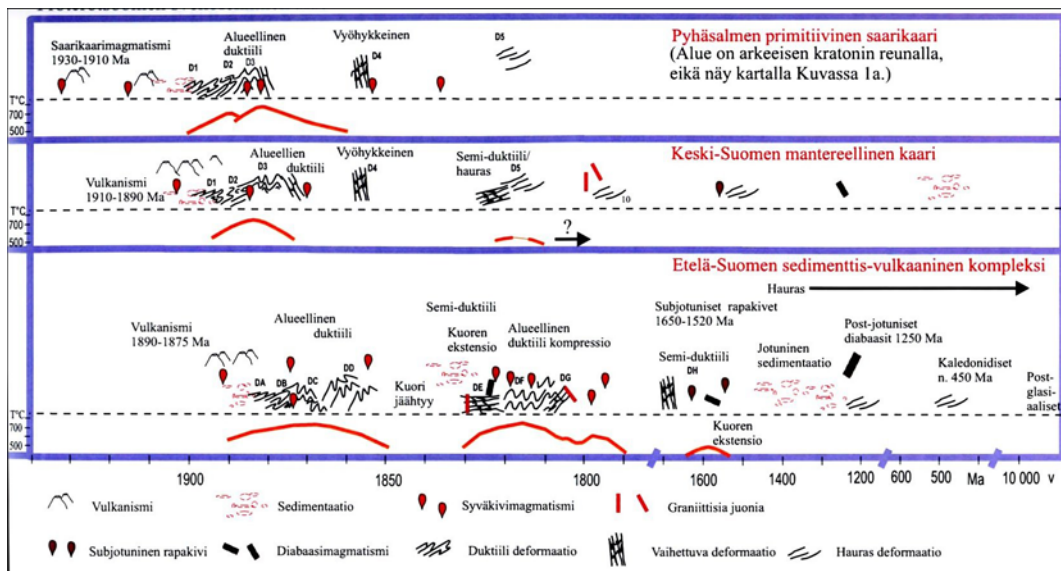
Paitsi syvinä maapeitteisinä urina kallioperässä, ruhjeet antavat usein viitteitä itsestään ympäröivän kallioperän pinnanmuodoissa, rakoilussa ja mineraalikoostumuksessa. Kalliopaljastumien rutiininomaisen rakennusgeologisen kartoituksen yhteydessä onkin syytä kiinnittää huomiota siirroksista kertoviin vihjeisiin. Siirros on yleensä tapahtunut pääasiassa tiettyä kapeaa vyöhykettä pitkin, mutta samalla myös ympäristössä on tapahtunut muutoksia. Usein ruhjeen läheisillä kallioilla havaitaan pieniä siirroksia, sulkarakoja ja muita merkkejä läheisestä suuremmasta siirroksista. Siirrosliikuntojen suuntaisena voi esiintyä myös pitkiä rako- ja hiertymälinjoja. Pääsiirroksista erkanee joskus säännönmukaisesti pienempiä haaroja sulkatyypisesti keskenään samassa kulmassa. Lisäksi muun

muassa helsinkiin esiintyminen liittyy ruhjeen vaikutuksesta tapahtuneisiin mineraalimuutoksiin.

Usein on hankalinta paikantaa loiva-asentoiset ja vaakasuorat heikkousvyöhykkeet. Kun rakentaminen tapahtuu korkeintaan muutamien kymmenien metrien syvyydessä, kokemukset loivista ruhjevöhykkeistä ovat vähäisiä. Eräissä tapauksissa vyöhykkeitä on esiintynyt korkeussuunnassa jaksoittain, mikä viittaa tektoniseen syntyperään. Tällöin on havaittu kalliopinnan olevan tasainen seurauksena siitä, että eroosio on kuluttanut kalliomassat pois vaakasuoraa ruhjetta myöten.

3.2 Kallioperän muodostuminen

Helsingin alueen ruhjeiden synty on yhteydessä svekofenniseen orogeniaan ja kallioperän muodostumiseen Etelä-Suomessa (Kuva 8). Noin 1900-1880 miljoonaa vuotta sitten saarikaaret törmäsivät arkeeseen mantereeseen (Pajunen ja muut 2002). Silloinen kivikuori nousi poimuille muodostaen poimuvuoristosysteemin, joka kulki Keski-Ruotsista Suomen keski- ja eteläosien kautta Laatokan seudulle (Hyypä 1960). Osa silloisesta kivikuoresta nousi poimutuksessa, ja osa kiviaineksesta painui syntyvän vuoriston juuriin.



Kuva 8. Etelä-Suomen tektonisen, magmaattisen ja metamorfisen kehityksen pääpiirteet ajan funktiona. (Pajunen ja muut 2002)

Helsingin seudun maanpinnalle kerrostuneet sedimentti- ja vulkaaniset kivilajit hautautuivat poimuliikunnoissa syväälle syntyvän vuorijonon juuriin. Korkeassa paineessa ja lämpötilassa ne muuttuivat kiteisiksi liuskeiksi, joihin osittaisen sulamisen seurauksena syntyi uusia mineraaleja. Toisen osan Helsingin nykyisestä kallioperästä muodostavat sulasta kiviaineksestä kiteytyneet, koostumukseltaan pääasiassa graniittiset syväkivet. Ne työntyivät vuorijonon juurissa liuskeväleihin muuttaen kallioperää graniittisemmaksi. Magman tunkeutuessa liikuntojen aiheuttamiin rakoihin syntyi Helsingin seudulle tyypillisiä graniittisia seoskiviä eli migmatiitteja. (Laiti ja Saraste 1960)

Vanhemmissa kartoissa Helsingin alue on jaettu graniittisiin kivilajeihin ja liuskeisiin kivilajeihin (Kuva 1). Graniittivaltaisilla kivilajialueilla tarkoitetaan alueita, joiden kallioperän muodostavat yksinomaan tai suurimmaksi osaksi koostumukseltaan graniittiset syväkivet. Nämä alueet ovat pääasiassa suuntautumattomia, tosin monin

paikoin niissäkin on havaittavissa suuntaus, liuskeisuus, joka on kuitenkin huomattavasti heikommin kehittynyt kuin varsinaisissa liuskeissa. Liuskevaltaisten kivilajialueiden kallioperässä ovat vallitsevina koostumukseltaan ja alkuperältään vaihtelevat kiteiset liuskeet, joiden rakenteelle on tyypillistä selvästi kehittynyt liuskeisuus. Lisäksi joissain kartoissa on esitettyä eri kivilajien rajavyöhyke, jossa kivilaji muuttuu vähitellen toiseksi. (Laiti ja Saraste 1960)

Uudemmissa kallioperäkartoissa kivilajijako on tehty uudelleen. Jako on esitetty liitteessä 2. Liitteen kartassa on esitettyä Helsingin keskustan kivilajialueet sekä liuskeisuushavainnot geoteknillisen kallioperäkartan (Geoteknillinen toimisto 1978) mukaan.

Helsingin pintakivilajit ovat muodostuneet niistä aineksista, jotka kasaantuivat maan pinnalle ennen svekofennistä orogeniaa. Ainekset olivat mekaanisesti rapautuneet silloisista kivistä ja eri tavoin kulkeutuneet kerrostumispaikoille, tärkeimpiä näistä aineksista olivat hiesut, hiekat ja savet. Sedimentit kovettuivat ensin hiekka- ja savikiviksi, jotka sitten orogenian aikana osittain sulivat ja uudelleen kiteytyivät. Metamorfoosissa hiekkakivistä syntyi kvartsi-maasälpäliuskeita sekä kvartsi-maasälpägneissejä ja savikivistä runsaasti kiillettä, alumiinimineraaleja tai näitä molempia sisältäviä kiilleliuskeita ja kiillegneissejä. Näihin sedimenttisyntyisiin kiviin liittyy myös kalkkikiviä ja karsia. (Laitala 1991)

Rapautumisen ohella myös vulkaaninen toiminta tuotti maanpinnalle runsaasti kiviainesta. Tulivuorten rinteille ja ympäristöön muodostui laavavirtoja ja kerrostui vulkaanista tuhkaa ja muita pyroklastisia aineksia. Metamorfoosissa näistä maanpinnalle kasaantuneista aineksista muodostui enimmäkseen emäksisiä liuskeita, gneissejä ja amfibolitteja. Osassa näistä kivistä on edelleen nähtävissä alkuperäisiä rakenteita. Kerrostumisen aikana saattoivat nämä synnyltään erilaiset ainekset kerrostua vuorottain tai sekoittua keskenään. (Laitala 1991)

Toisen osan Helsingin kivilajeista muodostavat maankuoressa magmasta kiteytymällä syntyneet syväkivet, jotka tunkeutuivat paikoilleen orogenian aikana. Syväkivien ryhmään Helsingin keskustassa kuuluvat graniitit sekä grano- ja kvartsidioriitit. (Laitala 1991)

Graniitit ovat usein punaisia, pääasiassa mikrokliinia, plagioklaasia ja kvartsia sisältäviä suuntautumattomia tai vähän suuntautuneita, syväkiviä. Alueen graniittiesiintymät noudattelevat yleensä ympäröivän kallioperän suuntia ja rakenteita. Graniitit muodostavat lähinnä kiillegneissien kanssa Helsingin alueelle tyypillisiä seoskiviä eli migmatiitteja. (Laitala 1991)

Grano- ja kvartsidioriitit muodostavat ryhmän, johon kuuluu myös muita intermediaarisia kivilajityyppejä. Intermediaariset syväkivi-intruusiot ovat yleensä ympäristöään myötäileviä ja sisältävät usein ympäristön liuskeita murskaleina ja niiden erilaisina muuttumistuloksina. Grano- ja kvartsidioriittejen suuntaus on yleensä heikko, päämineraaleina niissä on plagioklaasia, kvartsia, sarvivälkettä ja biotiittia. (Laitala 1991)

Helsingin keskustan kallioperä on epähomogeenista, kivilajit vaihtelevat satunnaisesti ja kallioperää halkovat erilaiset heikkousvyöhykkeet. Näin ollen keskusta-alueen rakenteiden tulkinta ja niiden jatkuvuuden arviointi on vaikeaa.

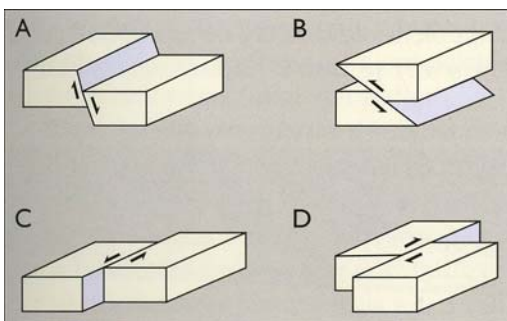
3.3 Siirrostien syntyminen

Svekofennisen orogeenin alkuvaiheessa useissa peräkkäisissä deformaatioissa kallioperään muodostui erilaisia rakenteita. Yhteistä näille deformaatioille oli se, että kallio käyttäytyi niissä plastisesti. Korkeassa lämpötilassa ja paineessa syntyi poimurakenteita, seoskiviä sekä erilaista liuskeisuutta, joista varsinkin nuorimmat rakenteet ovat edelleen tunnistettavissa kallioperästä. (Pajunen ja muut 2002)

Magmaattisen aktiivisuuden heikettyä ja silloisen maan pintaleikkauksen kohotessa eroosion ja tektonisten prosessien vaikutuksesta alkoi kallioperän jäähtyminen. Jäähtymisestä ja paineen alenemisesta johtuen kalliomassa ei enää käyttäytynyt deformaatioissa yhtä plastisesti kuin aikaisemmin. Seurauksena kallioperän muodonmuutokset keskittyivät kapeampiin vyöhykkeisiin muun kivimassan jäädessä koskemattomaksi. (Pajunen ja muut 2002)

Korkeassa paineessa ja lämpötilassa jännitystilojen aiheuttama liike on hidasta, jolloin kiven muodonmuutokset ovat plastisia ja liikuntojen synnyttämät hirttovyöhykkeet laaja-alaisia. Matalammassa lämpötilassa ja pienemmässä paineessa kallioperä käyttäytyy sekä jäykästi että hauraasti ja usein pitkään kertynyt jännitys purkautuu nopeasti aiheuttaen rikkonaisia ja kapeita siirroksia. Muodonmuutoksen nopeus vaikuttaa merkittävästi syntyviin rakenteisiin. Suurissa siirrosvyöhykkeissä tapahtuu useita peräkkäisiä siirroksia olosuhteiden välillä muuttuessa. Näin syntyy monivaiheisia siirroksia, joissa siirroskivien luonne vaihtelee voimakkaasti. (Pajunen ja muut 2002)

Svekofennisen orogeenin loppuvaiheessa kasvava puristusvoima aiheutti kalliomassojen murtumisen. Kallion pintaosissa syntyi siirrosvyöhykkeitä, yleensä noin 30 asteen kulmassa puristusvoimaan nähden. Useimpien Helsingin alueen siirrosvyöhykkeiden voidaan katsoa syntyneen maankuoren pohjois-eteläsuuntaisen puristusvoiman vaikutuksesta. Näin on syntynyt koillis-lounassuuntaisia ja luodekaakkosuuntaisia sivuttaissiirroksia ja itä-länsisuuntaisia ylityöntösiirroksia (Kuva 9). (Hartikainen ja Saraste 1978)

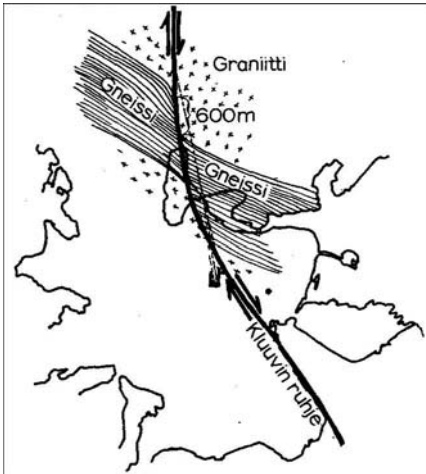


Kuva 9. Siirrostien perustyyppit. A Normaalisiirros. B Ylityöntösiirros. C Vasenkätinen sivuttaissiirros. D Oikeakätinen sivuttaissiirros. Nuolet ilmaisevat kunkin lohkon suhteellisen liikkeen viereiseen lohkoon nähden. (Kähkönen ja Lehtinen 1998)

Siirrostien pääsuunnissa kallioperä on murtunut leikkautumalla. Kuten ruhjekartat osoittavat, pääsuuntien ohella on eripituisia siirroksia syntynyt lähes kaikissa suunnissa. Paikalliset kallioperän epähomogeenisuudet ovat ohjanneet siirtymisaukkojen syntymistä muissa suunnissa, tai lohkojen liikkuaessa on syntynyt sekundäärisiä siirroksia. Kiven puristus- ja leikkauslujuudet ovat myös moninkertaisesti suuremmat kuin vetolujuus, jolloin voimakuviossa vetojännitysten syntyminen on saattanut aiheuttaa kallioperän repeämisen poikkeavassa suunnassa. On myös huomattava, että siirrokset ovat aikoinaan syntyneet kolmiulotteisissa

massassa ja ovat voineet muodostua myös pystysuoraan ja vinottain. Nykyisessä kallioperässä on näkyvissä siirtymien projektioita vaakatasossa. Näin ollen onkin hyvin vaikeaa määrittää kuinka suuria kokonaissiirtymiä siirroksissa on tapahtunut.

Ahti Saraste on esittänyt arvion, jonka mukaan Kluuvin ruhjeessa olisi tapahtunut 600 metriä siirtymää mitattuna maanpinnan tasossa (Kuva 10). Sarasteen mukaan kyseessä olisi oikeakätinen siirros. Keskusta-alueen epähomogeenisuuden ja erilaisten epäjatkuvuuksien takia siirtymän varma määrittäminen on kuitenkin mahdotonta. Sarasteen arvio perustuu Töölönlahden pohjoispuolen kiillegneississä havaittavaan siirrokseen.

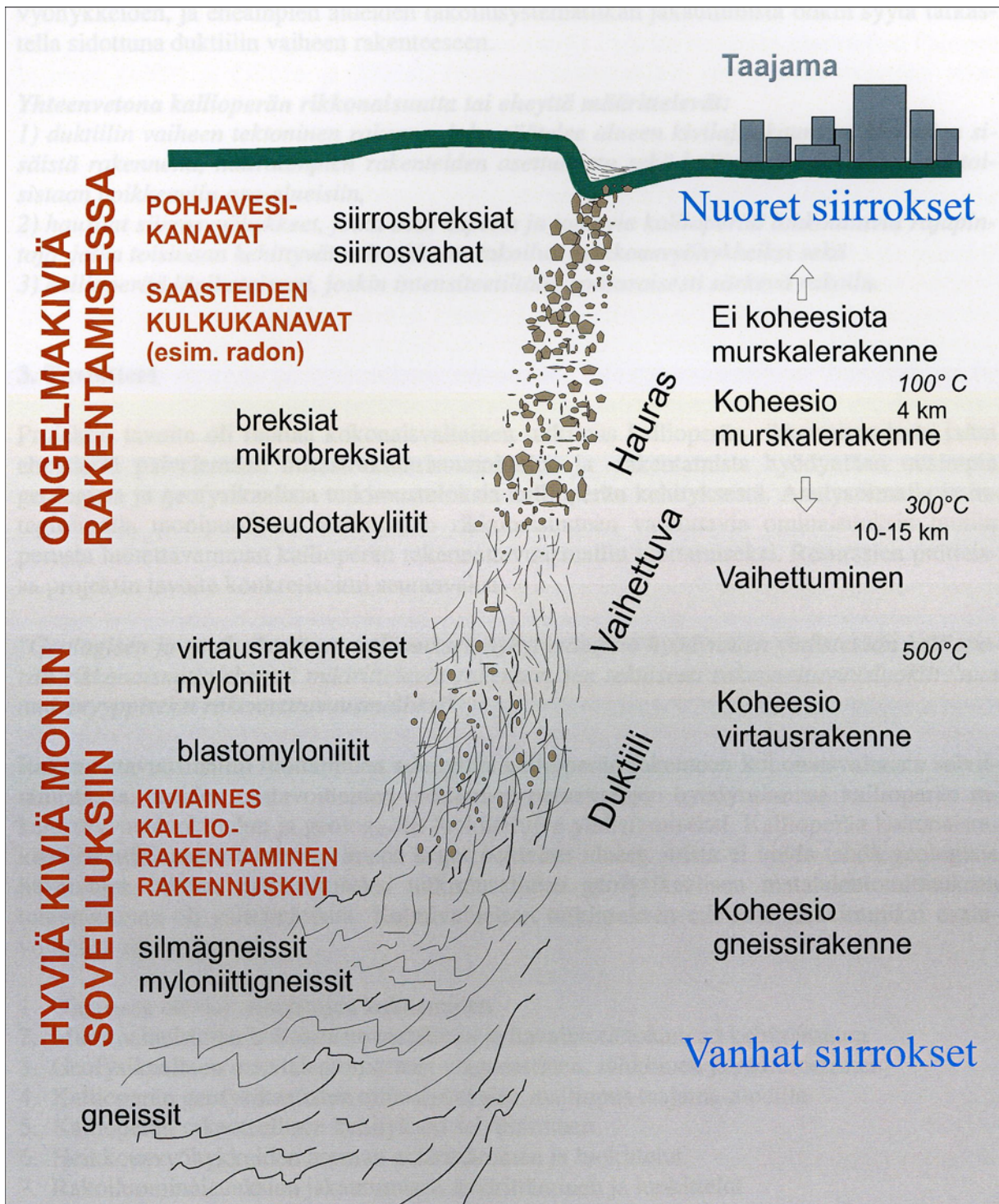


Kuva 10. Arvio siirroksen suuruudesta. (Hartikainen ja Saraste 1978)

3.4 Ruhjeet

Siirroskivien rakenteessa on oleellista alkuperäisen raekoon pieneneminen. Plastisen vaiheen siirrosrakenteita luonnehtivat voimakas kiven suuntaus, virtausrakenne ja uudelleen kiteytyminen (Kuva 11). Lähempänä pintaa tapahtuneille siirroksille on tyypillistä mineraalien särkyminen kulmikkaiksi fragmenteiksi, joita sitoo uudelleen kiteytynyt hienoksi jauhautunut mineraaliainees tai liuoksista saostuneet mineraalit. Pinnallisimmat ja nuorimmat siirrossaumut muodostuvat irtaimista kulmikkaista fragmenteista. Näille tyypillisiä ovat liuosten aiheuttamat muutosilmiöt.

Siirrosvyöhykkeet ovat rikkoutumisen jälkeen alttiita rapautumiselle ja hydrotermisille muutoksille. Usein havaittuja muutoksia ovat epidoottiutuminen ja kloriittiutuminen. Pitkien rauhallisten aikakausien kuluessa irtoaines voi uudelleen kiteytyä varsin kovaksi kiveksi, joka kuitenkin usein rikkoutuu myöhemmissä liikunnoissa. Erilaisten liikuntojen, rapautumisen, hydrotermisen muuttumisen sekä uudelleen kiteytymisen seurauksena siirrosvyöhykkeistä muodostuu vähitellen ruhjeita.



