



Alexi Heikkinen

Geotekniset tutkimukset ja mittaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

25.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Aleksi Heikkinen
Otsikko: Geotekniset tutkimukset ja mittaukset
Sivumäärä: 40 sivua
Aika: 25.5.2022

Tutkinto: insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: maanmittaustekniikka
Ohjaajat: yliopettaja Aune Rummukainen

Insinöörityön tarkoituksena oli koota yhteen geoteknisen tutkimuksen ja geotekniikan kartoituksen ja maastomittausten perustiedot. Työssä perehdyttiin perinteisiin tutkimus- ja mittausmenetelmiin sekä geotekniikassa olennaisiin maa- ja kallioperätietoihin.

Työ tehtiin hyödyntämällä geotekniikkaan liittyvää kirjallisuutta: kirjoja, aiempia opin- näytetöitä sekä internetissä olevaa kirjallista materiaalia. Työssä tuotiin esiin geotekniikkaan liittyvää sanastoa ja selitettiin sitä.

Insinöörityön tuloksena oli kattava ja selkeä selvitys geoteknisistä tutkimuksista. Työssä tuodaan esiin, millaisia ne ovat, miten niitä voidaan hyödyntää ja niiden toimintaperiaatteet.

Insinöörityö oli omaan mielenkiinnon kohteeseeni liittyvä yhteenveto ja jäsenneily selvitys sekä hyödyllinen selostus alan opiskelijalle. Tavoite oli luoda selkeä ja yksinkertainen kooste geoteknisistä tutkimusmenetelmistä, sillä aiheeseen liittyvät tutkimukset ovat selkeästi laajempia, ja niistä oleellisen tiedon hakeminen on haastavampaa.

Avainsanat: geotekniikka, tutkimus, maastomittaus, maaperä

Abstract

Author: Aleksi Heikkinen
Title: Geotechnical studies and measurements
Number of Pages: 40 pages
Date: 25 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Aune Rummukainen, Principal Lecturer

The purpose of this final year project was to combine geotechnical studies and the basics of geotechnical mapping and surveying. The project presented traditional research and surveying methods as well as soil and bedrock information relevant to geotechnics.

The final year project was made by utilizing literature related to geotechnics: written literature, previous theses and written material found on the internet. The project also introduced and explained geotechnical vocabulary.

The result of the final year project was an inclusive and clarifying report of geotechnical studies. The project brought out different types of studies on how to utilize them and the operational principles of them.

The final year project was a summary and report of my personal interests and a useful guide for students in the field. The aim to create a clear and simple compilation of the methods used in the studies of the geotechnical field was reached as studies related to the topic are clearly broader and finding the relevant information can be difficult

Keywords: geotechnics, research, land surveying, soil

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maa- ja kallioperätiedot	2
2.1	Maaperä	2
2.2	Kallioperä	2
3	Geotekninen maaluokitus	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Maalajiryhmät	5
3.3	Kivennäismaalajien lajitteet	6
4	Laboratoriotutkimukset	7
5	Pohjavesitutkimukset	8
6	Pohjatutkimukset	9
6.1	Koekuoppa	10
6.2	Kairaukset	11
6.2.1	Painokairaus	12
6.2.2	Heijarikairaus	14
6.2.3	Tärykairaus	16
6.2.4	Porakonekairaus	17
6.2.5	Siipikairaus	19
6.2.6	Puristinkairaus	21
6.2.7	Puristin-heijarikairaus	23
6.2.8	STP-kairaus	25
6.3	Muita pohjatutkimusmenetelmiä	27
6.3.1	Maatutkaluotaus	27
6.3.2	Sähköinen vastusluotain	28
6.3.3	Seisminen luotaus	28
6.3.4	Kaikuluotaus	29
7	Geotekniikan kartoitus- ja maastomittaukset	30

7.1	Takymetri ja sen mittaukset	30
7.1.1	Maastomallimittaukset	31
7.1.2	Kartoitusmittaukset	31
7.2	Vaaitus	33
7.3	Satelliittimittaukset	33
7.3.1	Absoluuttinen paikanmääritys	34
7.3.2	Differentiaalinen paikanmääritys	34
7.3.3	Suhteellinen paikanmääritys	35
7.4	Laserkeilaus	36
7.5	Inklinometrimittaus	36
7.6	Ekstensometri	37
7.7	Mittauksien tarpeet	37
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

1 Johdanto

Tämän insinööri työn tarkoituksena on esitellä geoteknisiä tutkimuksia ja mittauksia. Aihe on keskeinen geotekniikassa, sillä työssä esitellyt tutkimus- ja mittausten menetelmät ovat geotekniikassa perinteisimmät ja käytetyimmät.

Työssä perehdytään laajasti geotekniisiin tutkimuksiin ja mittauksiin. Työn tarkoituksena on koota yhteen yksinkertaistettuna ja selkeästi geoteknisen tutkimuksen sekä geotekniikan kartoituksen ja maastomittauksen perustiedot.

Työn alussa esitellään maa- ja kallioperätietoja sekä geoteknisen maaluokituksen piirteitä yleisellä tasolla, jotta lukija saa kattavan kokonaisuuden aiheesta. Maa- ja kallioperätiedoilla sekä maaluokituksen sisäistämällä on oleellinen merkitys geoteknisten mittausten ymmärtämisessä ja lopputulosten tulkinnessa. Geoteknisiä tutkimuksia ovat laboratoriotutkimukset, pohjavesitutkimukset sekä eri pohjatutkimusmenetelmät. Mittauksia suoritetaan takymetrimittauksin, satelliittimittauksin, vaaituksilla, laserkeilaamalla sekä inklinometri- ja ekstensiomertimittauksin. Menetelmien yhteydessä käydään läpi tutkimusmenetelmien toimintoja ja tarpeita.

Insinööri työ on tehty teoreettisena tutkimuksena. Työn kirjoittajalla on käytännön kokemusta geotekniikkayksikössä työskentelystä. Työ aloitettiin aiheen rajaamisella ja siihen perehtymisellä. Työn aineisto on koottu geotekniikkaa käsittelevistä kirjallisista lähteistä. Opinnäytetyötä voivat hyödyntää geotekniikan parissa työskentelevät henkilöt. Lisäksi työstä hyötyvät henkilöt, joiden tulee tietää yleisellä tasolla geoteknisistä mittauksista, vaikka he eivät varsinaisesti suorittaisi tai tekisi näitä mittauksia. Tällaisia henkilöitä ovat mm. suunnittelijat ja maan- ja talonrakennuksen ammattilaiset.

2 Maa- ja kallioperätiedot

2.1 Maaperä

Maaperällä tarkoitetaan yleisesti kallioperän päällä olevaa irrallista, orgaanisten tai epäorgaanisten aineiden muodostamaa massaa, joka koostuu erilaisista maalajeista [1, s. 31]. Näitä maalajeja ovat savi, multa, sora ja hiekka. Maaperän paksuus on keskimäärin 10 metriä, mutta eri alueilla paksuus vaihtelee muutamasta metristä jopa 100 metriin. [2]

2.2 Kallioperä

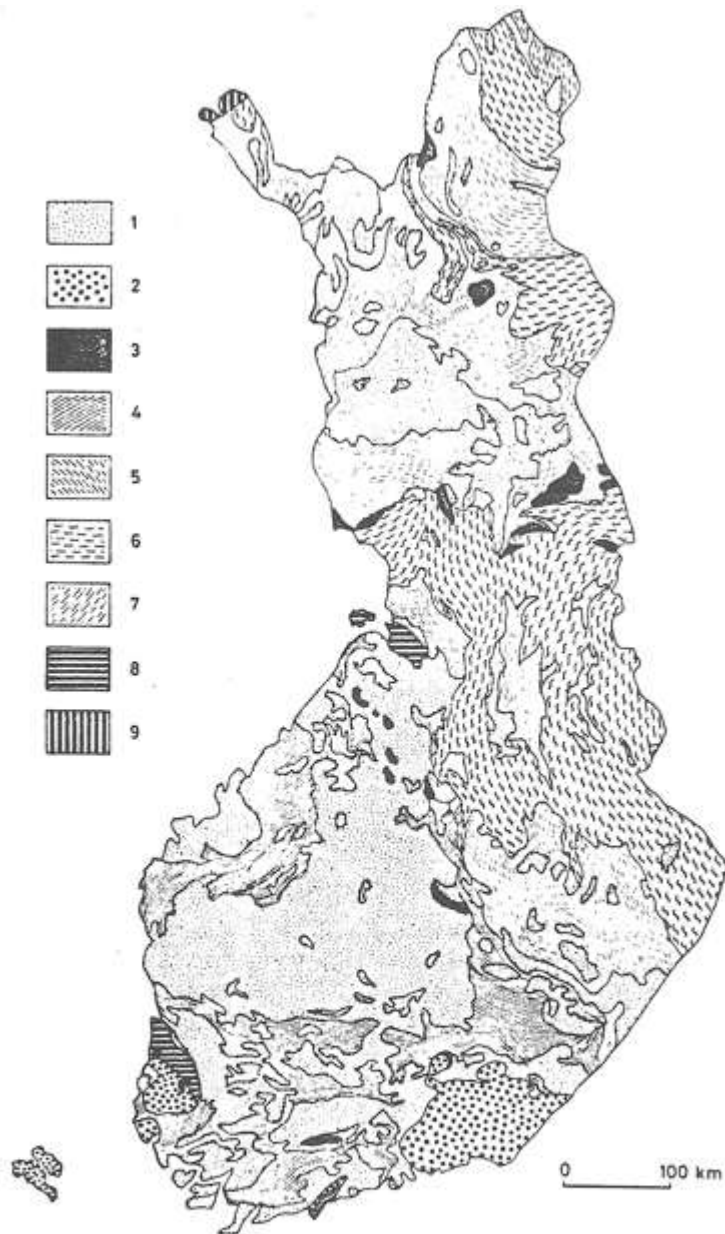
Suomen kallioperä on peräisin prekambriselta eli peruskallioalueen arkeeiselta kaudelta, eli se on noin 1 800 miljoonaa vuotta vanhaa. Poimuvuoristojen juuristojen takia kallioperässä esiintyy sekä kiteisiä lisukkeita, että syväkivilajeja. Kallioperässämme on myös seoskivilajeja eli migmatiitteja, jossa kivisula on tunkeutunut sulamattoman metamorfisen kivilajin sekaan. Peruskalliota nuorempia sedimenttikivilajeja tavataan vain paikallisesti. Kallioperän pinta on yleisesti tarkasteltuna laakea jääkausien aiheuttaman kulutuksen ja voimakkaiden eroosioiden vuoksi. Jääkausien seurauksena kalliopinnassa esiintyy hieman korkeusvaihtelua. Kallioperä on suurimmaksi osaksi harvan maakerroksen peittämä. Maakerrosten ja kallion välillä rajapinta on sedimenttikallioperää lukuun ottamatta selkeä. Selkeitä avokalliopaljastumia nähdään rinteissä ja lakiosissa, jossa kalliopinta on melko ehjää, kun taas rikkoutunutta kalliopintaa nähdään laaksoissa. Suomen kallioperälle on luonteenomaista tämän laadun kova vaihtelu, jota esiintyy kallion rakenteessa sekä kivilajikoostumuksessa. [1, s. 26.]

