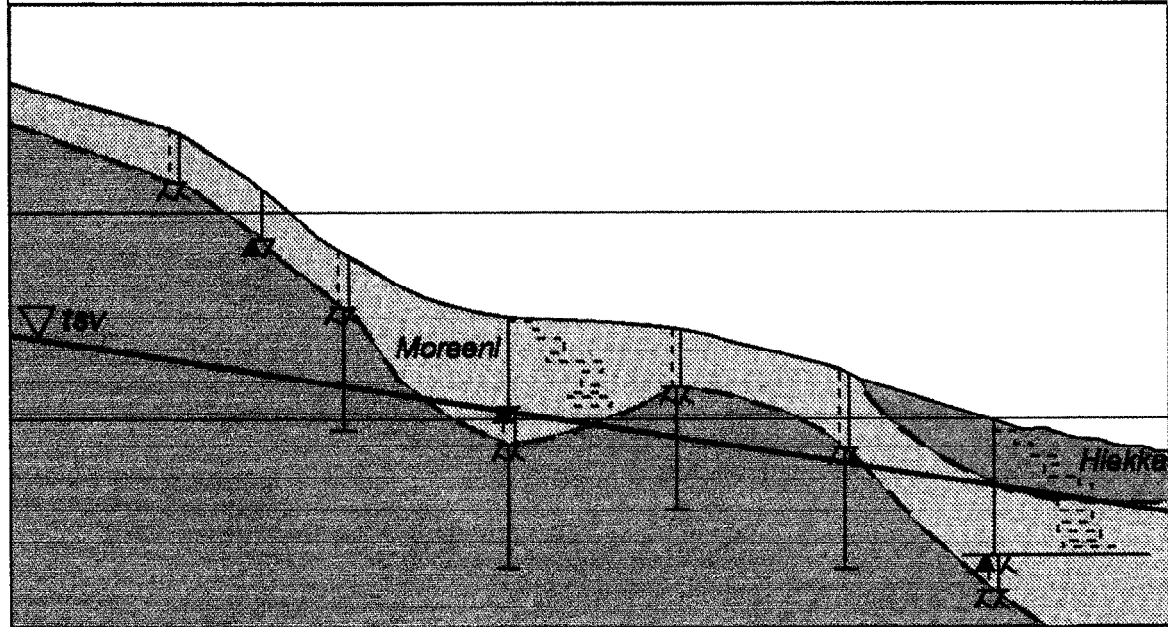




Tielaitos

Geotekniikan informaatiojulkaisu

Tieleikkausten pohjatutkimukset



Tielaitoksen
selvityksiä
79/1995

Helsinki 1995

Geokeskus

Tielaitoksen selvityksiä
79/1995

Geotekniikan informaatiojulkaisuja

Tieleikkausten pohjatutkimukset

Tielaitos
Geokeskus

Helsinki 1995

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-155-1
TIEL 3200354
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotopalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tieleikkausten pohjatutkimukset. [Grundundersökningar för vägskärningar]. Helsinki 1995, Tielaitoksen selvityksiä 79/1995. 50 sivua. ISBN 951-726-155-1. ISSN 0788-3722. TIEL 3200354.

Asiasanat leikkaukset, pohjatutkimus

TIIVISTELMÄ

Informaatiojulkaisun tarkoituksena on esitellä kovan maan tieleikkausten hyvä pohjatutkimuskäytäntö. Aluksi käydään läpi aiheen piiriin kuuluvien maa- ja kallioperämuodostumien geologian perusteita. Erilaisten pohjatutkimusmenetelmien käyttömahdollisuudet, hiiliä saatava tieto ja sen tarkkuus sekä tutkimuskustannukset erilaisissa olosuhteissa esitellään tutkimusmenetelmien valinnan helpottamiseksi. Tutkimusmenetelminä esitellään mm. kairaukset, näytetutkimukset, geofysikaaliset menetelmät sekä kartta- ja ilmakuvatulkinta.

Tutkimusmenetelmien valinnasta ja tutkimustarkkuuden riippuvuudesta suunnittelun ja rakentamisen vaatimuksista tiehankkeen eri suunnitteluvaiheissa annetaan suosituksia. Lopuksi käsitellään pohjatutkimustulosten esittämistä suunnitelmapiirustuksissa.

Publications on geotechnical information. Soil investigations for road cuttings. [Tieleikkausten pohjatutkimukset]. Helsinki 1995, Finnish National Road Administration. Report 79/1995. 50 p. ISBN 951-726-155-1. ISSN 0788-3722. TIEL 3200354.

Key words road cuttings, soil investigation

ABSTRACT

In Finland the topography and geological conditions vary a lot locally. Therefore cuttings in rock, till, sand or gravel are made in almost every road project. The purpose of this publication is to introduce a good practice for the soil investigations of road cuttings on hard ground.

First we go over the basic geology of the relevant soil and rock formations. In order to help to choose the right method of investigation, we then introduce the application possibilities of different soil investigation methods, the accuracy of the information and also the expenses in different conditions. Among these methods are soundings and borings, sampling, geophysical methods, interpretation of maps and aerial photographs.

Recommendations are given how to choose investigation methods and how the accuracy depends on the demands of the planning and construction in different stages of a road project. Finally we deal with presenting soil investigation results in profiles.

Alkusanat

Tämä tieleikkausten pohjatutkimuksia koskeva julkaisu kuuluu Geotekniikan informaatiojulkaisuja-sadaan, jonka tarkoituksena on tuottaa geosuunnittelijoille tietoa tämän hetkisestä hyvästä pohjarakentamis- ja perustamiskäytännöstä tienrakentamisen alalta. Tässä julkaisussa käsitellään kovan maan leikkauksien pohjatutkimuksia. Pehmeikkötutkimuksista sekä penkereiden että leikkauksien osalta ja mahdollisesti myös vaativista pohjavesiselvityksistä on tarkoitus myöhemmin laatia erillinen informaatiojulkaisu.

Työn on tehnyt Antti Junnila Innogeo Oy:stä. Luvun 3 tekemiseen on osallistunut Hannu Kärkiä Maa ja Vesi Oy:stä. Työn yhteydessä on haastateltu useita rakentamisen ja pohjatutkimusten asiantuntijoita. Julkaisun viimeistelyssä on otettu huomioon yhdeksältä henkilöltä saadut lausunnot.

Tilaajan puolelta työtä ovat valvoneet Matti Kolhinen geokeskuksesta ja Petter Sandin Uudenmaan tiepiiristä.

Tielaitos
Geokeskus

Sisältö

1 JOHDANTO	9
1.1 Ohjeiden tarkoitus ja sisältö	9
1.2 Ohjeiden liittyminen muihin ohjeisiin	9
2 KOVAN MAAN GEOLOGISET MUODOSTUMAT	9
2.1 Moreenit	10
2.2 Hiekat ja sorat	12
2.3 Kovat hienorakeiset maakerrokset	13
2.4 Kallioperä	13
3 TIELEIKKAUSTEN POHJATUTKIMUSMENETELMÄT	15
3.1 Yleiskatsaus eri aikoina käytettyihin menetelmiin	15
3.2 Kartta- ja ilmakuvatulkinta	15
3.3 Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät	18
Maatutkaluotaus	18
Seisminen luotaus	20
Gravimetrisen mittaus	22
3.4 Kairaukset	22
Painokairaus	22
Heijarikairaus	22
Tärykairaus	23
Porakonekairaus	24
Kallionäytekairaus	25
3.5 Koekuopat	25
3.6 Näytetutkimukset	25
3.7 Pohjavedenpinnan tutkiminen	26
3.8 Tutkimuskustannukset	27
Yleistä tutkimuskustannusten muodostumisesta	27
Tutkimusolosuhteiden jaottelu	29
Porakonekairauksen kustannukset	29
Näytteenoton kustannukset	30
Heijarikairauksen kustannukset	31
Siirtokustannukset	31
4 TIELEIKKAUSTEN POHJATUTKIMUSMETODIIKKA	31
4.1 Pohjatutkimusten vaiheet ja metodiikka	31
4.2 Leikkausten luokittelu kallionpinnan sijainnin mukaan	32
4.3 Rakentamisen vaatimuksia leikkaustutkimuksille	33
Kallioleikkausmassojen selvittäminen hankekohtaisesti	33
Kallionpinnan paikallinen selvittäminen	34
Maaleikkausmassojen käyttökelpoisuuden selvittäminen	34
4.4 Pohjatutkimusten erikoispiirteitä nykyistä tietä parannettaessa	35

5 YLEISSUUNNITTELUVAIHEEN POHJATUTKIMUKSET	35
5.1 Tutkimusten tavoitteet	35
5.2 Tutkimussuositukset	35
6 TIESUUNNITTELUVAIHEEN POHJATUTKIMUKSET	36
6.1 Tutkimusten tavoitteet	36
6.2 Tutkimussuositukset	36
7 LOPULLISET POHJATUTKIMUKSET	37
7.1 Rakennussuunnitteluvaiheen tutkimusten tavoitteet	37
7.2 Kallionpinnan selvittäminen	37
Kallionpinnan selvittäminen maaleikkauksessa	37
Kallionpinnan selvittäminen kallioleikkauksessa	38
7.3 Maakerrokset	40
7.4 Leikkausmassojen käyttökelpoisuus	41
7.5 Pohjamaan ominaisuudet tierakenteiden mitoituksen kannalta	44
7.6 Pohjavesikysymykset	45
7.7 Kallion laatu	46
8 TUTKIMUSTULOSTEN ESITTÄMISSUOSITUKSIA	47
9 KIRJALLISUUS	49

1 JOHDANTO

1.1 Ohjeiden tarkoitus ja sisältö

Tässä ohjeessa esitetään hyvä käytäntö kovan maan tieleikkausten pohjatutkimusmenetelmien valintaa ja tutkimusten ohjelmointia varten. Tässä julkaisussa ei käsitellä pehmeikköleikkausten tutkimuksia eikä myöskään vaativia pohjavesiselvityksiä.

1.2 Ohjeiden liittyminen muihin ohjeisiin

Tieleikkausten pohjatutkimusohjetta täydentävät mm. seuraavat pohjatutkimus- ja suunnitteluohjeet:

Tielaitoksen tutkimus- ja suunnitteluohjeet:

- Kallion laatututkimukset tiensuunnittelutöissä, TIEL 2180001, 1 991

Pohjatutkimusmenetelmiä koskevat julkaisut:

- Kairausopas 1, Painokairaus, pisto- ja lyöntikairaus, heijarikairaus, SGY, 1981
- Kairausopas 111, Maanäytteiden ottaminen, SGY, 1972
- Kairausopas IV, Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen, SGY, 1987
- Kairausopas V, Porakonekairaus, SGY, 1986
- Geotekniset laboratorio-ohjeet, 1. Luokituskokeet GLO-85, SGY/RK Oy, 1985
- Maatutkaluotaus, SGY, 1991
- Geofysikaalisettutkimusmenetelmät, SGY, 1993

Tutkimustulosten esittämistä ja suunnitelmia koskevat julkaisut:

- Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa, TIEL 703435, 1990
- Pohjarakennuspiirustusohjeet PRP-84, SGY/RK Oy, 1984
- Teiden suunnittelu, IX Suunnitelmat, TVH 722308, 1979
- Pohjatutkimusmerkinnät, Nro 201, SGYIRK Oy, 1993

2 KOVAN MAAN GEOLOGISET MUODOSTUMAT

Seuraavassa esitetään tavallisimpien kovan maan geologisten muodostumien syntytapaa ja rakennetta. Esityksen tarkoitus on auttaa suunnittelijaa tunnistamaan geologisia muodostumia pohjatutkimusmenetelmien valinnan ja tutkimusten ohjelmoinnin helpottamiseksi.

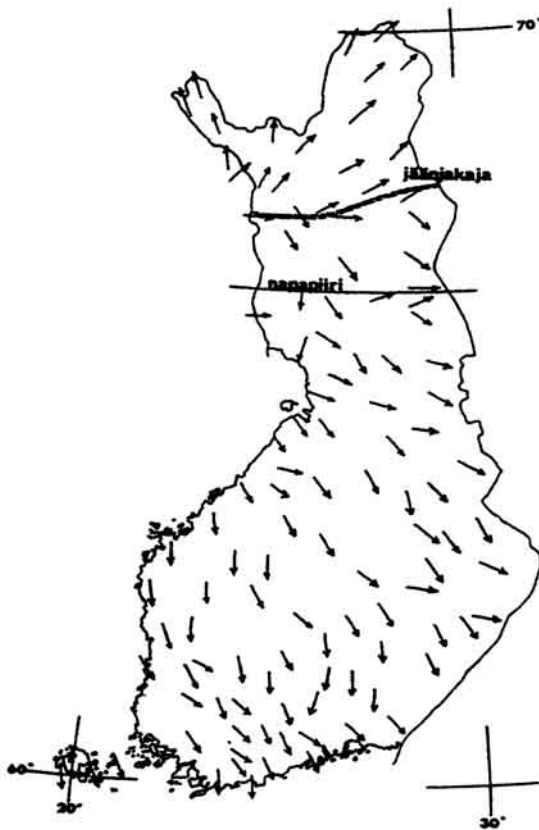
2.1 Moreenit

Moreeni on maalaji, joka on muodostunut jäätikön kuluttamasta, kuljettamasta ja kerrostamasta aineksesta. Moreenin materiaali koostuu viimeistä jäätiköitymiskautta vanhemmasta irtomaasta ja kallioperän rapautumasta, jotka sekoittuivat viimeisimmän jäätikön kallioperästä irrottamaan kiviainekseen. Moreenin aineksesta osa kulkeutui jäätikön pohjaosissa ja osa kohosi jään sisäisten virtausten vaikutuksesta jäätikön sisä- ja pintakerroksiin.

Kasautumistapansa mukaan erotetaan jäätikön pohjalla kulkeutunut ja jään alle kasautunut Pohjamoreeni ja jäätikön sulaessa sen pinnalle paljastunut ja sieltä eri tavoin kasautunut Pintamoreeni. Syntytapansa vuoksi pohjamoreeni on tiivistä ja usein hyvin hienoainespitoista. Pintamoreeni on sulamisvesien huuhtovan vaikutuksen seurauksena usein löyhää ja hiekkaista.

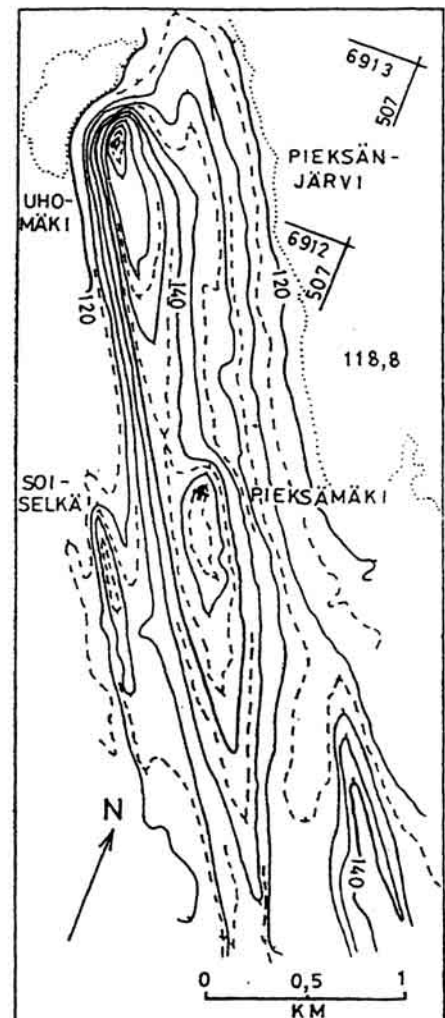
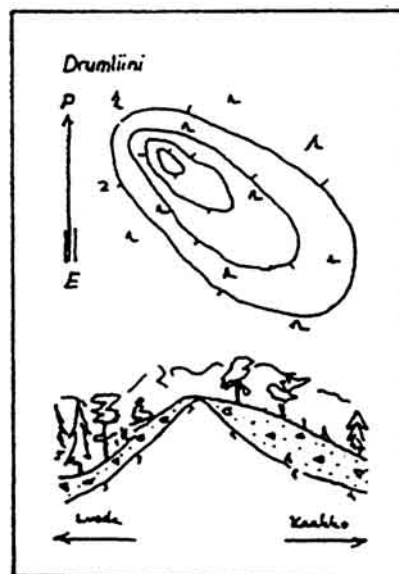
Raekoostumukseltaan pohjamoreeni on yleisimmin siltistä hiekkamoreenia. Pohjamoreenikerros on ohuimmillaan Etelä- ja Lounais-Suomen rannikkoalueilla. Pohjamoreenin pintaosa (usein alle 1 m paksuudelta) on usein kivinen ja vähemmän hienoainesta sisältävä kuin syvemmät osat. Moreeni on Suomen yleisin maalaji ja sen osuus maa-pinta-alasta on noin 48 %.