Kuva 11. Siirroksen poikkileikkaus ja siirroskivien soveltuvuus eri tarkoituksiin. (Pajunen ja muut 2002)

Ruhjevyöhykkeiden keskellä kiviaines on yleensä särkynyt liikunnoissa tiheärakoiseksi. Usein kiviaines on myös hiertynyt kalliosaveksi (Kuva 12), tällöin ruhjevyöhykkeisiin liittyy ympäristöönkin ulottuva voimakas rapautuminen. Siirroksissa tapahtunut mekaaninen särkyminen luo suotuisat edellytykset kemialliselle rapautumiselle. (Kauranne ja muut 1987)



Kuva 12. Savitäytteinen rako Bulevardin ruhjeessa. Raon leveys on noin viisi senttimetriä.

Ruhjeisiin liittyvät myös täytteiset raot: haarniskaraot, saviraot ja mururaot. Haarniskaraoissa on tyypillisesti kloriittia. Saviraoissa voi olla hienoksi jauhautuneita kivimineraaleja, kuten kvartssia ja maasälpä, tai savimineraaleja, kuten kaoliniittia ja smektiittia, tai savimineraalien muodostamia seoshilamineraaleja sekä rautaoksideja. Mururaoissa rakotäyte on pääasiassa savea karkearakeisempaa mineraaliainesta, kuten kvartssia, maasälpä, kalsiittia tai rautaoksideja. (Kauranne ja muut 1987)

Rakotäytteet voivat syntyä monella eri tavalla. Raossa kulkevasta vedestä voi mekaanisesti kerrostua tai kemiallisesti saostua ainetta rakoon. Rakotäytteet voivat olla myös ruhjoutuneessa kalliossa edenneen kemiallisen rapautumisen synnyttämää pehmeää ja irtainta ainesta. Ne voivat olla myös hydrotermisten liuosten siirros- tai rakopinnoista uuttamaa kiviainesta tai liuosten mukanaan tuomaa mineraaliainesta, joka kiinnittyy tai kiteytyy siirros- tai rakopintoihin. (Kauranne ja muut 1987)

Ruhjeiden lähellä voidaan usein havaita myös tektonista breksiaa, joka koostuu kulmikkaista kiven murskaleista ja välimassasta. Breksiaa syntyy lähellä kallion pintaa tapahtuvissa siirroksissa. (Kuva 11)

Ruhjeiden syntyyn vaikuttavat voimakkaasti alueen kivilajit. Kivilajiominaisuuksista rapautumisen kannalta merkittävin on kiven mineraalikoostumus, lisäksi vaikuttavat muun muassa mikrorakenne sekä huokoisuus (Uusinoka 1983). Helsingin kallioperän tyypillisistä mineraaleista helposti rapautuvia ovat plagioklaasi ja biotiitti. Niiden muuttumistuloksena syntyy muun muassa epidootia ja kloriittia, jotka ovatkin tyypillisiä mineraaleja heikkousvyöhykkeissä. Ruhjeissa, jotka leikkaavat kivilajeja, ruhjeen laatu voi muuttua pienelläkin matkalla juuri mineraalikoostumuksen muuttuessa.

Tiedot ruhjeiden syntytavasta eivät tue sitä olettamusta, että kallion laatu ruhjeissa vaihtuisi voimakkaasti mentäessä muutamia kymmeniä metrejä syvemmälle. Raot saattavat olla tiiviimmin kiinni toisissaan, ja vesivuodot siten vähäisempiä, mutta ruhjeet ovat syntyneet kilometrien syvyydessä lämpötila- ja paineolosuhteissa, joissa kymmenien metrien muutoksilla ei ole ollut merkitystä (Kuva 11).

3.5 Ruhjeet ja topografia

Satojen miljoonien vuosien aikana vesi, tuuli ja osaltaan myös jää kuluttivat syntynyttä alppivuoristoa. Kambrikauteen, joka alkoi noin 500 miljoonaa vuotta sitten, mennessä useita kilometrejä alppivuoristoa oli kulunut pois niin, että jäljellä ei enää ollut juuri muuta kuin vuoriston juuret. Kambrikauden jälkeen Suomeen ei enää noussut uusia poimuvuoristoja. Myöhemmät tapahtumat ovat kuitenkin särkeneet ja pirstoneet kallioperäämme. Nämä uudemmat heikkousvyöhykkeet – samoin kuin vanhemmat raot ja siirrosvyöhykkeistä muodostuneet ruhjeet – ovat alttiimpia fysikaaliselle ja kemialliselle rapautumiselle kuin niitä ympäröivä ehjä kallioperä. (Hyyppä 1960)

Ympäristöään huomattavasti rikkonaisempina ruhjeet ovat kuluneet muuta kalliota nopeammin ja näkyvät kallion pinnan topografiassa selvinä painanteina. Erityisesti jään kulkusuunnan kanssa samansuuntaiset ruhjevyöhykkeet ovat kuluneet syviksi kalliolaaksoiksi. Laaksoihin on kerääntynyt paksuja maakerroksia peittäen kalliopainanteen näkyvistä.

Useimmat ruhjevyöhykkeet erottuvat jo topografiasta. Ruhjeet noudattavat tiettyä pääsuuntaa, jotka kuvaavat eri aikoina tapahtuneita liikuntoja. Erisuuntaiset vyöhykkeet ovat siten olleet eripituisia aikoja alttiina ulkoiselle kulutukselle. Vanhimmat vyöhykkeet ovat kuluneet eniten, ja niiden muodot ovat näin ollen loiventuneet.

Ruhjelaaksoilla on voimakkain vaikutus keskusta-alueen pinnanmuotoihin, ja ne määräävät pitkälti koko Helsingin niemen muodon. Ruhjeiden verkossa voidaan havaita tiettyä säännöllisyyttä, joka näkyy useina keskenään lähes yhdensuuntaisina ruhjeina, joita leikkaavat toiset keskenään yhdensuuntaiset ruhjeet. Helsingin keskustassa on havaittavissa kolme ruhjevyöhykkeiden pääsuuntaa (Liite 2): luoteis-kaakkoinen, itä-läntinen ja koillis-lounainen. Muitakin suuntia voidaan havaita, mutta ne eivät ole yhtä selvästi kehittyneitä. (Laiti ja Saraste 1960)

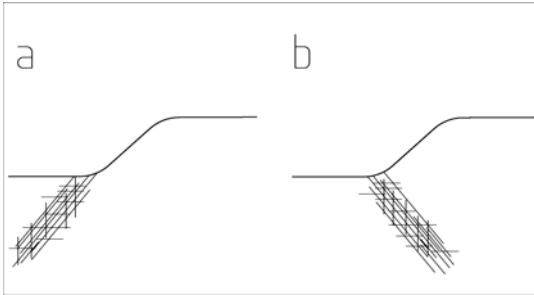
Luoteis-kaakkoinen ruhjelaaksosuunta määrää suureksi osaksi Helsingin niemen läntisen ja osaksi myös sen itäisen rantaviivan (Laiti ja Saraste 1960). Tämänsuuntainen Kluuvin ruhje jakaa koko Helsingin kahtia. Ruhje antaa muodon Töölönlahden itäosalle sekä Eteläsataman lounaisrannalle. Myös Eteläsataman koillisrannan rajaa luoteis-kaakkosuuntainen ruhje, Eteläsataman ruhje.

Itä-läntiseen ruhjelaaksoryhmään kuuluvat useimmat keskusta-alueen ruhjeet. Niistä esimerkiksi Siltasalmen ruhje rajaa Kruununhaan pohjoisrannan ja Aleksanterinkadun ruhje Katajanokan pohjoisrannan. Tämä ruhjesuunta vaikuttanee myös niemimaan eteläiseen rantaviivaan (Laiti ja Saraste 1960).

Koillis-lounaisen ruhjelaaksosuunnan vaikutukset kaupungin pinnanmuotoihin ovat havaittavissa niemen itäisen rantaviivan suunnissa (Laiti ja Saraste 1960). Myös Katajanokan länsiosan erottaa Päävartiontorista koillis-lounaissuuntainen Pohjoisrannan ruhje.

Syntymekanismistaan johtuen ruhjeille on tyypillistä, että niiden lähiympäristössä on nähtävissä selviä merkkejä heikkousvyöhykkeestä. Hauraat rakenteet ilmenevät voimakkaana rakoilun tihentymisenä ja toisinaan heikkousvyöhykkeen läheisyydessä havaittavina muutosilmiöinä. Ruhjeiden lähellä olevat rakenteet noudattelevat yleensä ruhjeen kulkua ja kaadetta tai ovat kohtisuoraan niitä vastaan, toisaalta on havaittavissa myös sulkarakenteita. Ruhjeet ovat yleensä paksujen maakerrosten

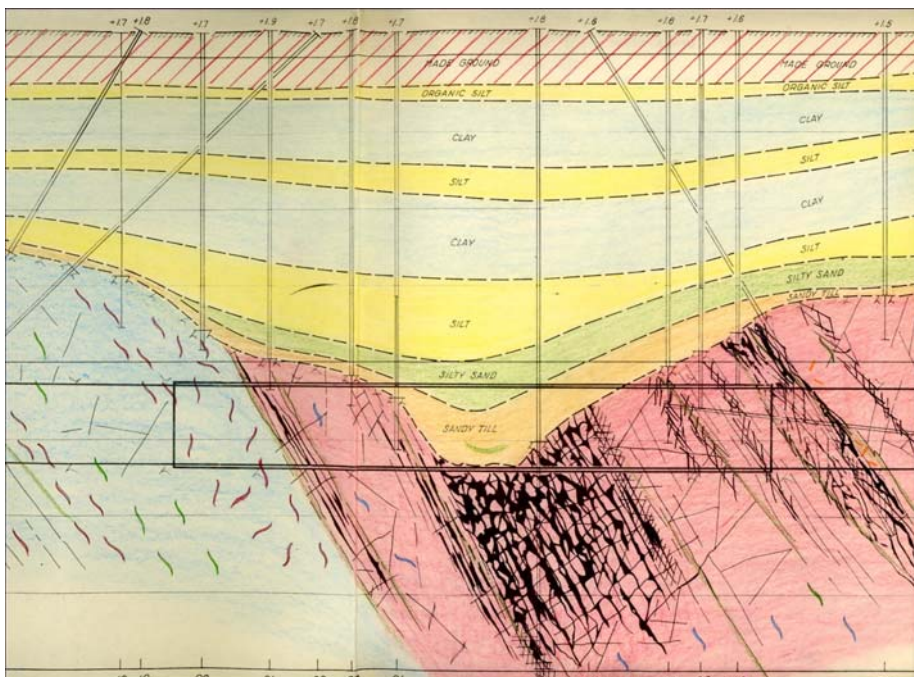
peittämiä, joten suoria havaintoja niistä on vaikea tehdä. Ruhjeiden lähellä on kuitenkin usein kalliojyrkänteitä, joista voidaan päätellä ruhjeen kulkua. Ruhjeen kaadetta jyrkänteestä ei voida arvioida, koska joissakin tapauksissa ruhjeet noudattavat jyrkänteen kaadetta ja joissakin tapauksissa ruhje sukeltaa jyrkänteen alle (Kuva 13).



Kuva 13. Ruhjeen rajaama kalliojyrkänte. a Ruhjeen kaateen suuntainen jyrkänte. b Ruhje sukeltaa jyrkänteen alle.

Kallion pinnanmuotoihin vaikuttavat heikkousvyöhykkeiden lisäksi kivilajien vaihtelut. Muutamat Helsingin alueen gneissit ovat suhteellisen pehmeitä, joten niiden alueilla maat ovat alavia. Toiset kivilajit ovat sitkeytensä ansiosta kestäneet kulutusta, kuten amfiboliittikalliomäet Eirasta ja Kaivopuistosta. Myös graniittiset kivet ovat yleensä kulutusta kestäviä kovuutensa ansiosta, ja ne näkyvät korkeina kallioina muun muassa Töölössä, Kalliossa ja kaupungin edustan saarissa. (Hyypä 1960)

Pinnanmuotoihin vaikuttivat kallioperän lisäksi myös viimeinen jääkausi ja sen jälkeinen kehitys. Jääkausi puhdisti rapautuneen kallion pois erityisesti jään kulkusuunnassa olevista laaksoista. Näin ollen rapautunutta ainesta on vähiten luode-kaakkosuuntaisissa ruhjelaaksoissa. Jäätikön liikesuuntaa vastaan kohtisuorien laaksojen pohjat ovat usein kaikkein rapautuneimpia (Niini 1968). Ruhjelaaksoihin on jääkauden jälkeen kasautunut paksuja maakerroksia. (Kuva 14).



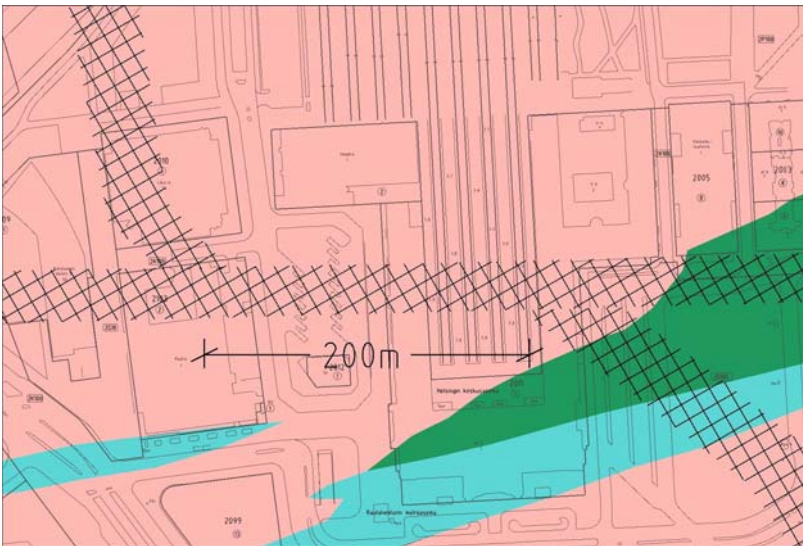
Kuva 14. Kluuvin ruhjeen päällä kerääntyneitä maakerroksia. (Geoteknillinen toimisto 1975)

4. HELSINGIN KESKUSTA-ALUEEN RUHJEET

4.1 Kluuvin ruhje

Kluuvin ruhje (Liite 3) on nimetty entisen Kluuvinlahden mukaan, ja se on keskeisen sijaintinsa sekä Rautatien metroläpäisyn ansiosta tunnettu jo pitkään.

Ruhje on paikannettavissa noin 10 kilometrin matkalla kallion pinnan topografian, tunnelihavaintojen sekä kallionäytekairauksen perusteella. Merialueella ruhje on todettu johtotunnelissa Suomenlinnan länsipuolella Särkän ja Länsi-Mustan välissä. Pohjoisempana ruhje kulkee Tähtitorninmäen itäpuolisen kalliojyrkänten juurella. Kauppatorin rannasta ruhje jatkuu luoteeseen kohti rautatieasemaa, jonka kohdalla ruhjeessa on noin 200 metrin siirros länteen (Kuva 15). Siirroksen toisella puolella ruhje jatkuu Töölönlahden itäosan alitse kohti pohjoista. Töölönlahden pohjoispuolella ruhje jakaantuu kahteen osaan. Sivuhaara kulkee Mäntymäen eteläpuolelta kohti luodetta, ja päähaara jatkuu edelleen pohjoiseen. Päähaaran kulku noudattelee pääradan kulkua. Ruhje kääntyy hieman koilliseen pääradan ja rantaradan risteyksen kohdalla ja jatkuu edelleen Käpylän alitse. Ruhjetta kutsutaan tältä osaltaan Käpylän ruhjeeksi, vaikka se onkin edelleen samaa Kluuvin ruhjetta. Ruhje jatkuu Metsälään.



Kuva 15. Siirros Kluuvin ruhjeessa.

Kluuvin ruhjeen pohjoisosaa ei tunneta tarkasti, oletuksena on että ruhje jatkuu Käpylän ja Metsälän kautta pohjoiseen.

Töölönlahden pohjoispuolella Kluuvin ruhje haarautuu kahteen osaan. Pääruhje kulkee pohjois-eteläsuuntaisesti, ja sivuhaara lähtee sulkamaisesti luoteeseen. Samoilla kohdilla Linjojen ruhje yhtyy Kluuvin ruhjeeseen. Sivuhaara on tavattu kaukolämpötunnelissa Mäntymäentien alla, jossa sen laadusta tai kaateesta ei ole varmuutta. Kivilaji on ruhjeen sivuhaaran pohjoispuolella graniittia ja kiillegneissiiä, eteläpuolella graniittia. Sivuhaara jatkuu luoteeseen Olympiastadionin eteläpuolitse ja Töölön pallokentän ali. Pääruhje läpäistiin Töölönlahden pohjoispuolella vuosien 1995 ja 1996 vaihteessa pääradan alla Töölö-Alppila vesijohtotunnelilla. Poraushavaintojen perusteella kallio on alueella pehmeää ja rikkonaista. Kallionäytekairauksen mukaan kivi on massamaista ja heikosti suuntautunutta gneissiiä. Näytteessä oli havaittavissa varhaisempaa rikkoutumista ja uudelleeniskostumista. Kivessä on myös runsaasti myloniittijuonia. Töölö-Alppila

vesijohtotunnelissa ruhjeen kaateeksi on arvioitu 70 astetta itäkoilliseen. Pääkivilajina alueella on graniittia ja kallion pinnan alinta kohtaa reunustavat kiillegneissikaistaleet. Ruhjeen leveys on noin 30 metriä kalliolaadun vaihdellessa murrosrakenteisesta ruhjerakenteiseen, Ri III – Ri IV. Ruhjeen kivi poikkeaa rapautuneisuudeltaan ympäristöstä, ruhjeessa kivi on runsaasti rapautunutta, Rp 2, kun taas ympäristö rapautumatonta, Rp 0.

Ruhje kulkee Töölönlahden ali lähes pohjois-eteläsuuntaisena kohti nykytaiteen museota. Rautatieaseman itäpuolella ruhje on havaittu Sanomatalon kaivannossa (Kuva 16). Kuvan oikeassa ja vasemmassa alakulmassa näkyvät kalliomäet, joiden välissä kallionpinta painuu savikerrosten alle. Ruhje kulkenee kalliomäkien välissä. Ruhjeen kulusta voisi varmistua kartoittamalla kalliomäet ja tutkimalla havaitaanko niissä merkkejä läheisestä siirroksista.

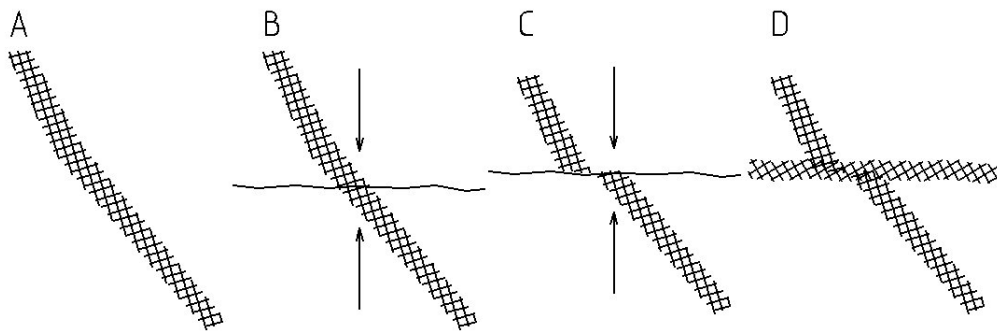


Kuva 16. Kluuvin ruhje Sanomatalon kaivannossa. Kuvan alakulmissa näkyvät kalliomäet, joiden välissä savitäytteinen painanne. (Martti Terrihauta 1997)

Rautatieaseman alueella Kluuvin ruhjetta leikkaa Metsätalon ruhje. Se lienee syntynyt Kluuvin ruhjeen jälkeen, joten se aiheuttaa Kluuvin ruhjeeseen epäjatkuvuuden (Kuva 17). Metsätalon ruhje on alun perin ollut ylityöntösiirros. Siirroksen syntyessä sitä vinottain leikkaavan Kluuvin ruhjeen pohjoispuoli on painunut eteläpuolen alle. Vähitellen eteläpuoli on kulunut samalle tasolle kuin pohjoispuoli. Tämän seurauksena nykyisellä maanpinnan tasolla pohjois- ja eteläpuolet eivät ole kohdakkain. Pääkivilajeina aseman alueella ovat graniitti, kvartsimasälpagneissi sekä granodioriitti.