Eri kivilajeja, joita esiintyy kallioperän pinnassa, ovat

- graniitti ja dioriitti (53 %)
- migmatiittiset gneissit (22 %)
- kiilleliuske ja kiillegneissi (9 %)
- gabro, diabaasi, amfiboliitti (8 %)
- kvartsiitti, hiekkakivi (4 %)
- granuliitti (4 %)

[1, s. 29.]

Kallioperässä on myös malmeja, joita esiintyy sekoittumavyöhykkeissä etenkin karjalaisten liuskeiden sekä svekofennien raja-alueilla. Vaikka kallioperässä esiintyykin heikkousvyöhykkeitä kaikissa osissa maata, kallioperä on silti suurimmaksi osaksi kalliorakentamiselle suotuisaa. Suomen kallioperäkartta on esitetty kuvassa 1. [1, s. 29.]



Suomen kallioperäkartta /4/

1. Graniittia ja granodioriittia
2. Rapakivigraniittia
3. Gabroa ja peridotiittia
4. Svekofennisiä liuskeita

5. Karjalaisia liuskeita
6. Graniittigneissiiä
7. Granuliittia
8. Hiekka- ja savikiveä
9. Kaledonisia liuskeita

Kuva 1. Suomen kallioperäkartta [3, s. 27].

3 Geotekninen maaluokitus

3.1 Yleistä

Maaperän rakenteen ja sen syntymisen tarkastelusta on käynyt jo aikaisemmin ilmi se, että maaperä on muodostunut kaikenlaisista aineksista erikaltaisien geologisten tapauksien tuloksena. Ymmärrettävissä on, että maaperä on ominaisuuksiltaan, käyttömahdollisuuksiltaan ja ulkonäöltään toisistaan poikkeavia maalajeja. Yksi keino erotella maalajeja on maalajiluokitus. [1, s. 55.]

Monilla elämänaloilla käytetään ja tarvitaan maaperää ja maalajeja. Tämän takia on erittäin suotavaa käyttää maalajinimiä, jotka ovat selkeitä ja tarkoitettai- siin suunnilleen samantyyppistä maalajia tai maata niitä käyttäessä.

Suomen maalajiluokitus uusittiin 1970-luvun alussa, jolloin siirryttiin geotekni- seen maaluokitukseen vanhasta rakennusteknisestä maaluokituksesta. Geotek- nisen maaluokituksen perustana on maalajien geologinen synty tapa, joka on johtanut lajijakoon. Tässä lajijaossa on tietyillä maalajilla tunnusomaiset geotek- niset ominaisuudet. Näin ollen geoteknisen maaluokituksen maalajijako on käy- tännöllinen suunnittelussa ja olemalla lähellä yleiskielen sanastoa se lisää help- pokäyttöisyyttä. [1, s. 56–57.]

3.2 Maalajiryhmät

Maalajit jaetaan geoteknisessä maaluokituksessa (taulukko 1) geologisen syn- tytavan, raekoostumuksen ja humuspitoisuuden perusteella ensiksi maalajiryh- miin: eloperäiset, hienorakenteiset, karkearakenteiset ja moreenimaalajit [4] Maalajeja voidaan myös jossain määrin jakaa raekoostumuksen ja humuspitoi- suutensa perusteella. [1, s. 57.]

Taulukko 1. Maalajiryhmät geoteknisessä maalajiluokituksessa [3, s. 9].

Maalajiryhmä	Lyhennys	Ominaisuudet
Eloperäiset maalajit	E	Maalaji koostuu pääasiallisesti eloperäisestä aineksesta tai sisältää eloperäistä ainesta > 20 paino-%
Hienorakenteiset maalajit	H	Lajiittuneet hienorakenteiset maalajit Hienoainepitoisuus ($\leq 0,06$ mm) $\geq 50\%$ Humuspitoisuus ≤ 20 paino-%
Karkearakenteiset maalajit	K	Lajiittuneet karkearakenteiset maalajit Hienoainepitoisuus < 50%
Moreenimaalajit	M	Lajittumattomat, useita eri lajitteita sisältävät maalajit

3.3 Kivennäismaalajien lajitteet

Kivennäismaalajien yksityiskohtaisessa luokituksessa maalajite on tärkeä käsite. Käsitteellä tarkoitetaan kivennäismaasta erotettavissa, tiettyä raekokoa olevaa osaa. Raekoon perusteella maalajitteet erotetaan toisistaan. Luokitusperusteineen käytetyt lajitteet ovat esitetty taulukossa 2, joita geoteknisessä maalajiluokituksessa käytetään. Luokittelussa aineesta, jonka raekoko on alle 0,06 mm, kutsutaan hienoainekseksi. Näitä ovat savi ja siitti. Tärkeä ilmaisu maalajiluokituksessa on lajitepitoisuus, jolla tarkoitetaan lajitteen prosentteina ilmoitettua osuutta kokonaisaineksesta. [1, s. 57.]

Taulukko 2. Kivennäismaalajien luokitus [3, s. 9].

Maalaji	Lyhenne	Rakenteiden läpimitta (mm)
Savi	Sa	$\leq 0,002$
Siitti	Si	$> 0,002 \dots 0,06$
Hiekka	Hk	$> 0,06 \dots 2,0$
Sora	Sr	$> 2,0 \dots 60,0$
Kivet	Ki	$> 60 \dots 600$
Lohkareet	Lo	> 600

4 Laboratoriotutkimukset

Pohjatutkimuksissa saadut maanäytteet on yleensä tutkittava laboratoriossa, ellei näytteiden selväpiirteisuuden tai epäluotettavuuden vuoksi tyydytä vain silmävaraisiin arviointeihin maalajimäärityksissä. Lähinnä häiriintyneistä näytteistä analysoidaan

- vesipitoisuus
- humuspitoisuus
- rakenne

[1, s. 280.]

Vesipitoisuutta analysoidaan silloin, kun sillä on merkitystä ja kun näytettä voidaan pitää tässä suhteessa luotettavana. Humuspitoisuutta tutkitaan vain, jos se selvästi näyttää tarpeelliselta. Pohjaveden alta saatujen häiriintyneiden näytteiden vesipitoisuus vaihtelee näytteenotossa ratkaisevasti, joten tutkimus tältä osin ei anna oikeanlaista kuvaa. [1, s. 280.]

Jos näytteet on saatu otettua kutakuinkin häiriintymättöminä, on mahdollista tutkia edellä mainittujen vesipitoisuuden, humuspitoisuuden ja rakenteen ohella myös

- kokoonpuristuvuusominaisuudet
- leikkauslujuusominaisuudet
- tilavuus tai irtotiheys luonnontilaisena.

[1, s. 280.]

- Pitkäaikaisen havaintoputken havaintoputki- ja huokoskärkimateriaalina käytetään PVC-muoviputkia halkaisijaltaan 20–60 mm, jotta välttyttäisiin syöpymisiltä. Havaintoputki toimii huoltotoimenpiteiden avulla useita vuosia. Siviiliosaan tai huokoskärkiin kiinnitetään metallilusikat keskittämistä varten. Putken suodattimen siviiliosa on ympäröity suodatinhiekalla. Mahdollisten virtausnopeusmittauksien tai vesinäytteiden takia, putken sisähalkaisijan tulisi olla vähintään 50 mm. [5, s 11.]

Laajoissa kohteissa havaintoputkia käytetään useita, jolloin pohjavesivirtauksen suunta saadaan selville. Pienimmillä alueilla riittää yksikin putki. Havaintoputken rei'itetty alapää upotetaan vettä johtavaan kerrokseen. Maatasolta reikä tukitaan tiiviisti, ettei pintavesi valu reikään. Putken yläpää on noin metrin maapinnan yläpuolella, jolloin se on talviaikaan löydettävissä. Putken yläpään voi tukkia kierrekorkilla tai lukollisella kannella, jolla vähennettäisiin mahdollisilta tukkeilta putkessa. Pohjavesiputken yläpään vaaituksen jälkeen mittajaan tarvitsee vain mitata vesipinnan etäisyys putken yläpäästä. [5, s. 280–281.] Mittaukset tehdään esimerkiksi sähköistä mittaustuotia käyttämällä. [5, s. 13.]

6 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimuksilla geotekniikassa tarkoitetaan maa- ja kallioperätutkimuksia, joilla pyritään selvittämään maa- ja kallioperän ominaisuuksia ja rakennetta. Tarve pohjatutkimuksille syntyy monissa tilanteissa. Niinpä maankäytön suunnittelun ja erityisesti siinä asema- ja rakennuskaavoituksen tulisi perustua kaa-voitusalueen pohjatutkimuksiin. Maarakennustoiminnassa sekä kiviainesta käytävässä rakennusteollisuudessa tarvitaan runsaasti maa- ja kalliomateriaaleja, joiden sopivuus ja täsmällisyys on selvitettävissä tällaisten materiaalinottoaikojen pohjatutkimuksilla. Ennemmin pohjatutkimuksia kuitenkin edellytetään erilaisten rakennushankkeiden geoteknistä suunnittelua varten. Laajuus pohjatutkimukselle määräytyy rakennuspohjan kuormituksen, laadun sekä tehtävien rakenteiden mukaan. [1, s.257.]

Ennen pohjatutkimuksia on yleensä aiheellista toteuttaa silmävaraisiin havaintoihin pohjautuva maastokatselmus, jonka avulla ratkaistaan myöhemmin tehtävien varsinaisten pohjatutkimusten laajuus ja laatu. Maastokatselmuksessa huomiota kiinnitetään tutkittavan alueen pinnanmuodostukseen, kalliopaljastuksiin, kasvipeitteeseen ja pintakivisyyteen. Näiden huomioiden jälkeen sekä mahdollisesti käytettävissä olevien ilmakuvien tai geologisten karttojen avulla pyritään suorittamaan päätelmiä alueen maaperämuodostumista ja niiden rakenteesta. Maastokatselmuksessa voidaan myös kaivaa koekuoppia kasvukeroksen alla olevan maan laadun selvittämiseksi. Hienorakenteisten maalajien alueella maastokatselmus voidaan myös lisätä tunnusteluun, joita suoritetaan pienellä, 1–2 metrin syvyyteen ylettyvällä terästangolla. [1, s. 257.]