Kuvassa 1 on esitetty jään liikesuunnat, joihin moreeniesiintymien suuntaa kuvattaessa viitataan.



Kuva 1: Jään liikesuunnat (Soveri et al 1972).

Drumliinit ovat syntyneet joko jäätikön aktiivisen etenemisen aikana tai jäätikön vetäytymisvaiheessa. Drumliinit ovat jäätikön liikkeen suuntaisia seläniteitä ja ne muodostavat usein laajoja, virtaviivaisista seläniteistä koostuvia kenttiä. Tällöin suurin osa drumliineista koostuu pelkästään maa-aineksesta. Yksittäiset seläniteet sisältävät yleensä kalliosydämen tai ovat muodostuneet kalliokohouman taakse jään virtaussuuntaan nähden. Kuvassa 2 on esitetty drumliinin tyypillinen rakenne sekä karttakuva. Drumliinin materiaali on tavallisesti tiivistä hiekkamoreenia ja/tai silttistä hiekkamoreenia, jossa kivisyys on vähäinen. Lajittunutta ainesta tavataan lähinnä drumliinien "häntäosassa". Drumliinit ovat yleensä 0,1–7 km pitkiä ja 0,05–4 km leveitä. Niiden korkeus voi olla kymmeniä metrejä. Drumliineja esiintyy etenkin Savossa ja Kainuussa.



Kuva 2: Drumliinin tyypillinen rakenne (Vähäsarja 1971) sekä karttakuva drumliineista (Suomen geomorfologia).

Reunamoreenit ovat sulavan jäätikön reunaosaan syntyneitä jään liikesuuntaa vastaan poikittaisia moreenimuodostumia. Suomen reunamoreenit ovat

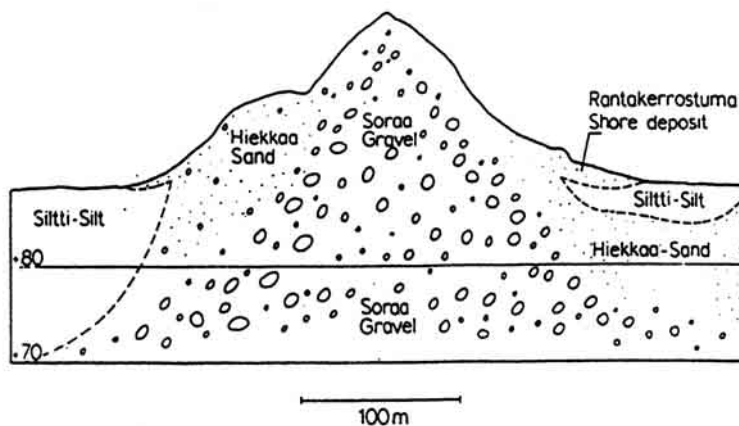
pääasiassa päätemoreeneita. Suuria reunamoreeneita esiintyy suurten reunamuodostumien, kuten Salpausselkien yhteydessä. Pienehköjä reunamoreeneja (De Geer-moreeneita) on runsaasti Uudellamaalla ja Vaasan saaristossa. Päätemoreenien aines on pääasiassa moreenia, mutta niissä voi esiintyä myös lajittuneita aineksia.

Kumpumoreeni/ablaatiomoreenimuodostumia on syntynytjäätikön reunavyöhykkeessä jään liikkeen pysähtyessä ja jään sulaessa paikoilleen. Näin tapahtuu, kun runsaasti mineraaliainesta sisältävän jäätikön reuna päättyy laaksoalueilla kuivalle maalle tai melko matalaan veteen. Tällöin epätasaisen sulamisen ja sulavesien vaikutuksesta syntyy vaihtelevan muotoisia kumpareita ja seläniteitä ilman yhtenäistä suuntausta. Pintakerrosten moreeniaines on kumpumoreenimaastossa useimmiten löyhempää, kivisempää ja lohkareisempää kuin pohjamoreeni. Raekoostumukseltaan moreeni vaihtelee ja sisältää usein sora- ja hiekkakerroksia. Kumpumoreenimuodostumat voivat olla hyvin laaja-alaisia ja niihin liittyy myös muita moreenimuodostumia. Yleisesti kumpumoreeneita esiintyy myös harjujaksojen yhteydessä. Kumpumoreenit esiintyvät yleensä korkeimman rannan yläpuolisella supra-akvaattisella alueella.

2.2 Hiekat ja sorat

Jäätikköjoki- eli glasifluviaalisten kerrostumien aines on pääosin peräisin moreenista, jota jäätikön sulamisvaiheen aikaiset voimakkaat virtaukset ovat kuluttaneet, huuhtoneet ja kuljettaneet. Veden mukana kulkeutunut aines on virtauksen voimakkuuden vähentyessä kerrostunut pääasiassa sora- ja hiekkakerroksiksi.

Harjut ovat tavallisesti syntyneet jäässä olleisiin tunneleihin ja railoihin. Ne voivat olla jopa 200-300 km pitkiä vallimaisia seläniteitä. Harjut saattavat olla muodoltaan myös epäsäännöllisempiä muodostelmia, jolloin ne muodostuvat esimerkiksi peräkkäisistä, pyöreistä kame-kummuista, tasalakisista deltoista ja niiden välisistä suppakuopista ja -lammista. Useimpien harjujen pituussuunta on sama kuin jäätikön viimeinen liikuntasuunta. Kuvassa 3 on esitetty ns. klassillisen harjutyypin poikkileikkaus.



Kuva 3: Harjun poikkileikkaus (Kauranne et al 1972).

Jäätikköjokien kuljettamasta materiaalista rakentuneita muodostumia ovat harjujen lisäksi esimerkiksi deltat. Deltat ovat syntyneet jääkauden aikaiseen mereen tai jääjärveen. Täysikasvuiset deltat ovat kasvaneet vedenpinnan tasoon asti, mistä johtuu deltan usein leveä, tasainen laki. Salpausselät ovat osittain syntyneet deltamaisiksi muodostumiksi. Kuivalle maalle kerrostuneita delttamaisia, epätasaisia muodostumia kutsutaan sandureiksi.

Kun rantaviiva on jääkauden jälkeen vähitellen maan kohoamisen johdosta alentunut kohti nykyistä asemaansa, on siirtymisen ajoittain hidastuessa ja pysähtyessä syntynyt rantavoimien huuhtelevan vaikutuksen johdosta ns. rantakerrostumia. Tyypillisin tällainen on laakeahko sora-hiekkakenttä, joka on kerrostunut matalaan veteen välittömästi rannan edustalle. Rantakerrostumat ovat lajittuneita varsinkin jos niiden aines on peräisin muista hiekka- ja soramuodostumista. Savikkoihin rajoittuvien harjujen liepeillä rantakerrostumat ovat usein kerrostuneet savien tai silttien päälle.

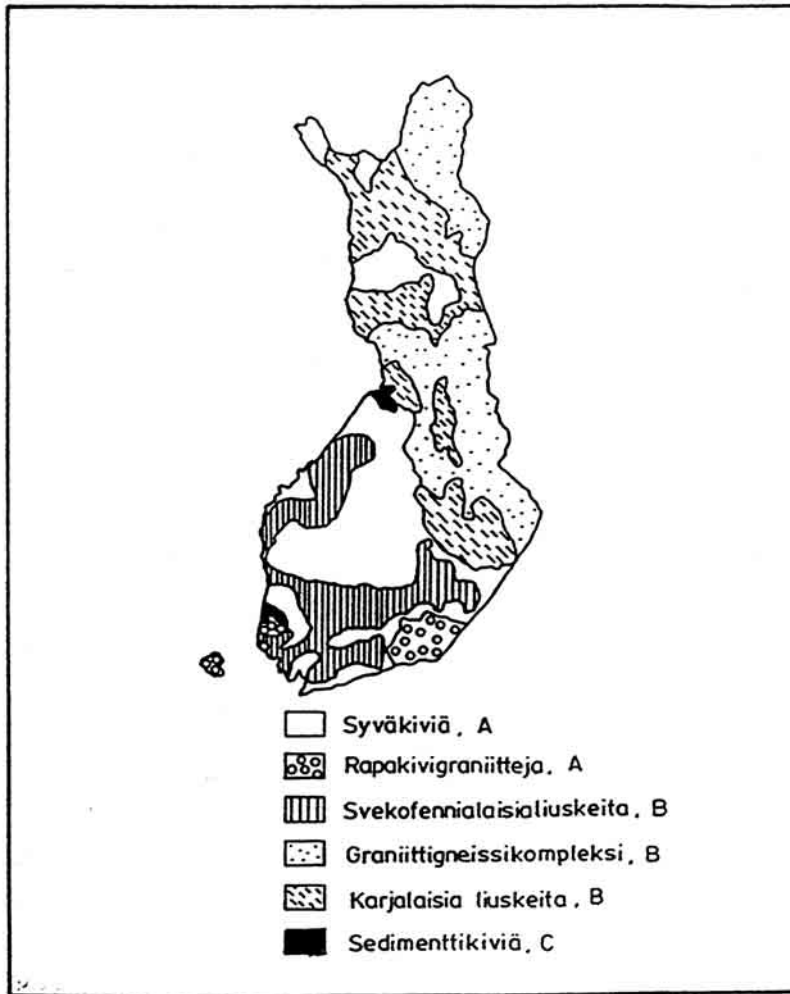
2.3 Kovat hienorakeiset maakerrokset

Kerralliset lustosavet, jotka sisältävät sekä silttiä että savea, ovat kerrostuneet jäätikön reunan edessä olleeseen vesialtaaseen. Muut hienorakeiset kerrokset ovat pääasiassa postglasiaalisavia eli jäätikön sulamisen jälkeen kerrostuneita savia. Pohjavedenpinnan yläpuolella esiintyessään hienorakeiset maakerrokset ovat kuivuneet koviksi. Kun tällaiset kerrokset tieleikkauksissa esiintyvät suoraan moreeni- tai kitkamaakerrosten päällä, pohjatutkimukset tehdään tässä ohjeessa esitettyjen kovan maan leikkausten tutkimusperiaatteiden mukaisesti. Tarkasteltaessa hienorakeisten maalajien käyttökelpoisuutta tiepenkereisiin voidaan käyttää proctor-koetta kohdassa 7.4 esitetyllä tavalla.

2.4 Kallioperä

Suomi kuuluu peruskallioalueeseen, joka ulottuu idässä Viananmereen, etelässä Karjalan kannakselle, lännessä Kölin vuorijonoon ja pohjoisessa Varangin vuonoon. Idässä ja etelässä tätä lujaa peruskalliota peittävät huomattavasti nuoremmat sedimenttikivimuodostumat. Suomen kallioperä (ks. kuva 4) voidaan karkeasti jakaa:

- syväkivialueisiin (A)
- gneissi- ja liuskealueisiin (13)
- sedimenttikivialueisiin (C)



Kuva 4: Suomen kallioperä pääpiirteissään.

Syväkivet ovat syntyneet kivilajien jäähmettyessä ja kiteytyessä hitaasti syvällä ja rauhallisissa olosuhteissa. Noin 45 % Suomen kallioperästä kuuluu syväkiviin. Syväkivet koostuvat pääasiassa graniitista, granodioriitista ja dioriitista. Kaakkois-Suomen, Uudenkaupungin ja Laitilan alueet sekä koko Ahvenanmaa ovat kallioperältään rapakivigraniittia.

Liuskeet ja gneissit ovat syntyneet sedimenttikivistä ja magmakivistä (syvä- ja pinta- eli vulkaanisista kivistä) maankuoren jännitysten ja liikuntojen yhteydessä suurten puristusvoimien ja korkean lämpötilan yhteisvaikutuksesta. Suomen vanhimman kallioperän muodostavat Itä-Suomen ja Lapin graniittigneissialueet sekä Lapin granuliittialue. Svekofenniset ja kadalaiset liuskeet ovat puristuneet ja poimuttuneet em. gneissialueita vasten. Svekofenniset liuskeet ovat kivilajiltaan pääasiassa kiilleliusketta. Karjalaiset kiilleliuskeet ovat hienorakeisempia kuin svekofenniset ja karjalaisissa liuskeissa esiintyy kiilleliuskeen lisäksi yleisinä kivilajeina kvartsiittia ja amfiboliittia.

Suomen sedimenttikivet ovat syntyneet kivennäismaalajien kovettumisen eli diageneesin tuloksena. Sedimenttikiviesiintymistä merkittävimmät ovat Satakunnan hiekkakivi ja Muhoksen savikivi.

3 TIELEIKKAUSTEN POHJATUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Yleiskatsaus eri aikoina käytettyihin menetelmiin

Painokairaus on Suomessa ollut pitkään tavallisin peruskairausmenetelmä ja sitä on käytetty myös kovan maan leikkaustutkimuksissa, vaikka se paremmin soveltuu maakerrosrajojen määrittämiseen pehmeiköillä. Heijarikairaus ja pliktaus on ollut perinteinen kovan maan leikkausten tutkimusmenetelmä, mutta kustannussyistä sen käyttö väheni, kunnes 1980-luvulla monitoimikairojen laajamittaisen käyttöönoton myötä heijarikairaus yleistyi jälleen.

Tärykairaus on vanhastaan ollut yleisin kairausmenetelmä leikkaustutkimuksissa, mutta porakonekairauksen yleistyminen noin viimeisen 15 vuoden aikana on huomattavasti vähentänyt menetelmän käyttöä. Porakonekairaus on nykyisin olennaisin tieleikkausten tutkimusmenetelmä sillä saatavan luotettavan kallionpintatiedon takia. Porakonekalusto on nopeasti muuttunut yhä suuremmissa määrin paineilmakäyttöisestä hydraulikäyttöiseksi.

Seismisiä luotauksia on käytetty kymmenien vuosien ajan erityisesti hiekan- ja soranottoaikojen tutkimuksissa.

Maatutkaluotaus on tullut käyttöön geoteknisenä tutkimusmenetelmänä 1980-luvun loppupuolella. Aikaisemmin menetelmää on sovellettu mm. soiden turvekerroksen paksuuden selvittämiseen turvetuotantoa varten. Kokemukset geoteknisistä sovellutuksista ovat lupaavia. Silloin kun luotaus ei edellytä linjan raivaamista ja linjalla voidaan ajaa maastoajoneuvolla, tutkimuskustannukset ovat edulliset. Hyvään tutkimus- ja tulkintatarkkuuteen pääsemistä helpottaa suuntaa-antava etukäteiskäsitys tutkittavista asioista, esimerkiksi kallionpinnan odotettavissa olevasta sijainnista tai tärkeimmistä maalajirajoista.

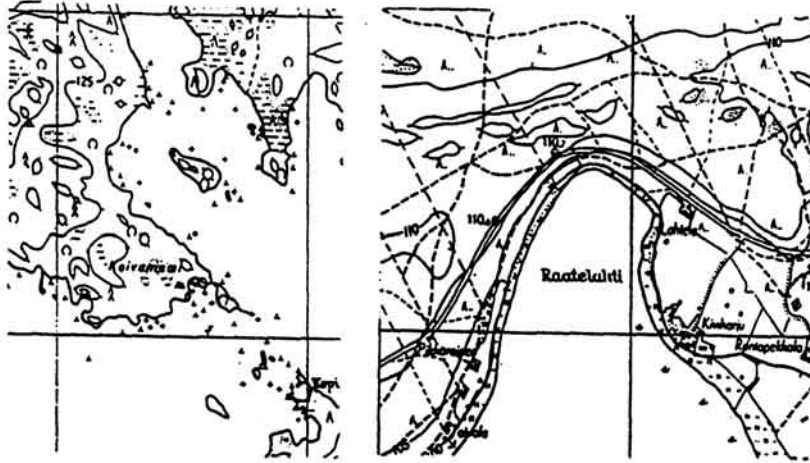
3.2 Kartta- ja ilmakuvatulkinta

Karttatulkinta perustuu yleistietoon erilaisista geologisista muodostumista (ks. luku 2), kartan kokonaiskuvan ja yleispiirteiden hahmottamiseen, jotka auttavat yksityiskohtien arviointia ja toisaalta yksityiskohdat selvittävät alueen yleistä luonnetta. Tulkinnan tärkein vaihe on havaintojen yhdistäminen ja vertaaminen sekä merkityksen arviointi. Kartalta on aina pyrittävä etsimään useita tulkintaa varmistavia yksityiskohtia. Karttatulkinnan perusasioita on esitetty Vähäsarjan julkaisussa Karttatulkintaopas. Tavallisesti käytetään mittakaavaan 1:20 000 tehtyjä peruskarttoja.