Siirroksen eteläpuolelta ruhje jatkuu kaakkoon Rautatien alla. Rautatien kaakkoiskulman alapuolella metrotunnelit ylittävät Kluuvin ruhjeen. Kluuvin ruhjeen yhteydessä puhutaan usein metrotunneleista, vaikka niillä ei läpäisty Kluuvin ruhjetta kalliosta. Metrotunnelit kulkevat Kluuvin ruhjeen kohdalla kallionpinnan yläpuolella maakerrosten läpi valurautatunneleina. Ruhje muodostaa tällä kohdalla noin 15 – 20

metriä syvän laakson. Varsinaisen ruhjeen kaade on noin 65 astetta itään. Ruhjeen itäpuolella voidaan havaita useita samansuuntaisia heikkousvyöhykkeitä. Kallioperä on ruhjeessa mekaanisesti rapautunutta breksiaa ja täysin jauhautunutta kiviainesta. Kallio on osittain uudelleen kiteytynyt jopa kohtalaisen lujaksi. Kallion myöhemmät liikkeet ovat aikaansaaneet runsasta rakoilua heikkousvyöhykkeen molemmilla puolilla. Kalliosta on tapahtunut myös kemiallisia muutoksia, jolloin on syntynyt heikkousvyöhykkeelle ominaisia mineraaleja kuten epidootia ja kloriittia. Rapautumisen tuloksena on syntynyt myös savimineraaleja, joista osa paisuvahilaisia. Rakotäytteinä on lisäksi karbonaatteja. Ruhjeen itäpuolella vallitsevana kivilajina on massarakenteinen graniitti ja länsipuolella liuskeosarakenteinen gneissivaltainen migmatiitti. (Geoteknillinen toimisto 1975)

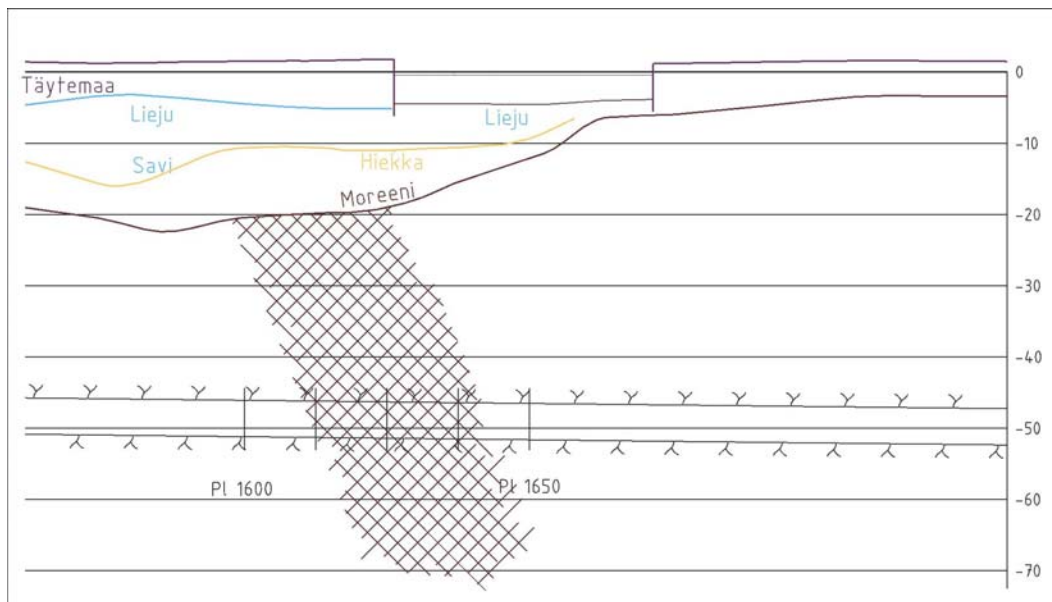


Kuva 17. Epäjatkuvuuden muodostuminen Kluuvin ruhjeeseen. A Kluuvin ruhje on muodostunut vanhaan siirrokseen. B Pohjois-eteläsuuntaisen voiman vaikutuksesta kallio murtuu itä-länsisuunnassa. C Murtuneen kohdan eteläpuoli työntyy pohjoispuolen päälle. Syntyy ylityöntösiirros. Samalla Kluuvin ruhjeen etelä- ja pohjoispuolet joutuvat kauemmaksi toisistaan. D Itä-länsisuuntaisesta siirroksista muodostuu Metsätalon ruhje.

Ruhje jatkuu edelleen kohti kaakkoa vanhaa Kluuvinlahtea pitkin. Yliopistonkadun ja Pohjoisesplanadin välillä Kluuvin ruhje leikkaa useita itä-länsisuuntaisia ruhjeita.

Vuonna 1982 Kluuvin ruhje läpäistiin jäteveden poistotunnelilla. Tunneli läpäisee ruhjeen koillis-lounais-suuntaisena eli lähes kohtisuoraan ruhjeen kulkua vastaan noin 80 metriä Pohjoisesplanadin ja Unioninkadun alapuolella. Alue on Kluuvin ja Aleksanterinkadun ruhjeiden risteysaluetta, joten tunnelissa voidaan havaita useita eri ruhjesuuntia ja alueen tulkinta on vaikeaa. Pääsuunnaksi on tulkittu Kluuvin ruhjeen kulku ja kaateeksi noin 70 astetta itään. Heikkousvyöhykkeen leveys tunnelissa on noin 160 metriä kalliolaadun vaihdellessa murrosrakenteisesta savirakenteiseen. Rapautuneisuus vaihtelee vähän rapautuneesta täysin rapautuneeseen.

Vuonna 2004 Kluuvin ruhje läpäistiin yhteiskäyttötunnelilla Kolera-altaan alla (Kuva 18). Työnaikana ruhjeesta kerättiin yksityiskohtaista tietoa tunnusteluporauksilla, vesimenekkikokeilla, savi- ja vesinäytteillä, kartoituksilla sekä valokuvaamalla. Lisäksi ruhjeen kivistä tehtiin ohuthieitä, joista tutkittiin siirroskivien mikroskooppista rakennetta. Kartoitukset ja valokuvaus pyrittiin suorittamaan jokaisen katkon irrottamisen jälkeen ennen ruiskubetonointia.



Kuva 18. Kluuvin ruhjeen tunneliläpäisy Kolera-altaan alla. (Viitala ja Vänskä 2004)

Tunnusteluporauksista saatiin porareiden tulkinta kallion laadusta. Poratessa tehdyt havainnot auttoivat ennakoimaan muutoksia, jotka tulisivat vaikuttamaan louhintaan ja lujitukseen. Tunnusteluporauksissa havaittiin kallion laadun vaihtelevan ruhjeen alueella laajoissa rajoissa. Paikoin kivi oli melko kiinteää, mutta vaihtui nopeasti pehmeäksi. Porausten perusteella ei voitu tulkita selkeitä yhtenäisiä heikkousvyöhykkeitä, vaan kalliossa havaittiin lukuisia erisuuntaisia ja -laatuksia rakoja sekä heikkousvyöhykkeitä, joiden jatkuvuus ja ominaisuudet vaihtelivat voimakkaasti. Tunnusteluporaukset ovat vaikeasti tulkittavissa, eivätkä muutokset kiven porattavuudessa aina kerro suoraan kallion laadusta. Poraukset tuovat kuitenkin esille sekä jyrkät muutokset laadussa että kallion epähomogeenisuuden.

Louhinnan aikana kalliosta otettiin savi- ja vesinäytteitä. Savinäytteistä tutkittiin paisuvahilaisten savien esiintyminen. Vapaa paisuminen Kluuvin ruhjeen savilla oli suurimmillaan 100 % eli savi oli vähän aktiivista. Tarkemmissa kokeissa paisuntapaineeksi saatiin kuitenkin selvästi alle 50 kilopascalaa, minkä perusteella voidaan sanoa ettei ruhjeen savi ole aktiivista. Saven pH-arvoksi mitattiin 7,3 – 7,4.

Tunnelissa olevista tippuvuodoista otettiin vesinäytteet paaluilta 1615 ja 1678. Vesinäytteitä tutkimalla voitiin selvittää onko tunneli yhteydessä yläpuoliseen Kolera-altaaseen. Lisäksi selvittämällä veden ominaisuuksia voitiin varautua mahdolliseen korroosioon. Paalulta 1615 otetusta näytteestä tutkittiin pH-arvon lisäksi noin 50 alkuaineen ja yhdisteen pitoisuudet (Taulukko 1). Näytteen pH oli 8,0.

Taulukko 1. Vesinäyteanalyysin tulokset.

Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	K	Li
µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l
<0.2	<50	<2	458	54.5	<5	<1	<0.3	<0.5	38.7	42.4
Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Th	Tl	U	V
µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
298	2.06	3.68	<0.5	20.1	<1	<50	<0.2	<0.1	561	<2
Zn	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Na	P	S	Si	Sr
µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
31.9	195	<0.02	0.01	<0.03	105	1360	<0.05	89.0	4.32	2.35
Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm
µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
<0.03	<0.03	<0.05	<0.04	<0.05	<0.025	<0.015	<0.015	<0.05	<0.025	<0.05
Tb	Tm	Yb	pH	EC	Br	Cl	F	SO ₄	NO ₃	Alk
µg/l	µg/l	µg/l	mS/m 25°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l
<0.02	<0.01	<0.05	8.0	866	7.7	2450	10	261	<2	3.38

Vesinäytteen varaustasapaino laskettiin kaavalla

$$E(\%) = \frac{(\text{kationit} - \text{anionit})}{(\text{kationit} + \text{anionit})} * 100\% \quad (1)$$

Kationien ja anionien konsentraatioiden yksiköt, mg/l, muutettiin yksiköiksi mekv/l (Taulukko 2 ja Taulukko 3). Br⁻ Cl⁻ F⁻ SO₄²⁻ SO₄²⁻

Taulukko 2. Kationit.

	mg/l	atomipaino	mmol/l	varaus	mekv/l
K⁺	38.7	39.10	0.990	1	0.990
Ca²⁺	195	40.08	4.865	2	9.731
Mg²⁺	105	24.31	4.319	2	8.638
Na⁺	1360	23.00	59.130	1	59.130
				kationit	78.489

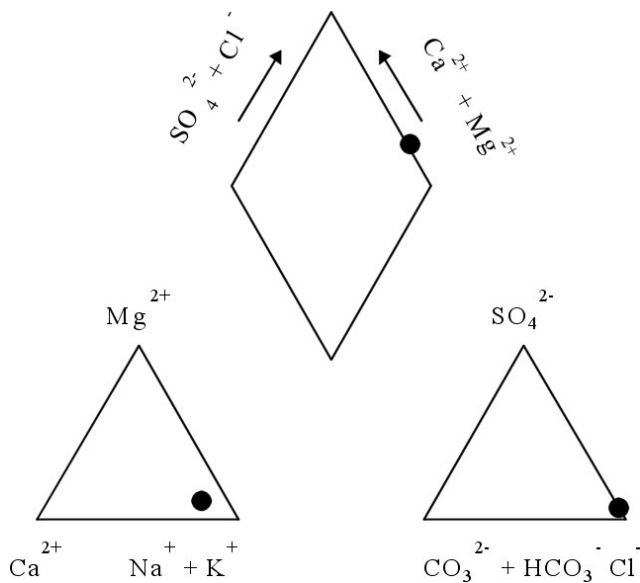
Taulukko 3. Anionit.

	mg/l	atomipaino	mmol/l	varaus	mekv/l
Br⁻	7.7	79.90	0.096	-1	-0.096
Cl⁻	2450	35.45	69.111	-1	-69.111
F⁻	10	19.00	0.526	-1	-0.526
SO₄²⁻	261	96.06	2.717	-2	-5.434

Sijoittamalla saadut kationien ja anionien kokonaispitoisuudet kaavaan 1 saatiin varaustasapainoksi 2,16 %. Arvo pysyy hyväksyttävän ± 5 % rajoissa (Hounslow 1995). Varaustasapainon lisäksi vesinäytteestä määritettiin vesityyppi Piper-diagrammin avulla (Kuva 19). Diagrammin perusteella näytteen vesityypiksi saatiin Na-Ca-Cl.

Paalulta 1678 otetusta vesinäytteestä määritettiin saliniteetti ja pH-arvo. Saliniteetti oli 3,98 ‰ ja pH 7,3.

Kummankin vesinäytteen todettiin vastaavan yläpuolella olevan Kolera-altaan vettä. Tippuvuodoista voitiin myös maistamalla havaita suolaisuus. Varsinaisten laboratoriokokeiden lisäksi pH-arvoa mitattiin muutamia kertoja indikaattoripaperilla. Näiden mittausten tulokset olivat vastaavia kuin laboratoriokokeiden tulokset. Kaikilla testeillä vesi siis vastasi Kolera-altaan vettä, joten tunnelin ja meren yhteys toisiinsa on selvä. Tulosten perusteella voidaan olettaa tunneliin vuotavan veden aiheuttavan korroosiota.

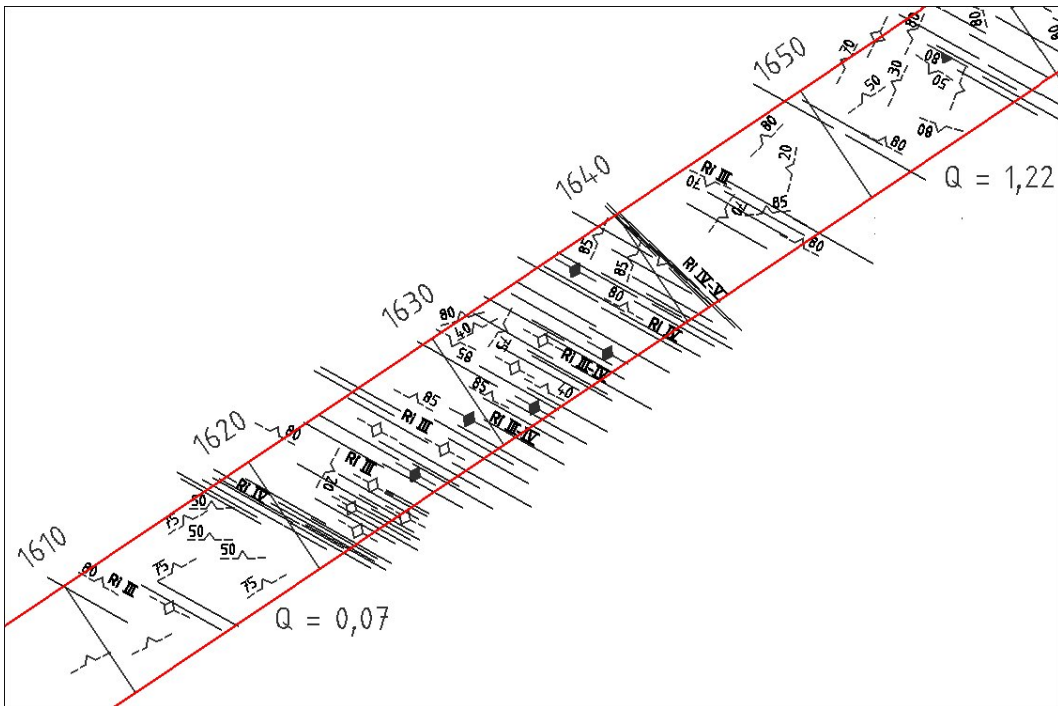


Kuva 19. Piper-diagrammi.

Louhinnanaikaiseen tutkimukseen kuuluivat myös vesimenekki kokeet. Vesimenekki oli ruhjeen alueella melko vähäistä. Näin ollen voidaan olettaa, että alueella on vain vähän avoimia rakoja. Vesimenekkiin vaikutti myös tunnelin ympärillä vallitseva vedenpaine, joka välittömästi tunnelin ympärillä vastasi meriveden painetta.

Tärkeänä osana dokumentointia olivat myös tunnelin kartoittaminen ja valokuvaaminen. Kartoitusten sekä aikaisempien ja työnaikaisten tutkimusten perusteella ruhjeen heikoimman kohdan arvioitiin sijaitsevan tunnelissa paaluvälillä 1610 – 1640 (Kuva 20). Kallio oli sekä ennen varsinaista ruhjetta että sen jälkeen rikkonaista ja vaatii lujitusta.

Louhitussa tunnelissa ruhjeen todettiin kulkevan luode-kaakkosuuntaisesti ja olevan lähes pysty. Ruhjeen kaade on noin 80 - 85 astetta koilliseen. Tunnelia leikkaavat useat murros-savirakenteiset vyöhykkeet. Ruhjeen kohdalla kalliossa on paikoin hematiittiväritys, samoin kalliosavet ovat pääasiassa hematiitin värjäämiä. Noin paalulla 1640 on punaisen, hematiittiväritteisen, saven lisäksi vaaleaa kalliosavea. Paksuimmillaan savitäytettä on noin viisi senttimetriä. Ruhjealueen vallitsevat kivilajit ovat migmatiittinen graniitti ja kiillegneissi.



Kuva 20. Yhteiskäyttötunnelin kartoitus. (Viitala ja Vänskä 2004)

Q-luku määritettiin tunnelissa muutamalle paaluvälille. Paaluvälillä 1610 – 1640 $Q < 0,1$, paalulla 1656 $Q = 1,22$ ja paalulla 1718 $Q = 4,25$. Huonoimman kohdan jälkeen Q-luku parani vähitellen mentäessä kauemmas ruhjeen sydäimestä.

Mikroskooppisessa tarkastelussa ruhjealueen päämineraaleiksi saatiin maasälvät, kvartsi sekä kloriitti. Maasälvät olivat muuttuneet voimakkaasti. Muuttumisesta kertoi myös kloriitti, biotiitin muuttumistulos. Myös mikrorakenteessa näkyi kallion voimakas rikkonaisuus, mutta toisaalta myös plastisista liikkeistä oli merkkejä.

Yhteiskäyttötunnelin läpäisyn eteläpuolella Kluuvin ruhje on kulkee kaakkoon rajaten Kaivopuiston koillisrannan. Ruhje jatkuu edelleen kohti Suomenlinnaa.

Kluuvin ruhje on voitu todeta pitkällä matkalla, ja se muodostaa leveän yhtenäisen ruhjelaakson. Sen pituuden ja yhtenäisyyden perusteella voidaan olettaa, että kallioperässä on tapahtunut sitä pitkin merkittävää siirtymää vaakasuunnassa.

Töölössä ja Pasilassa ruhjeessa on todettu sivuhaaroiksi tulkittavia haaraumia, jotka erkanevat pääruhjeesta noin 30 asteen kulmassa. Sivuhaaroissa kaateen kulmat ovat samansuuruisia kuin pääruhjeessa. Rautatieaseman alla Metsätalon ruhje katkaisee Kluuvin ruhjeen, jolloin on syntynyt noin 200 metrin siirtymä. Kluuvin ruhje jatkuu ominaisuuksiltaan samanlaisena sekä Metsätalon ruhjeen pohjois- että eteläpuolella.

Kluuvin ruhjeen keskiosa on havaintokohteissa huomattavan rikkonainen ja rapautunut. Savipitoista murskaleista kalliomassaa on tavallisesti usean metrin paksuudelta. Ruhjeessa on tapahtunut uudelleenkiteytymistä ja sen jälkeistä särkymistä vaihtelevassa määrin. Ruhjeen ydinosaan molemmin puolin kallioperä on rikkonaista. Rikkonaisuus, rapautuneisuus ja uudelleenkiteytyminen viittaavat siihen, että Kluuvin ruhje on ollut siirrosvyöhykkeenä pitkään aktiivinen ja että uusia liikuntoja on tapahtunut pitkien rauhallisten kausien jälkeen.

Ruhjeen ominaisuudet vaihtelevat myös kivilajiympäristön mukaan. Myös se, kuinka rikkonainen ruhjeen ympäristö on, riippuu alueen kivilajeista. Esimerkiksi Tähtitorninmäen kohdalla kallio on varsin ehjää, vaikka ruhje kulkee lähellä mäkeä.

4.2 Aleksanterinkadun ruhje

Aleksanterinkadun ruhje kulkee nimensä mukaan Aleksanterinkadun suuntaisesti. Ruhje puhkeaa kallion pintaan hieman kadun eteläpuolella (Liite 4). Ruhje voidaan havaita useista kallionäytekairauksista, tunnelihavainnoista ja kalliopinnan topografiasta.

Lännessä ruhje alkanee Kluuvin ruhjeesta, sillä sitä ei ole todettu Keskuskadun alle louhitussa yhteiskäyttötunnelissa. Idempänä ruhje on todettu useassa kohdassa, ja se jatkuu meren alla aiheuttaen Katajanokan pohjoisrannan kalliojyrkänteet. Tunnelihavaintojen perusteella ruhje on kaateeltaan noin 70 astetta etelään.

Aleksanterinkadun ruhjeen ja Kluuvin ruhjeen arvioidaan leikkaavan toisiaan Aleksanterinkadun ja Kluuvikadun risteyksen paikkeilla. Leikkauskohta näkyy selvänä kalliopainanteena. Alueella tehdyissä kallionäytekairauksissa on havaittu useita heikkousvyöhykkeitä. Kairauksista ei kuitenkaan voida tarkasti erottaa ruhjeita toisistaan, koska niiden leikkauskohdassa kallio on hyvin rikkonaista ja erilaisia vyöhykkeitä on useissa suunnissa.

Aleksanterinkadun ruhjeeseen on tehty useita kallionäytekairauksia myös Keskustan huoltotunnelin tutkimusten yhteydessä. Kairaustietojen perusteella ruhjeen sijaintia on voitu tarkentaa ja sen ominaisuuksista on saatu lisää tietoa. Kairauksissa on lisäksi havaittu, että kallion on rikkonaista ja raot hematiittitäytteisiä myös varsinaisen ruhjeen pohjoispuolella.