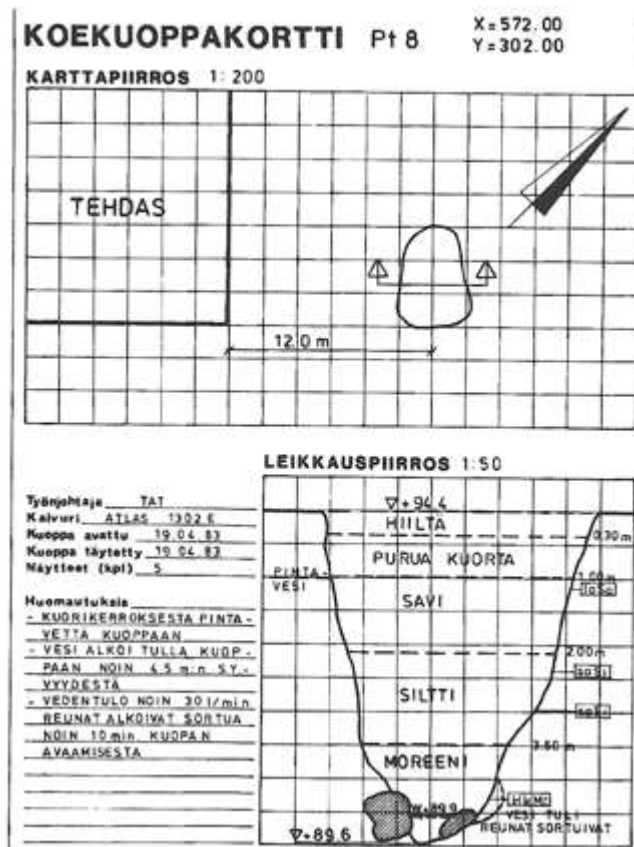
6.1 Koekuoppa

Koekuoppa on luotettavin maapinnan läheisyydessä toteutettava tapa maakerrosten tutkimisessa. Koekuopan kaivamisen aikana sekä tämän jälkeen voidaan suorittaa monipuolisia havaintoja kuopan syvyyttä vastaavista maakerroksista. Koekuoppa on eräänlainen koekaivanto, joka antaa perusteluita tulevia pohjarakentamisen kaivutöitä varten. Koekuoppahavaintoja tehdään mm.

- erilaisista maakerroksista ja niiden maalajeista
- maan lohkaraisuudesta ja kivisyydestä
- maan kaivuominaisuuksista
- kuopan seinämien pysyvyydestä
- pohjaveden korkeustasosta
- kalliopinnasta ja tämän kaltevuudesta.

[1, s. 258.]

Koekuopasta voidaan ottaa myös näytteitä tarkempia tutkimuksia varten. Tuke-
maton koekuoppa voidaan kaivaa 2–3 metrin syvyyteen edullisissa olosuh-
teissa. Tuettu koekuoppa voidaan kaivaa tätäkin syvemmälle. Koekuopan kai-
vaminen on erityisesti merkityksellinen pohjatutkimusmenetelmä kivisessä ja
kairauksilla vaikeasti läpäistävissä pintakerroksissa. Tällaisissa puitteissa pohja-
tutkimuksia voidaan jatkaa usein koekuopan pohjalta tehtävillä tutkimuksilla. [1,
s. 258.] Koekuoppakorttia havainnollistaa kuva 2.



Kuva 2. Esimerkki koekuoppakortista [3, s. 260].

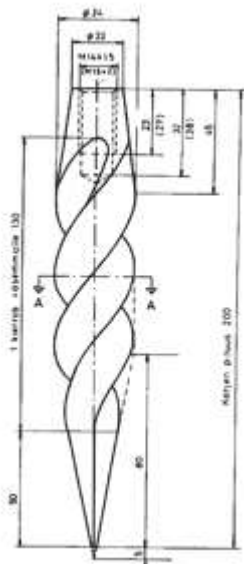
6.2 Kairaukset

Kairauksin suoritetuissa pohjatutkimuksissa maaperään työnnetään kairatangon tai -putken avulla kairan kärkikappale. Kairauksissa tavoitellaan yleensä ensi-
jaisesti havaitsemaan kairan kärkikappaleeseen kohdistuvaa kairausvastusta,
jonka muuttuvuudesta voidaan saada selville kairauksen läpäistävien

maakerrosten lujuus, laatu, tiiviyys, ja kantavuus. Kairausmenetelmät poikkeavat toisistaan etenkin kairojen rakenteen ja kairan maahantunkeutumismenetelmien osalta. Kairausmenetelmät ovat dynaamisia, staattisia tai näiden sekoituksia. Dynaamisessa menettelytavassa kairan tunkeminen maahan tapahtuu iskemällä tai täräyttämällä. Staattisessa menettelytavassa kaira tungetaan maahan painojen hydraulisen puristimen rasittamana. [1, s. 258.]

6.2.1 Painokairaus

Painokairaus on staattinen kairausmenetelmä sen kuormitustavaltaan, jossa kaira tungetaan maahan kierrättämällä sekä kuormittamalla erikokoisilla painoilla. Kairausmenetelmää käytetään pääsääntöisesti maakerrosten ja kerrosrajojen määrittämiseen kairan käyttäytymisen, kairavastuksen sekä muiden havaintojen perusteella. Enimmäiskuormalla kierrättäessä tietyn painauman tarvittavien puolikierrosten lukumäärästä ja kairan voimasta, jolla se tunkeutuu maahan, saadaan kairausvastus. Kairauksen perusteella arvioituja maakerroksia voidaan täsmentää muilla kairausmenetelmillä. [6, s. 4.] Painokairauksessa käytetty kärkikappale on esitetty kuvassa 3.

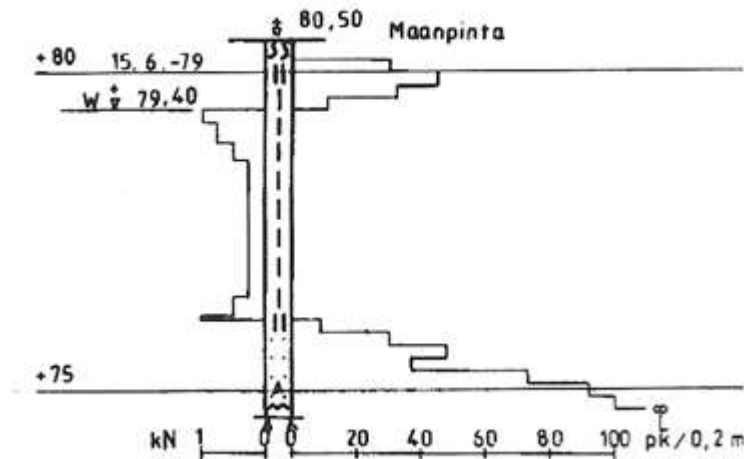


Kuva 3. Painokairan kärkikappale [3, s. 247].

Painokairaus alkaa alkukairauksella, jonka tarkoituksena on poistaa täytemaa maanpinnalta. Kairaus aloitetaan maanpinnalta ja jatketaan pintakerroksen alapintaan saakka, minkä jälkeen kairausreikä suurennetaan lapio- tai kierrekairalla. Suurentamisen jälkeen otetaan silmämääräistä maalajitarkastelua varten maanäytteitä sekä tarkastellaan maalaji. Tarpeen tullen lyödään maahan suojaputki karkearakeisissa ja kivisissä täytemaissa alapintaan asti. Alkukairauksen päättyminen on merkittävä pöytäkirjaan. [6, s. 5.]

Kaira asetetaan tarkasti pystyasennossa alkukairausreikään. Ensimmäiseksi kasataan painoteline, painopuristin ja vääntövarsi. Tämän jälkeen lisätään 10+10+25+25+25 kg:n painot. Kairatankojen painoa ei lasketa painoksi muulloin kuin kairaus tehtäisiin suojaputken läpi. Painolla haetaan pienin kuormitus, jolla kaira tunkeutuu maahan ilman kiertämistä. Tämän jälkeen voidaan lisätä kuormitusta. Kuormitus on pidettävä sellaisena, että tunkeutumisenopeutena pysyisi 20–50 mm/s. Joka kerta kun kuormitus muuttuu, se on merkittävä pöytäkirjaan. Painokairausta jatketaan kierrättämällä, kun tunkeutumisenopeus 1 kN:n kuormitusnopeudella on pienempi kuin 5 mm/s. Tarvittu puolikierrosten lukumäärä havaitaan, kun kaira on tunkeutunut 0,2 m. Myös puolikierrosten lukumäärä ja kairakärjen syvyys merkitään pöytäkirjaan jokaisen 0,2 m:n suuruisen tunkeutumisen jälkeen. Mikäli tunkeutuminen on pienempi kuin 20 senttimetriä 100 puolikierröksellä tai kaira ei tunkeudu maahan kiertämällä, voidaan kairaan lyödä muovi- tai puunuijalla. [6, s. 5.]

Kairaus päättyy, kun kaira ei mene lyömälläkään syvemmälle tai kun on saavutettu kairaussuunnitelmassa ohjeistettu syvyys. [6, s. 5.] Painokairauksen kairausdiagrammi on esitetty kuvassa 4.

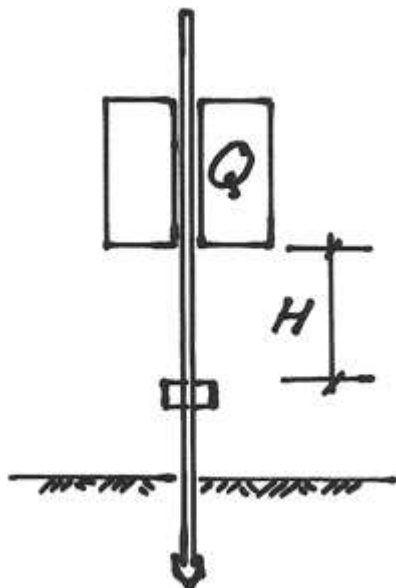


Kuva 4. Kairausdiagrammi [3, s. 249].

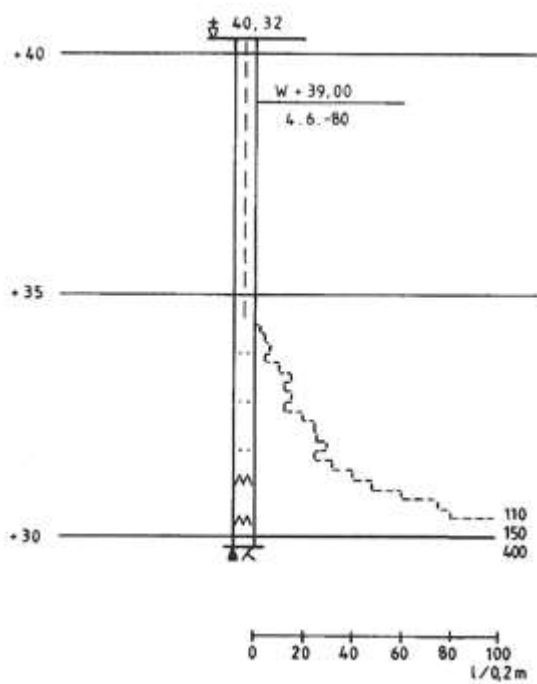
6.2.2 Heijarikairaus

Heijarikairaus on dynaaminen kairausmenetelmä, jossa heijarin lyönneistä kaira tunkeutuu maahan. Heijarikairauksessa kairausvastus saadaan tarvittavien lyöntien määrästä kairan tunkeutuessa syvyysyksikköä kohden. Kairausmenetelmää käytetään eniten karkearakeisissa muodostumissa suoritettavissa kairauksissa sekä moreenimuodostumissa, jossa kairan tunkeutuminen maahan on verrattain heikkoa kivisessä moreenissa. Pääpiirteittäin heijarikairaus sopii maakerrosten tiivyyden ja kiinteän pohjakerroksen yläpinnan selvittämiseen. Heijarikairauksessa käytettävän heijarin paino on 63,5 kg, ja sitä pudotetaan puolen metrin korkeudesta. Kairauksen suositellun lyöntinopeuden tulisi olla 30 lyöntiä minuuttia kohden. [6, s. 4.]