Karttatulkinta voi perustua havaintoihin mm. seuraavista seikoista:

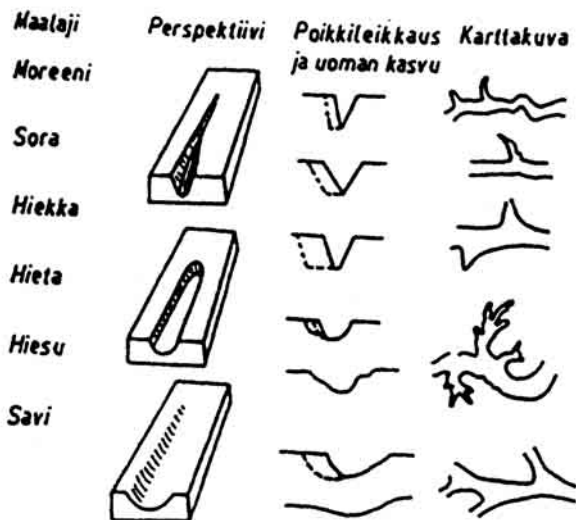
- Kalliotopografian suuntaus (mm. järvien pituusakselit).
- Harju- ja moreenimuodostumien suuntaus.
- Rantojen muoto. Jyrkänteet ovat kallioperästä johtuvia. Kivinen moreeni ilmenee pienipiirteisellä, rauhattomana rantaviivana, jonka edustalla on

karikoita. Suorat ja loivasti kaartuvat rantaviivat viittaavat hiekkaan tai soraan. Ks. kuva 5.



Kuva 5: Rannan muoto lohkaraisessa moreenissa vas. ja hiekassa oik. (Vähäsarja 1971).

Jokiuomien muoto, ks kuva 6.



Kuva 6: Purouoman muotoja eri maalajeissa (Kauranne et al 1972).

- Maaston topografia. Pien- ja suurmuodoista pyritään päättelemään muodostuman alkuperä ja synty ja siitä edelleen todennäköinen maalaji. Korkeuskäyrien tiheys, suoruus tai mutkaisuus ja mahdollinen toistuminen vastakkaisilla rinteillä kertovat topografian yksityiskohdista.
- Kallioperän rakennepiirteet maaston muotojen perusteella. Esimerkiksi pitkät samalla linjalla olevat yhtäjaksoiset notkot ja niissä toistuvat samansuuntaiset korkeuskäyrät osoittavat kallioperän heikkouslinjoja. Yleensä kallioperän muodot erottuvat maanpinnan muotojen alta. Lähinnä paksut savikot tai harjumuodostelmat ovat riittävän paksuja peittämään kallionpinnan muodot.
- Kalliopaljastumat.
- Lohkareisuus karttamerkintöjen ja topografian pienipiirteisyyden perusteella, ks. kuva 5.
- Kasvillisuus. Mäntymetsä viittaa hiekkaan, soraan tai karkeaan moreeniin sekä useimmiten syvällä olevaan pohjaveteen. Kuusimetsä on usein maaperältään silttiä tai hienorakeista moreenia ja pohjavesi on usein lähellä maanpintaa. Lehti- ja sekametsät sekä luonnonniityt ovat yleensä maaperältään savea, silttiä tai silttimoreenia ja pohjavesi on varsinkin notkokohdissa lähellä maanpintaa. Korvissa (kosteaa kuusimetsää) turvekerros on yleensä alle 1 m paksuinen, samoin usein myös rämeillä (kitukasvuista mäntyä).
- Rakentaminen ja muu ihmisen toiminta. Vanhat tiet seuraavat usein harjujen suuntia. Tiheästi risteilevät polut ja tiet ovat tyypillisiä moreenimaastossa. Yksittäiset maalaistalot sijoittuvat yleensä moreeni-, sora- tai hiekkakummuille. Pellot ovat Etelä-Suomessa yleensä savi- tai silttimaita ja niiden reunat ovat usein myös geologisia rajoja. Soihin rajoittuvat reunoiltaan kulmikkaat pellot ovat yleensä raivattuja soita. Itä-Suomessa mäkien lakiosien peltoalueet ovat usein rantavoimien huuhtoman moreenialueen yläpuolisia hienompilajitteisia moreenimaita.
- Karttasanat (Jaamankangas, Hietala, Suopelto jne.) voivat täydentää muuta informaatiota alueen geologiasta.

Ilmakuvien tulkinta antaa enemmän tietoa kuin karttatulkinta, mutta vaatii enemmän taitoa ja kokemusta. Menetelmiä voidaan hyvin käyttää toisiaan täydentävinä. Ilmakuvatulkinta tehdään stereolaitteella, jolloin saadaan kolmiulotteinen kuva maastosta. Kolmiulotteisuus on välttämätöntä, sillä tulkinta perustuu suuressa määrin pinnanmuotoihin.

Ilmakuvatulkinnan kulku on seuraava:

- Käytetään hyödyksi kaikki asiaan liittyvä muu tieto (maaperäkartat, vanhat pohjatutkimustiedot).
- Ilmakuvat käydään nopeasti läpi, jotta tulkitsija saa alueesta yleiskuvan.
- Ilmakuvat tulkitaan huolellisesti vähintään kahteen kertaan. Käytettävää suurennusta vaihdellaan ko. tulkintakohteen tarkkuusvaatimusten mukaan. Ensin käydään läpi helpoimmin tulkittavat kohdat. Tulkinta voidaan dokumentoida peitepiirroksena.
- Itse tulkintaprosessi jakautuu etsimisvaiheeseen ja todistamisvaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa oleellista on löytää kuvista mahdollisia tulkintaa helpottavia havaintoja ja toisessa vaiheessa punnitaan

havaintojen (usein ristiriitaistenkin) luotettavuutta ja päädytään tulkintoihin ja arvioidaan myös tulkinnan varmuustaso.

Koko Suomen alueelta on saatavissa joko 1, 1 0 000 tai 1:20 000 ilmakuvat, jotka ovat ilmakuvatulkintaan sopivia. Laaja-alaisen maaston yleispiirteiseen tulkintaan voidaan käyttää 1:60 000 ilmakuvia. Suurempimittakaavaiset kuvat kuin 1:5000 eivät sovellu geologiseen ilmakuvatulkintaan. Ilmakuvatulkintaa on tarkemmin esitelty teoksessa *Lärobok i geobildtolkning*.

3.3 Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät

Maatutkaluotaus

Maatutka lähettää sähkömagneettisia aaltoja, joiden taajuus on hyvin korkea (80 MHz-1 GHz). Kun aalto osuu maassa sähköisten ominaisuuksien muutoskohtaan, osa energiasta heijastuu ylöspäin ja osa jatkaa matkaansa alempiin kerroksiin vaimentuen edelleen. Mitä suuremmat erot eri kerrosten ominaisuuksissa on, sitä voimakkaampi heijastus aaltoihin tulee. Rajapinnat perustuvat muutoksiin suhteellisessa dielekrisyysvakiossa c , joka kuvaa tietyssä aineessa etenevän sähkökentän vaimenemista verrattuna tyhjiössä etenevään sähkökenttään. Suhteellisen dielekrisyysvakion neliöjuuri kuvaa aaltojen nopeutta.

Mittauksissa maahan lähetetään tutka-aaltopulssi tutka-antennista, joka on maan pinnalla tai aivan maan yläpuolella. Heijastuneen aallon kulkuaika rekisteröidään maatutka-laitteistolla. Käytettävä taajuus valitaan sen mukaan, miltä syvyydeltä tietoa halutaan ja mikä on haluttu erottelukyky. Alhainen taajuus tunkeutuu paremmin, mutta sen erottelukyky on huonompi kuin korkeamman taajuuden. Tutka-antennia kuljetetaan kohteesta riippuen yleensä autolla, mönkijällä tai moottorikeikalla vetäen. Tällöin saadaan jatkuva mittaus ajettavaa reittiä pitkin. Tulokset voidaan tallentaa analogisesti rullapaperille tai nykyisin yleensä digitaalisesti tiedonkeruulaitteeseen. Maastomittaustyöryhmään kuuluu 1-2 henkilöä. Mittaus voidaan hankalissa maasto-olosuhteissa tehdä myös pistemäisesti. Kuva 7 havainnollistaa maatutkan erilaisia kuljetusmenetelmiä.

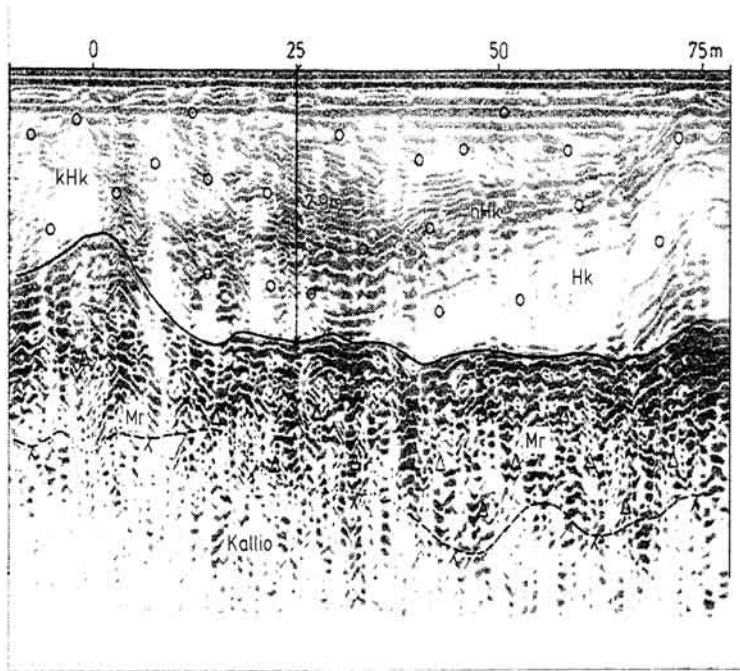


Kuva 7, Maatutkan kuljetusmenetelmiä (Maatutkaluotaus).

Maatutkaa voidaan tieleikkausten tutkimuksissa käyttää:

- kallionpinnan määrittämiseen
- maakerrosrajojen määrittämiseen
- pohjavedenpinnan määrittämiseen
- lohcareiden toteamiseen
- nykyisten teiden rakennekerrosten tutkimiseen
- kallion eheyden tutkimiseen
- ympäristötutkimuksiin (maalaiset romut, saastuneet maat)

Syvyyshavaintojen kalibrointi vaatii aina jonkin verran kairauksia tuekseen. Kallionpinnan määrittäminen on muutenkin syytä tarkistaa muutamilla porauksilla sen tarkistamiseksi, ettei kallionpinnaksi arvioitu pinta ole esimerkiksi löyhemmän ja tiiviimmän moreenin rajapinta. Maakerrosten erottelu on sitä luotettavampaa, mitä selvemmät erot eri kerrosten kosteudessa ja näin ollen myös sähköisissä ominaisuuksissa on. Lohkareiden luotettava etsiminen maatutkalla vaatii vierekkäisten linjojen ajamista, sillä tutka näyttää lohcareet vain melko kapealta viivamaiselta alueelta. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki maatutkaluotausprofiilista.



Kuva 8: *Esimerkki hieksaesiintymän maatulkuotusproffilista (Maatulkuotus).*

Maatutkan hyviä puolia on nopeus, edulliset tutkimuskustannukset ja taitavasti käytettynä (antennin valinta, tulosten tulkinta) hyvä tutkimustarkkuus. Sekä antennin valintaa että tulosten tulkintaa helpottaa jonkinlainen ennakkokäsitys odotettavissa olevista pohjasuhteista. Maatulkatutkimuksia voidaan tehdä kaikkina vuodenaikoina. Suurin haittapuoli on tutka-aaltojen heikko tunkeutuvuus saveen. Tehtäessä maatulkuotusta nykyisen tien päältä tien mahdollinen liukkaudentorjunta- tai pölynsidontasuolaus voi sotkea mittauksen kokonaan. Harkittaessa maatulkuotuksen alueen laajuutta tulee ottaa huomioon maaston kulkukelpoisuus. Helppossa maastossa tutkimus on nopeaa eikä tutkittavan linjapituuden lisäys välttämättä pidennä tutkimuksen kestoa työvuoron tarkkuudella laskien. Vaikeammassa maastossa tilanne voi olla toinen varsinkin raivaus- ja mittaustyöt huomioonottaen.

Maatulkuotuksen tulkinta vaatii erikoisosaamista ja tulosten tulkinta kuuluu aina tutkimustoimeksiantoon.

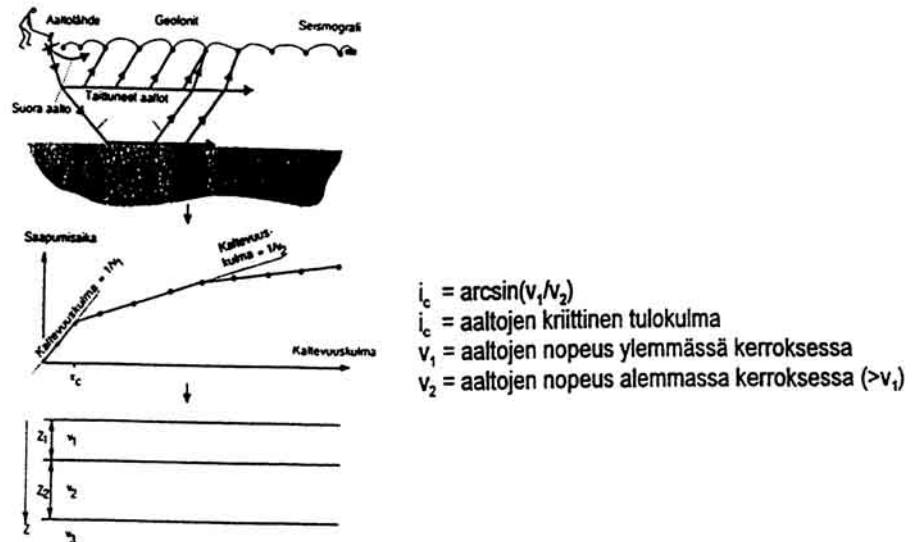
Seisminen luotaus

Tietutkimuksissa on perinteisesti käytetty refraktio- eli taittumislutausta.

Refraktioseismiikka perustuu elastisten täryaaltojen etenemiseen maaperässä. Kun puristusaalto eli P-aalto etenee, jokainen maapartikkeli värähtelee yhdensuuntaisesti aallon kulkusuunnan kanssa. Kun P-aalloorintama kohtaa alla olevan, suuremman seismisen nopeuden omaavan kerroksen, ns. kriittisessä kulmassa (ks. kuvassa 9 esitetty kaava) saapuvat aallot taittuvat kulkemaan rajapinnan suuntaisina.

Taittuva aalto aiheuttaa uusia aalloorintamia, jotka kulkevat ylöspäin kohti maanpintaa, jossa ne rekisteröidään geofoneilla. Osa räjähdysenergiasta

tunkeutuu syvemmälle ja heijastuu vuorostaan seuraavasta rajapinnasta. Kuvassa 9 esitettyjen aika-matka-kuvaajien avulla voidaan tulkita aaltojen etenemisnopeus eri kerroksissa ja kerrosten paksuudet.



Kuva 9: Seismisen retraktioluotauksen periaate (Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät).

Seismiikka soveltuu tieleikkausten tutkimuksissa kallionpinnan sijainnin ja pohjavedenpinnan sijainnin likimääräiseen tutkimiseen. Maalajeista saadaan täryaallon kulkuajan perusteella suuntaa-antavia arvioita. Tyypillinen tulokinnan syvyytarkkuus on + - 10 ... 20 %, kun maakerrosten paksuus on yli 10 m ja pienemmillä syvyyksillä on varauduttava noin + - 1 m virheeseen. Alle 3 m syvyyksillä menetelmän tarkkuus jää näin ollen huonoksi. Seismiikan tarkkuus on sitä parempi mitä vaakasuuntaisemmat kerrosrajat ovat. Kallionpinnan äkilliset vaihtelut voivat jäädä havaitsematta tai ne voivat antaa harhaanjohtavia tuloksia, jos lähin kallionpinta ei olekaan suoraan alapuolella sijaitseva kallio.

Seismiikka soveltuu luontevimmin hiekka- ja sora-alueilla käytettäväksi. Moreenialueilla maakerrosten paksuus on usein menetelmän kannalta haitallisen vähäinen, mutta periaatteessa paksumpia moreenimuodostumia voidaan tutkia.

Täryaallon aaltolähteenä käytetään yleensä joko räjähdyspanosta tai vasaraa. Matalilla syvyyksillä molemmat menetelmät ovat teknisesti samanveroisia. Yli 15-20 metrin syvyyksillä vasaran antama täryaallo ei ole aina riittävä. Asutuilla alueilla räjäytysten suorittaminen voi olla ympäristösyistä hankalaa ja lisätä menetelmän työläyttä. Tällaisissa olosuhteissa voidaan räjähdyspanoksen asemasta käyttää ns. maaperähaulikkoa.

Routa vaikeuttaa seismisten tutkimusten tulkintaa.

Seismisten tutkimusten tulkinta vaatii erikoisosaamista ja tulosten tulkinta kuuluu aina tutkimustoimeksiantoon.