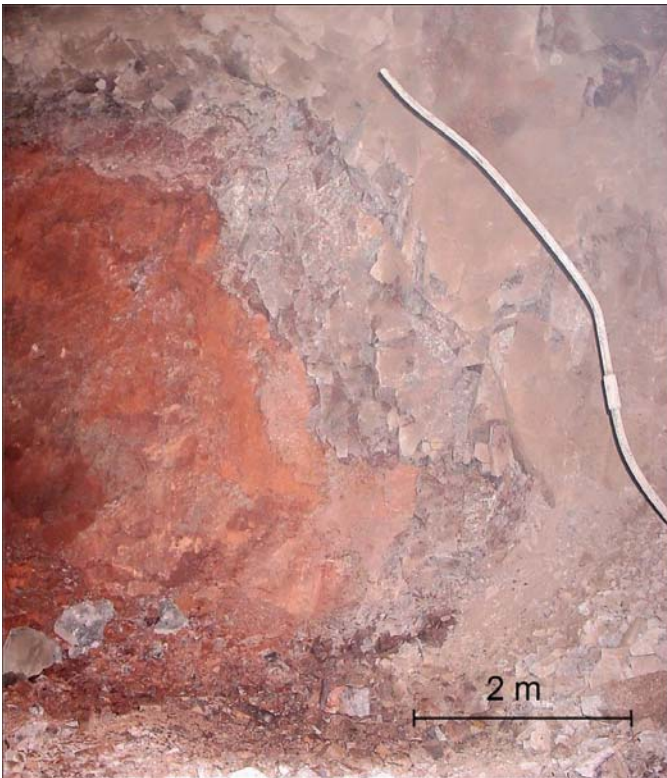
Senaatintorin kaakkoispuolella kallion pinta putoaa selvästi. Tällä alueella leikkaavat Aleksanterinkadun ja Eteläsataman ruhjeet sekä Snellmaninkadun suuntaisesti kulkeva ruhje. Tarkempia tietoja alueen kallioperästä ei ole.

Myös jätevesien poistotunneli ja sitä varten Unioninkadun alle tehty kallionäytekairaus osunevat Aleksanterinkadun ruhjeeseen. Tällä alueella Aleksanterinkadun ruhje ja Kluuvin ruhje kulkevat lähellä toisiaan. Aleksanterinkadun ruhjeen kaade on etelään ja Kluuvin ruhjeen kaade koilliseen, joten syvälle mentäessä ruhjeet leikkaavat toisiaan.

Jätevesien poistotunnelissa rikkonaista kalliota on yhteensä noin 160 metriä. Kallionlaatu vaihtelee tällä alueella murrosrakenteisesta savirakenteiseen ja kiven rapautuneisuus rapautumattomasta täysin rapautuneeseen. Kivilaji on ruhjeen kummallakin puolella pääasiassa graniittia. Ruhjeen pohjoispuolella on graniittia ja amfiboliittia, keskellä ruhjealuetta tavataan näiden lisäksi kiillegneissia ja kvartsidioriittia, ja ruhjeen eteläpuolella tavataan graniitin lisäksi kiillegneissia.

Aleksanterinkadun ruhje on havaittu myös Ritaripuistosta tehdyssä kairauksessa. Kivilajeina tällä alueella ovat migmatiitti, myloniittinen migmatiitti sekä myloniitti. Kallio on rapautunutta ja pieneksi särkynyttä sekä paikoin punertavaa.

Toinen tunnelihavainto ruhjeesta on tehty Meritullintorin eteläpuolelta, jossa yhteiskäyttötunneli läpäisi ruhjeen noin 50 metrin syvyydessä meren pinnasta (Kuva 21).



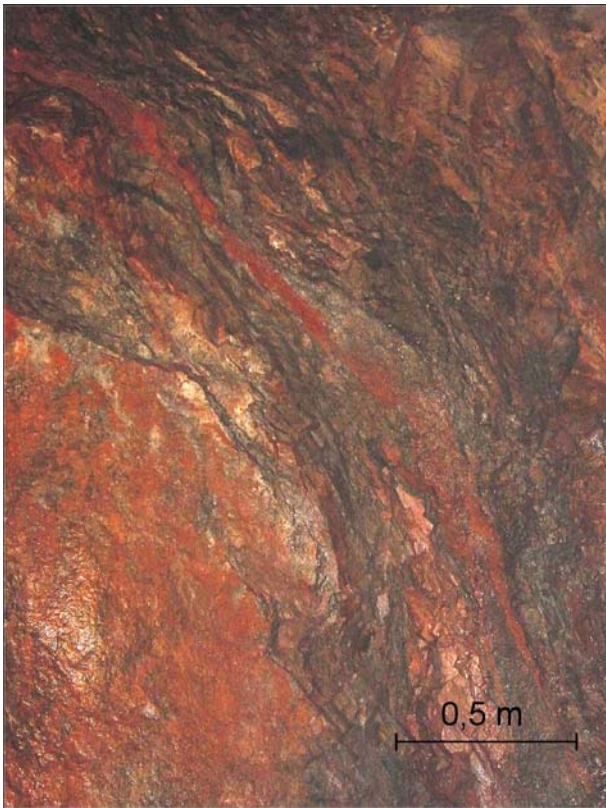
Kuva 21. Aleksanterinkadun ruhje tunnelin perässä. Kuvan vasemmassa laidassa näkyy punaista, hematiitin värjäämää savea ja keskellä rikkonaista kalliota.

Ruhje on alueella melko kapea ja selväpiirteinen, kaateeltaan noin 80 astetta etelään. Tunnelia leikkaa noin kymmenen senttimetrin levyinen savitäytteinen rako. Savitäytteisen raon eteläpuolella on noin metrin levyinen ruhjerakenteinen alue ja raon jälkeen alle kymmenen metriä murros ja ruhjerakenteista kalliota. Tälläkin alueella rakotäytteenä on hematiittia. Ruhjeen jälkeen on noin kymmenen metrin päässä uusi savitäytteinen rako. Tämän raon ympärillä kallio ei ole yhtä rikkonaista kuin varsinaisessa ruhjeessa. Kallio on kuitenkin suuntautunutta sekä hematiitin värjäämää (Kuva 22).

Yhteiskäyttötunnelia varten suoritetussa kallionäytekairauksessa Kanava P-1 havaittiin 8 metrin levyinen ruhje-savirakenteinen vyöhyke. Tällä kohdalla kallio on runsaasti rapautunutta ja lähes täysin moroutunutta, kalliosta esiintyy myös runsaasti kaoliinia. Kivilaji alueella on pääasiassa pieni-keskirakeista graniittia. (Pussinen ja Jokinen 2003)

Tunneli ja kallionäytekairaus läpäisevät ruhjeen hyvin lähellä toisiaan. Kairaus antaa kalliosta rikkonaisemman ja selväpiirteisemmän kuvan kuin tunneliläpäisy. Tämä voi johtua siitä että kallion laatu on muuttunut alueella nopeasti. Todennäköisempää on kuitenkin se että kallionäytekairauksen tulokinnassa kivi on vaikuttanut heikommalta kuin se on todellisuudessa ollut. Kairaus on suoritettu melko suoraan liuskeisuutta vastaan ja näin ollen kallion todennäköisesti ehjin suunta on kairauksella rikottu.

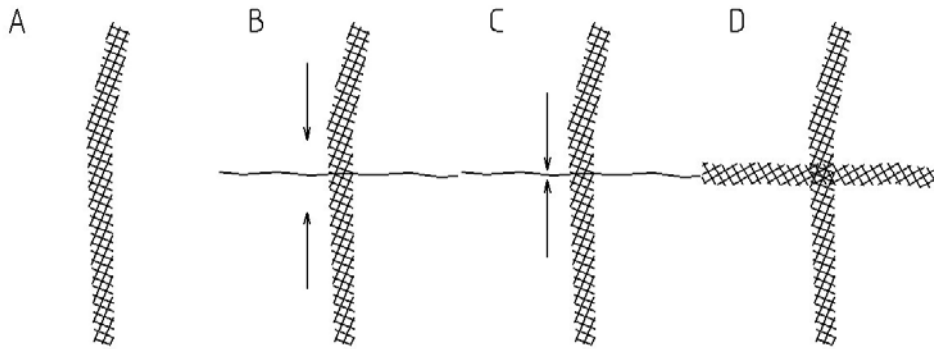
Katajanokan pohjoispuoleisella merialueella kallion pinta laskee jyrkästi yli 30 metrin syvyyteen. Näin ollen voidaan olettaa että ruhje jatkuu Meritullintorilta edelleen itään rajaten Katajanokan pohjoisrannan.



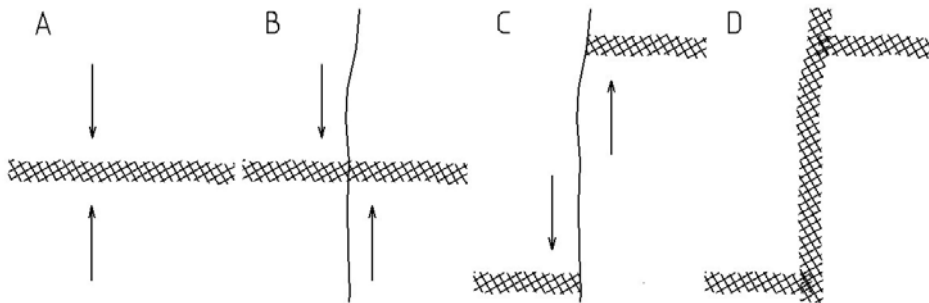
Kuva 22. Aleksanterinkadun ruhjeen suuntainen ruhjerakenteinen vyöhyke.

Aleksanterinkadun ruhje kuuluu Helsingin itä-länsisuuntaisten ruhjeiden ryhmään. Ruhjeen kulku ja kaade noudattelevat alueellista liuskeisten kivilajien kulkua ja kaadetta. Lännessä ruhje katkennee Kluuvin ruhjeeseen, joten voidaan olettaa Aleksanterinkadun ruhjeen syntyneen ennen Kluuvin ruhjetta. Kluuvin ruhjeen muodostuessa Aleksanterinkadun ruhjeen länsiosa on siirtynyt. Mahdollisen länsiosan sijaintia ei tunneta.

Pohjoisrannan ruhje leikkaa Aleksanterinkadun ruhjetta Kanavarannassa. Todennäköisesti Pohjoisrannan ruhje on syntynyt ennen Aleksanterinkadun ruhjetta, koska leikkauskohdassa ei ole juuri havaittavissa vaakasiirtymää (Kuva 23). Pohjoisrannan ruhje lienee syntynyt kohtaan, jossa raon eripuolet ovat siirtyneet vaakasuunnassa toisiinsa nähden. Jos Aleksanterinkadun ruhje olisi vanhempi kuin Pohjoisrannan ruhje, eivät sen itä- ja länsipuolet näin ollen olisi kohdakkain (Kuva 24).

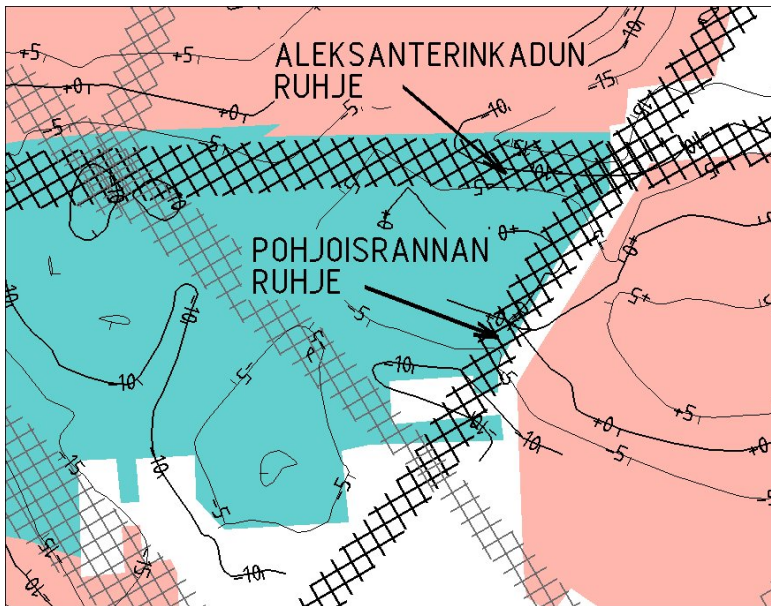


Kuva 23. Itä-länsisuuntaisen ruhjeen muodostuminen. A Pohjois-eteläsuuntaiseen siirrokseen muodostunut ruhje. B Pohjois-eteläsuuntaiset voimat saavat kallion murtumaan itä-länsisuunnassa. C Murtumakohdan eteläpuoli työntyy pohjoispuolen päälle muodostaen ylityöntösiirroksen. D Ylityöntösiirrokselta muodostuu itä-länsisuuntainen ruhje.



Kuva 24. Pohjois-eteläsuuntaisen ruhjeen muodostuminen. A Itä-länsisuuntaiseen siirrokseen muodostunut ruhje. B Pohjois-eteläsuuntaiset voimat saavat kallion liikkumaan pohjois-eteläsuuntaista rakoä pitkin. C Rakojen eripuolten liikkeessa toisiinsa nähden muodostuu siirros, tässä vasenkätinen sivuttaissiirros. Samalla itä-länsisuuntaisen ruhjeen itä- ja länsipuolel siirtyvät kauemmaksi toisistaan. D Sivuttaissiirrokselta muodostuu pohjois-eteläsuuntainen ruhje.

Pohjoisrannan ja Aleksanterinkadun ruhjeiden leikkauskohdasta (Kuva 25) länteen kallion pinta putoaa Aleksanterinkadun ruhjeen eteläpuolella, kun taas leikkauskohdan itäpuolella ruhjeen eteläpuolella nousevat Katajanokan kalliot ja ruhjeen pohjoispuoli putoaa. Topografian vaihtelu johtunee kivilajien erilaisesta kulumisesta. Ruhjeiden leikkauskohdan länsipuolella on vallitsevana kivilajina kiillegneissiä kun taas itäpuolella graniittia. Katajanokan kova graniitti on kulunut vähemmän kuin kiillegneissi. Katajanokan kalliot ovat todennäköisesti nousseet ylityöntösiirroksen syntyessä.

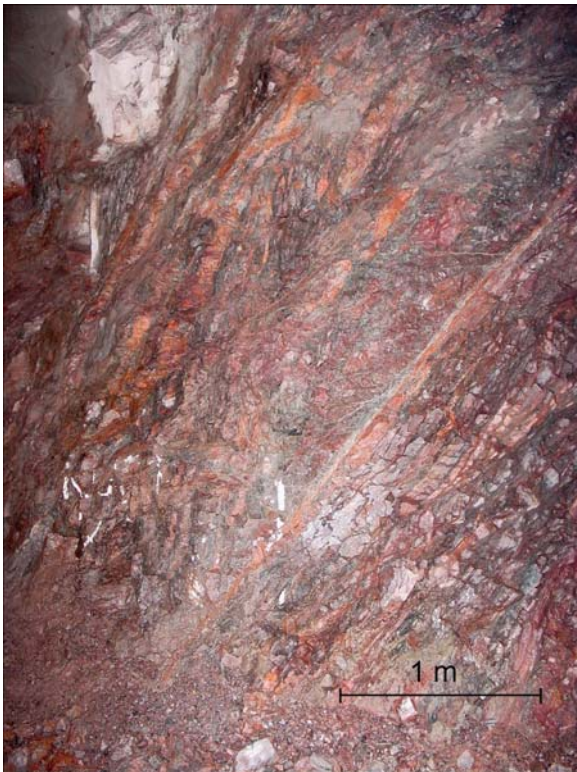


Kuva 25. Aleksanterinkadun ruhjeen ja Pohjoisrannan ruhjeen leikkauskohta Kanavarannassa.

4.3 Bulevardin ruhje

Bulevardin ruhje kulkee koillis-lounaissuuntaisesti Esplanadin puiston ja Ruotsalaisen teatterin ali kohti Vanhaa kirkkopuistoa kääntyen samalla Bulevardin alle (Liite 5). Ruhjeen kaade on noin 70 astetta kaakkoon.

Itäisin tunneliläpäisy Bulevardin ruhjeesta on tehty yhteiskäyttötunnelilla maaliskuussa 2004 (Kuva 26). Ruhje leikkaa tunnelia Esplanadin puiston alapuolella, ruhjeen kaade on 65 astetta kaakkoon.

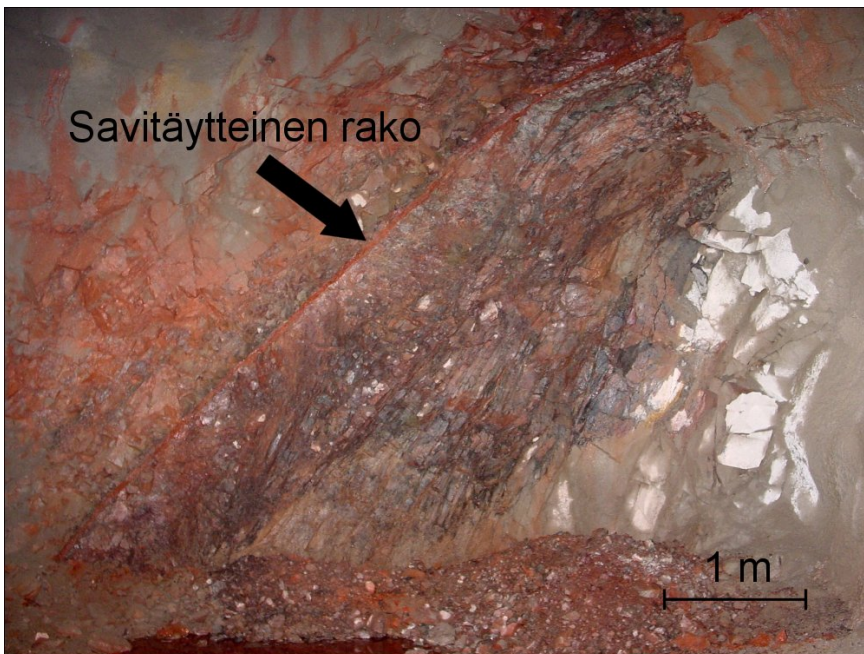


Kuva 26. Bulevardin ruhje yhteiskäyttötunnelin vasemmassa seinässä.

Ruhje näkyy tunnelissa noin neljän metrin levyisenä murros-ruhjerakenteisena vyöhykkeenä, jossa on viiden senttimetrin levyinen savitäytteinen rako (Kuva 12). Kallio on alueella voimakkaasti suuntautunutta. Raot ovat savitäytteisiä ja hematitiin värjäämiä. Varsinaisen ruhjeen lisäksi voidaan havaita yhdensuuntaisia rakenteita, tunnelissa on nähtävissä noin neljä metriä ennen ruhjetta ruhjeen suuntainen puolen metrin levyinen ruhjerakenteinen vyöhyke.

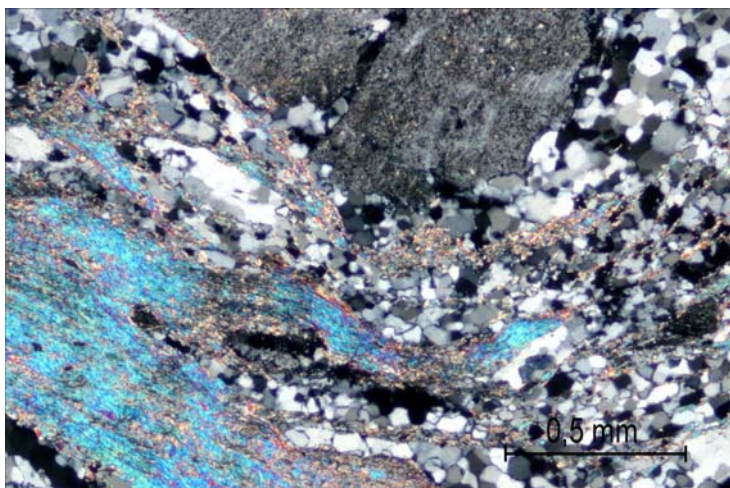
Lähellä tunnelihavaintoa on tehty metrolinjojen esisuunnitteluvaiheessa kallionäytekairaus, joka läpäisee Bulevardin ruhjeen. Kalliota on kuvattu tällä alueella rapautuneeksi ja pieneksi särkyneeksi, myös kloriittivyöhykkeitä on havaittu. Lisäksi kalliota on kuvattu punertavaksi, joka sopii hyvin tunnelista tehtyihin havaintoihin.

Seuraavaksi yhteiskäyttötunneli läpäisee ruhjeen Vanhan kirkkopuiston alla (Kuva 27). Ruhje on hyvin samanlainen kuin Esplanadin puiston alla. Ruhjeessa on tälläkin kohtaa havaittavissa paksu savitäytteinen rako. Ruhjeen kaade on 70 astetta kaakkoon. Heikoimmillaan kallio on savirakenteista, pääasiassa kuitenkin murros-ruhjerakenteista. Ruhjeen savi on hematitiin värjäämää.



Kuva 27. Bulevardin ruhje yhteiskäyttötunnelin Kampin haaran perässä.

Yhteiskäyttötunnelissa ruhjeesta otettiin Vanhan kirkkopuiston alla kaksi näytettä, joista tehtiin ohuthieet. Näyte numero 4168 on väritään tumma. Mikroskooppitarkastelussa päämineraaleiksi havaittiin plagioklaasi, biotiitti ja kvartsi. Plagioklaasi on muuttunut paikoin serisiitiksi ja karbonaatiksi, biotiitti puolestaan kloriitiksi. Rakenteeltaan kivi on rikkonaista ja kohtalaisen suuntautunutta. Sekä mikro- että makrorakoja on paljon. Näyte numero 4169 (Kuva 28) on väritään vaalea. Päämineraaleina siinä ovat kvartsi ja plagioklaasi. Plagioklaasi on monin paikoin muuttunut serisiitiksi. Myös karbonaattia on havaittavissa plagioklaasin muuttumistuloksena. Rakenteeltaan kivi on vastaavaa kuin näytteessä 4168, tosin tässä näytteessä on huomattavasti suurempia maasälpä- ja kvartsikiteitä kuin edellisessä näytteessä. Mikroskooppitarkastelussa kivistä voidaan havaita merkkejä plastisesta liikkeestä sekä myöhemmästä särkymisestä.