Heijarikairauksessa kairatangot uppoavat maahan vapaasti, jonka jälkeen tangot painetaan siihen syvyyteen mistä ensimmäistä lyöntiä tarvitaan. Tämän jälkeen upotusta jatketaan lyömällä 0,2 cm pätkiä. Lyönnit kirjataan pöytäkirjaan. Kairaus voi päättyä, kun kärki pysähtyy kallioon, lohkaräseeseen, kiveen tai sille annettuun syvyyteen. [6, s. 10–11.] Heijarikairauksen perusidea ja kairausdiagrammi on esitetty kuvassa 5 ja 6.



Kuva 5. Heijarikairauksen perusidea [3, s. 253].

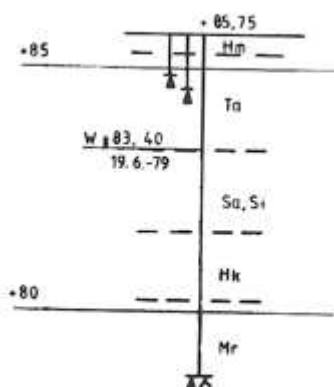


Kuva 6. Heijarikairausdiagrammi [3, s. 255].

6.2.3 Tärykairaus

Tärykairaus on dynaaminen kairausmenetelmä, jossa suositellaan käytettäväksi kevyttä porakonekalustoa. Menetelmä soveltuu parhaiten määräsivyyteen ulottuviin kairauksiin, kun halutaan olla varmoja esimerkiksi siitä, ettei kallio ole tiettyä tasoa ylempänä. Kairauksen perusteella voidaan arvioida maakerroksen kivi-syyttä sekä lohkaraisuutta tekemällä kairauspisteen ympärille useampia kairauksia ja vertaamalla niitä toisiinsa. [6, s. 8.]

Tärykairauksessa hyödynnetään tavallisesti painokairan tankoja. Tangot kiinnitetään porakoneeseen liitinkappaleen avulla. Kärkikappale on poikkileikkaukseltaan neliönmuotoinen tai pyöreä. Maakerrosten tiivyyttä ei voida arvioida kairausvastusten perusteella, koska tärykoneissa käytettyjen porakoneiden iskuteho ei ole samassa porassa aina vakio. Maakerrosten maalajiryhmät ja kairauksen päättymisen suu pyritäänkin arvioimaan tärykairauksella tunkeutumisenopeuden ja ääni- ja tuhohavaintojen perusteella. Kairausta jatketaan niin syvälle kuin päästään tai annettuun tavoitesyvyyteen, joka merkitään pöytäkirjaan. [6, s. 8.] Tärykairaustulos on esitetty kuvassa 7.

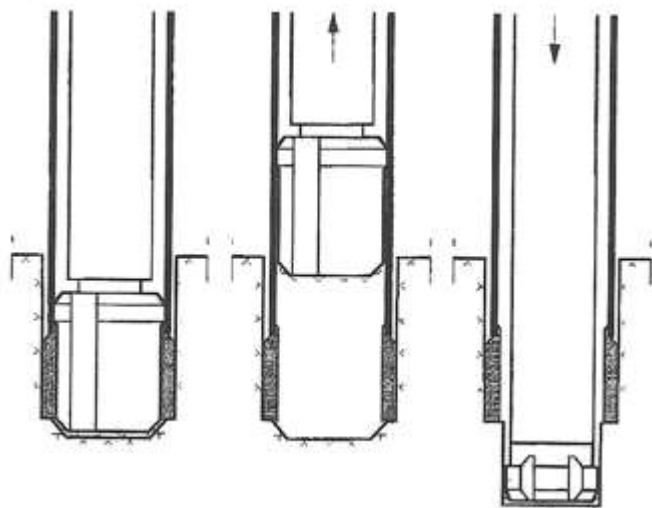


Kuva 7. Tärykairaustulos [3, s. 257].

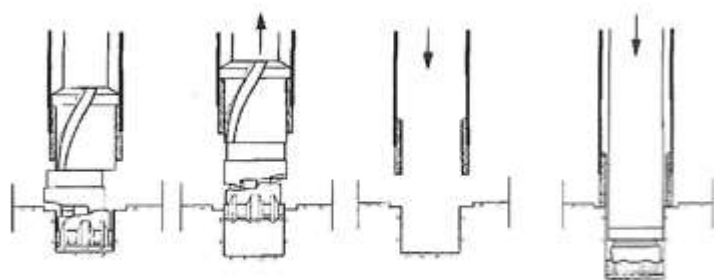
6.2.4 Porakonekairaus

Porakonekairaus on tiiviisiin, kivisiin ja lohkareisiin maakerroksiin soveltuva maaperätutkimusmenetelmä, jolla voidaan selvittää luotettavasti kalliopinnan sijainti. Täytemaakerrokset joudutaan usein läpäisemään ensin porakonekairauksin ennen kuin muita kairausmenetelmiä voidaan käyttää täytteen alapuolisten maakerrosten tutkimiseksi. Porakonekairoja voidaan käyttää myös pohjaveden tarkkailuputkien asentamiseen. [3, s. 257.]

Porakonekairauksissa maakerroksen läpi poratessa tarvitaan useimmiten apuna suojaputkea. Putken viemiseen maan ja kiven läpi on kaksi eri tapaa. Nämä tavat on keskinen porausmenetelmä ja epäkeskinen porausmenetelmä, jotka ovat esitetty kuvissa 8 ja 9. Varsinaisen poran pilottikruunun ympärillä keskeisessä porausmenetelmässä on putkimainen avarrinkruunu. Toisen laitteen suojaputkeen on kiinnitetty avarrinkruunu siten, että suojaputki pyörii upotettaessa, kun taas toisessa laitteessa avarrinkruunuun on kiinnitetty suojaputki niin, että avarrinkruunu, johon upotuksen ajaksi kiinnitetään pilottikruunu, voi pyöriä pyörittämättä suojaputkea. Epäkeskisessä menetelmässä epäkeskinen avarrinkruunu pyörii suojaputken alapään alapuolella poratessa. Tällä saadaan hiukan suojaputken halkaisijaa suurempia reikiä, millä mahdollistetaan suojaputken laskeutumisen. Vastakkaiseen suuntaa poraa pyörittäessä avarrinkruunu kääntyy asentoon, jossa se mahtuu putken sisälle ja pora voidaan nostaa ylös. Tämä voisi tapahtua kalliopinnan saavutettua, jolloin putki voitaisiin jättää paikoilleen ja tämän läpi voitaisiin porata reikä kallioon tavallisella kallioporalla. [3, s. 258.]

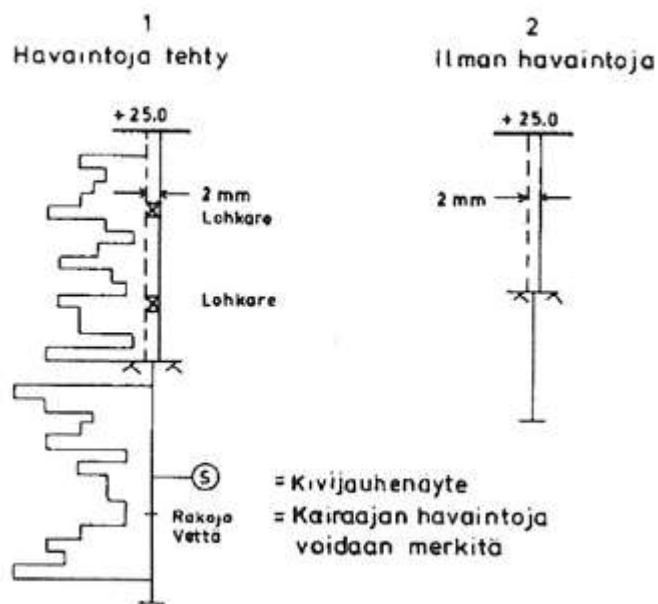


Kuva 8. Keskinen porausmenetelmä [3, s. 258].



Kuva 9. Epäkeskinen porausmenetelmä [3, s. 259].

Porauksen osuttua kallioon kallion olemassaolo varmistetaan yleensä poraamalla siihen useamman metrin syvyinen reikä, jotta voidaan poistaa epäilty osuminen isompaan lohkareseen. Kallion laatu voi paljastua piirrettäessä diagrammeja, joka saadaan laskemalla, kuinka monta sekuntia 0,2 metrin matkan poraukseen sujuu. Porakonekairauksen tulos on esitetty kuvassa 10. Kallion kivilaadusta tarkempia tietoja saadaan porausjauheesta otettujen näytteiden perusteella. [3, s. 259.]



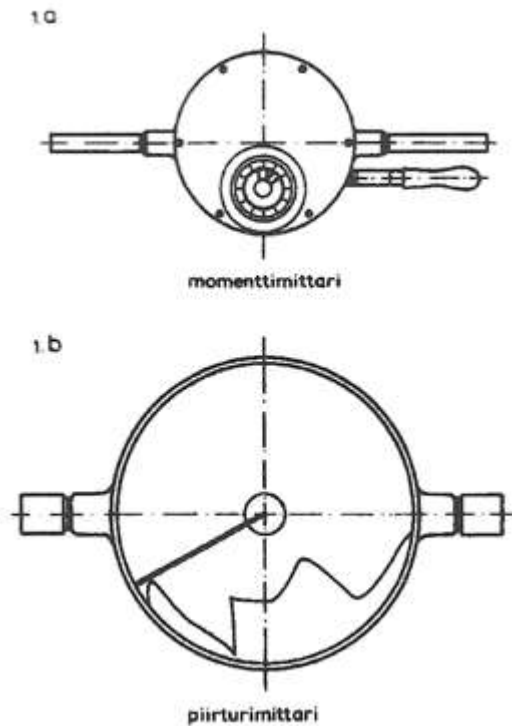
Kuva 10. Porakonekairauksen tulosten esittäminen [3, s. 259].

6.2.5 Siipikairaus

Siipikairaus on ensisijaisesti leikkauslujuuden määrittämiseen liejusavissa liejuissa, savissa, maatuneissa turpeissa sekä hieno- ja keskisiltissä. Kairauksessa käytetään neljää toisiaan vastaan kohtisuoraan muodostettua levyä, jossa siipi painetaan vakionopeudella ja samalla kierrättämällä häiriintymättömään maahan. Vakionopeus tässä kairauksessa on 6 astetta minuutissa. Kairatangon yläpäästä tai välittömästi siiven yläpuolelta mitataan sylinterimuotoisen leikkautumispinnan syntymiseen tarkoitettu momentti, joka muodostuu siiven kärkien kautta. Leikkautumispinnan geometrian ja siiven kiertämiseen tarvittavan momentin avulla saadaan leikkauslujuuden arvo. [7, s. 1.]