Gravimetrinen mittaus

Gravimetrisessä mittauksessa eli painovoimamittauksessa kallionpinnan syvyyttä tutkitaan kallion ja irtomaan tiheyseron perusteella. Menetelmää on käytetty malminetsinnässä koko tämän vuosisadan ajan, mutta sen soveltaminen geotekniisiin tutkimuksiin on aloitettu vasta 1980-luvun loppupuolella. Mittaus tehdään pistemäisesti esimerkiksi 10-50 m välein käyttäen kannettavaa mittauslaitetta ja vaaituslaitetta.

Gravimetrisellä mittauksella saadaan sitä parempia tuloksia, mitä paksumpi ja homogeenisempi irtomaakerros kalliota peittää. Yleensä maakerrosten paksuuden tulee olla yli 10 m. Tällaisissa olosuhteissa voidaan päästä kallionpinnan määrittämisessä jokseenkin samaan tarkkuuteen kuin seismisellä luotauksella. Maakerrosrajoista ei tällä menetelmällä saada tietoa. Mittaus vaatii tuekseen tarkistusluontoisia kairauksia kuten muutkin geofysikaaliset menetelmät.

3.4 Kairaukset

Painokairaus

Painokairaus soveltuu tieleikkausten tutkimuksissa erilaisia maakerroksia erottelevaksi peruskairausmenetelmäksi:

- savissa ja silteissä
- löyhissä ja keskitiiviissä kitkamaissa
- löyhissä moreeneissa

Keskitiiviissä ja tiiviissä moreeneissa sekä tiiviissä kitkamaissa sekä yleensäkin kivisissä maissa painokairan tunkeutuvuus on huono. Painokaira soveltuu maakerrosrajoja, maalajeja jamaan tiiviyttä selvittävänä kairauksena maihin, joissa kairausvastus on alle 60 pk 1 0,2 m, jolloin kairauksen erottelutarkkuus on vielä melko hyvä. Tiiviimmissä maissa painokairausta käytetään harvakseltaan lähinnä heijarikairausta täydentävänä vertailuaineistona tai sen tarkistamiseksi, onko ko. maakerros painokairalla läpäistävissä.

Heijarikairaus

Heijarikairauksen käyttöalueesta tieleikkausten tutkimuksissa voidaan antaa seuraavia suosituksia:

- Savi- ja silttimaissa, joissa painokairalla on hyvä tunkeutuvuus, ei tavallista heijarikairausta kannata käyttää, koska sillä ei saada juuri mitään lisätietoa. Sen sijaan puristinheijarikairausta voidaan käyttää painokairauksen sijasta.

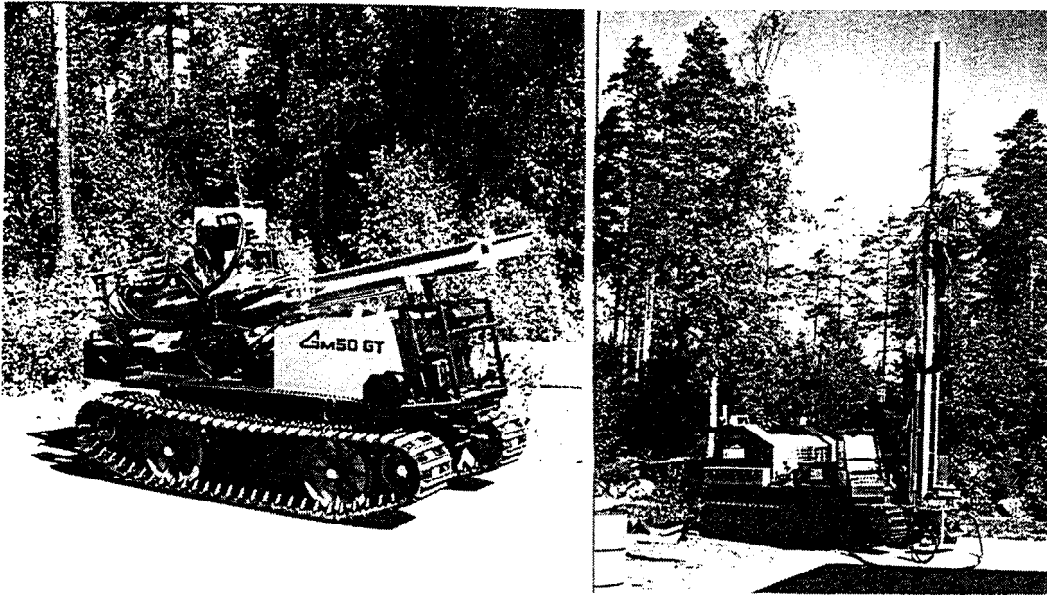
- Löyhissä ja keskitiiviissä kitkamaissa sekä löyhissä moreeneissa heijarikairausta kannattaa käyttää harvakseltaan painokairausta täydentävänä tutkimusmenetelmänä maakerrosrajojen ja maan tiiviiden selvittämiseen.
- Keskitiiviissä ja tiiviissä moreeneissa sekä tiiviissä kitkamaissa heijarikairausta suositellaan käytettäväksi tärkeimpänä maakerrosrajojen ja maan tiiviiden määrittämismenetelmänä.
- Heijarikairausta voidaan käyttää kallionpinnan määrittämisessä muilla menetelmillä saatuja luotettavampia kallionpintahavaintoja täydentävänä tietona.

Tärykairaus

Tärykairalla saadaan tietoa siitä, että kallio on kairauksen päättymistasossa tai alempana sekä kairaajan arvio, onko todella päästy kalliioon. Tärykairauksen käyttöä on vähentänyt porakonekairaus, jolla saadaan luotettava pistemäinen kallionpintatieto, sekä maatulka, jolla saadaan nopeasti ja halvalla viivamainen jossain määrin epävarma ja varmistusta kaipaava kallionpintatieto. Myös tutkimuksille asetettavien laatuvaatimusten aikaisempaa parempi tiedostaminen (pitäisi päästä 3 m tien tasausviivan alapuolelle) on vähentänyt tärykairauksen käyttöä. Maatulkaa käyttäen on paremmat mahdollisuudet onnistua toteamaan tutkittava leikkaus maaleikkaukseksi.

Tärykairan ominainen käyttökohte on avokallioisella alueella sijaitsevien ohuen maakerroksen peittämien kalliopainanteiden tutkiminen. Tällöin tärykairalla saadaan määrittetyksi pienehköillä tutkimuskustannuksilla todennäköinen kallionpinta. Menettely onnistuu parhaiten, kun tutkimusohjelma on suuntaa-antava ja taitava työnjohtaja soveltaa sitä paikan päällä. Tärykairan etu on kuljetettavuus vaikeassa maastossa ja vähäiset ympäristövahingot.

Tärykairausta voidaan periaatteessa tehdä sekä kannettavalla kairalla että monitoimikairalla (ks. kuva- 10), joilla voidaan tehdä useimpia muitakin kairauksia. Monitoimikairan käyttö tärykairaukseen ei kuitenkaan ole mielekästä tutkimuksilla saatavan hyödyn ja tutkimuskustannusten suhdetta ajatellen, sillä monitoimikairalla voidaan tehdä jokseenkin samalla kustannuksella tärykairauksen asemasta esimerkiksi heijarikairaus, jonka kairausvastus kertoo maaperästä enemmän kuin pelkkä tärykairan tunkeutumissyvyys.



Kuva 10: Suomalaisvalmisteiset kevyt monitoimikaika GM50 (vas.), jolla soveltuu paino-, heijää-, täry- ja siipikaikukseen sekä näytteenottoon sekä raskas monitoimikaira GM200 (olk.), joka soveltuu porakonekairaukseen, timanttikairaukseen sekä putistinkairaukseen.

Porakonekairaus

Porakonekairaus on tieleikkausten tutkimuksissa nykyisin tärkein menetelmä kallionpinnan määrittämiseksi, koska sillä voidaan tehokkaasti läpäistä maakerrokset ja havaita kallionpinta. Jatkamalla porausta tavallisesti 3 m kallioon saada suuntaa-antava tieto kallion pintaosan ehjyydestä, kun kairausvastus mitataan joko kelloa käyttäen (0,2 m tunkeutumaa kohti) tai automaattisella rekisteröintilaitteella ja tulostetaan diagrammiksi. Tarvittaessa kallion laatua voidaan selvittää syvemmältäkin. Rikkonaisessa kalliossa, varsinkin jos sitä peittää tiivis kivinen moreeni, kallionpinnan tulkinta voi olla epävarma. Kairausvastuksen rekisteröintilaitteilla varustetuilla porakoneilla saadaan suuntaa-antavaa tietoa vaikeasti läpäistävien moreenien tiivyydestä, joko heijarikairauksen tueksi tai sen sijaan. Moreenin sisältämien lohcareiden tunnistaminen porauksen yhteydessä ja näiden havaintojen dokumentointi on tärkeää.

Porakonekairausta voidaan käyttää myös kallionäytteiden ottamiseen. Tavallisesti otetaan murskenäytteitä, joista voidaan määrittää kivilaji ja sen mikrorakenne sekä tehdä ohut- tai pintahieet mikroskooppista tutkimusta varten. Kiviaineksen lujuustutkimuksia ei murskenäytteistä voida tehdä. Kallion pinnasta voidaan ottaa ns. nappinäyte. Nappinäytettä käytetään lähinnä silloin, kun kallionpintaa ei ole pystytty pelkällä porauksella luotettavasti toteamaan.

Kallionäytekairaus

Kallionäytteistä tehdään päätelmiä kivilajin ja kallion ominaisuuksista sekä tehdään kiviaineksen lujuustutkimuksia. Kallionäytekairausta käytetään, kun kallioperä on epähomogeeninen tai maakerrosten peitossa ja kallion laadusta tarvitaan tietoa pintaa syvemmältä. Silloin, kun kallio on niin rikkonaista, että kallionpinnan määrittäminen porakonekairauksella on hankalaa, kallionäytekairaus antaa varmemman tuloksen.

Kallionäytteen halkaisija on yleensä 32-42 mm. Lujuustutkimuksia varten tarvitaan 15-20 m näytettä.

3.5 Koekuopat

Koekuoppatutkimusten hyviä puolia ovat seuraavat:

- Saadaan melko luotettava kallionpintatieto. Havainnon luotettavuus riippuu kuopan laajuudesta.
- Saadaan kuopan rintauksesta jatkuva kuva maakerrosrajoista.
- Voidaan ottaa näytteitä täsmällisesti niistä kerroksista, joissa siitä on suurin hyöty.
- Saadaan havainnollinen käsitys maan kivisyydestä ja lohkareisuudesta.
- Saadaan monissa olosuhteissa suuntaa-antava tieto pohjavedenpinnasta, maan häiriintymisherkkyydestä, luiskien pysyvyydestä sekä suuntaa-antava ja helposti tarkennettava tieto maan vedenläpäisevyydestä.
- Jos suunnittelija on läsnä, hän saa havainnollisen käsityksen em. asioista. Valokuvauksen avulla havainnot voidaan dokumentoida.

Koekuoppatutkimuksen haittapuolena on tutkimuksen työläyden lisääntyminen ja ympäristöhaittojen lisääntyminen koekuoppien syvyyden kasvaessa. Tavallisesti koekuopat ovat alle 3 m syviä ja maksimisyvyys on yleensä 4-5 m. Koekuopat kaivetaan tavallisesti traktorikaivurilla.

Aikaisemmin koekuoppia on käytetty rutiinitutkimusmenetelmänä kallionpinnan selvittämiseen, mutta tämä sovellutus on harvinaistunut porakonekairojen yleistymisen myötä. Viime vuosina koekuoppaa on käytetty havainnollisena erikoistutkimusmenetelmänä, kun samalla kertaan halutaan tietoa kallionpinnasta, maalajeista ja pohjavesiolosuhteista.

3.6 Näytetutkimukset

Maalajien määrittäminen perustuu näytetutkimuksiin. Kairausten ja geofysikaalisten tutkimusten avulla arvioidaan maakerrosrajojen kulkua näytepisteiden välillä.

Kovan maan leikkausten näytteenotossa soveltuvia menetelmiä ovat sellaiset, joilla riittävän varmasti päästään suunniteltuun syvyyteen ja joilla saadaan riittävän isoja ja edustavia näytteitä. Tällaisia menetelmiä ovat:

- porakone
- heijarikairan näytteenotin, jonka käyttö on nykyisin vähäistä
- maaputkikaira
- koekuoppa, ks. kohta 3.5

Porakoneella näytteitä otettaessa käytetään alle 5 m syvyyksillä pelkkää tankokalustoa.- Kun näytteenottosyvyys on 5-15 m, on työputken käyttö suositeltavaa, ja yli 15 m syvyyksillä on työputken käyttö yleensä välttämätöntä. Porakoneella otettavien näytteiden halkaisija on yleensä n. 50 mm ja pituus 500-1000 mm.

Heijarikairan näytteenottimella otettavat näytteet ovat halkaisijaltaan 30-35 mm ja pituudeltaan n. 500 mm eli jonkin verran pienempiä kuin porakoneella otettavat, mutta toisaalta heijarikairan näytteenotin ei samassa määrin riko eikä sekoita maan rakeita, kuin porakone saattaa tehdä. Otettaessa näytteitä pohjavedenpinnan alapuolelta käytetään umpeenlyötäviä putkia.

Heijarikairan näytteenotin saadaan tunkeutumaan enintään samaan syvyyteen kuin normaali heijarikairan kärki.

Maaputkikairausta on kahta eri tyyppiä. Aikaisemmin käytettiin heijarikalustolla maahan lyötävää maaputkea (ns. superheijari). Nykyisin maaputkikairauksella tarkoitetaan yleensä näytteenottoa porakoneen suojaputkella. Tällä menetelmällä näytteenotto onnistuu 20 m syvyyteen saakka, jos paineellinen pohjavesi ei ole esteenä. Etuna tavanomaiseen porakoneella tehtävään näytteenottoon verrattuna on näytteiden suurempi halkaisija, n. 60 mm, jolloin näytteen murskautuminen jää vähäisemmäksi.

Näytteenottimissa voidaan käyttää esimerkiksi liuskasulkijoita tai muita sulkijalaitteita, jotta estetäisiin näytteen putoaminen näytteenotinta ylös nostettaessa. Näytteen putoamisvaara on suurin otettaessa näytteitä pohjavedenpinnan alapuolelta tai nostettaessa näytettä kivisten maakerrosten läpi.

Koekuoppa on soveltuvin menetelmä silloin, kun pyritään määrittämään maan kivisyys ja lohkareisuus. Esimerkiksi kivisyys-% voidaan määrittää käyttämällä kaivinkonetta ja isokokoista 64 mm seulaa. Maa-aineksen todellinen raekoostumus kivet ja lohkareet huomioonottaen on olennainen tieto, jos suunnitellaan leikkausmassojen jatkojalostusta esimerkiksi murskaamalla.

Maanäytteistä tutkitaan laboratoriossa normaalisti vesipitoisuus ja rakeisuus, jonka perusteella laborantti määrittää kantavuusluokan ja routivuuden. Muut laboratoriotutkimukset harkitaan tapauskohtaisesti.

3.7 Pohjavedenpinnan tutkiminen

Pohjavedenpinnan taso voidaan luotettavasti mitata oikein asennetusta havaintoputkesta, jonka siiviläosa on sijoitettu riittävän läpäisevään maakerrokseen ja jonka toimivuus on tarkastettu.

Pohjavesiputkina käytetään yleisimmin halkaisijaltaan 32-50 mm teräsputkia, joiden alapää on rei'itetty tai uritettu 700-2000 mm pituudelta. Kun putki on tarkoitettu pitkäaikaiseen käyttöön, käytetään teräsputkien asemasta usein muoviputkila (halkaisija yleensä 20-60 mm), jolloin ruostumishaittoja ei ole. Jos pohjavesiputkista varaudutaan ottamaan vesinäytteitä, putken sisähalkaisijan tulisi olla vähintään 50 mm.

Tavallisesti pohjavesiputket asennetaan heijari- tai porakonekalustolla maakerrosten läpäistävydestä riippuen. Yleensä maahan upotetaan ensin työputki, joka huuhdellaan tyhjäksi ja jonka sisään asennetaan varsinainen havaintoputki, minkä jälkeen työputki nostetaan ylös. Teräsputkia voidaan helpoissa olosuhteissa asentaa suoraan ilman työputkea.