Kuva 28. Hie nro 4169.

Kolmas tunnelihavainto Bulevardin ruhjeesta on tehty viemäritunnelissa, joka läpäisee ruhjeen Bulevardin ja Uudenmaankadun välissä, lähellä Sinerbrychoffin puistoa. Kallio on tällä alueella parempaa kuin edellisissä tunnelilävistyksissä, rakenteeltaan rako-murrosrakenteista. Tunnelissa on havaittavissa kaksi noin kymmenen metrin levyistä heikkousvyöhykettä, joiden välissä kivi on ehjempää. Toinen vyöhykkeistä vastaa kaateeltaan, 75 astetta kaakkoon, hyvin edellisiä havaintoja ruhjeesta. Toinen vyöhyke poikkeaa kaateen suunnaltaan, 65 astetta luoteeseen, varsinaisesta Bulevardin ruhjeesta.

Kallionpinnan topografian perusteella ruhje jatkuu kalliopainannetta pitkin kohti Hietalahtea.

Bulevardin ruhje kuuluu Helsingin koillis-lounaisuuntaisiin ruhjeisiin. Ruhjeen kulku ja kaade poikkeavat vallitsevasta kivilajien liuskeisuuden suunnasta erityisesti Mannerheimintien lounaispuolella.

Bulevardin ruhje alkaa Kluuvin ruhjeesta tai sen läheisyydestä. Jos ruhje alkaa Kluuvin ruhjeesta, on oletettavaa että se on syntynyt ennen Kluuvin ruhjetta ja jatkuu mahdollisesti sen toisella puolella. Ruhjeen mahdollinen itäosa on kuitenkin siirtynyt Kluuvin ruhjeen muodostuessa, eikä sen sijaintia tunneta.

Vanhan kirkkopuiston alueella ruhjelaakso on laaja-alainen ja loivareunainen. Tämäkin voisi merkitä ruhjeen olevan vanhempi kuin monet muut Helsingin alueen ruhjeista.

4.4 Metsätalon ruhje

Metsätalon ruhje (Liite 6), vanhalta nimeltään Puutarhakadun ruhje, kulkee lähes itä-länsisuuntaisena Kruununhaasta Rautatieaseman ali kohti Lapinlahtea. Ruhje on läpäisty usealla kalliotunnelilla, ja se näkyy paikoin selvästi kallion pinnan topografiassa.

Kruununhaassa Metsätalon ruhje on läpäisty viemäritunnelilla Liisankadun ja Meritullinkadun risteyksessä ja jäteveden poistotunnelilla Unioninkadun alla. Ruhje näkyy poistotunnelissa kymmenen metrin levyisenä ruhje-savirakenteisena vyöhykkeenä, jonka kaade on 55 astetta etelään. Pääkivilajeina tällä alueella ovat amfiboliitti, graniitti ja kvartsidioriitti.

Rautatietorin itäpuolella ruhje on läpäisty usealla kallionäytekairauksella. Kairauksissa ruhje näkyy ruhjerakenteisena vyöhykkeenä. Myös Kluuvin huoltotunneli sekä metrotunnelit läpäisevät ruhjeen. Huoltotunnelissa on havaittu 1,8 metrin levyinen ruhje-savirakenteinen vyöhyke, jonka kaade on 60 astetta etelään.

Metsätalon ruhje on läpäisty myös Eduskunnan lisärakennuksen alapuolella viemäritunnelilla. Tunnelissa on rako- ja murrosrakenteisia vyöhykkeitä yli sadan metrin matkalla. Alueen rakoilu on pääasiassa pystyä, kallio on seoksista ja liuskeisuudeltaan kohtalaista, kivilajeina vaihtelevat graniitti ja kiillegneissi. Rapautuneisuus vaihtelee rapautumattomasta runsaasti rapautuneeseen.

Lisärakennuksen länsipuolelta ei ruhjeesta ole juuri havaintoja, mutta topografian perusteella ruhje jatkuu kohti Lapinlahtea.

Metsätalon ruhje kuuluu itä-länsisuuntaisiin ruhjeisiin ja noudattelee melko hyvin alueen suuntautuneiden kivilajien liuskeisuuden kulkua. Ruhje on kaateeltaan, paikoin noin 55 astetta, selvästi loivempi kuin useimmat Helsingin itä-länsisuuntaisista ruhjeista. Ruhjeessa esiintyy kalliosavea, breksiarakenteisuutta ja myloniittia. Vyöhykkeen molemmin puolin esiintyy savitäytteisiä rakoja.

4.5 Arkadian ruhje

Arkadian ruhje kulkee itä-länsisuuntaisena ratapihan itäpuolelta kohti Taivallahtea (Liite 6). Kaateeltaan ruhje vaihtelee 70 asteesta pystyyn, kaatuen etelään.

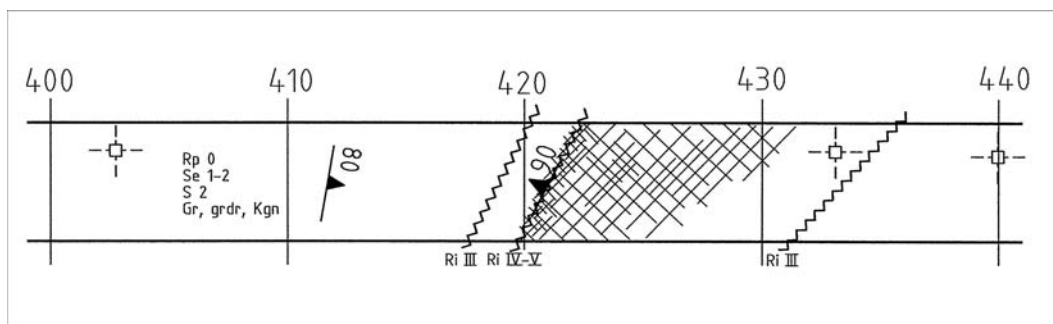
Ensimmäiset havainnot ruhjeen itäosasta ovat Kaisaniemenkadun ja Unioninkadun risteysalueen kairauksista. Samalla alueella ruhje läpäistään myös jätevesien poistotunnelilla sekä metrotunneleilla. Tunneleissa on havaittu rikkonaisuutta tällä alueella. Rakojen kaade on 70 astetta etelään. Hieman idempänä kulkevassa kaukolämpötunnelissa ruhje ei enää ole havaittavissa. Länteenpäin mentäessä ruhjeen kulku noudattelee kalliolaaksoa Kaisaniemenpuiston alapuolella.

Töölönlahdenkadun alapuolella ruhje on läpäisty viemäritunnelilla. Ruhje leikkaa tunnelia lähes kohtisuorassa. Kallio on tällä kohdalla ruhje-savirakenteista ja kivi on runsaasti rapautunutta. Ruhjeen kaade on 70 astetta etelään.

Seuraavaksi ruhje on havaittu viemäritunnelissa Mannerheimintien ja Karamzininkadun risteysalueen läheisyydessä. Ruhje leikkaa viemäritunnelia melko kohtisuorassa. Alueella on useita kymmeniä metrejä murrosrakenteista kalliota, heikoin kohta on muutaman metrin levyinen ruhjerakenteinen vyöhyke. Rapautuminen vaihtelee täysin rapautuneesta runsaasti rapautuneeseen. Rakoilu alueella on pystyä.

Ruhje on havaittu myös Eduskuntatalon väestönsuojassa. Ruhje kulkee väestönsuojan katossa. Kallion pintaan ruhje puhkeaa väestönsuojan päällä olevan kallion reunassa.

Ruhje jatkuu edelleen länteen ja leikkaa yhteiskäyttötunnelin Tempelikadun ja Lutherinkadun risteysalueen kohdalla. Ruhje on tällä kohdalla geologisen kartoituksen mukaan lähes pysty ja noin kymmenen metriä leveä. Kallio on alueella rakenteeltaan ruhje-savirakenteista (Kuva 29).



Kuva 29. Geologinen kartoitus Kamppi-Ruskeasuo yhteiskäyttötunnelista.

Ruhjeesta ei ole havaintoja Kamppi–Ruskeasuo yhteiskäyttötunnelin länsipuolelta. On kuitenkin oletettavaa että ruhje jatkuu edelleen kohti Taivallahtea.

Arkadian ruhje kuuluu Aleksanterinkadun ruhjeen tapaan Helsingin itä-länsisuuntaisten ruhjeiden ryhmään. Arkadian ja Kluuvin ruhjeiden leikkauskohdasta ei ole niin paljon tietoa että voitaisiin määrittää varmasti kumpi niistä on vanhempi. Oletuksena voidaan esittää että Arkadian ruhje on syntynyt myöhemmin kuin Kluuvin ruhje eikä ole aiheuttanut Kluuvin ruhjeeseen juurikaan vaakasiirtymää, koska on muodostunut ylityöntösiirrokseen. Jos Kluuvin ruhje olisi syntynyt myöhemmin, ei Arkadian ruhje olisi havaittavissa niin selvästi Kluuvin ruhjeen molemmilla puolilla. Näin ollen Aleksanterinkadun ruhje ja Arkadian ruhje eivät olisi syntyneet samaan aikaan vaikka ovatkin hyvin samansuuntaisia ruhjeita.

4.6 Kampin ruhje

Kampin ruhje kulkee lähes itä-länsisuuntaisena Kampin alueella (Liite 6). Kampin ruhje alkaa Kluuvin ruhjeesta ja yhtyy Runeberginkadun länsipuolella Kansakoulukadun ruhjeeseen.

Linja-autoasemalle tulee itäkoillisesta Kampin ruhjeen aiheuttama kalliopainanne. Topografiasta nähdään, että painanne alkaa Kluuvin ruhjeesta ja jatkuu linja-autoasemalta lounaaseen.

Vanhan linja-autoaseman alapuolella viemäritunneli on läpäissyt Kampin ruhjeen. Alueella on noin 25 metrin levyinen rako-murrosrakenteinen melko pysty vyöhyke, jossa kiven rapautuneisuus vaihtelee rapautumattomasta runsaasti rapautuneeseen.

Myös Kampin keskuksen kaivannossa on rakennusgeologisessa kartoituksessa havaittu useita melko pystyjä murros-ruhjerakenteisia vyöhykkeitä. Samoin Kampin metroasemalla kulkee useita heikkousvyöhykkeitä.

Ruhje haarautunee linja-autoaseman alueella useisiin kapeampiin ruhjevyyhykkeisiin, joiden välillä kallio on ehjempää. Ruhje osittain noudattelee ja osittain leikkaa alueellista suuntautuneiden kivilajien liuskeisuutta.

4.7 Hakaniemen kauppahallin ruhje

Hakaniemen kauppahallin ruhje kulkee Säästöpankinrannasta Ympyrätalon eteläpuolelta kohti kauppahallia lähes itä-länsisuuntaisena (Liite 7). Kauppahallin itäpuolella ruhje kaartuu vähitellen koilliseen Näkinkujalle. Näkinkujan jälkeen ruhje tekee mutkan ja jatkaa kulkuaan kaakkoon kohti Sörnäisten rantatietä.

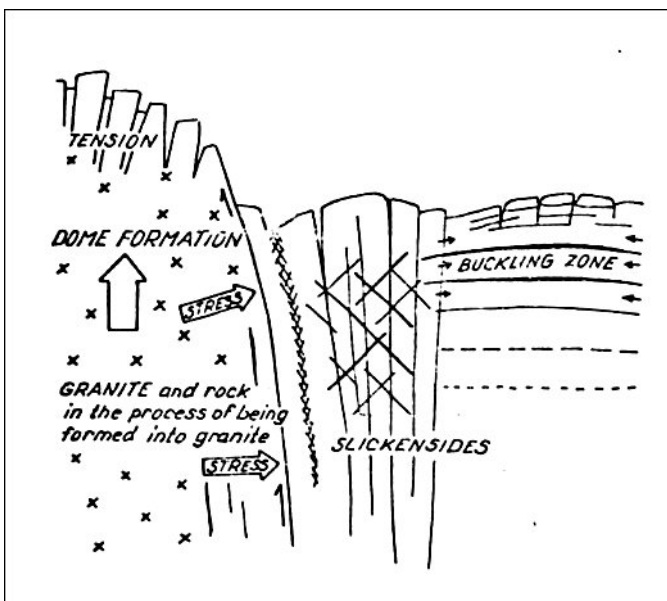
Hakaniemen kauppahallin ruhjeen länsiosista ei juuri ole havaintoja topografian lisäksi.

Hakaniemen metron kartoituksen yhteydessä 1970-luvulla Hakaniemen kauppahallin ruhje paikannettiin alueella tehtyjen kallionäytekairausten avulla. Ruhje tavattiin Säästöpankinrannassa Ympyrätalon vierestä. Vallitsevana kivilajina alueella on migmatiitti, joka koostuu punaisesta keski-karkearakeisesta graniitti-gneissistä sekä amfiboliitista. Yleisin rakosuunta on liuskeisuuden mukainen. Kairausten perusteella ruhjeen ydinosa on savirakenteista ja sen molemmin puolin on ruhjerakenteiset vyöhykkeet, yhteensä ruhje on noin 20 metriä leveä.

Jätevesien poistotunnelin louhinnan yhteydessä vuonna 1984 Hakaniemen kauppahallin ruhje tavattiin Näkinkujan alla. Tunnelissa havaitaan alle kymmenen metriä leveä savirakenteinen vyöhyke. Kallio on alueella seoksista ja heikosti suuntautunutta sekä täysin rapautunutta. Kivilaji on lähinnä migmatiittigraniittia, rakoilu vaihtelee kaateeltaan 70 asteesta pystyyn ja kaatuu etelään.

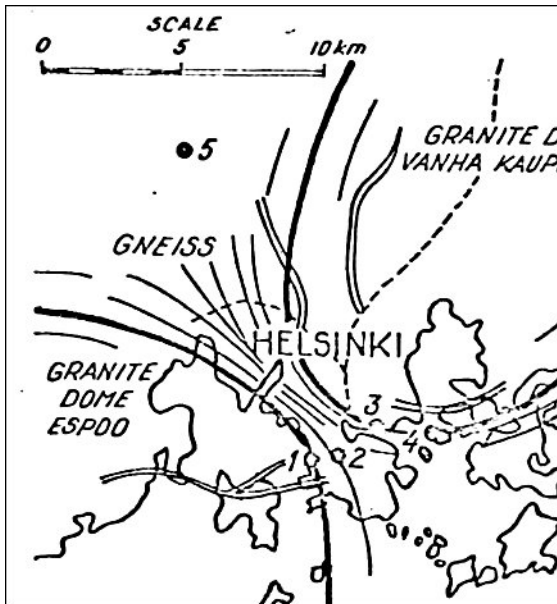
Yhteiskäyttötunnelin louhinnan yhteydessä vuonna 1987 Hakaniemen kauppahallin ruhje tavattiin Sörnäisten rantatiellä sijaitsevan liikerakennuksen alla. Tunnelissa on noin 25 metrin levyinen murros-ruhjerakenteinen vyöhyke. Kallio on alueella seoksista ja suuntautumaton. Rapautuminen vaihtelee vähän rapautuneesta runsaasti rapautuneeseen. Ruhje on alueella melko pysty. Kivilaji alueella on lähinnä migmatiittigraniittia. Ruhje jatkuu Sörnäisten rantatieltä edelleen itään.

Hakaniemen kauppahallin ruhjeen synty liittyyneen Helsingin alueella tapahtuneeseen doomimuodostukseen, jossa suuret graniittimassiivit ovat verkkaisesti nousseet ylöspäin. Doomin yläosassa syntyy vetojännitystä, jonka seurauksena tapahtuu lähes pystysuoria lohkoliikuntoja. Vaakasuora puristus aiheuttaa doomin reunaosissa ja ympäristössä diagonaalirakoilua sekä vaakasuoraa rakoilua pullistumavyöhykkeessä (Kuva 30). Doomeja ympäröivät ruhjevyyhykkeet, jotka usein leikkaavat vanhempia, orogeenian aikana syntyneitä, rakenteita. (Anttikoski ja Saraste 1978).



Kuva 30. Doomimuodostus voi aiheuttaa kallioperään vaakasuoraa puristusjännitystä. (Anttikoski ja Saraste 1978)

Hakaniemen kauppahallin ruhje sijaitsee lähellä Vanhankaupungin graniittidomia (Kuva 31), joten on oletettavaa että ruhjeen synty liittyy tämän doomin muodostumiseen.



Kuva 31. Helsingin doomien sijainti. (Anttikoski ja Saraste 1978)

4.8 Linjojen ruhje

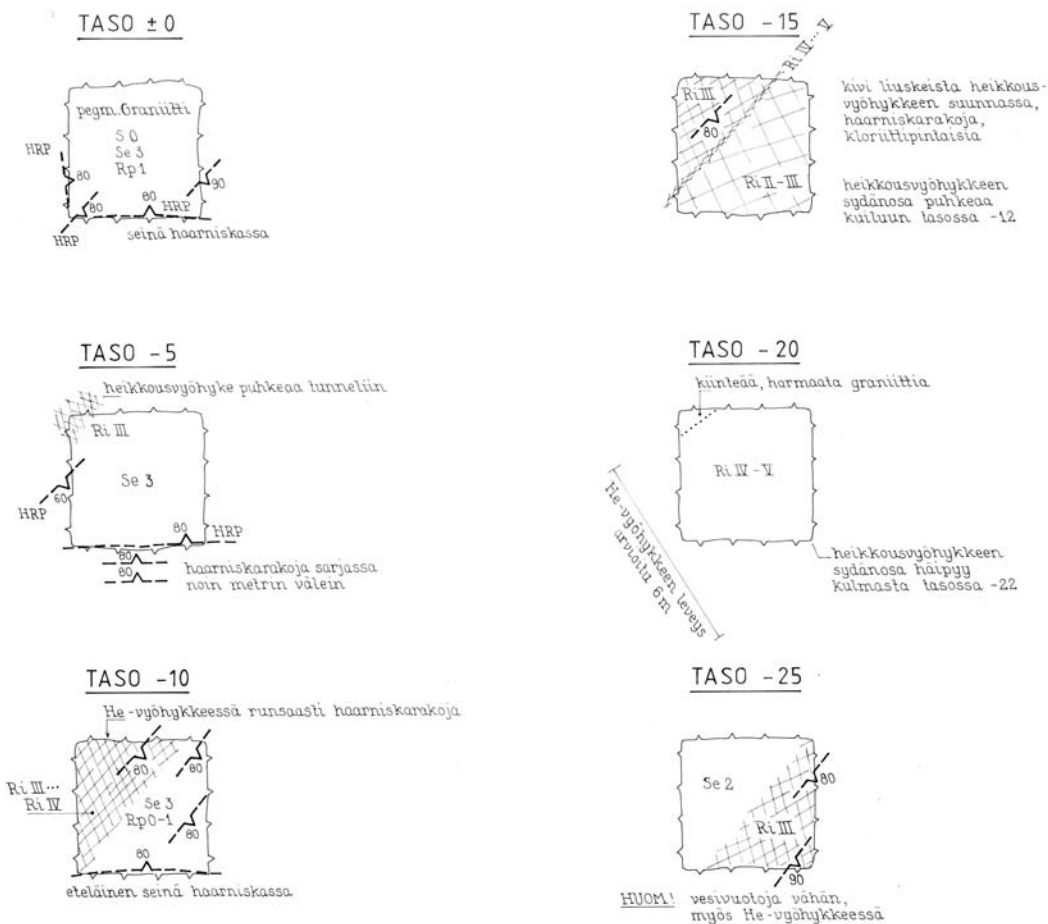
Linjojen ruhje on Kallion kaupunginosan eteläosassa, Hakaniemen pohjoispuolella, kulkeva itä-länsisuuntainen kaareva ruhjevyöhyke (Liite 7). Ruhje on paikannettu useasta tunnelista ja kalliopinnan topografiasta. Ruhjeen paikantamisessa on käytetty hyväksi myös kallionäyttekairausten ja seismisten luotausten tulkitintoja. Ruhje on paikannettavissa Hanasaaren rannasta länteen, Kallion linjojen alta kohti Töölönlahden luoteiskulmaa. Töölönlahden kohdalla Linjojen ruhje yhtyy Kluuvin ruhjeeseen.

Hanasaaren lahdella on tehty seismisiä tutkimuksia 1985, joiden mukaan Linjojen ruhje jatkuu kohti Sompasaaren pohjoisosaa.

Yhteiskäyttötunnelin louhinnan yhteydessä vuonna 1987 Linjojen ruhje tavattiin Haapaniemen pystykuilussa (Kuva 32). Pystykuilussa on tehty rakennusgeologinen kartoitus, jossa kallion on havaittu olevan murros-savirakenteista. Ruhjeen kaateeksi saadaan noin 60 astetta kaakkoon.

Jätevesien poistotunnelissa ruhje tavattiin lähellä Haapaniemenkatua. Ruhje näkyy tunnelissa alle kymmenen metrin levyisenä ruhjerakenteisena vyöhykkeenä. Kivi on alueella täysin rapautunutta. Ruhjeen kaade on noin 60 astetta kaakkoon. Kivilaji alueella on pääasiassa migmatiittista graniittia.