Momentin mittalaite kiinnitetään siiven painamisen jälkeen paikalleen. Momenttimittaria käytettäessä ylimmän tangon päähän kiinnitetään kuusikulmainen hylsy. Mittauksen alussa momenttimittaria on kierrettävä vastapäivään ennen kiinnittämistä siihen saakka, kun kuuluu napsahdus. Napsahduksella varmistetaan, että

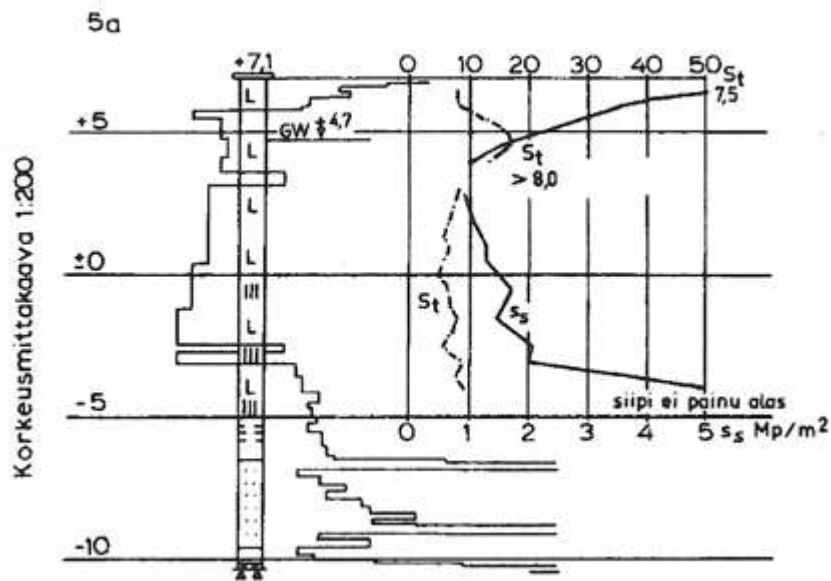
siipi alkaa kiertymään mittausta aloitettaessa. [7, s. 2.] Momenttimittari ja piirturimittari kuvattuna ylhäältäpäin on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Momenttimittari ja piirturimittari ylhäältä päin [3, s. 262].

Kaira työnnetään maahan mahdollisimman pystysuoraan, jotta välttyttäisiin virheellisiltä mittaustuloksilta sekä putkien ja tankojen vääntymisiltä. Siipiputkea käytettäessä siipi on yläasennossa painettaessa sitä maahan. Putki painetaan 200–500 mm:n etäisyyteen halutusta kairasyvyydestä. Kairatanko painetaan jatkuvalla hitaalla liikkeellä suojaputkesta pois haluttuun syvyyteen. Mittaus päättyy siihen, että siipeä pyöritetään 20 kierrosta, minkä jälkeen mitataan, mikä on häiriintyneen maan leikkauslujuus. [7, s. 7.]

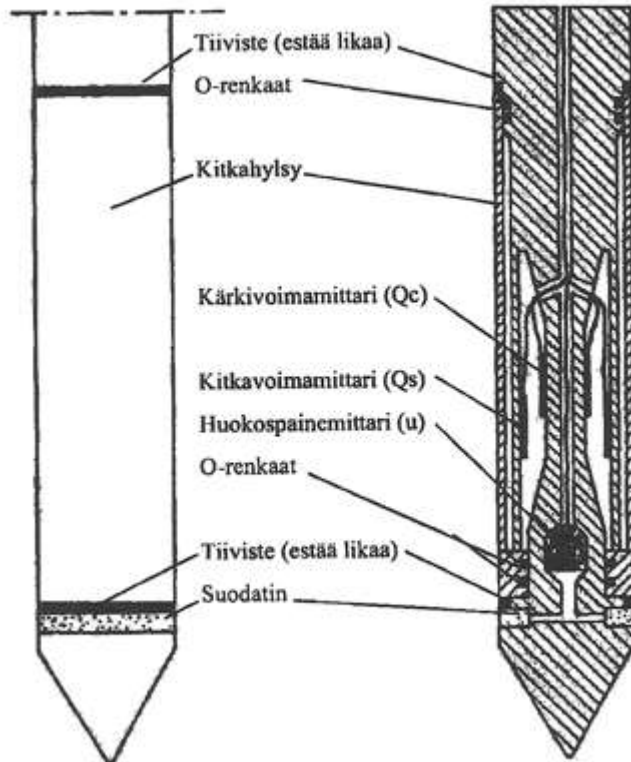
Mittauksia suoritetaan 0,5 tai 1 metrin välein. Mikäli kuitenkin halutaan tehdä tiheämmin, ne on tehtävä vierekkäisistä rei'istä, joiden keskinäinen etäisyys on vähintään 1 m. [7, s. 9.] Siipikairaustulos on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Siipikairaustulos esitettynä yhdessä vastaavan painokairauksen kanssa [3, s. 263].

6.2.6 Puristinkairaus

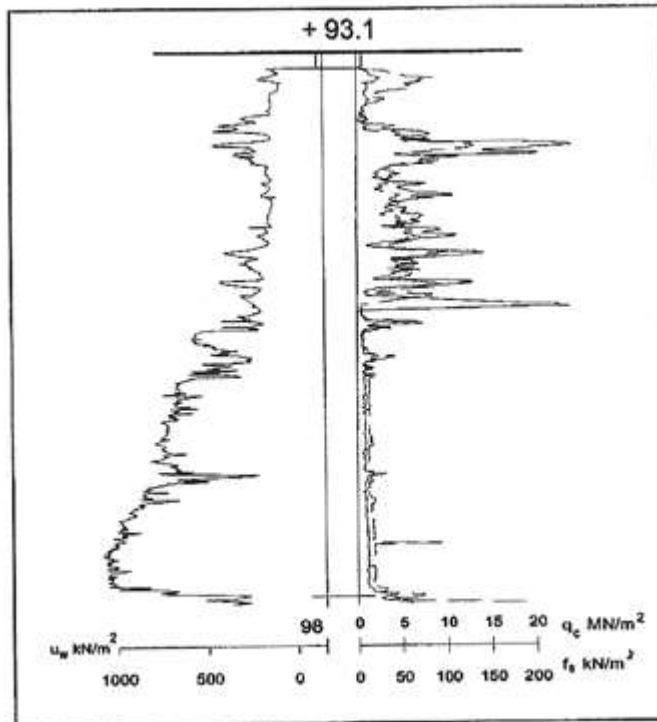
Puristinkairausta käytetään pääasiassa löyhien kitkamaiden sekä koheesiomaalajien tutkimiseen. Mittauksissa käytetään sähköisesti mittaavia puristinkairauslaitteistoja, jossa puristetaan maahan kärkikartiota vakionopeudella 20 mm/s, minkä aikana mitataan vaippakitkaa, kärkivastusta, kairaussyvyyttä sekä huokospainetta. Kärkikartion kärkikulma on 60 astetta ja se on pinta-alaltaan 1 000 mm² [8, s. 7, 9.] Puristinkairauksen kärkiosa on esitetty kuvassa 13. Kairauksessa mitataan voimia, joita kullakin syvyydellä tähän tarvitaan. Voimien avulla saadaan tieto maan ominaisuuksista. [3, s. 264.]



Kuva 13. Puristinkairan kärkiosa [3, s. 264].

Kairauksen alkukairauksessa huokospainetta mitattaessa läpäistään karkea täyterkerros tai kuivakuorikerros. Mikäli tätä ei suoriteta, huokostilan neste tai rasva saattaa valua maakerrokseen, mikä aiheuttaa epätarkkuutta huokospaineiden arvioinnissa. [8, s. 29.]

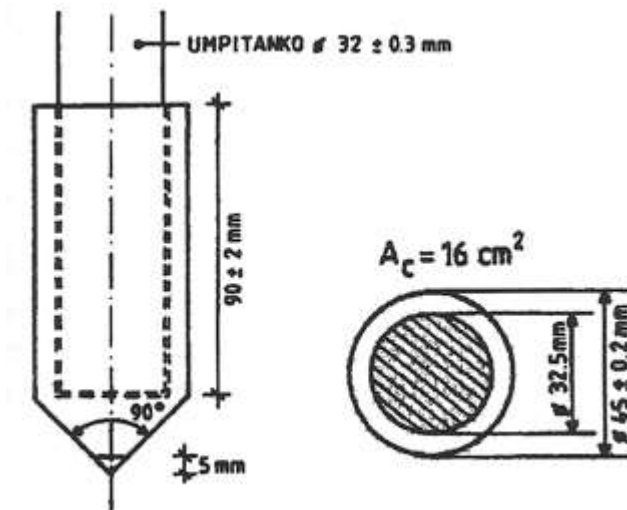
Tämän jälkeen aloitetaan varsinainen puristinkairaus maapinnasta suoraan tai esikairatusta reiästä lämpötilan tasaamisen, alkuvalmisteluiden, suodattimen asentamisen ja nolla-arvojen lukemisen jälkeen. Tanko työnnetään pystysuorassa vakionopeudella maahan. Tangot ovat halkaisijaltaan 22 mm:n tai 25 mm:n umpitankoja [8, s. 34.] Sähköinen laitteisto suorittaa mittauksia jatkuvasti, kun taas mekaanisella kitka mitataan 20 cm:n välein. Laite ei saa ylittää suurinta suunniteltua voimaa, joka voi olla esimerkiksi 5 tonnia. Kun maksimivoima on saavutettu, puristinkairaus päättyy. [3, s. 265.] Puristinkairauksen esimerkitulos on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Esimerkki puristinkairauksen tuloksesta [3, s.265].