3.8 Tutkimuskustannukset

Yleistä tutkimuskustannusten muodostumisesta

Tutkimuskustannuksiin vaikuttavat mm.:

- pääseminen työkohteelle
- liikkuminen kairauspisteeltä toiselle (puut, lohkareet, rinteet)
- raivausten tarve
- kairaussyvyys
- maalaji, kivisyys
- taito valita mahdollisimman suoraan sopiva tutkimusmenetelmä
- kaluston tehon sopivuus ko. kohteeseen
- kairauspisteiden tiheys (siirtojen pituus)
- vuodenaika
- etäisyys taajamista ja liikenneyhteydet (majoituskustannukset)

Taajama-alueilla ja liikennöidyillä teillä tehtävien tutkimusten kustannuksiin vaikuttavia erikoispiirteitä ovat mm.:

- kaapeli- ja johtotietojen selvittäminen
- liikenteelle aiheutuvan haitan minimointi esimerkiksi ruuhka-aikana työskentelyä välttämällä, kelin huomioonottaminen esimerkiksi tehtäessä talviaikaan tutkimuksia moottoriteillä
- liikennejärjestelyt, kaistojen sulkemiset, tarvittavat liikennemerkit
- työn luonteesta johtuvat odotusajat

Pisteiden sijoitus ja niiden siirtomahdollisuus tietyissä toleransseissa voivat parantaa kairaustryön tehokkuutta. Pohjatutkimusohjelmassa voidaan esittää valmiiksi harkitut kairauspisteiden sallitut siirrot. Maanomistajien suhtautuminen voi haitata tai helpottaa liikkumista tutkimusalueella.

Tutkimusten kustannukset työvuoroa kohti laskettuina muodostuvat taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1 Työvuorohinnan muodostuminen tavallisimmissa maastotoissa

Työlaji	Työryhmä	Veloitusluokka	Henkilöveloitus, mk/h	Päiväraha/ puoliapäiväraha/ ruokaraha, mk/tv	Majoituskulut, mk/tv	Päivittäiset matkat, mk/tv	Peruskalusto, mk/tv	Tutkimuskalusto, mk/tv	Työvuorohinnan vaihteluväli	Huom.
Takymetrimittaus	1+1	05-07	210-133	154/69/38,50	0-500	50 km á 1,81	58-149	670	2969-4370	Esim. 1
Tärykairaus, kannettava kaira	1+1	06-08	169-109	„	„	50 km á 1,77	„	344	2711-3910	
Painokairaus, moottorikäyt. kaira	1+1	06-08	169-109	„	„	„	„	326	2697-3892	
Painokairaus, monitoimikaira	1+1	06-08	169-109	„	„	„	„	632-986	3003-3910	
Heijanikairaus	1+1	06-08	169-109	„	„	„	„	614-986	2985-3910	Esim. 2
Porakonekairaus, monitoimikaira	1+1	05-08	210-109	„	„	„	„	1681	3952-4834	Esim. 3
Porakonekairaus, keskirasikas hydr.	1+1	05-08	210-109	„	„	„	„	2604	5167-6049	
Porakonekairaus, raskas hydr.	1+1	05-08	210-109	„	„	„	„	3320	5883-6765	Esim. 4
Kallionävekkairaus, T46 - T56	1+1	05-08	210-109	„	„	„	„	1349-1655 +teräkuusi.	4500-5500	Esim. 5
Koekuoppa, käsinkarvu	1+1	06-08	169-109	„	„	„	„	0	2160-3078	
Koekuoppa, koneella kaivettu	1+0	05-06	210-109	„	„	50 km á 1,73	„	1000-2000	2863-3863	Esim. 6

Esimerkki 1
8 h * 210 mk/h + 8 h * 133 mk/h + 2 * 154 mk + 250 mk + 50 km * 1,81 mk/km + 58 mk + 670 mk = 4121 mk/työvuoro
Esimerkki 2
8 h * 169 mk/h + 8 h * 109 mk/h + 2 * 154 mk + 250 mk + 50 km * 1,77 mk/km + 58 mk + 986 mk = 3911 mk/työvuoro
Esimerkki 3
8 h * 210 mk/h + 8 h * 109 mk/h + 2 * 154 mk + 250 mk + 50 km * 1,77 mk/km + 58 mk + 1581 mk = 4834 mk/työvuoro
Esimerkki 4
8 h * 210 mk/h + 8 h * 133 mk/h + 2 * 154 mk + 250 mk + 50 km * 1,77 mk/km + 58 mk + 3320 mk = 6765 mk/työvuoro
Esimerkki 5
8 h * 210 mk/h + 8 h * 109 mk/h + 2 * 154 mk + 250 mk + 50 km * 1,77 mk/km + 58 mk + 1655 mk = 4908 mk/työvuoro
Esimerkki 6
8 h * 210 mk/h + 154 mk + 200 mk + 50 km * 1,73 mk/km + 58 mk + ulkopuolinen kone 1500 mk = 4908 mk/työvuoro

Työvuorohintojen lisäksi tulee seuraavia kustannuksia: kaluston siirto, maastotöiden valvonta, korvaukset maanomistajille aiheutuneista vahingoista. Kustannukset on esitetty ilman arvonlisäveron osuutta.

Seismisen luotauksen kustannukset ovat noin 15000-25000 mk/km. Gravimetrisen mittauksen kustannukset ovat noin 10000 mk/km.

Maatutkaluotauksen kustannus työvuorota kohti laskettuna on noin 8000-10000 mk, josta noin puolet koostuu tulosten tulkinnasta. Kun kustannukset jaetaan tutkittavalle linjapituudelle, hinnaksi muodostuu ilman mittaus- ja raivaustyötä noin 1800-2500 mk/km.

Geofysikaalisten tutkimusten edellyttämät mittaus- ja raivaustyöt saattavat joissain tapauksissa olla itse tutkimusta kalliimpia.

Tutkimusolosuhteiden jaottelu

Leikkaukset voidaan jaotella syvyyden mukaan:

- mataliin (alle 5 m)
- keskisyviin (5-15 m)
- syviin (yli 15 m)

Maasto voidaan jaotella pinnanmuodostuksen mukaan seuraavasti:

- helppo liikkua
 - avoin maasto tai pieniä puita harvaksen
 - tiet lähellä
 - loivat pinnat (kaltevuus alle 10 astetta)
- vaikea liikkua
 - suuret kaltevuuserot tai suuria puita tiheästi
 - suuria pintakiviä tai lohkareita
 - ei teitä lähellä tai suon ylityksiä
- erittäin vaikea liikkua
 - jyrkät rinteet (kaltevuus yli 30 astetta, ei pääse koneella ajamalla omin voimin)
 - suuria lohkareita
 - tiheä puusto
 - kaukana teistä
 - puidenkaatokielto

Porakonekairauksen kustannukset

Työsaavutus (porausmetriä 1-8 tuntia tehokasta porausaikaa) voidaan arvioida seuraavanlaisiksi:

- alle 5 m syvyys: kevyellä kalustolla 35 m, keskiraskaalla 45 m tai raskaalla 50 m

- 5-15 m syvyys: kevyellä kalustolla 35 m, keskiraskaalla 50 m tai raskaalla 60 m
- yli 15 m syvyys: keskiraskaalla kalustolla 45 m tai raskaalla 60 m

Tästä muodostuu porauskustannukseksi metriä kohden tehokkaalta porausajalta (työvuorohinta otetaan taulukossa 1 esitetyn vaihteluvälin keskeltä):

Alle 5 m syvyys

- kevyt kalusto $4393 \text{ mk}/35 \text{ m} = 126 \text{ mk/m}$
- keskiraskas kalusto $5608 \text{ mk}/45 \text{ m} = 125 \text{ mk/m}$
- raskas kalusto $6324 \text{ mk}/50 \text{ m} = 126 \text{ mk/m}$

5-15 m syvyys

- kevyt kalusto $4393 \text{ mk}/35 \text{ m} = 126 \text{ mk/m}$
- keskiraskas kalusto $5608 \text{ mk}/50 \text{ m} = 112 \text{ mk/m}$
- raskas kalusto $6324 \text{ mk}/60 \text{ m} = 105 \text{ mk/m}$

Yli 15 m syvyys

- keskiraskas kalusto $5608 \text{ mk}/45 \text{ m} = 125 \text{ mk/m}$
- raskas kalusto $6324 \text{ mk}/60 \text{ m} = 105 \text{ mk/m}$

Näytteenoton kustannukset

Otettaessa näytteitä porakonekalustolla 1 m välein ovat työsaavutukset (metriä/8 tuntia tehokasta porausaikaa) likimain puolet edellä esitetystä normaaliporaus-työsaavutuksista tutkimusreiän syvyyden mukaan luokiteltuina. Porakoneella suoritettavassa näytteenotossa kalustokustannuksiin on laskettava mukaan näytteenottimesta muodostuva lisäkustannus (SKOL:n kalustoluokittelun kohta 91.20, nykyisin 44 mk/otettu näyte). Näytteenoton kustannukseksi muodostuu näin:

Alle 5 m syvyys

- kevytkalusto $4393 \text{ mk} / 17,5 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 295 \text{ mk/näyte}$
- keskiraskas kalusto $5608 \text{ mk}/22,5 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 293 \text{ mk/näyte}$
- raskas kalusto $6324 \text{ mk}/25 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 297 \text{ mk/näyte}$

5- 15 m syvyys

- kevytkalusto $4393 \text{ mk} / 17,5 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 295 \text{ mk/näyte}$
- keskiraskas kalusto $5608 \text{ mk}/25 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 268 \text{ mk/näyte}$
- raskas kalusto $6324 \text{ mk}/30 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 255 \text{ mk/näyte}$

Yli 15 m syvyys

- keskiraskas kalusto $5608 \text{ mk}/22,5 \text{ m} + 44 \text{ mk/kpl} = 293 \text{ mk/näyte}$

- raskas kalusto 6324 mk/30 m + 44 mk/kpl = 255 mk/näyte

Heijarikairauksen kustannukset

Heijarikairauksen työsaavutukset (kairausmetriä / 8 tuntia tehokasta kairausaikaa) erilaisilla syvyyksillä voidaan arvioida seuraavanlaisiksi:

- alle 5 m syvyys: 30-35 m
- 5-15 m syvyys: 40-50 m
- yli 15 m syvyys: 45-60 m

Tällöin saadaan tehokkaan kairauksen metrikustannukseksi, kun työvuorohinnaksi otetaan taulukossa 1 esitetyn vaihteluvälin keskeltä 3448 mk:

- alle 5 m syvyys: 99-115 mk/m
- 5-15 m syvyys: 69-86 mk/m
- yli 15 m syvyys: 57-77 mk/m

Siirtokustannukset

Edellä esitetyt porauksen, näytteenoton ja heijarikairauksen työsaavutukset on laskettu tehokasta kairauspisteellä työskenneltyä aikaa kohti. Kokonaiskustannuksen laskennassa tulee lisäksi ottaa huomioon pisteeltä toiselle siirtymisen kustannus. Siirtoaika eri maasto-olosuhteissa on:

- Helppo liikkua: 5-15 minuuttia/piste
- Vaikea liikkua: 15 minuuttia-1 tunti/piste
- Erittäin vaikea liikkua: 1-4 tuntia/piste

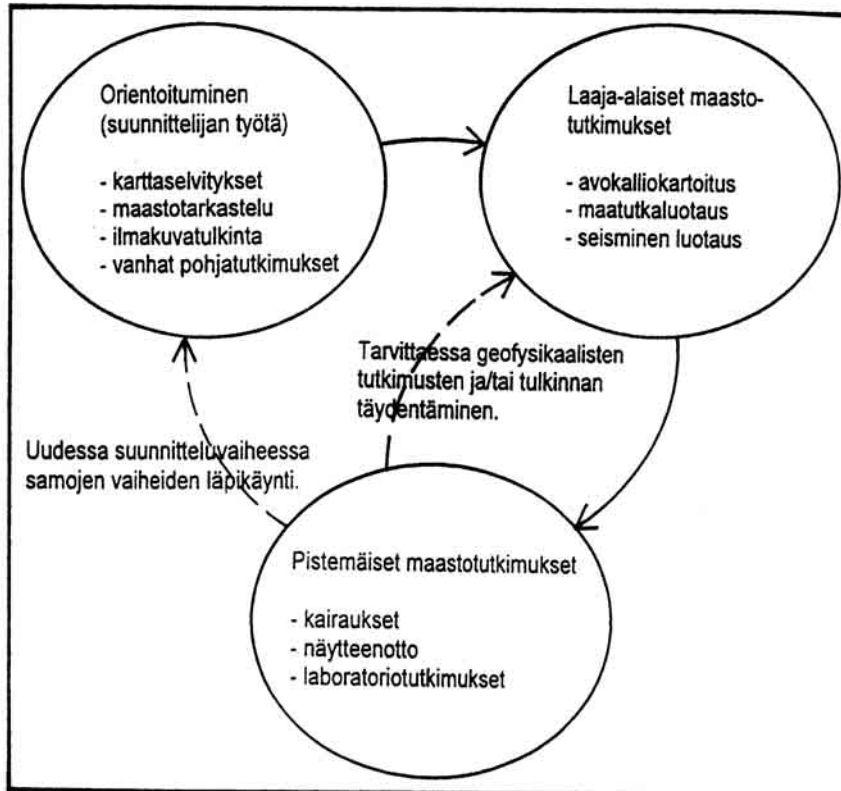
Tavanomaisissa lyhyissä siirroissa kairauspisteeltä toiselle kustannukset muodostuvat edellä esitettyjen työvuorokustannusten mukaisesti. Kun kysymyksessä ovat pitkät siirrot työkohteelta toiselle, otetaan kalustovuokrasta huomioon 30 %.

4 TIELEIKKAUSTEN POHJATUTKIMUSMETODIIKKA

4.1 Pohjatutkimusten vaiheet ja metodiikka

Leikkaustutkimukset voidaan jaotella tutkimusvaiheittain kuvan 11 mukaisesti. Tämän kaavion mukainen tutkimusvaihejako tai ainakin eri tyyppisten tutkimusten käyttömahdollisuuksien tarkistaminen kannattaa tehdä jokaista uutta suunnitteluvaihetta aloitettaessa. Kuvan 11 kaaviossa ei ole esitetty suunnitteluvaihejakoa. Tähän on yhtenä syynä se, että tutkimusvaihejako jossain määrin toistuu yleissuunnitelmaa, tiesuunnitelmaa ja rakennussuunnitelmaa laadittaessa. Tämän tutkimusohjeen pääpaino on luvussa 7 esitetyillä lopullisilla pohjatutkimuksilla ottamatta tarkemmin kantaa siihen, missä suunnitteluvaiheessa ne tehdään. Luvuissa 5 ja 6 esitetään lyhyesti, mikä osa

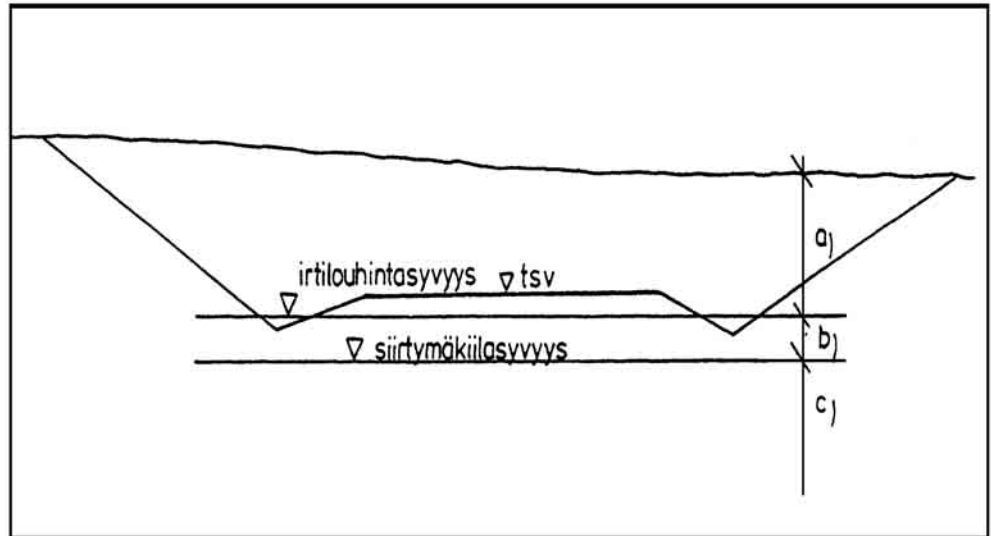
lopullisista tutkimuksista suositellaan tehtäväksi yleissuunnitelmaa ja mikä osa tiesuunnitelmaa varten.



Kuva 11: Leikkaustutkimusten vaiheet ja metodiikka.

4.2 Leikkausten luokittelu kallionpinnan sijainnin mukaan

Kallionpinnan sijainti leikkauksessa olevan tien korkeusasemaan nähden voidaan luokitella kuvan 12 mukaisesti tapauksiin a ... c. Tutkimuksilla selvitetään mikä näistä tapauksista on kyseessä. Tutkimusten etenemislogiikaksi suositellaan kallionpinnan vyöhykkeiden selvittämistä hankkeen edetessä yhä paremmalla tarkkuudella ja tutkimusten tihentämistä eri vyöhykkeiden sisällä tapauskohtaisesti tarvittavan tarkkuuden saavuttamiseksi. Kallionpinnan vaihtelu näiden vyöhykkeiden sisällä vaikuttaa eri tapauksissa eri asioihin ja tämän takia tutkimustarkkuusvaatimukset vaihtelevat. Tutkimuksia ohjelmoitaessa tulee arvioida tien korkeusaseman mahdollisten myöhempien muutosten vaikutus tutkimustarpeeseen.