Hakaniemen metroaseman rakennusgeologisen kartoituksen yhteydessä ruhje on tavattu pohjoisen lippuhallin kohdalta. Kalliossa esiintyy paikoin runsaasti murros-ruhjerakenteisia vyöhykkeitä. Pääkivilajeina lippuhallin kohdalla ovat kiillegneissi, graniitti sekä migmatiittigraniitti. Graniitti on paikoin unakiittiutunutta.



Kuva 32. Haapaniemenkadun pystykuilu. (Geotekninen osasto 1988)

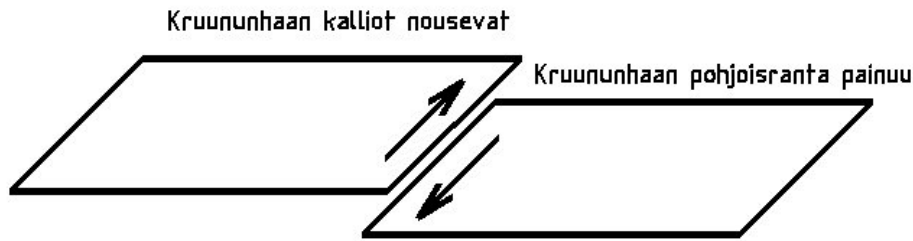
Kallionäytekairauksilla Linjojen ruhje on leikattu Ympyrätalon pohjoispuolella, Siltasaarenkadulla. Ruhjeen kohdalla kivi on rapautunutta punaista graniittia, jossa on mukana runsaasti kalliosavea. Lisäksi ruhjeessa esiintyy rakotäytteinä epidoottia, karbonatiittia ja uudelleen kiteytyneitä kvartsia.

Linjojen ruhjeen synty liittyyneen samaan doomimuodostukseen kuin Hakaniemen kauppahallin ruhjeen synty. Linjojen ruhjeen kaareva muoto sopii hyvin doomimuodostuksen yhteydessä syntyneelle rakenteelle.

4.9 Siltasalmen ruhje

Siltasalmen ruhje kulkee itä-länsisuunnassa rajaten Kruununhaan pohjoisrantaa, kaartaa Kaisaniemenlahden eteläosassa luoteeseen kohti Töölönlahtea ja jatkuu edelleen kohti Meilahtea (Liite 6).

Siltasalmen ruhje kulkee Kruununhaan pohjoisrantaa pitkin. Ruhje ei puhkeaa kallion pintaan Siltavuorensalmen syvimässä kohdassa vaan nimenomaan salmen etelärannassa. Salmessa pääkivilajina on kiillegneissi, joka on kulunut ympäristöään nopeammin. Näin on muodostunut painanne Kruununhaan sitkeään amfiboliitin ja kovan kvartsi-maasälpagneissin pohjoispuolelle. Lisäksi topografian taustalla voi olla alkuperäisen siirroksen rakenne. Siltasalmen ruhje on muodostunut itä-länsisuuntaisesta ylityöntösiirroksista. Siirroksen pohjoispuoli on työntynyt eteläpuolen alle, jolloin eteläpuolen kalliot ovat nousseet ylös. (Kuva 33)



Kuva 33. Poikkileikkaus ylityöntösiirroksesta.

Jätevesien poistotunneli leikkaa Siltasalmen ruhjetta Siltavuorenrannassa, Pitkänsillan alla. Tunnelissa on havaittu noin 20 metrin levyinen rako-
murrosrakenteinen vyöhyke. Rakoilu alueella on lähes pystyä ja leikkaa tunnelia kohtisuorassa. Vallitsevana kivilajina alueella on migmatiittinen graniitti. Myös metrotunnelit läpäisevät ruhjeen samalla kohdalla, mutta huomattavasti ylempänä kuin poistotunneli.

Ruhje kaartaa luoteeseen rajaten Kaisaniemenlahden etelä- ja lounaisrannan. Siltasalmen ruhje ja Hakaniemen kauppahallin ruhje leikkaavat toisiaan pääradan alla. Kallion pinta on tällä kohdalla yli kolmenkymmenen metrin syvyydessä. Töölönlahden pohjassa Siltasalmen ruhje leikkaa Kluuvin ruhjetta, myös tällä alueella kallion pinta sukeltaa hyvin syvälle. Töölönlahden länsipuolella ruhje on havaittu viemäritunnelissa Mäntymäen eteläpuolella. Kallion topografian perusteella voidaan olettaa ruhjeen jatkuvan Urheilukadun suuntaisesti.

Siltasalmen ruhje noudattelee alueella vallitsevaa suuntautuneiden kivilajien kulkua ja kaadetta. Siltasalmen ruhjeen ja muiden ruhjeiden leikkauskohdista ei ole havaintoja, koska painanteet ovat niin syvällä. Näin ollen ei voida määrittää ruhjeiden ikäjärjestystä. Voidaan kuitenkin päätellä, että Kluuvin ruhje lienee vanhempi kuin Siltasalmen ruhje, koska Siltasalmen ruhjeessa ei ole siirrosta Kluuvin ruhjeen kohdalla. Kluuvin ruhjeeseen ei ole todennäköisesti syntynyt juurikaan vaakasiirtymää Siltasalmen ruhjeen kohdalle, koska Siltasalmen ruhje on muodostunut ylityöntösiirroksista.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Ruhjeet ovat syntyneet kallioperässä tapahtuneiden liikuntojen seurauksena. Svekofennisen orogenian alkuvaiheessa kallio käyttäytyi plastisesti. Magmaattisen aktiivisuuden heikettyä ja silloisen maan pintaleikkauksen kohotessa alkoi kallioperän jäähtyminen. Jäähtymisestä ja paineen alenemisesta johtuen kalliomassa ei enää käyttäytynyt yhtä plastisesti kuin aikaisemmin, vaan kasvava puristusvoima aiheutti kalliomassojen murtumisen. Kallion pintaosissa syntyi siirrosvyöhykkeitä. Useimpien Helsingin alueen siirrosvyöhykkeiden oletetaan syntyneen pohjois-eteläsuuntaisen puristusvoiman vaikutuksesta. Näin on syntynyt koillis-lounassuuntaisia ja luode-kaakko-suuntaisia sivuttaissiirroksia ja itä-länsisuuntaisia ylityöntösiirroksia.

Siirroksien syntyessä kallio rikkoutui, ja näin ollen siirrosvyöhykkeet olivat alttiita rapautumiselle ja hydrotermisille muutoksille. Erilaisten liikuntojen, rapautumisen, hydrotermisen muuttumisen sekä uudelleenkitäytymisen seurauksena siirrosvyöhykkeistä muodostui vähitellen ruhjeita.

Ruhjevyöhykkeiden keskellä kiviaines on tiheärakoista ja se on usein hiertynyt kalliosaveksi. Ympäristössä esiintyy täytteisiä rakoja sekä usein myös tektonista breksiaa.

Ympäristöään rikkonaisempina ruhjeet ovat kuluneet muuta kalliota nopeammin. Jääkausi on paikoitellen vielä korostanut kallion muotoja puhdistamalla ruhjelaaksot. Useimmat ruhjevyöhykkeet erottuvatkin ympäristönsä topografiasta painanteina.

Ruhjeet noudattavat tiettyjä pääsuuntia, jotka kuvaavat eri aikoina tapahtuneita liikuntoja. Ruhjeiden verkossa havaitaan säännöllisyyttä, joka näkyy useina keskenään lähes yhdensuuntaisina ruhjeina, joita leikkaavat toiset keskenään yhdensuuntaiset ruhjeet.

Ruhjelaaksot määräävät pitkälti Helsingin niemen muodon. Helsingin keskustassa havaitaan kolme ruhjevyöhykkeiden pääsuuntaa (Liite 2), joissa ruhjeet ovat muodostuneet siirrosten pääsuuntien mukaisesti: luode-kaakko-, itä-länsi- ja koillis-lounassuunnat.

Luode-kaakkoruhjelaaksosuunta määrää suureksi osaksi Helsingin niemen läntisen rantaviivan. Itä-länsisuuntaiset ruhjeet vaikuttanevat niemimaan eteläiseen rantaviivaan ja koillis-lounaisten ruhjelaaksojen vaikutukset havaitaan niemen itäisessä rantaviivassa.

Helsingin pinnanmuotoihin vaikuttavat ruhjeiden lisäksi kivilajien vaihtelu sekä viimeinen jääkausi. Kivilajien vaihdellessa myös topografia vaihtelee, pehmeät kivet ovat kuluneet muodostaen painanteita, kun taas kovat ja sitkeät kivet näkyvät kalliomäkinä.

Ruhjeiden tutkiminen ja paikantaminen ei aina ole yksinkertaista. Se on kuitenkin tärkeää, koska ruhjeet hankaloittavat kalliorakentamista. Ruhjeita on yleensä vaikeaa päästä tutkimaan maan päältä, koska ne ovat paksujen maakerrosten peittämiä. Usein ruhjeista on kuitenkin viitteitä ympäröivässä kallioissa, ja näin ollen kalliopaljastumien kartoittaminen antaa hyödyllistä tietoa läheisistä ruhjeista. Toinen ensiarvoisen tärkeä tapa tutkia ruhjeita on kartoittaa ruhjeisiin tehdyt tunneliläpäisyt huolellisesti. Tunnelien läpäisemät rikkonaiset kallioalueet joudutaan

ruiskubetonoimaan heti louhinnan jälkeen, joten tiedot ruhjeista joutuvat nopeasti piiloon.

Aina ei ole mahdollista tehdä ruhjeista havaintoja maastosta vaan täytyy turvautua olemassa oleviin karttoihin ja raportteihin. Maaperäkartoissa ruhjeet näkyvät usein pitkänomaisina savialueina. Osaan kallioperäkartoista on tehty ruhjetulkinta, joka auttaa suunnittelemaan tarkempia tutkimuksia alueen ruhjeista. Myös erilaisista seurantapiirustuksista ja geologisista kartoituksista saadaan tietoa ruhjeiden sijainnista ja ominaisuuksista. Paljon tietoa antavat myös ruhjeisiin suunnatut kallionäyttekairaukset ja kairareikien kuvaus sekä erilaiset rei'issä suoritettut mittaukset.

Helsingin keskustassa ruhjeista on saatu paljon tietoa muun muassa tunneliläpäisyistä, kallionäyttekairauksista, porakonekairauksista ja geofysikaalisista mittauksista. Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida ruhjeiden ominaisuuksia ja kulkua keskusta-alueella. Ruhjeista tehtyjen havaintojen perusteella on laadittu yhteenvetokartta keskusta-alueen ruhjeista (Liite 8), merkintöjen selitteet löytyvät liitteestä 9. Tiedot ovat vielä melko rajallisia, eikä pitkälle menevien johtopäätösten teko ruhjeista ole mahdollista. Ruhjeiden syntyjärjestystä voidaan arvioida ruhjeissa tapahtuneiden siirrostien perusteella, mutta tällainen päättely voi helposti johtaa väärin päätelmiin.

Tiedot ruhjeiden syntytavasta eivät tue olettamusta, että kallion laatu ruhjeissa muuttuisi voimakkaasti mentäessä muutamia kymmeniä metrejä syvemmälle kalliossa.

LÄHTEET

Anttikoski, U. & Saraste, A. Helsingin uusi kallioperäkartta ja sen käyttö kalliotunnelien suunnittelussa. Kalliomekaniikan päivät 1978. Vuorimiesyhdistys ry. 1978. 10s.

Geologinen tutkimuslaitos. Aeromagneettinen kartta. Q/22.91/1953/2034-06. 1953.

Geotekninen osasto. Kruununhaka-Sörnäinen yhteiskäyttötunneli. Seurantapiirustus, työnnumero 3161. 1988.

Geoteknillinen toimisto. Metrotunneli Kamppi-Siltasalmi, Kluuvin ruhje, Selostus geoteknisistä olosuhteista. 1260.2/III 1975.

Geotekninen toimisto. Helsingin geotekniset kartat, kallioperäkartta GEO 10K, mittakaava 1:10 000. 1978.

Haavisto, M. & Kukkonen, E. Maaperäkartan selitykset, Lehti 2034, Helsinki. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1975. 20 s.

Haavisto, M., Kukkonen, E. & Winterhalter, B. Maaperäkartta, lehti 2034, Helsinki. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1973.

Hartikainen, J. & Saraste, A. Kluuvin ruhjeen geologia, geotekniset selvitykset ja tarkkailumittaukset. Rakennustekniikka 4/78. 1978. s. 7-10.

Hounslow, A.W. Water quality data: analysis and interpretation, CRC Lewis Publishers. 1995.

Hyypä, E. Maaperäkartta, Helsingin ympäristö, 1:50 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1948.

Hyypä, E. Helsingin ympäristö, maaperäkartan selitys. Geologinen tutkimuslaitos. 1950. 53 s.

Hyypä, E. Helsingin seudun geologiaa. Eripainos "Helsingin kaupungin julkaisusta N:o 9, H:gin yleiskaavaehdotus". Geologinen tutkimuslaitos. 1960. 7 s.

Härme, M. Kallioperäkartta, lehti 2043, Kerava. Suomen geologinen kartta 1:100000. Geologinen tutkimuslaitos. 1969.

Härme, M. Kivilajikartta, lehti C1-D1, Helsinki. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1978a.

Härme, M. Kallioperäkartan selitys, lehti 2043, Kerava. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1978b. 51 s.

Härme, M. Kivilajikartan selitys, lehti C1-D1, Helsinki. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1980. 95 s.

Kaupunkimittausosasto, Luonnontilaismaaston kartta, kallioperäkartta. 1958.

Kauranne, L.K., Vähäsarja, P., Niini, H., Suominen, V., Uusinoka, R. & Lappalainen, P. Luku 3. Kallioperä. Teoksessa: Marsio, K., Anttikoski, U., Vuolio, R., Vuorela, M. & Saanio, V. (toim.) RIL 154-1 Tunneli- ja kalliorakennus I. 1987. s. 51-73. ISBN 951-758-115-7.

Korhonen, K-H., Gardemeister, R., Jääskeläinen, H., Niini, H. & Vähäsarja, P. Rakennusalan kallioluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 1974. 78 s. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 12. ISBN 951-38-0081-4.

Kähkönen, Y. & Lehtinen, M. Geologian peruskäsitteitä. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.). Suomen kallioperä 3000 vuosimiljoonaa. Suomen geologinen seura, 1998. s. 23-91. ISBN 952-90-9260-1.

Laitakari, I. & Saltikoff, B. Helsingin seudun kallioperä ja vanhat kaivokset, 1:50000. Geologian tutkimuskeskus. 1994.

Laitala, M. Kallioperäkartta, lehti 2034, Helsinki. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1967

Laitala, M. Helsingin kartta-alueen kallioperä, kallioperäkarttojen selitykset, lehti 2034, Helsinki. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologian tutkimuskeskus. 1991. 47 s.

Laiti, I. & Saraste, A. Selostus Helsingin keskusta-alueen geologisesta rakenteesta. Ylipainos Helsingin kaupungin metrotoimikunnan mietinnön I osasta. 1960. 7 s.

Moberg, K.A. Kertomus karttalehteen N:o 3, Helsinki. Geologinen komissioni. 1881. 59 s.

Niini, H. A study of rock fracturing in valleys of Precambrian bedrock. Fennia 97, no6, 1968.

Pajunen, M., Airo, M.-L., Elminen, T., Niemelä, R., Salmelainen, J., Vaarma, M., Wasenius, P. & Wennerström, M. Kallioperän rakennettavuusmalli taajamiin. GTK. Raportti K.21.42 / 2002 /4,5,6. Raportit I, II ja III. 01.07.1999 – 31.07.2002. 2002. 95s, 42s ja 28s.

Peltoniemi, M. Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. 1988. 411 s. ISBN 951-672-056-0.

Pussinen, V. & Jokinen J.U.S. Kallionäytekairaukset Helsingin keskustan alueella: Marraskuu 2002 – tammikuu 2003, Erottaja, Katajanokka, Kauppatori. 2003.

Uusinoka, R. Rapautumisilmiöt kallioperässä. Eripainos, Rakennusgeologinen yhdistys ry:n julkaisu. 1983. Vol.15, Raportti 12, 28 s. ISSN 0359-890X

Viitala, R. & Vänskä, P. Kluuvin ruhje ja sen läpäisy meren alla. Louhinta- ja kalliotekniikan päivät 11.-12.11.2004. 2004. 12 s.

Virkkala, K. Maaperäkartta, lehti 2043, Kerava. Suomen geologinen kartta 1:100000. Geologinen tutkimuslaitos. 1956.

Virkkala, K. Maaperäkartan selitys, lehti 2043, Kerava. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologinen tutkimuslaitos. 1956. 99 s.

LIITTEET

Liite 1 Kallioperän rakennettavuuskartan selitykset

Liite 2 Kartta: Helsingin keskustan kallioruhjeet

Liite 3 Kartta: Kluuvin ruhje

Liite 4 Kartta: Aleksanterinkadun ruhje

Liite 5 Kartta: Bulevardin ruhje

Liite 6 Kartta: Metsätalon ruhje, Arkadian ruhje, Kampin ruhje, Siltsalmen ruhje

Liite 7 Kartta: Hakaniemen kauppahallin ruhje, Linjojen ruhje

Liite 8 Kartta: Yhteenveto

Liite 9 Yhteenveto –kartan selite

RAKENNETTAVUUSKARTTA 1: 50 000

HEIKKOUSVYÖHYKKEET

Heikkousvyöhykkeiden rakennettavuusluokka on määritetty korreloimalla tunneleiden rakennettavuusluokiteltuja (RG-luokitus) vyöhykkeitä geologisesti luokiteltuihin siirroksiin paljastumilta. Luokitteluperusteita ovat lisäksi vyöhykkeen dimensio (pituus, leveys) sekä rakennetta heikentävät tekijät, kuten muuttuminen ja hauraat rakenteet. Heikkousvyöhykkeitä kartalla kuvaavat viivat on sijoitettu yleensä topografisten painanteiden keskelle. Asianomaisten rakennettavuusluokkien mukaisia heikkousvyöhykkeitä voi esiintyä sekä viivan alueella että sen lähiympäristössä.

Rakennettavuusluokka

Katkovivalla esitetyt vyöhykkeet on integroitu ja tulkittu maastohavainnoista sekä geofysikaalisesta ja tunneliaineistosta. Yhtenäisellä viivalla esitetyt vyöhykkeet ovat edellisen lisäksi paljastumalla havaitujen siirrosrakenteiden perusteella varmennettuja. Tunnelleiden maastoon jatkettua aluperin RG-luokitellut vyöhykkeet on merkitty pistekatkovivalla.