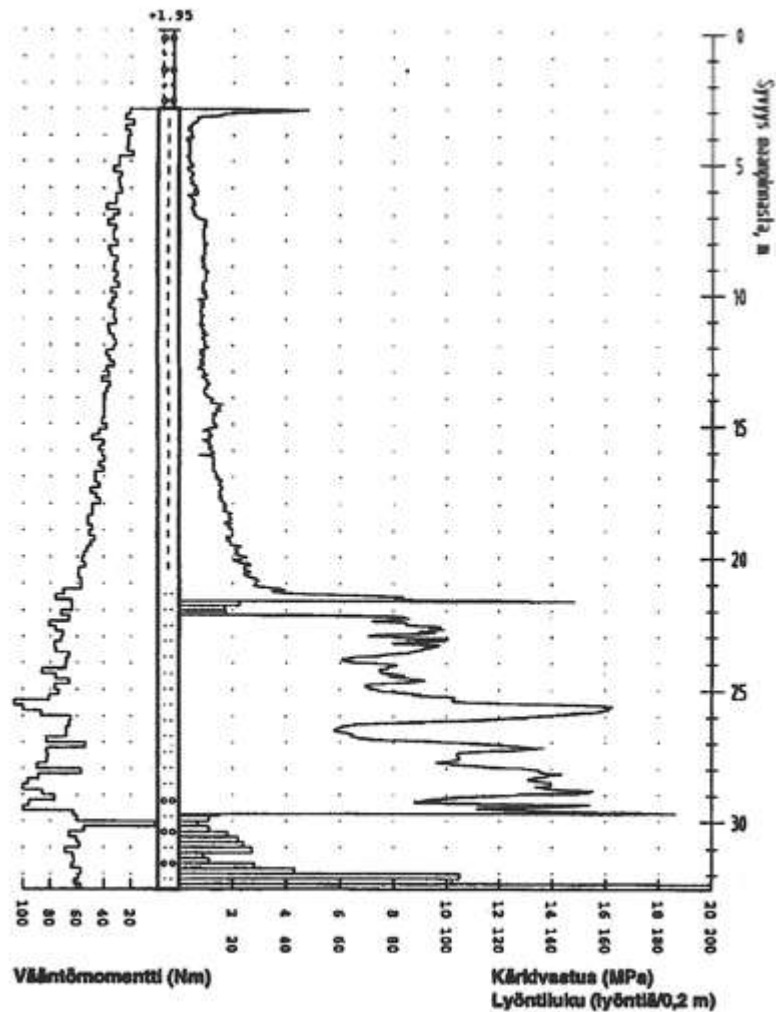
6.2.7 Puristin-heijarikairaus

Puristin-heijarikairauksessa yhdistyy mekaaninen ja vapaapudotusheijarikairaus [8, s. 61]. Puristinkaira on hyvä tutkimusväline hienojakoisissa kivettömissä maissa. Kairausmenetelmä ei sovellu kiviseen soraan. Heijarikaira on tosin liian järeä erottaakseen pehmeiden ja löyhien maiden piirteitä, mutta keskitiiviissä ja tiiviissä maissa paras Suomessa käytetyistä kairoista. Kyseisten kairojen yhdistelmä toimii siis erinomaisesti koko maaperäasteikolla. [3, s. 267.] Puristin-heijarikairauksessa käytetty kärkikappale on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Puristin-heijarikairauksessa käytetty kärkikappale [3, s. 267].

Puristin-heijarikairaus alkaa alkukairauksella, jotta pintakerros saataisiin avarrettua, ettei se pääsisi väärentämään tuloksia. Tämän jälkeen aloitetaan varsinainen kairaus puristinkairauksella, jossa kairatankoa pyöritetään ja puristetaan samaa aikaan. Heijarikairaukseen vaihdetaan, kun on saavutettu maksimipuristusvoima, joka on yleensä 30 kN. Kairatankoja pyöritetään vakionopeudella 20 ± 5 mm/s heijarikairausvaiheessa, minkä lisäksi heijari pudotetaan. Puristinkairaukseen siirrytään takaisin, jos 0,2 m:n painumiseen tarvittavien lyöntien määrä laskee viiteen tai sen alle yli 0,4 metrin matkalla palataan takaisin puristinkairaukseen. Mikäli tutkimuspaikalla on havaittu maakerrosten vaihtelua 0–2 metriä, kairastapaa ei tule vaihtaa tulosten tulkinnan vaikeutumisen vuoksi. Kairauksessa mitataan vääntömomenttia, kairaussyvyyttä, puristusvoimaa, pyörittämissä nopeutta sekä lyöntien määrää. Puristin-heijarikairaus päätetään aina heijarikairaukseen, jonka tulos on esitetty kuvassa 16. [8, s. 61, 70–71.]

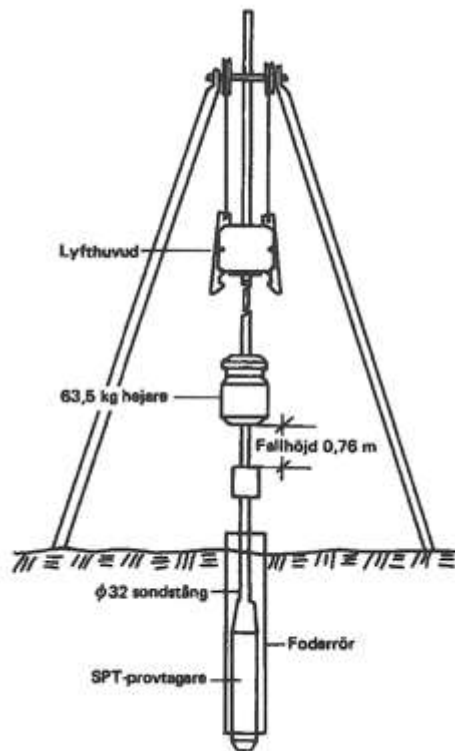


Kuva 16. Puristin-heijarikairaustulos [3, s. 269].

6.2.8 STP-kairaus

STP kairaus (Standard Penetration Test) on Suomessa harvinainen kairausmenetelmä, mutta maailman käytetyin menetelmä. Menetelmässä kairausreiän pohjalta isketään 63,5 kg:n painolla 0,76 metrin korkeudelta maahan paksuseinäistä näytteenotinta kolme kertaa 150 mm:n matkan. Kuvassa 17 on esitetty perinteellinen suoritus STP-kairauksesta. STP-vastukseksi kutsutaan kahden jälkimmäisen yhteen laskettu iskusumma. Tällainen mittaus suoritetaan yleisimmin 1,5 metrin välein. Häiriintynyt näyte saadaan aina mittauksen yhteydessä tutkittavaksi, paitsi soramaissa, jolloin näytteenottimen päähän voidaan sijoittaa

60 asteen kartiomainen umpikärkikappale. Yhtenäistä käyrää työstä ei tulostu, vaan mittausvälein saadut tulokset. Näytteenotto parantaa toisaalta oleellisesti hankittua tietoa. [3, s. 270.]



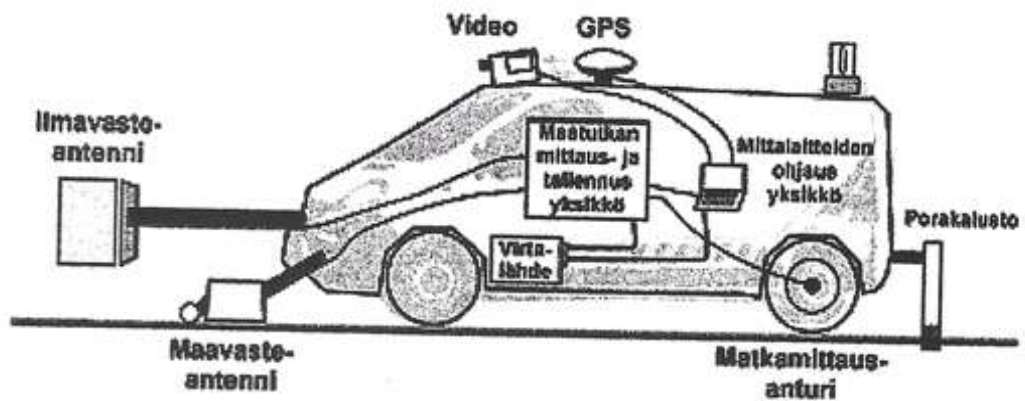
Kuva 17. Perinteellinen kuva STP-kairauksen suorituksesta [3, s. 270].

Tutkimukset joudutaan suorittamaan työputken sisältä. Maailmalla on paljon erikaltaisia laitteistoja työputken täydennykseen, upotukseen ja mittaukseen. Nämä vaikuttavat tuloksiin, jotka vaihtelevat menetelmän mukaan. [3, s.271.]

6.3 Muita pohjatutkimusmenetelmiä

6.3.1 Maatutkaluotaus

Maatutkaluotaus on maaperän tutkimusmenetelmä, jossa sähkömagneettinen luotauslaite käyttää radiotaajuusaluetta. Periaatteena luotaus on varsin yksinkertainen. Tutkalaitteessa sijaitseva antenni lähettää radiotaajuudella lyhytkestoisen sähkömagneettisen pulssin väliaineeseen. Antennilaitteessa on sekä lähetin että vastaanotin. Pulssin kohdattua sähköisen rajapinnan väliaineessa, heijastuu osa aaltoenergiasta takaisin ja osa jatkaa etenemistä. Takaisin heijastuneiden aaltojen aika mitataan tutka-antenneilla lähtöhetkestä paluuhetkeen. Tämän toistuessa nopeassa tahdissa saadaan muodostettua tulostussignaali, joiden tuloksena saadaan yhtenäinen profiili väliaineessa olevista sähköisistä rajapinnoista. [9, s.6.] Perinteinen maatutkaluotauksetkalusto on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Maatutkaluotauksetkalusto [4, s. 284].

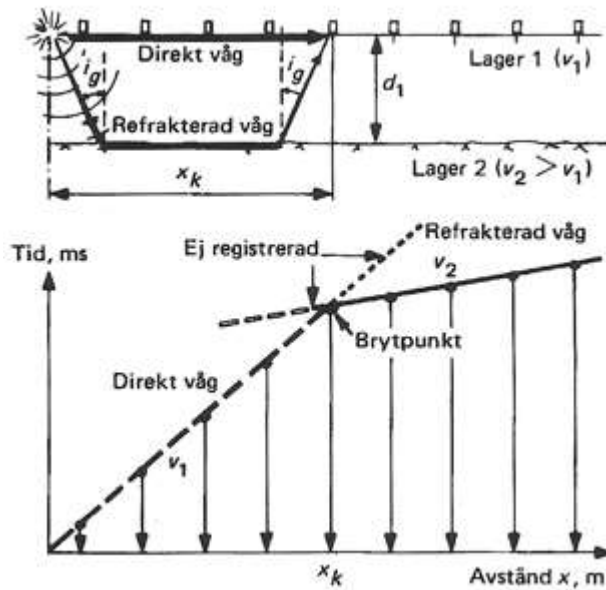
6.3.2 Sähköinen vastusluotain

Sähköisellä vastusluotauksella voidaan tuottaa jatkuvia esityksiä maaperästä. Menettelyssä asetetaan maahan 4 elektrodia tasavälein, ja elektrodeista sisimmäiset mittaavat ja ulommaiset syöttävät virtaa. Mittausta ja virran syöttöä ohjataan tietokoneella. Elektrodien ollessa lähellä ne mittaavat maanpinnan läheistä tilannetta. Tuloksia saadaan syvemältä, mitä kauemmaksi elektrodeja siirretään toisistaan. Yhden mittauksen jälkeen mittauspaikkaa vaihdetaan siten, että se on limittäin edellisen kanssa. [3, s. 285–286.]

6.3.3 Seisminen luotaus

Menettelyä käytetään laajemmilla alueilla kallioperän syvyyden ja maakerosolosuhteiden selvittämiseksi. Seismisen luotauksella saadaan kattava käsitys tämänhetkisestä tilanteesta tulevia tutkimuksia varten. [3, s. 286.]