Kuva 12: Kallionpinnan sointivyöhykkeet tieleikkauksen pohjatutkimusten kannalta.

Vyöhykejako

- a) Kallio ylempänä kuin irtilouhintasyvyys
 - Kallionpinnan vaihtelu vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa massoista on kallionlouhintaa ja kuinka suuri maankaivua.
 - Kallionpinnan sijainti voi myös vaikuttaa luiskan tilantarpeeseen
- b) Kallio välillä irtilouhintasyvyys ... siirtymäkiilasyvyys
 - Kallionpinnan sijainti vaikuttaa päällysrakenteen muotoiluun (siirtymäkiilat, maalaatikot)
 - Kallionpinnan sijainti vaikuttaa louhinta- ja kaivumassoihin
 - Tutkimustarkkuusvaatimukset suurimmat (myös se, missä kallion syvyys siirtyy vyöhykkeeltä b vyöhykkeelle c tai a)
- c) Kallio syvemmällä kuin siirtymäkiilasyvyys
 - Kallionpinnan sijainti ei vaikuta suunnitteluun eikä rakentamiseen, jos kallio pysyy tällä syvyydellä.

4.3 Rakentamisen vaatimuksia leikkaustutkimuksille

Kalliroleikkausmassojen selvittäminen hankekohtaisesti

Tutkimustarkkuusvaatimukset ovat tapauskohtaisesti vaihtelevia. Seuraavassa on esitetty yleisiä näkökohtia, jotka vaikuttavat kalliroleikkausmassojen hankekohtaiseen selvittämistarkkuuteen:

- Usein kalliroleikkausmassat kasvavat suunnitelmassa arvioituista lähinnä sen takia, ettei kaikkia kallioesiintymiä ole pohjatutkimuksilla todettu.
- Jos hankkeessa on massa-alijäämä, ei ole kovin haitallista, että kalliroleikkausmassat kasvavat ja muualta hankittavat massat vähenevät.
- Massatasapaino- tai massaylijäämätilanteessa kalliroleikkausmassojen kasvaminen aiheuttaa merkittäviä ongelmia.
- Jos ylimääräisiä kalliomassoja voidaan hyödyntää toisella työkohteella tai alueellisessa materiaalipankissa, tämä ratkaisee massaylijäämäongelmia, mutta suunnitteluvaiheessa on harvoin varmuutta yhtä aikaa käynnissä olevista rakennushankkeista.
- Jos hankkeessa on arvioitu olevan vähän louhintaa, sen yksikköhinta on todennäköisesti korkea ja kalliroleikkausmassojen lisääntyminen tulee rakennuttajalle kalliiksi.
- Tutkimukset tulee tehdä niin, että työ voidaan toteuttaa joko omajoh-toisena työnä tai kokonaisurakkana.

Kallionpinnan paikallinen selvittäminen

Kallionpinnan tutkimisen tarkkuusvaatimukseen vaikuttavat mm. seuraavat näkökohdat:

- Yleensä suurempi häiriö rakentamiselle aiheutuu siitä, että löytyy "ylimääräisiä" kalliokehousia kuin siitä, että massat muuten poikkeavat arvioituista.
- Mikäli yllättäviä kalliokehousia löytyy rakentamisen loppuvaiheessa eikä massoille enää löydy mielekästä käyttöä, haitta on suurin.
- Epäedullisinta on, että löytyy runsaasti matalaa (0-0,5 m) louhintaa (suuret porausmetrit/m³, suuri nallimenekki/m³, 3 ... 4-kertainen m³-hintaa normaaliin verrattuna).
- Erityisesti liikennöitäviä teitä parannettaessa ennakoimaton louhintatarve aiheuttaa hankaluuksia liikennejärjestelyissä.

Edellä esitetystä seuraa, että tutkimuksia tulee tehdä eniten kallion ollessa vyöhykkeellä b. Lisäksi on riittävin tutkimuksin varmistettava, ettei vyöhykkeellä c sijaitseväksi arvioitu kallio yllättäen esiinny ylempänä.

Maaleikkausmassojen käyttökelpoisuuden selvittäminen

Maaleikkausmassojen käyttökelpoisuuden tutkimistarkkuusvaatimukseen vaikuttavat mm. seuraavat näkökohdat:

- Millainen tarve hankkeella on käyttää hyväksi heikkolaatuisia massoja?
- Onko hankkeen rakentamisaikataulu siinä määrin väljä, että se parantaa huonohkojen massojen hyötykäytön mahdollisuuksia (mahdollisuus välttää kaivua ja pengerrystä epäsuotuisimmista sääolosuhteissa, aikaa penkereiden mahdollisille jälkipainumille)?

4.4 Pohjatutkimusten erityispiirteitä nykyistä tietä parannettaessa

Kun tehdään pohjatutkimuksia nykyisellä tiellä, tutkimuksia helpottavat hyvät kulkuyhteydet tutkimuskohteelle sekä mm. maatulkuotuksen kannalta mahdollisuus ajaa tietä pitkin. Leikkauksessa olevan nykyisen tien sivuojat ovat eräänlaisia jatkuvia koekuoppia ja antavat tietoa kalliopaljastumista ja pinnan maalajista, joskin uusilla teillä leikkausluiskat ja ojat usein verhotaan niin, ettei em. havaintoja voida tehdä. Toisaalta kairausten tekemistä vaikeuttavat nykyisen tien rakennekerrokset sekä varsinkin vilkasliikenteisillä teillä liikennejärjestelyt. Koska parantamistyö yleensä joudutaan tekemään tien ollessa liikenteellä, on suunnittelussa pyrittävä sujuvan rakentamisen mahdollistaviin ratkaisuihin, mikä tutkimusten osalta saattaa edellyttää tavanomaista parempaa tarkkuutta.

5 YLEISSUUNNITTELUVAIHEEN POHJATUTKIMUKSET

5.1 Tutkimusten tavoitteet

Yleissuunnitteluvaiheen tieleikkaustutkimukset voidaan jaotella vastausten hakemiseen kolmeen seuraavaan kysymykseen:

- Onko kysymyksessä pehmeikköleikkaus vai kovan maan leikkaus?
- Ulottuuko leikkaus pohjavedenpinnan alapuolelle? Jos ulottuu, mitkä ovat ympäristövaikutukset ja rakenneratkaisut?
- Mikä on leikkausten massatalous pääpiirteissään (kallio/penkereeseen kelpaava maamassat/läjitettävät maamassat)?

Yleissuunnitteluvaiheen tutkimuksilla haetaan lähinnä ratkaisujen toteutettavuuden (tekninen kelpoisuus ja ympäristövaikutukset) varmistamista ja rakentamiskustannusten määrittämistä yleispiirteisellä tarkkuudella. Isojen hankkeiden massatalouden alustava selvittäminen palvelee myös maa-ainesten hankinnan valmistelua.

5.2 Tutkimussuositukset

Yleissuunnitteluvaiheen tutkimusmenetelmien valinnasta voidaan antaa seuraavia suosituksia:

- Erityisesti tulee painottaa karttatulkinnan, geologisen tietämyksen ja maastokäynneillä saatavien havaintojen merkitystä.
- Geofysikaalisilla tutkimuksilla, erityisesti maatulkuilla, voidaan päästä edullisiin tuloksiin, jos maasto ei ole vaikeakulkuista, eivätkä raivauskustannukset tule kohtuuttomiksi. Geofysikaaliset tutkimukset vaativat tuekseen aina tarkistuskairauksia.
- Yleissuunnitteluvaiheessa tarvittava kairausten määrä riippuu tutkimusten ohjelmoinnista ja erilaisten tutkimustapojen hyödyntämistäidosta.

Pohjavedenpinnan sijainti selvitetään silloin kun pohjaveden pinnan muutosten voidaan arvioida aiheuttavan merkittäviä lisäkustannuksia tai ympäristövaikutuksia. Tutkimustapoina ovat pohjavesiputket sekä geofysikaalisten tutkimusten mahdollisesti antama tieto pohjavedenpinnasta luotauslinjoilla.

Kallionpinnan sijainti leikkauksissa on tarpeen selvittää lähinnä massataloudellisesti merkittävässä leikkauksissa ja likimääräisellä tarkkuudella. Kallionpinnan arvioinnissa voidaan käyttää mm.

- avokalliohavaintoja ja niiden perusteella tehtäviä johtopäätöksiä kallionpinnan kulusta
- geofysikaalisia tutkimuksia varmistettuina tarkistuskairauksin, joiden tässä tapauksessa on mielekkäintä olla varman kallionpintatiedon antavia porakonekairauksia
- kevytkairauksia, jotka saattavat usein antaa riittävän tarkan arvion kallionpinnan sijainnista

Maaleikkausmassojen käyttökelpoisuuden arviointitarkkuus yleissuunnitteluvaiheessa on tapauskohtaisesti vaihteleva.

Yleissuunnitteluvaiheessa tehtäviksi suositeltavat kallion laatututkimukset on esitetty taulukossa 2 kohdassa 7.7.

6 TIESUUNNITTELUVAIHEEN POHJATUTKIMUKSET

6.1 Tutkimusten tavoitteet

Tiesuunnitelmaa varten olennaisinta on määrittää:

- tiealue lopullisella tarkkuudella
- rakentamiskustannukset luotettavasti
- tekniset periaateratkaisut

Kovan maan leikkausten pohjatutkimusten osalta tämä edellyttää, että

- kallionpinta määritetään riittävän tarkasti varsinkin, kun tiealuetta varataan vain jyrkkäluiskaista kallioleikkausta silmälläpitäen.
- massatalous ja päällysrakenteet määritetään sillä tarkkuudella, että kustannusarvio voidaan laatia.
- ympäristövaikutukset selvitetään sillä tarkkuudella, että niiden vaikutus suunnitelmaratkaisuihin ja hankkeen kustannuksiin voidaan ottaa huomioon.

6.2 Tutkimussuosituksiset

Tiesuunnitteluvaiheessa tavoiteltava tutkimustarkkuus verrattuna rakennussuunnitteluvaiheen vastaavaan tavoitteeseen riippuu tapauskohtaisesti mm.

siitä, ovatko tiesuunnitelman ja rakennussuunnitelman laatiminen toisistaan erillisiä työvaiheita vai tehdäänkö ne välittömästi peräkkäin sekä kuinka suuri on suunnitelmamuutosten todennäköisyys. Tavallisesti tiesuunnitelmaa varten tehdään 35-65 % pohjatutkimusten kokonaismäärästä.

Koska tiesuunnitelmassa on pystyttävä määrittämään tiealueen tarve, on jyrkkäluiskaisen kallioleikkauksen tapauksessa tehtävä jo tiesuunnitteluvaiheessa lopulliset tutkimukset (ks. kohta 8.1), jos tiealueen varaus tehdään ilman varmuusvaroja.

Kallionpinnan tutkimisen osalta voidaan keskimääräiseksi yleistavoitteeksi antaa, että esimerkiksi maa- ja kallioleikkausten rajakohdat määritetään tiesuunnitteluvaiheessa +/- 20 m tarkkuudella (vrt. lopullinen tavoite +/- 10 m).

Pohjaveteen liittyvien tutkimusten osalta suositellaan, että ne pyrittäisiin tekemään nimenomaan tiesuunnitteluvaiheessa ja rakennussuunnitteluvaiheeseen jäisi vain pohjavedenpintahavaintojen jatkaminen. Tähän on syynä toisaalta se, että pohjavesitutkimukset vaativat aikaa, ja toisaalta se, että ko. tutkimukset, esimerkiksi koepumppaukset, ovat usein luonteeltaan suunnitelman olennaisia perusratkaisuja varmistavia.

Kallion laatututkimukset pyritään keskittämään tiesuunnitteluvaiheeseen.

7 LOPULLISET POHJATUTKIMUKSET

7.1 Rakennussuunnitteluvaiheen tutkimusten tavoitteet

Rakennussuunnitteluvaiheen pohjatutkimuksille asetetaan seuraavia tavoitteita:

- riittävät lähtötiedot yksityiskohtaista suunnittelua varten
- lähtökohdat riittävän luotettavaa työn hinnoittelua varten
- rakentaminen sujuu ilman haitallisia suunnitelmamuutoksia ja kustannusyllätyksiä

7.2 Kallionpinnan selvittäminen

Kallionpinnan selvittäminen maaleikkauksessa

Kallionpinnan kulku maaleikkauksessa pyritään selvittämään sillä tarkkuudella, ettei työn aikana todeta yllättäviä kallionlouhintatarpeita.

Jos kallionpinnan määrittämisessä ei ole pystytty käyttämään geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä ja kallion sijainti määritetään pelkästään kairauksin (porakonekairauksia tai vähintään 3 m tien tasausviivan alapuolelle ulottuvia kevytkairauksia), voidaan antaa seuraavanlaiset yleissuositukset:

- Moreenialueilla tehdään kairauksia noin 20 m ruutuun sen varmistamiseksi, että kallio on niin syvällä, ettei sillä ole vaikutusta rakentamiseen.
- Harjualueilla kairauspisteiden välimatka voi vastaavasti olla noin 40-60 m. Tulee tarkistaa, että pisteitä osuu harjun poikittaissuunnassa niille kohdille, joilla kallion esiintyminen on todennäköisintä.

Jos kallionpinta on tutkittu geofysikaalisin menetelmin, kairausten määrää voidaan pienentää noin 25-50 prosenttiin edellä esitetyistä ja tehtävät kairaukset voidaan kohdentaa tarkemmin valittuihin paikkoihin.

Kallionpinnan selvittäminen kallioleikkauksessa

Kallioleikkauksen (kallionpinta vyöhykkeellä a) tutkimuksissa tavoitteina on:

- määrittää kallioleikkauksen alkamis- ja päättymiskohta yleensä noin +/- 1 0 m tarkkuudella
- selvittää kallionpinnan kulku tällä leikkausosuudella riittävän tarkasti
- tarvittaessa tutkia tarkemminkin kallionpinta nimenomaan luiskan kohdalla, jos luiska on suunniteltu jyrkäksi kallioluiskaksi ja odottamattoman syvällä oleva kallio aiheuttaisi ongelmia

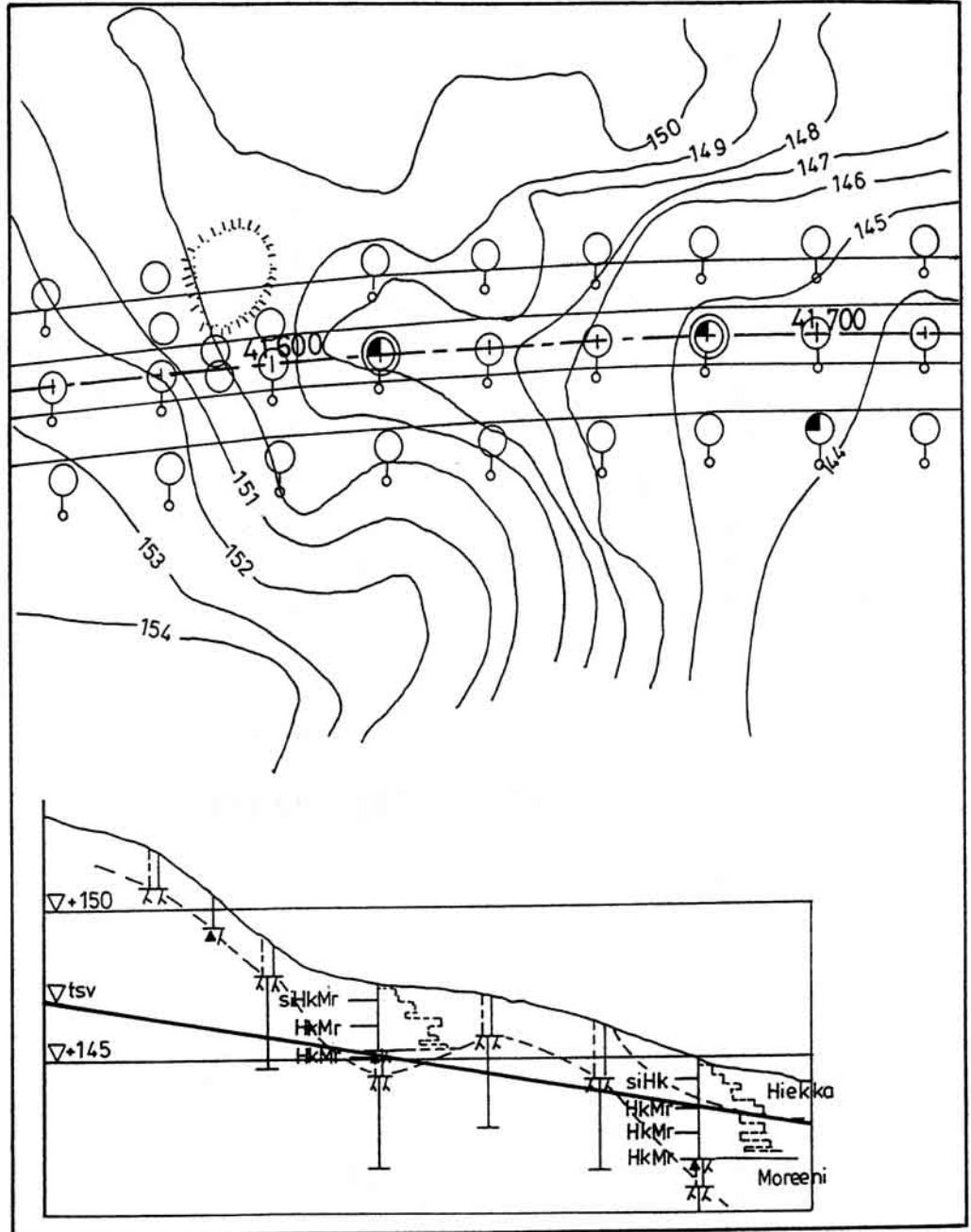
Kallionpinnan arviointi perustuu sopivaan yhdistelmään seuraavista menetelmistä:

- avokalliokartoitukseen (varma havainto)
- avokallioisen alueen matalien painanteiden tutkimiseen tärykairauksin (tuloksena usein hyvin todennäköinen kallio)
- porakonekairauksiin (varma havainto)
- koekuoppiin (melko varma havainto)
- heijari-, paino- ja tärykairauksiin (saadaan kallion ylin mahdollinen sijainti, tiedon hyödynnettävyys massalaskennassa tapauskohtaisesti vaihteleva)
- maatulkuotukseen
- seismiseen luotukseen

Kallioleikkauksen alkamis- ja päättymiskohdan määrittämisen tulee perustua luotettavaan havaintoon (porakonekairauksiin).