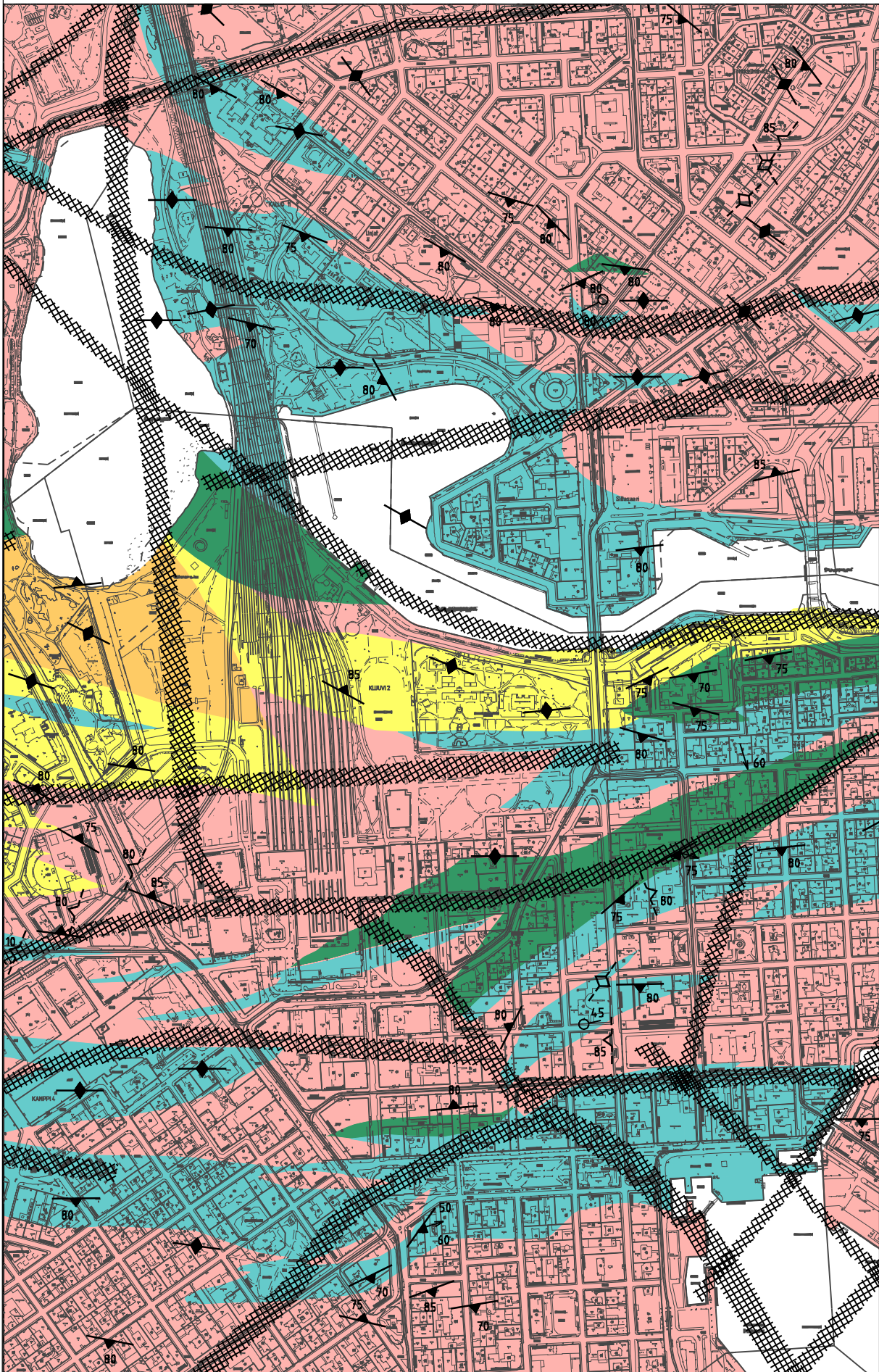
Rikkonaisuuden määrä lisääntyy ↓

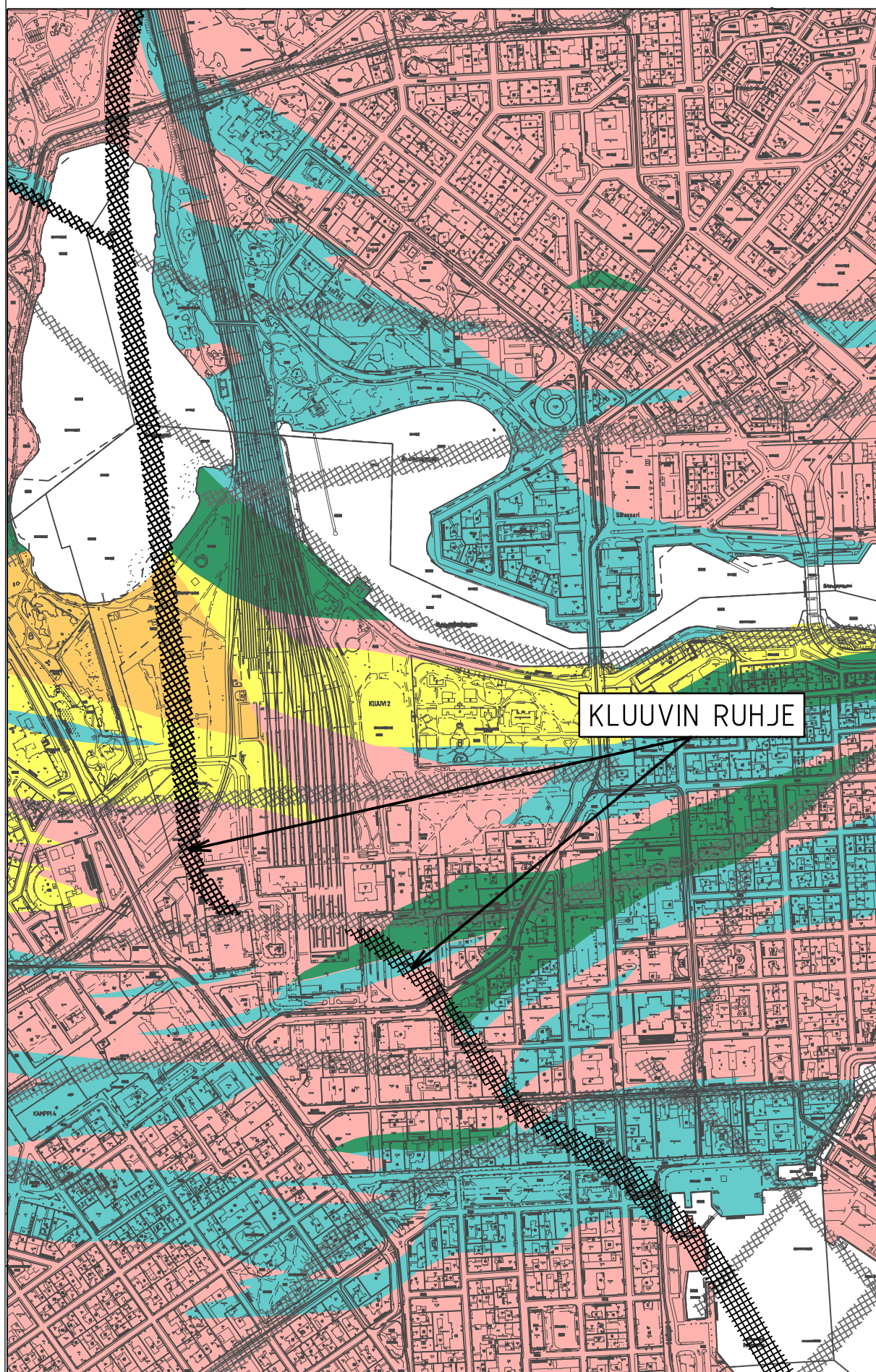
- | | |
|--|--|
| | <p>1. Kivilaatu rapautumaton tai vähän rapautunut (Rp0-1). Raot avonaisia tai savitäytteisiä. Haarniskapintoja. Pienet rakoauumat (<2 mm). Kalliolaatu RiIII-RiIV. Kohtalainen lohkokoko (>30 dm³). Rakosysteemi selvästi todettavissa. Vyöhykkeen leveys <2m. Rakoilun vedenjohtavuus heikkoa.</p> <p>2. Kivilaatu vähän tai runsaasti rapautunut (Rp1-2). Raot avonaisia tai savitäytteisiä. Haarniskapintoja. Kohtalaiset rakoauumat (2-5 mm). Kalliolaatu RiIV. Kohtalainen - pieni lohkokoko, (30-10 dm³). Rakosysteemi todettavissa heikosti. Vyöhykkeen leveys 2-5 m. Rakoilun vedenjohtavuus kohtalaista.</p> <p>3. Kivilaatu runsaasti tai täysin rapautunut (Rp2-3). Raot muru- tai savitäytteisiä. Suuret rakoauumat (>5 mm). Kalliolaatu RiIV-RiV. Pieni lohkokoko (<10 dm³). Vyöhykkeen leveys >5m. Rakoilun vedenjohtavuus suurta.</p> |
|--|--|

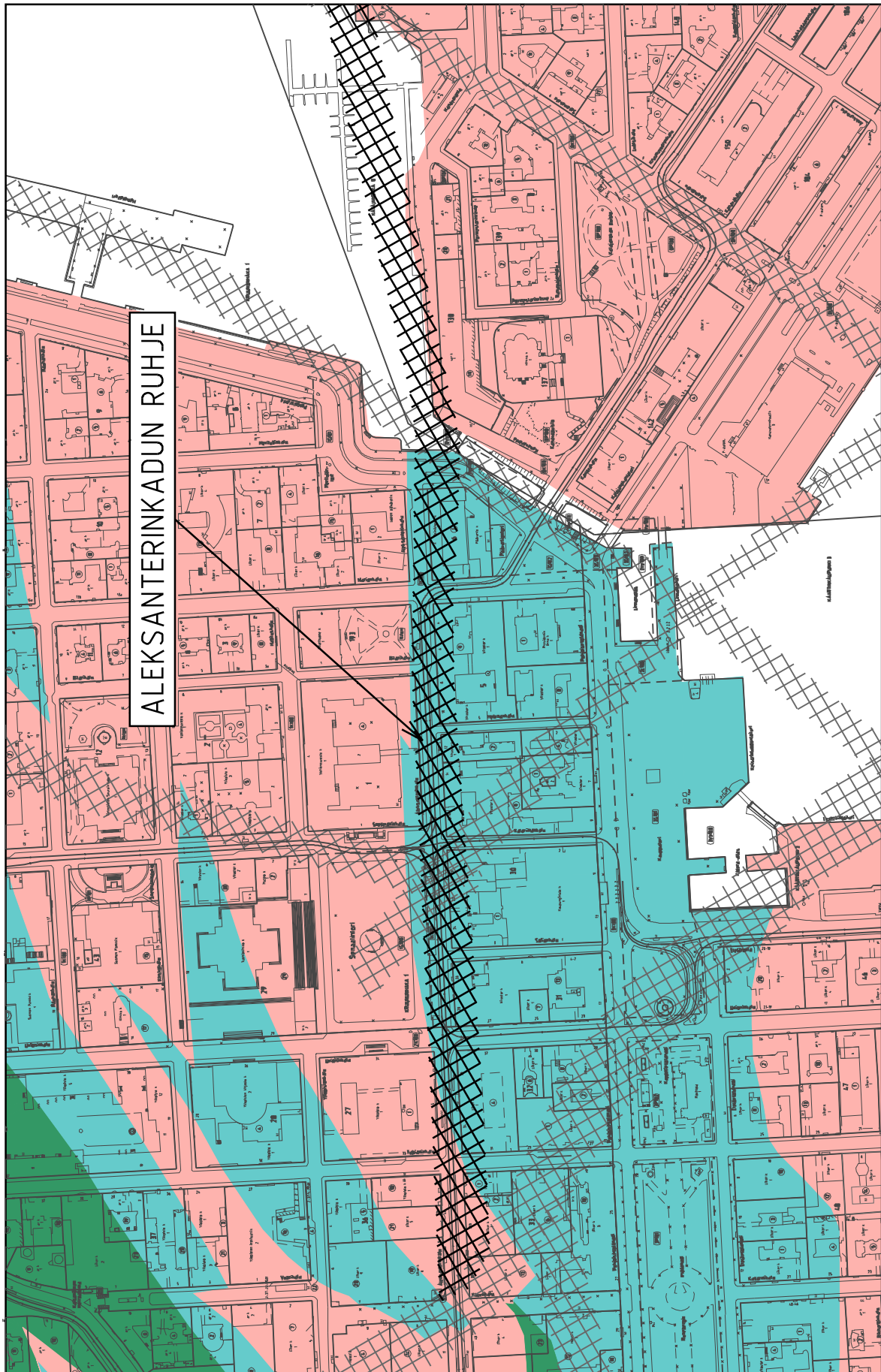
RAKOILU

Kartta-alue jaettiin rakenteeltaan ja kivilajeiltaan 94 yhtenäiseen osa-alueeseen (ks. Rakopitus kartta), joiden sisäistä rikkonaisuutta tarkasteltiin kalliopaljastumien rakoiluominaisuuksien avulla. Perusjaottelu tapahtui pääasiassa kolmen ominaisuuden perusteella: rakotiheys, rakopitus ja rakosuuntien lukumäärä. Rakotihentymien ja haarniskapintaisten rakojen runsas esiintyminen, rakopintojen heikot kitkaominaisuudet, kuten sileys, suoruus, avoimuus, rapautuneisuus ja rakojen runsas vedenjohtavuus lasivat rakennettavuusluokkaa.

Paljastuma-alueet on esitetty tummennettuna (Geologian tutkimuskeskus, maaperäkartoitusaineisto).