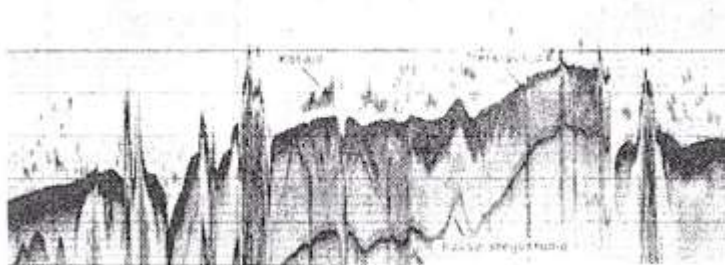
Mittauksessa maanpinnalle on asetettu tasavälein suoraan linjaan antureita, jotka ovat kytketty havainnoimaan tulevat signaalit mittauspisteissä. Kuvassa 19 on esitetty seismisen mittauksen periaate. Pienellä räjähdyspanoksella aiheutetaan maaperään paineaalto, joka etenee jokaiseen suuntaan. Mittauksen oleellisin hetki on, kun anturi havaitsee ensimmäisen aaltoliikkeen. Paineaallon nopeuteen vaikuttaa aineen tiheys ja painavuus. [3, s. 287.]



Kuva 19. Periaate seismisestä mittauksesta [3, s 287].

6.3.4 Kaikuluotaus

Menettelyssä kaikuluotain lähettää sykkiviä äänisignaaleja veteen. Kuvassa 20 on esitetty kaikuluotauksen diagrammi meren pohjasta. Signaalit heijastuvat takaisin pinnalle osuttuaan vedenalaisiin kohteisiin. Kaikuluotain laskee äänen nopeuden sen lähtemisestä tämän paluuseen. Tämän avulla saadaan selville veden alla olevista kohteista ja sen syvyydestä. Kaikuluotaimen avulla voidaan mitata myös paluupulssin voimakkuutta. Paluupulssi kertoo heijastuneen kohteen kovuudesta tämän nopeuden perusteella. [10]



Kuva 20. Kaikuluotauksen diagrammi meren pohjasta [3, s 287].

7 Geotekniikan kartoitus- ja maastomittaukset

7.1 Takymetri ja sen mittaukset

Takymetri on kulman- ja etäisyyden mittaamisessa käytetty koje, joka kykenee mittaamaan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Havainnoilla saadaan las-kettua koordinaatteja, korkeuksia sekä muita suureita. [11, s. 238.]

Takymetrimittauksessa etäisyydenmittausta kutsutaan elektro-optiseksi etäisyyden mittaukseksi. Mittauksessa takymetrin etäisyys määritetään sen lähettämän ja tähtäyspisteellä olevaan prismaan heijastuneen signaalin vertailun perusteella. Mittauksessa käytetään kantaallolle amplitudimoduloitua mittausväräh-telyä, jotka ovat ihmissilmälle näkymätöntä infrapunavaloa. Pulssimoduloidun signaalin avulla voidaan myös määrittää etäisyys, jossa etäisyysmittari muodos-taa lyhytkestoisen valopulssin. Mittauksessa mitataan valopulssin kulku-aikaa. [11, s. 250.]

Takymetri koostuu mittausputkesta, tasausalustasta, alhidadista, runko-osasta ja elektro-optisesta etäisyysmittarista. Takymetriin kuuluu myös

- kojeen keskistystä varten optinen luoti
- kojeen suuntaamista varten liikeruuvit
- kojeen asettamista varten jalkaruuvit
- tasaimia kuten putkitasain, rasiatasain ja kompensatiotasaimet.

[11 s. 239.]

Lisäksi takymetrimittauksessa tarvitaan kojeiden ja tähysten jalustoiksi kolmijal-koja, kartoitussauvoja, prismoja sekä kulmien ja etäisyyksien mittaukseen tä-hyksiä. [11, s. 239.]

7.1.1 Maastomallimittaukset

Maastomalliksi kutsutaan maaston ja rakennetun ympäristön kolmiulotteista mallia, johon nykyaikainen tietotekniikkaan tukeutuva rakennustekninen suunnittelu ja ympäristön visualisointi erilaisina kolmiulotteisina kuvina ja esityksinä perustuu. [11, s. 265.]

Maastomalli muodostaa maapinnan korkeudet jatkuvaksi pinnaksi mallinnettuna ja muita mahdollisia rakennuksia, johtotietoja, maalajipintoja ja ominaisuuksia ja maanalaisia tiloja. Maastossa mitataan pintojen rakennetta kuvaavien pisteiden koordinaatteja ja korkeuksia, jotta maastomalli voidaan muodostaa. Pisteet yhdistetään mittauksen laskennan yhteydessä kolmioksi, jota kutsutaan kolmioverkkomalliksi. Erilaisia poikkileikkauksia, korkeuskäyriä tai vaativampia tietotekniikan mahdollistamia visualisointeja ja laskentoja voidaan suorittaa mallintamisen jälkeen. [11, s. 265.]

Riippumatta kartoitusmenetelmästä maastomallimittauksessa on tärkeä mitata taiteviivoja. Taiteviivat ovat kohteita, jossa pinnan ominaisuuksien tai kaltevuuden muutos tapahtuu viivamaisesti. Pinnanmuoto muuttuu äkillisesti esimerkiksi ojan penkalla tai pohjalla. Ominaisuuden muuttuminen tapahtuu, kun siirrytään esimerkiksi nurmikolta asfaltille. Jotta parannettaisiin mallinnuksen luotettavuutta ja tarkkuutta, mallikolmioiden kannat sijoitetaan aina taiteviivoille kolmioverkkomallinnuksessa. [11, s. 266.]

7.1.2 Kartoitusmittaukset

Kartta on yleistetty, pienennetty, lisätiedoin täydennetty ja merkeiltään selitetty tasokuva alueesta perinteisen määritelmän mukaan. Ensisijaisesti kartoilla kuvataan tasosijaintia valituista kohteista. Kartoitukset suoritetaan pääosin kaukokartoituksen keinoin, mutta takymetri- ja satelliittimittauksien avulla kartoja joudutaan viimeistelemään. Maastomittauksin kartoituksia voidaan suorittaa pienemmillä alueilla. Maastomittausten ollessa yleisesti tarkempia mittauksia kuin

kartoitusmittaukset, joudutaan tarkkuutta vaativat mittaukset suorittamaan myöskin maastossa. [11, s. 262.]

Mittausmenetelmä on tasosijainnin osalta säteittäinen mittaus ja korkeuden osalta trigonometrinen korkeusmittaus takymetrillä kartoittaessa. Kartoitusmittauksen tallennetaan sähköiseen muotoon ja käsitellään kartoitusohjelmalla esimerkiksi 3D-winillä. [11, s. 263.]

Mittaushavainnot ovat tärkeä koodata tiedonhallinnon kannalta. Koodauksessa käytetään neljää tunnusta:

- Pistenumero, kertoo pisteen yksilöivän tunnusnumeron.
- Viivanumero, saman viivan, esimerkiksi polun, pisteelle annetaan sama pistenumero.
- Lajikoodi, luokittelee kohteen.
- Pintatunnus, kertoo sijaitseeko tunnus esimerkiksi kallion vai maanpinnalla. [11, s. 263.]

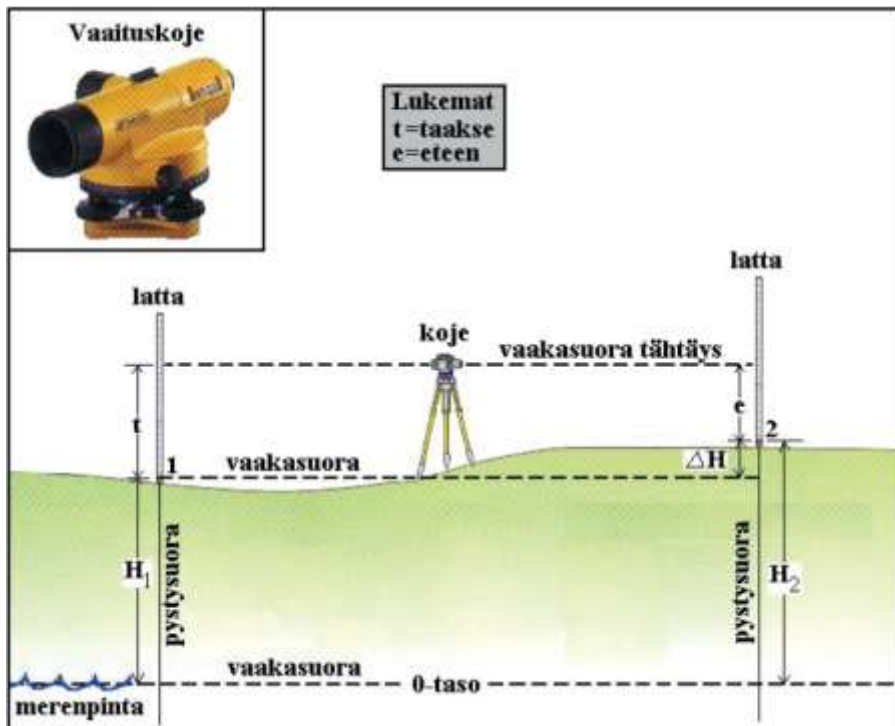
Taulukossa 3 on esimerkki lajikoodeista.

Taulukko 3. Esimerkki lajikoodeista [11, s. 264].

Koodi	Kohteen kuvaus	Koodi	Kohteen kuvaus
401	Puuaita	200	Hajapiste
402	Verkkoaita	200.1	Hajapiste, asfaltti
403	Kiviaita	100.1	Valopylväs, metallinen
501	Tien keskilinja	100.2	Valopylväs, puinen
502	Tien reuna	150	Koristepuu
551	Reunakivi	733	Leikkipaikka

7.2 Vaaitus

Vaaituksessa mitataan kahden pisteen korkeusero muodostamalla vaaituskoneella vaakasuora tähtäyslinja ja -taso. Pisteille viedyn latan tähtäystaso ja pisteiden väliset pystysuorat etäisyydet mitataan vaaituskoneella tähtäämällä, joista saadaan laskettua korkeusero pisteiden välille. Vaaituksen periaate on esitetty kuvassa 21. Laskemalla taakse- ja eteenlukemien erotus, saadaan selville korkeuserot. [11, s. 205.]



Kuva 21. Vaaituksen periaate [11, s. 206].

7.3 Satelliittimittaukset

Satelliittipaikannus perustuu etäisyyksien ja etäisyserojen mittaukseen. Satelliittipaikannuksessa satelliittien lähettämien havaintojen perusteella etäisyydet mitataan geometrian kannalta ainakin kolmeen satelliittiin. Havaintojen paikka saadaan laskettua, kun satelliittien sijainti tunnetaan havaintohetkellä. [11, s. 291.]