Jos kallionpinta on määritetty ilman geofysikaalisia tutkimuksia, voidaan luotettavien kalliohavaintojen tiheysvaatimusten ääritapauksina pitää seuraavia:

- poikkileikkaukset 20 m välein, poikkileikkauksessa kairaukset tms. 10-15 m välein (kuva 13)
- poikkileikkaukset 40 m välein, poikkileikkauksessa kairaukset tms. 20 m välein



Kuva 13: Esimerkki kallioleikkauksen tutkimuksista. Kallionpintaa on selvitetty lähinnä porakonekairauksin, kalliojaljastuman ympärillä myös tärykairauksin. Muina tutkimuksina heijarikairausta ja näytteenottoa.

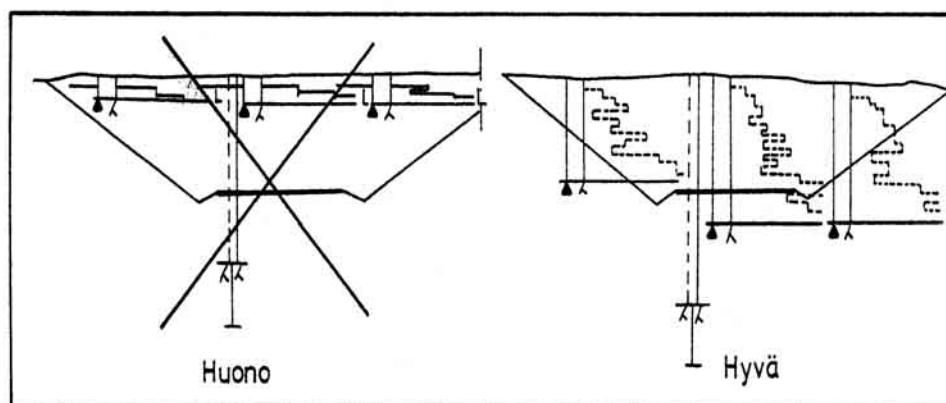
Jos on tehty maatulkuutus, jonka antama kallionpinta on vertailuporauksilla todettu luotettavaksi, porauksia tms. varmoja kallionpintahavaintoja voidaan vähentää noin puoleen edellä mainituista. Leveällä tiellä tämä edellyttää useiden rinnakkaisten linjojen tutkimista.

Heijari-, paino- ja tärykairausten hyödynnettävyyttä arvioitaessa kannattaa tehdä leikkauskohtainen vertailu, kuinka paljon ko. kairausten päättymissyvyys on poikennut luotettavasti määritetystä kallionpinnasta. Jos ero on pieni, ko. kairauksille voidaan antaa painoarvoa kallionpinnan kulun arvioinnissa ja niiden avulla voidaan vähentää porakonekairausten tarvetta.

Jos kallionpinta on tarpeen tutkia luiskan kohdalla tarkasti tiealueen riittävyden varmistamiseksi tai tukimuurin tarpeen määrittämiseksi, tutkimustiheys harkitaan tapauskohtaisesti.

7.3 Maakerrokset

Maakerrosrajat määritetään ottamalla maanäytteitä ja arvioimalla tärkeimpien maakerrosrajojen kulku näytepisteiden välillä yleensä heijari- tai painokairauksilla. Myös geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä voidaan käyttää maakerrosrajojen arviointiin. On syytä välttää sellaisten kairausmenetelmien tarpeettoman runsasta käyttöä, joilla ei ko. pohjasuhteissa päästä riittävän syväälle, ks. kuva 14. Hiekka- ja sora-moreeneissa sekä muissakin kivisissä moreeneissa painokairan tunkeutuvuus on huono ja maakerrosrajat kannattaa määrittää lähinnä heijarikairauksella. Silttisissä maissa taas heijarikairaus antaa maan häiriintymisherkkyuden takia niin pieniä kairausvastuksia, että maakerrosten erottelutarkkuus saattaa jäädä huonoksi. Tällöin painokairaus tai puristinheijarikairaus on tavallista heijarikairauksista soveltuvampi tutkimusmenetelmä.

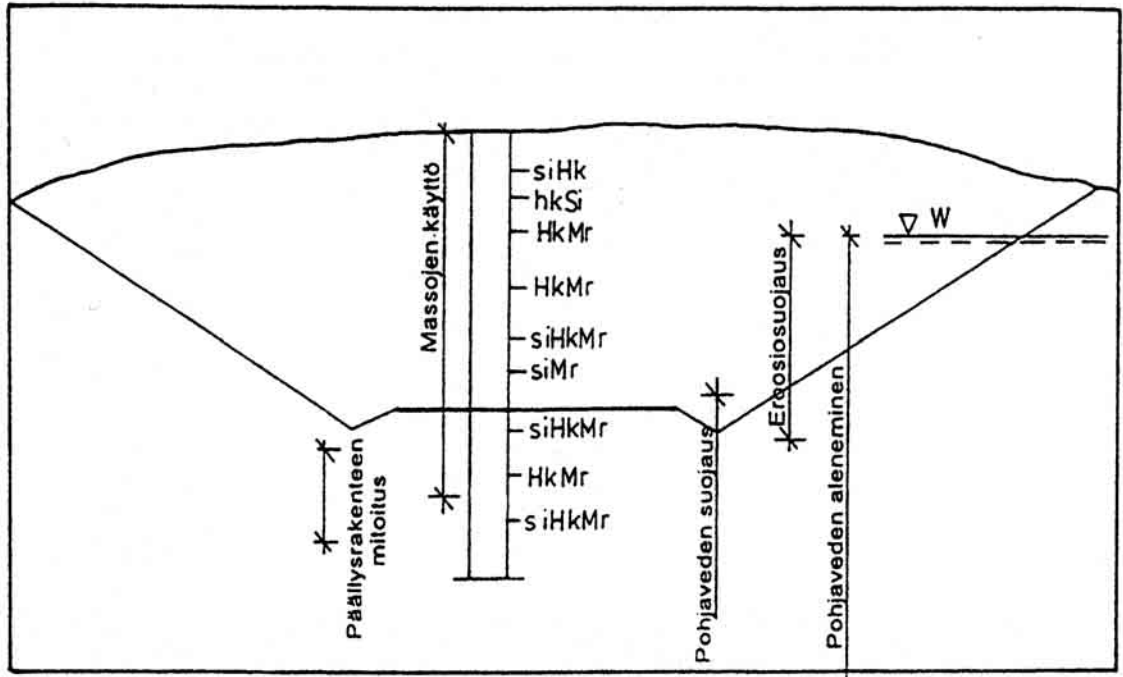


Kuva 14: Kairausmenetelmän valinta kivisessä moreenissa.

Näytteenottopisteitä sijoitetaan tielinjalle tavallisesti 40-80 m välein. Näytteenottopisteiden sijoitustiheyteen vaikuttavat mm. seuraavat näkökohdat:

- Tasalaatuisissa pohjasuhteissa voidaan soveltaa harvempaa pisteverkostoa.
- Kun leikkausmassojen käyttökelpoisuuden vaihtelut pyritään saamaan tarkoin selville, sovelletaan tiheää pisteverkostoa.
- Matalia näytepisteitä voidaan kohtuullisin kustannuksin sijoittaa tiheämpään kuin syviä.

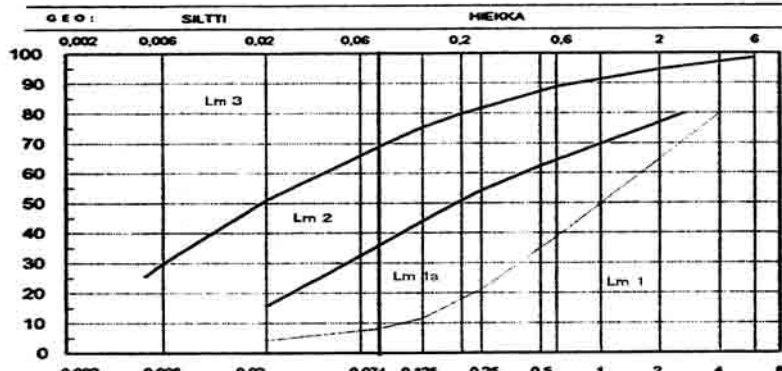
Näytteenotto pyritään aina ulottamaan vähintään 3 m tien tasausviivan alapuolelle. Tutkimuksia ohjelmoitaessa kannattaa ottaa huomioon suunnittelun aikana tapahtuvan tasausviivan alentamisen mahdollisuus. Kuvassa 15 on havainnollistettu eri syvyysväleiltä otettavien maanäytteiden merkitystä suunnittelussa.



Kuva 15: Eri syvyytasoilta otettavien maanäytteiden hyödyntäminen tien geoteknisessä suunnittelussa.

7.4 Leikkausmassojen käyttökelpoisuus

Kuvassa 16 on esitetty leikkausmassojen luokittelu rakeisuuden mukaan penkereeseen kelpaaviin (Lm 1 ... Lm 1a), olosuhdeherkkiin (Lm 2) ja penkereeseen kelpaamattomiin (Lm 3). Luokittelu on Tienrakennustöiden yleisistä laatuvaatimuksista ja työselityksistä (TYLT: Penger- ja kerrosrakenteet).

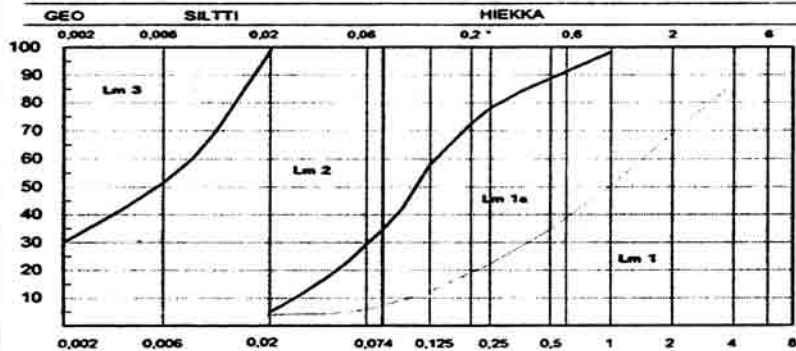
KUVA 4110.2**MOREENIEN KÄYTTÖ PENGERMATERIAALINA**

Lm1: Pengerrys- ja tiivistämisessä ei yleensä esiinny vaikeuksia. Tämän ryhmän maalajit soveltuvat pengermateriaaleiksi myös ns. pohjaentäytöissä ja vesistöpankereissa. Hienoainespitoisuus < 8 % (# 0,074)

Lm1a: Tämän ryhmän maalajien tiivistäminen ja käsittely on epädullisissa olosuhteissa vaikeampaa kuin ryhmän Lm1 maalajien. Hienoainespitoisuus < 35 % (# 0,074)

Lm2: Vähäinenkin (> 2%) optimivesipitoisuuden ylitys aiheuttaa vaikeuksia maalajin tiivistämisessä. Vesipitoisuuden lähestyessä juoksurajaa ei maalajia voida yleensä käyttää sellaisenaan pengermateriaalina. Rakenne on yleensä verhoitava välittömästi pintaerosion aiheuttamien vulumien estämiseksi. Maalajin käsiteltävyyttä voidaan parantaa kalkkilujituksella.

Lm3: Maalajia ei yleensä voida käyttää pengermateriaalina muulloin kuin edullisissa olosuhteissa. Maalajit soveltuu voioipä rakenteeseen routareajan alapuolella ja vastapankereisiin. Rakenne on yleensä verhoitava välittömästi eroosion aiheuttamien vulumien estämiseksi. Käsiteltävyyttä voidaan parantaa kalkkilujituksella.

KUVA 4110.3**LAJITTUNEIDEN PENGERMATERIAALIEN KÄYTTÖ**

Lm1: Pengerrys- ja tiivistämisessä ei yleensä esiinny vaikeuksia. Tämän ryhmän maalajit soveltuvat pengermateriaaleiksi myös ns. pohjaentäytöissä ja vesistöpankereissa. Hienoainespitoisuus < 8 % (# 0,074)

Lm1a: Tämän ryhmän maalajien tiivistäminen ja käsittely on epädullisissa olosuhteissa vaikeampaa kuin ryhmän Lm1 maalajien. Hienoainespitoisuus < 35 % (# 0,074)

Lm2: Vähäinenkin (> 2%) optimivesipitoisuuden ylitys aiheuttaa vaikeuksia maalajin tiivistämisessä. Vesipitoisuuden lähestyessä juoksurajaa ei maalajia voida yleensä käyttää sellaisenaan pengermateriaalina. Pankereen stabilisuus on aina selvitettävä. Maalajit soveltuu käytettäväksi voioipä rakenteissa routareajan alapuolella ja vastapankereissa. Rakenne on yleensä verhoitava välittömästi pintaerosion aiheuttamien vulumien estämiseksi. Maalajin käsiteltävyyttä voidaan parantaa kalkkilujituksella.

Lm3: Maalajia ei yleensä voida käyttää pengermateriaalina muualla kuin vastapankereissa. Kuivakuonassa voidaan ankormenetelmän käyttöä pankereen alle osissa routareajan alapuolella, mikäli saven vesipitoisuus on riittävästi juoksurajan alapuolella ja jos savi voidaan tiivistää niin, että pankereen vakavuus säilyy. Saven käsiteltävyyttä voidaan parantaa kalkkilujituksella.

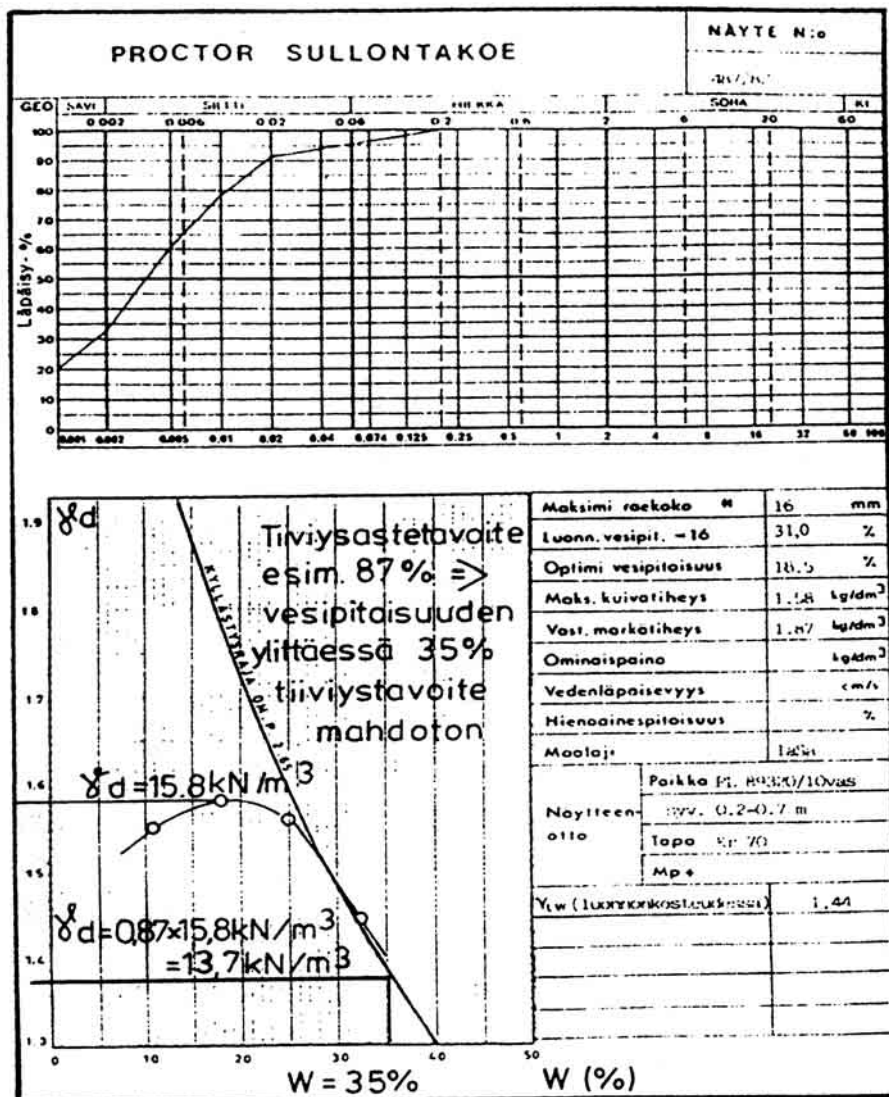
Kuva 16: Leikkausmassojen luokittelu rakeisuuden mukaan (TYLT).