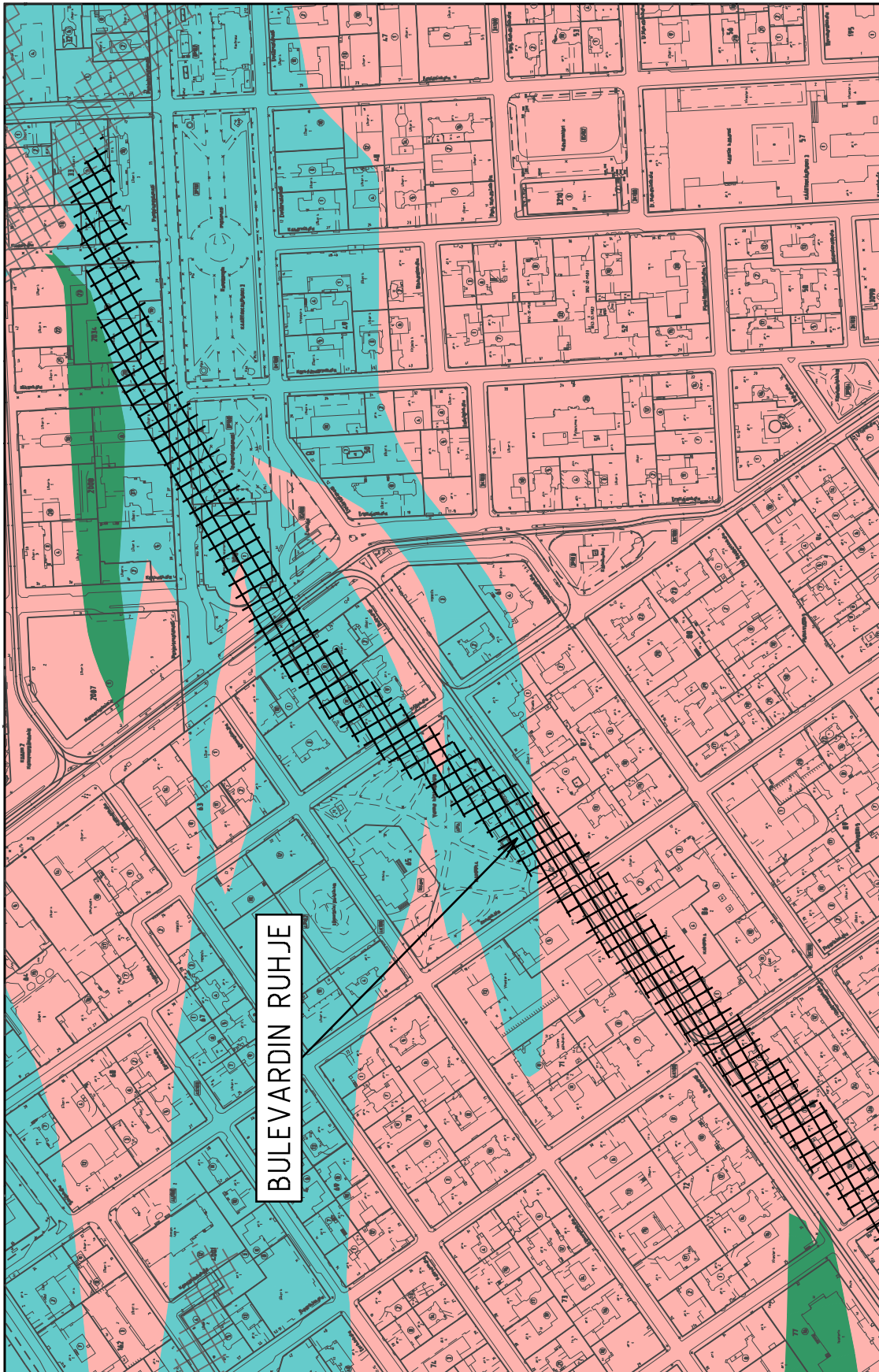






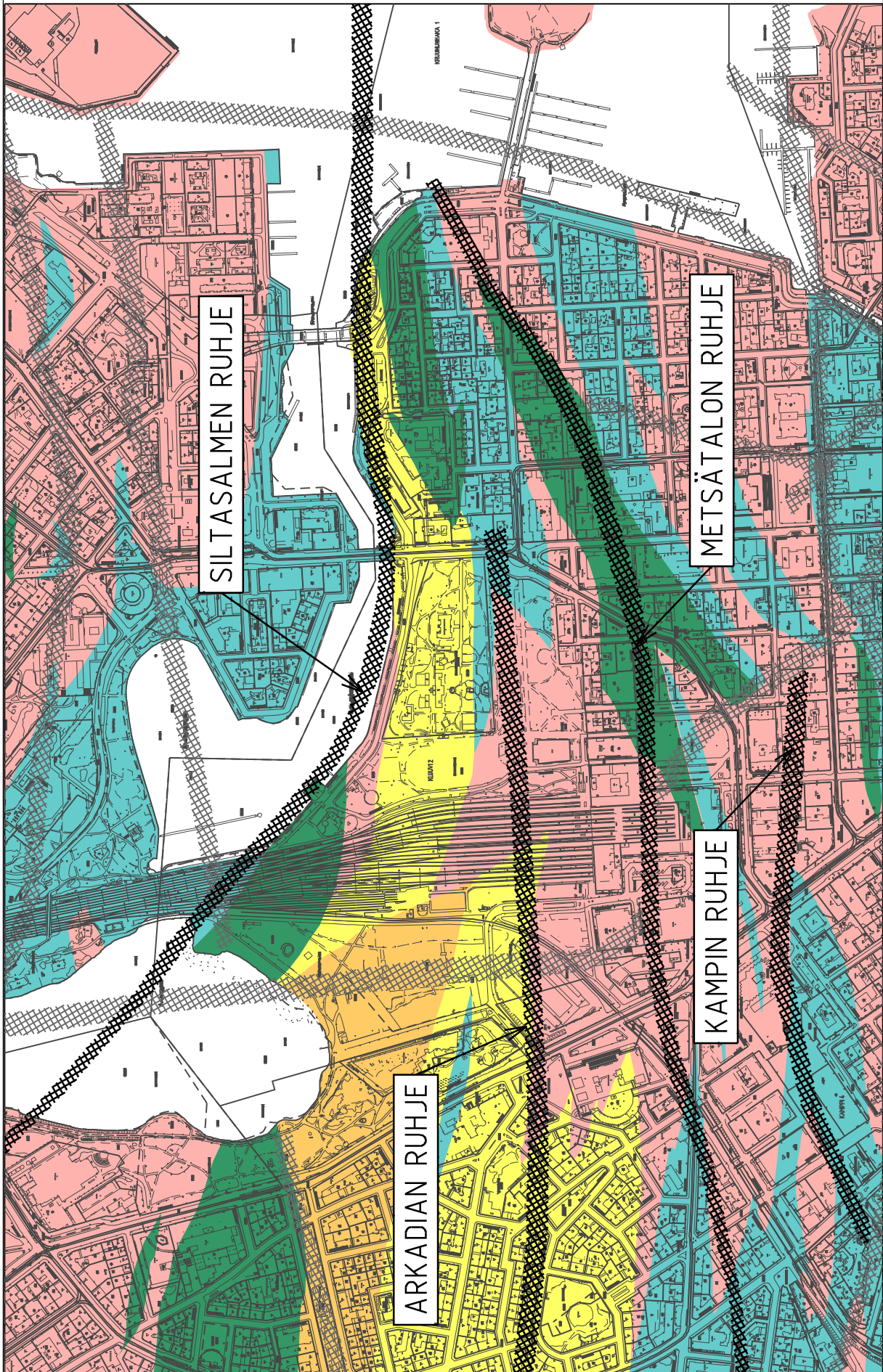
1:4 000

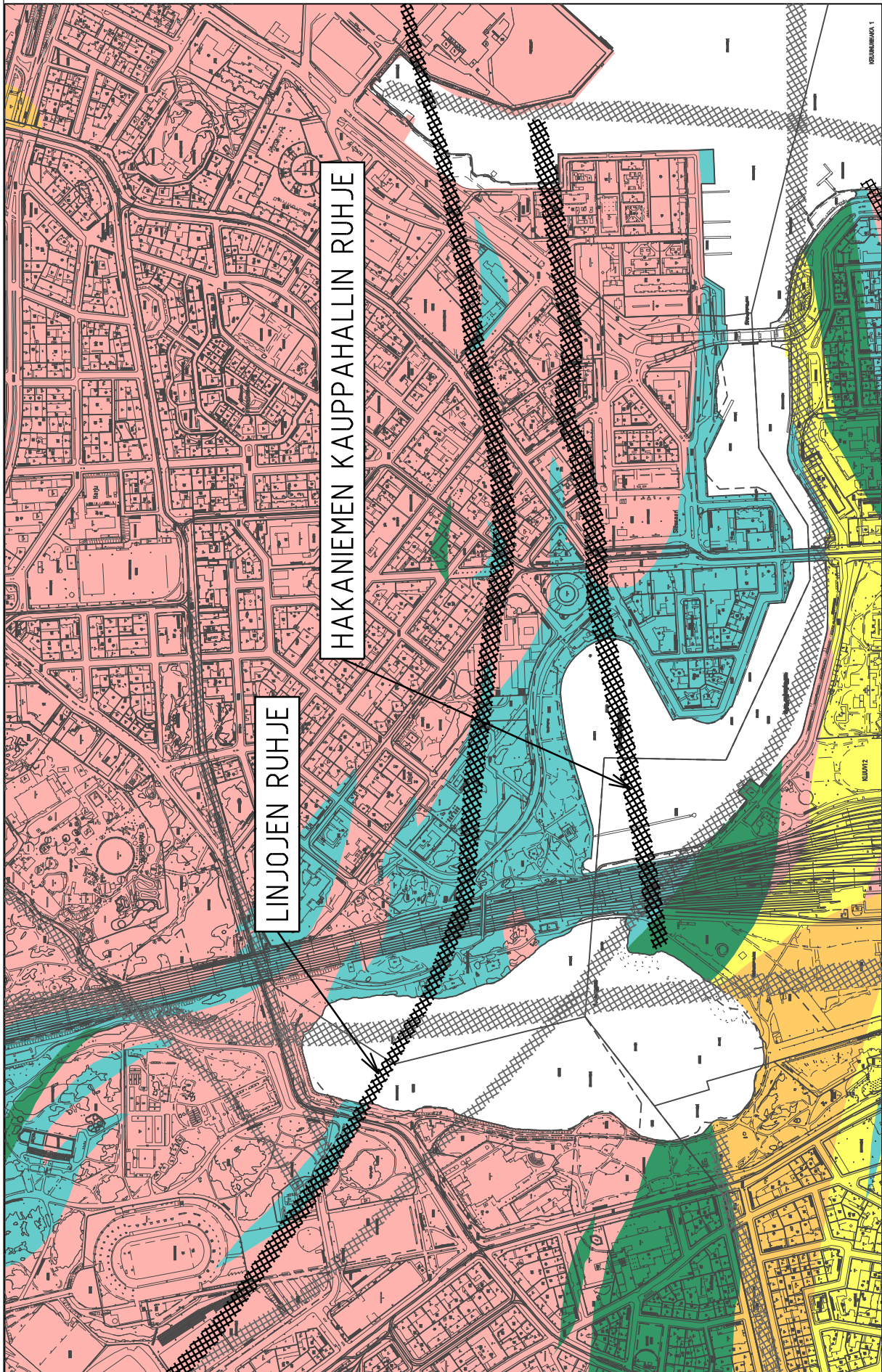
GEO 89/2005

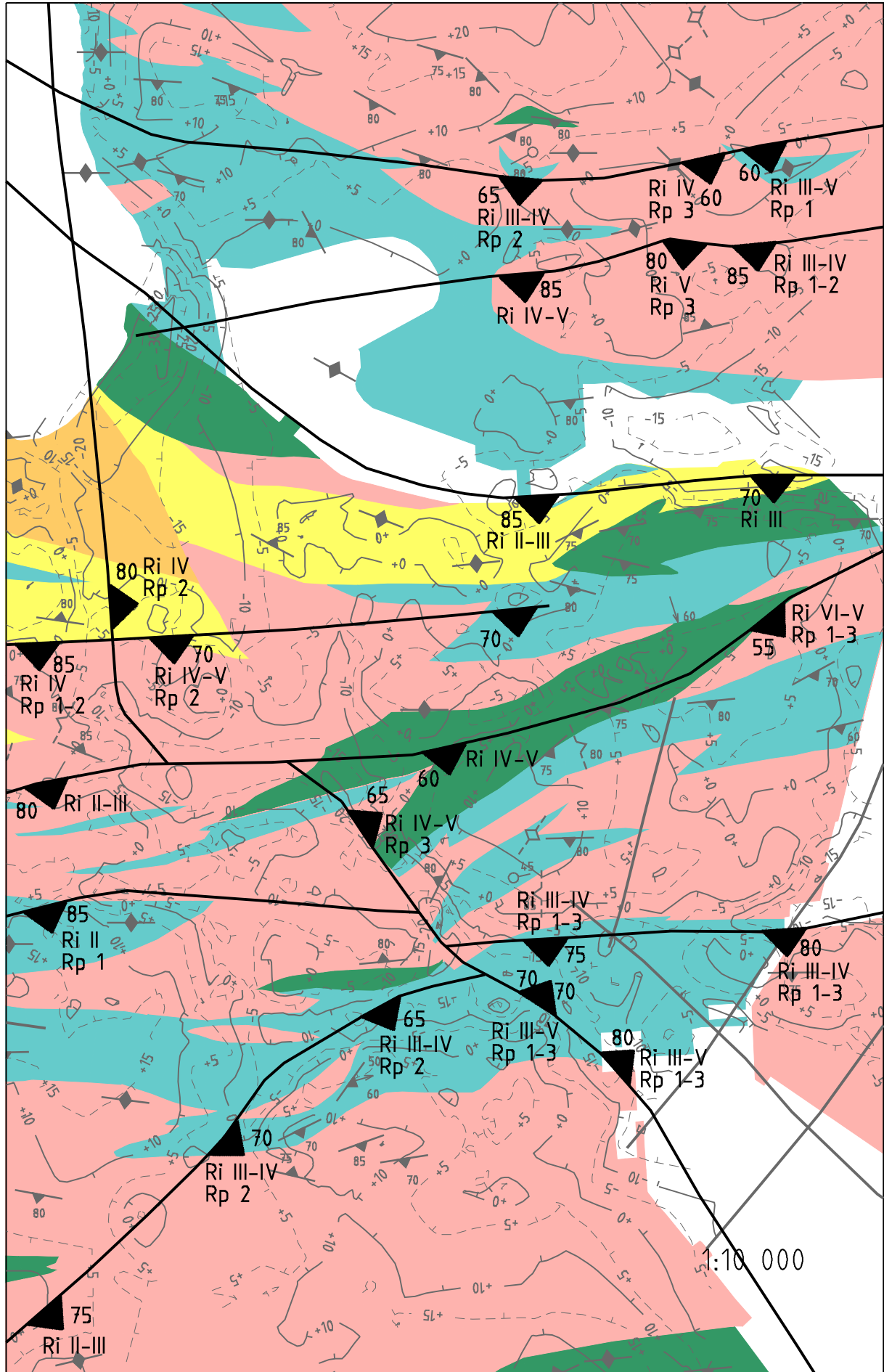


1:4 000

GEO 89/2005





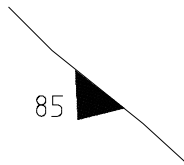


1:10 000

GEO 89/2005



Kallionpinnan korkeuskäyrät



Ruhjeen kulku ja kaade

KALLION LAATU, RIKKONAINEN KALLIO

Ri I	halkeamarakenteinen
Ri II	rakorakenteinen
Ri III	murrosrakenteinen
Ri IV	ruhjerakenteinen
Ri V	savirakenteinen

KIVILAADUN RAPAUTUNEISUUS

Ri 0	rapautumaton
Rp 1	vähän rapautunut
Rp 2	runsaasti rapautunut
Rp 3	täysin rapautunut

TEKTONIIKKA



Liuskeisuuden kulku, kaade 70 astetta



Liuskeisuuden kulku, kaade pysty



Pystyrako



Rako, kaade 70 astetta



Poimuakseli 45 astetta

KIVILAJIT



Graniittia



Gablo- ja kvartsidioriittia



Kvartsi-maasälpagneissia



Amfiboliittia ja metavulkaniitteja



Kiillegneissia

Julkaisija HELSINGIN KAUPUNKI KIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO PL 2202 00099 HELSINGIN KAUPUNKI PUHELIN (09) 1691, FAX (09) 169 4555 http://www.hel.fi/kv/geo		Julkaisusarja, numero ja julkaisu-aika Geoteknisen osaston julkaisut 89 /2005 Toukokuu 2005	
		Projektinnumero(t) 6700	
Tekijä(t) Päivi Vänskä Pekka Raudasmaa		Julkaisija HELSINGIN KAUPUNKI KIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO	
Nimike HELSINGIN KESKUSTAN KALLIORUHJEET			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Helsingin kallioperässä esiintyy lukuisia kallioruhjeita. Ruhjeiden sijainnin ja ominaisuuksien tunteminen helpottaa kalliorakennuskohteiden suunnittelua ja louhintaa.</p> <p>Ruhjeet ovat syntyneet kallioperässä tapahtuneiden liikuntojen seurauksena. Svekofennisen orogeenian alkuvaiheessa kallio käyttäytyi plastisesti, mutta kallioperän jäähtyttyä kasvava puristusvoima aiheutti kalliomassojen murtumisen, jolloin kallion pintaosissa syntyi siirrosvyöhykkeitä. Erialaisten liikuntojen, rapautumisen, hydrotermisen muuttumisen sekä uudelleenkiteytymisen seurauksena siirrosvyöhykkeistä muodostuu vähitellen ruhjeita.</p> <p>Ympäristöään rikkonaisempina ruhjeet ovat kuluneet muuta kallioperää nopeammin ja näkyvät kallioperän topografiassa painanteina. Pinnanmuotoihin vaikuttavat ruhjeiden lisäksi kivilajien vaihtelu sekä jääkauden kulutus.</p> <p>Ruhjelaaksot määräävät pitkälti Helsingin niemen muodon. Helsingin keskustassa havaitaan kolme ruhjevöhykkeiden pääsuuntaa, joissa ruhjeet ovat muodostuneet siirrosten alueellisten pääsuuntien mukaisesti.</p> <p>Ruhjeita ei yleensä päästä tutkimaan maan päältä, koska ne ovat paksujen maakerrosten peittämiä. Ruhjeista voidaan kuitenkin havaita viitteitä. Siirrosten syntyminen vaikutti myös ympäröiviin kallioihin, joten ruhjeen lähetyviltä voidaan usein havaita muun muassa lisääntyvää rikkonaisuutta tai mineraalien muuttumista.</p> <p>Helsingin keskustan ruhjeista on kerätty paljon tietoa, sekä tämän tutkimuksen yhteydessä että ennen sitä. Näiden tietojen perusteella tutkimuksessa on arvioitu ruhjeiden ominaisuuksia ja kulua keskusta-alueella. Yhteenvetona on esitetty kartta Helsingin keskustan merkittävimmistä kallioruhjeista.</p>			
Avainsanat kallioruhjeet, ruhjeet, siirrokset, heikkousvyöhykkeet			
ISSN 1458-2198		ISBN 952-473-439-7	
		Luokitus (UDK) 624.19	
Kieli suomi, engl. tiivistelmä		Sivuja 54 s. + liitteet 9 s.	

Published by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION P.O Box 2202 00099 THE CITY OF HELSINKI FINLAND PHONE +358-9-1691, FAX +358-9-169 4555 http://www.hel.fi/kv/geo		Series title, number and date Geotechnical Division, publications 89/2005 May 2005	
Author(s) Päivi Vänskä Pekka Raudasmaa		Project number(s) 6700	
Commissioned by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION			
Title FRACTURE ZONES IN THE BEDROCK OF THE HELSINKI CITY CENTRE			
<p>Abstract</p> <p>Several fracture zones cross in the bedrock of the Helsinki City Centre. The knowledge of the locations and properties of these zones is necessary in planning and excavation of rock constructions.</p> <p>Fracture zones were formed by rock block movements. At early stages of the Svecofennian Orogeny rock deformations were ductile. Later the rock cooled down and the deformations at topmost layers became brittle, and faulted structures thus were formed. Later on, fault zones were fractured by weathering, hydrothermal alterations, recrystallization and later movements.</p> <p>Being more fragmented than surrounding areas the fracture zones have eroded more rapidly. Therefore they can be seen as depressions in topography. Other key factors in topography are different rock types and Ice Age.</p> <p>Fracture zones have had a great impact in defining the shoreline of the Helsinki City Centre. There are three main directions of fracture zones in the area.</p> <p>The zones are usually under thick layer of soil and therefore hard to examine. However there are signs of movements on nearby rock surfaces which help to locate the zones.</p> <p>Significant amounts of data on the fracture zones in Helsinki City Centre have been collected, both in this thesis and in previous researches and construction projects. Locations and properties of zones are estimated based on the data. The maps presenting main fracture zones are included as appendixes.</p>			
Keywords fracture zones, faults, weakness zones			
ISSN 1458-2198	ISBN 952-473-439-7	Class (UDC) 624.19	
Language Finnish, Engl. Abstr.	Pages 54 p. + app. 9 p.		

GEOTEKNISEN OSASTON JULKAISUT 1(2)

1	<i>Anttikoski, Usko</i>	Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen	1973	*
2	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	1973	*
3	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	1974	*
4	<i>Mäkinen, Reino</i>	Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella	1974	*
5	<i>Saarelma, Matti</i>	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	1974	*
6	<i>Hartikainen, Jorma</i>	Kitkapaalujen kantavuus	1976	
7	<i>Petäjä, Jouko</i>	Putkijohdojen pohjarakenteiden mitoittaminen	1977	
8	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Metrotunnelien injektointi	1977	*
9	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kalliotunnelien käyttö varastointiin	1977	*
10	<i>Tikkanen, Heikki</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	1978	
11	<i>Arkima, Olli</i>	Kluuvien ruheen jäädytys	1978	*
12	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Puiset perustusrakenteet	1979	
13	<i>Havukainen, Jorma</i>	Voimalalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa	1979	
14	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen	1979	*
15	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Pohjavesitarkkailu -80	1980	*
16	<i>Anttikoski, Usko</i>	Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunnelikonferenssin kokemusten perusteella	1979	*
17	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Matkakertomus tutustumiskalalta Tukholman yhteiskäyttötunnelihin	1981	
18	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiiliuimalan tuhkan käyttö maarakenteissa	1981	*
19	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys	1981	
20	<i>Vuola, Pekka</i>	Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta	1981	
21	<i>Havukainen, Jorma & Korhonen, Osmo</i>	Tonttialueiden maarakenteet	1981	
22	<i>Havukainen, Jorma</i>	Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä	1981	
23	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiiliuimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	1982	
24	<i>Latvala, Ahti</i>	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	1982	
25	<i>Havukainen, Jorma & Hämäläinen, Alpo & Sulamäki, Antti</i>	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	1982	
26	<i>Halkola, Hannu</i>	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmäessä	1982	*
27	<i>Paavola, Pertti</i>	Kunnallisteknisten tunnelien louhintakustannus selvitys	1982	
28	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Maarakennusta koskeva mallityöselvitys	1982	*
29	<i>Gulin, Kai</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa	1982	
30	<i>Halkola, Hannu</i>	Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät	1982	
31	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiiliuimalan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet	1983	
32	<i>Havukainen, Jorma</i>	Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar	1983	
33	<i>Havukainen, Jorma</i>	The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines	1983	
34	<i>Salmelainen, Juha</i>	Helsingin kallioerän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta	1983	
35	<i>Havukainen, Jorma</i>	Matkakertomus kivihiiliuuhkien ympäristövaikutuskonferenssista	1983	
36	<i>Hytti, Pekka</i>	Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa	1984	
37	<i>Leinonen, Jukka</i>	Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa	1984	
38	<i>Pirinen, Jussi</i>	Kelluvan rantapenkereen rakentaminen	1984	*
39	<i>Latvala, Ahti</i>	Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti	1984	*
40	<i>Korpela, Jaakko & Schüller, Mikael</i>	Jäykkiä liitosjohtojen pohjarakennus selvitys (Jäli-selvitys)	1984	
41	<i>Lahtinen, Eeva-Riitta</i>	Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, väliraportti)	1985	
42	<i>Korpi, Juha</i>	In Situ -kuormituskoe painumien määrittämiseksi	1985	
43	<i>Havukainen, Jorma</i>	Esirakentamisen kehittäminen	1985	
44	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Jäädytysmenetelmän käyttö	1987	
45	<i>Havukainen, Jorma & Hämäläinen, Alpo & Latvala, Ahti</i>	Kivihiiliuuhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	1987	*
46	<i>Julkunen, Arto</i>	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	1987	
47	<i>Hutri, Kaisa-Leena</i>	Vuosaaren kivilajien soveltavuus asfalttipäällysteisiin	1988	
48	<i>Melander, Kari</i>	Puristin-heijarikairaus kairausmenetelmänä	1989	
49	<i>Leppänen, Mikko</i>	Vahvistinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa	1989	
50	<i>Vähäaho, Ilkka & Ryhänen, Hannu</i>	Sulamiskonsolidaation vaikutukset savessa	1989	
51	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Effects of Thaw Consolidation on Geotechnical Properties of Clay	1989	
52	<i>Koskela, Pekka</i>	Routastabiloinnin vaikutus ruoppausmassaan	1989	
53	<i>Saari, Mauri & Korhonen, Osmo</i>	Paalujen dynaaminen koestus PDA-laitteistolla	1990	
54	<i>Saari, Mauri & Volanen, Niilo</i>	Ruoholahden koepaalutus	1990	
55	<i>Yrjänä, Jouni & Korhonen, Osmo</i>	Pystyöjitus Pikku-Huopalahdessa	1991	
56	<i>Niinimäki, Risto & Raudasmaa, Pekka</i>	Viikinmäen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kalliotutkimukset	1992	
57	<i>Nieminen, Jarmo & Johansson, Erik & Holopainen, Pekka</i>	Viikinmäen keskuspuhdistamon louhinnan aikainen kalliomekaaninen seuranta	1992	
58	<i>Ahola, Jukka & Viitala, Raimo</i>	Lujitus- ja tiivistysmäärät Helsingin pientunnelieissa	1992	
59	<i>Ravea, Timmo & Korhonen, Osmo</i>	Helsingin tulvapaidon rakentamisen edellytykset	1992	
60	<i>Taipale, Hannu & Korhonen, Osmo</i>	Paalutustärinän arviointi kirjallisuuden ja mittauksen perusteella	1992	
61	<i>Karlstedt, Paul & Halkola, Hannu</i>	Ylijäämäsavien massastabilointi	1993	
62	<i>Leiskallio, Antti & Lehtonen, Jouko</i>	Maankäytön geotekninen suunnittelu	1993	
63	<i>Anttikoski, Usko & Kumar, Seppo & Saarelainen, Seppo</i>	Kalliokaivanto jätehuollossa (esiraportti)	1993	*
64	<i>Rekonen, Riita & Halkola, Hannu</i>	Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla	1994	

GEOTEKNISEN OSASTON JULKAISUT 2(2)

65	<i>Ulmala, Ola & Halkola, Hannu</i>	Puristin-porakonekairaus	1994
66	<i>Havukainen, Jorma</i>	Katsaus ympäristötekniikkaan kansainvälisen kongressin valossa (matkakertomus)	1995
67	<i>Korkeakoski, Pasi & Lehtonen, Jouko</i>	Asuinrakennusten tontti- ja pohjarakennuskustannukset	1996
68	<i>Puumalainen Niina & Havukainen Jorma</i>	Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Torpparinmäessä	1996
69	<i>Mehätä, Jani & Korhonen, Osmo</i>	Puotilan metroaseman pohjavesivaikutusten arviointi numeerisilla menetelmillä	1998
70	<i>Nieminen, Jarmo & Anttikoski, Usko</i>	EU:n rahoitustuki Helsingin kaupungin tutkimustoiminnassa	1996
71	<i>Junnila, Antti & Lehtonen, Jouko</i>	Geotekninen kustannustiedosto, Geokuti 96	1996
72	<i>Wegelius, Arto & Viitala, Raimo</i>	Kallioluokitusmenetelmien käyttö tunnelien lujituksessa	1996
73	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Savien stabilointi eri sideaineilla, kenttäkokeiden tulokset	1996
74	<i>Rantala, Kalle & Halkola, Hannu</i>	Paalun kantavuuden arviointi puristin-heijarikairalla	1997
75	<i>Wegelius, Arto & Holopainen, Pekka</i>	Paisuvat kalliosavet	1997
76	<i>Leivo, Pekka & Halkola, Hannu</i>	Maa- ja kallioperätietojen tulkinta porakonekairauksen rekisteröintituloksista	1998
77	<i>Nauska, Jari & Havukainen, Jorma</i>	Esirakentaminen 1998	1998
78	<i>Svanström, Terhi & Raudasmaa, Pekka</i>	Pohjavesi Helsingin kaupunkiympäristössä: esiintyminen, käyttö, suojele ja vaikutus rakentamiseen	1998
79	<i>Pitkänen, Juha & Vähäaho, Ilkka & Raudasmaa, Pekka</i>	Puupaalujen rakenteellisen kantokyvyn tarkastaminen	1999
80	<i>Mikkola, Jannis & Viitala, Raimo</i>	Pitkien vesitunneleiden sortumat ja lujitus	1999
81	<i>Mäkelä, Harri & Höynälä, Harri & Halkola Hannu & Kettunen Ari</i>	Viikin savikatu	2000
82	<i>Mäkelä, Harri & Höynälä, Harri & Halkola Hannu & Kettunen Ari</i>	Massastabiloitujen ylijäämäsavien käyttö maarakentamisessa, suunnitteluohjeet, työselitykset ja laatuvaatimukset	2000
83	<i>Savolainen Markku & Hannu Halkola</i>	Painuma-, sivusiirtymä- ja huokospainemittausten tarkkuus	2001
84	<i>Leminen Jenni & Raudasmaa Pekka & Antti Salla</i>	Orgaaniset liuottimet Helsingin maaperässä	2001
85	<i>Viljanen Jari & Korhonen Osmo</i>	Pudotustiivistys Saukonpaaden täyttöalueella	2002
86	<i>Juntunen Perttu & Korhonen Osmo</i>	Pikku-Huopalahden esirakentaminen ja esirakentamiskokemukset	2002
87	<i>Paatsema Miia & Kangas Heikki</i>	Syvästabiloinnin pitkäaikaiset seurantatutkimukset	2003
88	<i>Holopainen Ville & Lammi Kalevi & Korhonen Osmo</i>	Betonipaaluperustusten pohjarakennesuunnitelma ja pohjarakennustyö	2004
89	<i>V ä n s k ä Päivi & Raudasmaa Pekka</i>	Helsingin keskustan kallioruhjeet	2005
GEO 10 K		Kallioperäkarta - Berggrundskarta 1:10.000, Helsinki - Helsingfors	1978
GEO 10 M		Maaperäkarta - Jordmänskarta - Geotechnical Atlas of Soil Deposits 1:10.000, Helsinki - Helsingf	1989

*) painos loppuunmyyty

Helsingin kaupunki
Kiinteistövirasto
geotekninen osasto
PL 2202
00099 HELSINGIN KAUPUNKI

Käyntiosoite: Malmin asematie 3 A, Helsinki 70
Vaihde (09) 1691, asiakaspalvelu (09) 169 4559, fax (09) 169 4555
Email geo@hel.fi
http://www.hel.fi/kv/geo