Tekijöitä, jotka vaikuttavat olosuhdeherkkien leikkausmassojen käyttökelpoisuuteen pengermateriaaliksi ovat:

- maa-aineksen rakeisuus
- maa-aineksen sijainti pohjavedenpintaan nähden (pohjavedenpinnan vaihtelulla suuri merkitys)
- maa-aineksen vesipitoisuus, jonka pitää olla riittävän paljon juoksurajaa pienempi
- vuodenaika ja sää kaivu- ja pengerrysvaiheessa
- mahdollisuus tehdä kaivu sellaista työjärjestystä noudattaen, että leikkausta ehditään esim. ojittamalla osittain kuivattaa työn aikana
- mahdollisuus liikkua työkoneilla leikkauksen päällä siten, että eri syvyystasoilla olevat käyttökelpoisuudeltaan erilaiset massat voidaan kaivaa erikseen
- mahdollisuus tehdä pengertä tarvittaessa ns. voileipä rakenteena, jossa hienorakeisten kerrosten väliin tehdään karkeampia, kuivattavia kerroksia
- rakentamisaikataulu (mahdollisuus välttää työskentelyä huonojen säiden aikaan, aikaa penkereiden mahdollisille jälkipainumille).

Kuten esitetystä luettelosta nähdään, vain osa massojen käyttökelpoisuuteen vaikuttavista tekijöistä on pohjatutkimusasioita ja monet ovat enemmän työtekniikkaan ja rakentamisen ohjelmointiin liittyviä kysymyksiä. Pohjatutkimuksissa oleellisimpia ovat näytteet sekä pohjavedenpintatiedot. Yleensä kaivutöissä ei erotella alle 1,5-2 m paksuisia erilaisia maakerroksia, mutta hankkeen massatilanteesta ja olosuhteista riippuen voidaan tehdä tarkempaa-kin työtä. Myös varamaanottopaikoilla tehtävissä kaivutöissä tarkkuus on usein suurempi.

Hienorakeisten maalajien kelpoisuutta pengermateriaaliksi voidaan tarkastella kuvan 17 mukaisesti. Proctor-kokeilla määritetään optimivesipitoisuus ja tätä vastaava maksimikuivatilavuuspaino. Hienorakeisten maalajien tiivistämisen tutkimiseen sopii paremmin normaali proctor-koe kuin parannettu proctor-koe, jossa järkäleen koko, pudotuskorkeus ja pudotusten määrä ovat suuremmat ja voivat aiheuttaa tiivistymisen sijasta haitallista häiriintymistä. Penkereelle asetettavan tiiviysastetavoitteen (TYLT:n mukaisen tai tapauskohtaisesti harkitun, joskus esimerkiksi 92 % sijasta 87 %) avulla voidaan laskea penkereen kuivatilavuuspainolle asetettava tavoite. Vesipitoisuuden ja maksimikuivatilavuuspainon riippuvuutta kuvaavalta käyrältä saadaan määritetyksi vesipitoisuus, jota kosteammassa tilassa maa-ainesta ei ole mahdollista saada tavoitetiiviyteen. Vertaamalla tätä vesipitoisuutta maan luonnontilaiseen vesipitoisuuteen voidaan tehdä johtopäätöksiä maa-aineksen soveltuvuudesta pengermateriaaliksi. Menettelyä on tarkemmin selostettu julkaisussa Kuivakuorisavien ja silttien käyttö tiepenkereissä TVH 723855. Proctor-tiivistyksen asemasta voidaan laboratoriokokeissa käyttää IC-testeriä, jossa tiivistys aikaansaadaan painetta ja kiertotiivistystä käyttäen.



Kuva 17: Esimerkki proctor-kokeen käytöstä arvioitaessa hienorakeisen materiaalin soveltuvuutta tiepenkereeseen.

7.5 Pohjamaan ominaisuudet tierakenteiden mitoituksen kannalta

Tien päällysrakenteen mitoituksen kannalta tärkeitä ovat:

- näytetutkimusten perusteella määritetyt pohjamaan kantavuus- ja routivuusominaisuudet
- tiedot pohjavedenpinnasta
- tieto kallionpinnasta sikäli kuin se on 3 metriä lähempänä tien tasausviivaa

Oleellisia ovat näytteet, jotka on otettu 1-3 m tien tasausviivan alapuolelta. Näytteiden lopullista fiheyttä harkittaessa kannattaa ennakoida päällysrakenteen mitoituksen erityispiirteitä kyseisessä hankkeessa, mm. seuraavasti:

- Pienipiirteinen päällysrakennesuunnittelu, jota tehdään lähinnä vanhan tien parantamista varten, edellyttää tarkkoja tietoja pohjamaan kantavuus- ja routivuusominaisuuksien vaihtelusta.

- Jos päällysrakenteessa on sitomaton kantava kerros, pohjamaan kantavuusominaisuuksien mahdollinen vaihtelu kostautuu herkemmin kuin stabiloitua kantavaa kerrosta käytettäessä.

Suuntaa-antavana suosituksena voidaan esittää, että näytepisteiden välimatka saa olla enintään 40 % suunniteltavasta päällysrakenneosuudesta. Esimerkiksi kun päällysrakennepaksuutta muutetaan 100 m välein, tämä edellyttää näytteenottoa 40 m välein, jotta jokainen päällysrakenteen muutos perustuisi vähintään kahden näytepisteen antamaan tietoon.

7.6 Pohjavesikysymykset

Pohjaveden alenemiseen ja alentamiseen liittyvien tutkimusten tavoitteena on:

- kartoittaa alkuperäinen tilanne
- selvittää odotettavissa olevat pohjaveden alenemisen vaikutukset
- suunnitella vältettävissä olevien haittojen estäminen
- suunnitella valmis rakenne toimivaksi

Tieto pohjavedenpinnan sijainnista ja vaihtelusta on tarpeen myös mm. päällysrakenteen ja kuivatuksen suunnittelua sekä leikkausmassojen käyttökelpoisuuden selvittämistä varten.

Pohjavedenpinnan likimääräinen sijainti arvioidaan geologisen tiedon ja muista pohjatutkimuksista saatavien viitteiden perusteella ja pohjavedenpinta selvitetään tarkemmin pohjavesiputkien avulla. Pohjavesiputkien tarve on vähäinen seuraavankaltaisissa olosuhteissa:

- moreenileikkaus, jossa tie kulkee moreenimäen korkeimmilla kohdilla ja selvästi ympäröiviä alueita, esimerkiksi tasankosavikoita ylempänä
- hiekka- tai soraleikkaus, jossa pohjaveden voidaan vähilläkin tutkimuksilla arvioida olevan yli 3 m syvyydellä tien tasausviivasta

Pohjavesiputkia sijoitetaan myös tielinjan ulkopuolelle seuraavissa tapauksissa:

- Selvitetään pohjavesikysymyksiä sivukaltevassa maastossa.
- Tarvitaan tieto pohjavedenpinnasta sellaisten rakenteiden kohdalla, joiden vaurioitumisvaaraa pohjaveden alenemisen johdosta selvitetään.
- Koepumppausten yhteydessä.

Pohjavesiputket pyritään asentamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta suunnittelua varten ehditään saada käsitys pohjavedenpinnan vaihtelusta. Pohjavedenpinnan selvittämiseen kuuluu olennaisena osana lähiympäristön kaivojen vedenkorkeuksien mittaaminen. Pohjavesikysymysten tutkimisen kannalta on tärkeää, että suunnittelijalla on henkilökohtainen käsitys maasto-olosuhteista.

Pohjavedenpinnan alapuolelle ulottuvissa leikkauksissa selvitetään maaperän vedenläpäisevyys. Useissa tapauksissa vedenläpäisevyys voidaan riittävällä

tarkkuudella arvioida maanäytteiden rakeisuuden perusteella. Tarkempaa tietoa tarvittaessa vedenläpäisevyyttä voidaan tutkia:

- laboratorioskokein
- kenttävedenläpäisevyysskojeella, jossa maahan upotettuun putkeen lisätään vettä ja mitataan vedenlaskeutumisnopeus
- lyhytaikaisella (alle 1 vrk) koepumppauksella koekuopasta
- varsinaisella koepumppauksella (kesto yleensä 2-4 viikkoa)

Koepumppauksesta saatavien tietojen perusteella voidaan selvittää paitsi maaperän vedenläpäisevyyttä myös pohjaveden alentamisen toteutusmahdollisuutta sekä pumppausvesimääriä. Koepumppaus on tarpeen silloin kun:

- on odotettavissa suuri jaltai laaja-alainen pohjaveden aleneminen
- pumppausvesimäärät ovat suuret (yli 250 m³/vrk pumppaus edellyttää vesioikeuden lupaa)
- ympäristössä on kohteita, jolle herkästi aiheutuu haittaa pohjaveden alenemisesta, esimerkiksi pehmeikölle maanvaraisiksi perustettuja rakennuksia tai muita rakenteita taikka vedenottamo

7.7 Kallion laatu

Ohjeessa Kallion laatututkimukset tiensuunnittelutöissä TIEL 2180001 suositellut eri vaiheissa tehtävät tutkimukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Kallion laatututkimukset tiensuunnittelun eri suunnitteluvaiheissa (Kallion laatututkimukset tiensuunnittelutöissä TIEL 2180001).

	TUTKIMUSMENETELMÄ	SUUNNITTELUVAIHE				
		Eisuunnitelma Pääsuunnittelu	Yleis- suunnitelma	Tie- suunnitelma	Rakennus- suunnitelma	Rakentaminen
LÄHTÖAINEISTO, ALUSTAVA GEOLOGINEN SELVITYS	Aikaisemman tutkimusaineiston analysointi, kartta- ja ilmakuva- tulkinta	●	●			
	Alustava geologinen maastotarkastelu	●	●			
	Rakennusgeologinen ohjaus	●	●	●	●	●
KENTTÄ- TUTKIMUKSET	Maastomittaukset ja kartoitus		●	●		
	Rakennusgeologinen kartoitus		●	●		●
	Kallion pintanäytteiden otto	○	●	●	●	○
	Geofysikaaliset tutkimukset, maatutka, seisminen luotaus		●	●		
	Porakonekairaus		●	●	●	
	Kallionäyttekairaus		○	●	●	
LABORATORIO- TUTKIMUKSET	Kiviaineksen lujuustutkimukset	○	●	●	●	○ x)
	Mikroskooppiset tutkimukset	○	●	●	●	○
	Tulostus	●	●	●	●	●

● Välttämätön ● Tarvittaessa ○ Erikoistapauksissa ■ Suositeltavat vähimmäistutkimukset

x) Tuotantovaiheessa "murakaustyön yleiset laatuvaatimukset ja työseiliitys" ohjeen mukaan

Kallion laatututkimusten menetelmien valintaan, tutkimusten vaiheistukseen ja ohjelmointiin vaikuttaa erityisesti kiviaineksen laadullinen tarve. Mitä korkealuokkaisempaa kiviainesta etsitään, sitä enemmän tutkimuksilta on vaadittava. Myös tutkimuksiin käytettävissä oleva aika vaikuttaa siihen, missä määrin tutkimuksissa voidaan edetä menetelmä kerrallaan ja vaiheittain.

8 TUTKIMUSTULOSTEN ESITTÄMISSUOSITUKSIA

Kovan maan tieleikkausten osalta suositellaan pituusleikkauspiirustuksissa 1:2000 / 1:200 tai 1:1000 / 1:100 esitettäväksi seuraavia pohjatutkimustietoja:

- arvioitu kallionpinta
- muutamia edustavia kairausdiagrammeja ja näytetietoja
- maakerrosrajat tapauskohtaisen harkinnan mukaisesti
- pohjavedenpinnan vaihteluväli jonkin edustavan pohjavesiputken kohdalla silloin kun pohjavedenpinta on ko. leikkauksen kannalta oleellinen tieto
- käyttökelpoisuudeltaan erilaisten leikkausmassojen määrät yleensä janaesityksenä.

Paalukohtaisissa poikkileikkauksissa 1:200 tai 1:100 esitetään:

- mahdollisimman perusteellisesti kaikki ko. kohdalta tehdyt pohjatutkimukset, mm. kairaukset sekä maalajimääritykset rakeisuuskäyrineen
- arvioitu kallionpinta (ei välttämättä, jos kallio on niin syvällä, ettei sillä ole rakentamisen kannalta merkitystä eikä sitä ole tarkasti tutkittu)
- maakerrosrajat tapauskohtaisesti harkiten
- pohjavedenpintatiedot sikäli kuin ne on tutkittu ko. kohdalta

KIRJALLISUUS

- Aikio, O. Pohjatutkimusten laatu. Insinööriyö. Oulun teknillinen oppilaitos. 1993.
- Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Suomen geoteknillinen yhdistys ry., Rakennustieto Oy, Helsinki 1993.
- Geotekniset laboratorio-ohjeet, 1. Luokituskokeet GLO-85. SGY/RK Oy 1985.
- Ilmakuvien tulkintaopas. Tie- ja vesirakennushallitus. Helsinki 1976. TVH 2.445.
- Kairausopas I, Painokairaus, pisto- ja lyöntikairaus, heijarikairaus. SGY 1981.
- Kairausopas III, Maanäytteiden ottaminen. SGY 1972.
- Kairausopas IV, Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen, SGY 1987.
- Kairausopas V, Porakonekairaus. SGY 1986.
- Kallion laatututkimukset tiensuunnittelutöissä. Tielaitos. Helsinki 1991. TIEL 2180001.
- Kauranne, L. K., Gardemeister, R., Korpela, K., Mälkki, E. Rakennusgeologia II Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, TKY 304. Espoo 1972.
- Kuivakuorisavien ja silttien käyttö tiepenkereissä. Tie- ja vesirakennushallitus. Helsinki 1986. TVH 723855.
- Maatutkaluotaus. Suomen geoteknillinen yhdistys ry., Rakentajain kustannus Oy, Tampere 1991.
- Moreeni ja sen käyttö. Tielaitos. Geokeskus. Oulu 1993, TIEL 3200146.
- Pohjarakennuspiirustusmerkinnät, Nro 201. SGY/RK Oy 1993.
- Pohjarakennuspiirustusohjeet PRIP-84. SGY/RK Oy 1984.
- Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa. Helsinki 1990. TIEL 703435.
- Päällysrakenteen kantavuustutkimus. TVL-Uudenmaan piiri. Helsinki 1988. TVH 733337.
- Siltojen pohjatutkimusohje. Tie- ja vesirakennushallitus. Geopalvelukeskus. Helsinki 1989. TVH 733336.
- Soveri, U., Kauranne, L. K. Rakennusgeologia I, Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, TKY 272. Espoo 1972.

Suomen geomorfologia. Helsingin yliopiston opetusmonisteita. Maantieteen laitos. Helsinki 1979.

Teiden suunnittelu, IV Tien rakenne, osa 5, Päälysrakenne. Helsinki 1985. TVII.

Teiden suunnittelu, IX Suunnitelmat. Helsinki 1979. TVH 722308.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset TYLT: Kalliorakenteet. Helsinki 1991. TIEL 2212458.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset TYLT: Leikkaukset, kaivannot ja avo-oJarakenteet. Helsinki 1991. TIEL 2212459.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset TYLT: Penger- ja kerrosrakenteet. Helsinki 1994. TIEL 2212460.

Valtatie 3 välillä Toijala-Kulju, yleissuunnittelu, geosuunnittelun menetelmäkehitys. Tielaitos. Hämeen tiepiiri. Julkaisematon raporttiluonnos 1993.

Viberg, L. lärobok i geobildtolkning. Statens geotekniska institut. Stockholm 1991.

Vähäsarja, P. Karttatulkintaopas. Hämeenlinna 1971.