Vaihehavainnot ja koodihavainnot ovat satelliittipaikannuksen perushavainnoja, joiden yhdistelmät ovat mahdollista. Etäisyydenmittauksen perustuttua satelliitin lähettämän signaalin kantoaallon pituuteen puhutaan vaihehavainnoista, joka on tarkempi, mutta monimutkaisempi paikannus verrattuna paikannuskoodin avulla suoritettuun mittaukseen. Kun etäisyys mitataan paikannuskoodin avulla, puhutaan koodihavainnoista. Paikannuskoodi muodostaa signaaliin mitta-asteikon, jonka avulla etäisyydenmittaus on helppoa. Paikannuskoodin pituus on pidempi kuin kantoaallonpituus. [11, s. 292–293.]

Satelliittipaikannuksessa käytetään useita eri mittaustapoja, joiden jaottelu perustuu mittauksissa käytettäviin havaintosuureisiin, systemaattisten virheiden korjaamistekniikoihin ja havaintolaitteiden lukumäärään. Perinteiset mittaustavat ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja suhteellinen mitaus, joka perustuu vaihehavaintoihin. [11, s. 293.]

7.3.1 Absoluuttinen paikanmääritys

Absoluuttinen paikannus on yksinkertaisin satelliittipaikannus kolmesta mittaustavasta, jossa paikanmääritys tapahtuu yhdellä vastaanottimella. Mittauksessa havaitsija mittaa etäisyyden vähintään kolmeen satelliittiin, jotka ovat sijainniltaan tunnettuja kohteita. Havaitsija sijaitsee pallopintojen leikkauskohdassa. Etäisyyden mittaus perustuu C/A-koodihavaintojen avulla satelliitin lähettämän signaalin kulkuajan mittaamiseen viivästystekniikkaa hyväksikäyttäen. Mittauksessa käytetään erittäin tarkkoja kelloja kulkuajan mittauksen vuoksi. Havaitsijan paikantimen kellon käyntivirhe määritetään mittaamalla etäisyydet kolmen satelliitin sijasta neljään. [11, s. 295.]

7.3.2 Differentiaalinen paikanmääritys

Differentiaalisessa paikannuksessa käytetään myös C/A-koodihavainnoja, kuten absoluuttisessa paikannuksessa. Lisäksi mittaukseen tulee mukaan tunnetulla pisteellä sijaitseva tukiasema. Tukiaseman mitatessa etäisyyttä se laskee

havaintopaikan ja satelliitin tiedossa olevia koordinaatteja vastaavan etäisyyden. Etäisyyden oikeana arvona pidetään laskettua etäisyyttä. [11, s. 301.]

Vaikka tarkkuuden kannalta tukiaseman etäisyydellä onkin merkitystä, paikannuksen tarkkuuteen ei vaikuta merkittävästi se, mistä korjaus hankitaan. Differentiaalisen paikannmäärityksen mittaustarkkuus on < 1 m maanpäällisten tukiasemien ja C/A-koodihavaintojen avulla. Tarkkuutensa vuoksi tämä mittaustapa soveltuu esimerkiksi merenmittaamiseen, paikkatietojen keruuseen sekä ammattimaiseen laiva- ja autoliikenteeseen. [11, s. 301.]

7.3.3 Suhteellinen paikannmääritys

Suhteellisessa paikannmäärityksessä mittaustapa eroaa kahdesta edellisestä siten, että etäisyydenmittauksessa käytetään kantoaallon havaintoja ja paikantavan vastaanottimen sijainti suhteutetaan toisen vastaanottimen eli vertailuvastaanottimen sijaintiin. Paras mahdollinen tarkkuus saavutetaan vaihehavaintoihin perustuvalla suhteellisella mittaustavalla. Paikannusvirheet ovat parhaimmillaan vain muutamia millimetrejä suhteessa vertailuvastaanottimeen, joka vastaa takymetrin tarkkuutta. Koodihavaintoihin perustuviin mittaustapoihin verrattuna vaihehavaintoihin perustuva mittaustapa on kuitenkin huomattavasti monimutkaisempi. Suhteellista vaihehavaintoihin perustuvaa mittausta käytetään geofysiikan, geodesian, koneohjauksen sekä mittaus- ja kartoitustekniikan tehtävissä. [11, s. 301–302.]

Suhteellisessa mittauksessa käytetään kahta vastaanotinta. Nämä vastaanottimet ovat vertailuvastaanotin ja paikantava vastaanotin. Näiden vastaanottimien havainnot yhdistetään, jonka tuloksena saadaan mittaustulokset. Vertailuvastaanottimen sijainti voi olla joko tuntematon tai se voi sijaita tunnetulla pisteellä. Mikäli vertailuvastaanottimen koordinaatit ovat tiedossa, paikantavan vastaanottimen koordinaatit saadaan selville lisäämällä tiedossa oleviin koordinaatteihin mitattu paikkavektori. [11, s. 304.]

7.4 Laserkeilaus

Laserkeilaus perustuu mittaussuuntien tarkkaan orientointiin ja etäisyyden mittaamiseen. Laserkeilauksessa lasertykki lähettää laserpulsseja, jotka osuessaan kohteeseen kimpoavat takaisin. Takaisin kimmonneet pulssit ottaa vastaan ilmaisinsa. Pulssin kulkuajan perusteella saadaan laskettua kohteen etäisyys keilaimesta. Keilaimella voidaan mitata myös paluusignaalin intensiteettiä, jonka voimakkuus riippuu kohteen etäisyydestä ja kohdepinnan ominaisuuksista. [11, s. 269.]

Laserkeilausmittausten perusteella saadaan mittauspisteiden koordinaatit ja kolmiulotteinen pistepilvi, jonka avulla mittauskohteita voidaan mallintaa sekä tutkia. Pistepilvi orientoidaan liitospisteiden avulla jälkikäteen. Mittauskohteissa pitäisi orientointia varten olla riittävästi liitospisteitä, jotka ovat nähtävillä tähykseltä. Yksittäisen pistepilven orientoinnissa olisi hyvä käyttää enemmän kuin kolmea taso- ja korkeussijainniltaan tunnettua liitospistettä luotettavuuden vuoksi. [11, s. 271–272.]

7.5 Inklinometrimittaus

Inklinometrimittauksen tarkoituksena on mitata maaperässä tapahtuvia siirtymiä. Tapahtuvia liikkeitä voidaan havaita mittauksen aikana, jonka avulla liukupinnan kehitystä voidaan seurata. Putken kulmamutosta ja siirtymänopeutta voidaan vertailla arvioidun liukupinnan kohdalla ja tehdä arvioita tilanteen kehittymistä. Inklinometrimittauksessa siirtymien mittaus perustuu kulmien mittaukseen, jossa putken koko taipumaprofiili tuotetaan mittaamalla putki eri syvyyksiltä. Profiili muodostuu kahdessa eri suunnassa, poikittain toisiaan vastaan. [13, s. 36.]

Mittauksen mittaustarkkuus on yleensä 2–5 millimetriin, joka edellyttää putken alapään tiiviin kiinnityksen kallioon tai moreeniin. Mikäli putken alapäässä havaitaan liikehdintää, tarkkuus voi huonontua 10–30 millimetriin. Toinen yleinen syy epätarkkuuksille on putkipituuksien suurempi koko. Inklinometrimittauksen

yhteydessä mitataan putken yläpään koordinaatit, jos putken yläpäätä ei saada liikkumattomaksi. [12, s. 13.]

Kun maapohjan ja penkereen liikkeitä voidaan monitoroida ilman arvokkaita parannustoimenpiteitä, syntyy todellinen tarve inklinometrimittaukselle. Mittamalla manuaalisesti tuotetaan tietoa vain pistemäisesti tietyn väliajoin, mikä kasvattaa kustannuksia jokaisella mittauskerralla. Ymmärtäminen siirtymisen muutoksesta kasvaa tärkeäksi kriteeriksi mittauksen hyödyn kannalta. Automaattisia inklinometrejä voidaan kuitenkin käyttää reaaliaikaisissa mittauksissa. [13, s.37.]

7.6 Ekstensometri

Ekstensometri soveltuu geoteknisessä mittauksessa kallio- ja betonirakenteiden pintahalkeamien, maan painumien ja kallion halkeamien mittaamiseen kairareian suunnassa. Mittaustavassa mitataan etäisyyden pienenemistä tai kasvua, riippuen siitä minkälainen laitteisto on käytettävissä. Mittauslaitteet toimivat eri toimintaperiaatteella, mutta tiettyyn vertailupisteeseen nähden kaikki mittaavat yksittäisten pisteiden liikehdintää. Riippuen käytettävästä laitteistosta ekstensometrin mittauksen tarkkuus on normaalisti muutamien millimetrien tasoa. [14, s.34.]

7.7 Mittauksien tarpeet

Mittauksen menevät suurimmaksi osaksi suunnittelijoiden käyttöön. Mittauksien tarkoituksena on tuottaa suunnittelijoille tietoa suunnittelu ympäristöstä, jolla pyritään varmistamaan geoteknisten suunnitelmien toimivuus. Mittauksilla saadaan enemmän tietoa epävarmuustekijöistä, joita geoteknisissä suunnitelmissa yleensä havaitaan. [15, s.33.]

8 Yhteenveto

Insinööriyössä koottiin yhteen ja selitettiin geoteknisten tutkimusten ja maastomittausten perustiedot. Työssä käytiin läpi ja selostettiin yleisimmät käytössä olevat geotekniset tutkimus- ja mittaussuomenetelmät sekä annettiin oheistietoa maa- ja kallioperätiedoista ja geoteknisestä maaluokituksesta. Työn tavoitteena oli selkeä ja yksinkertaistettu selostus edellä mainituista asioista.

Yleisin tutkimusmenetelmä Suomessa on painokairaus ja harvemmin käytetty on STP-kairaus, joka ei ollut itselleni opinnäytetyön tekijänä ennestään tuttu. Käytännön töissä on hyvä osata lukea tutkimustuloksia, jotta osaa päätellä, onko mittaustulos mahdollinen. Mittauksissa taas takymetrimittausta pidetään yleisimpänä menetelmänä ja inklinometrimittausta ja ekstensometrimittausta ei niin yleisinä.

Tutkimusta voisi jatkaa paneutumalla geoteknisten tutkimusmenetelmien ja maastomittausten ohjeisiin ja sekä lisäksi käytännön esimerkein kertoa geoteknisten tutkimusmenetelmien ja maastomittaussuomenetelmien yhteensovittamisesta. Tutkimuksessa hyödynnettiin kirjallisia lähteitä, jotka käsittelivät geotekniikkaa.

Lähteet

- 1 Rantamäki, Martti; Jääskeläinen, Raimo & Tamminne, Markku. 2008. Geotekniikka. 21. muuttumaton painos. Espoo. Otatieto.
- 2 Maaperä peittää kalliota. Verkkoaineisto. Ruokatieto. <<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/luonto/maapera/maapera-peittaa-kalliota>> Luettu 1.3.2022
- 3 Jääskeläinen, Raimo. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Tampere. Tammertekniikka
- 4 Geotekninen maalajiluokitus. 2022. Verkkoaineisto. Suomen maalajien ominaisuuksia. <<https://core.ac.uk/download/pdf/14927376.pdf>> Luettu 1.2.2022
- 5 Pohjavesi. 2017. Verkkoaineisto. Pohjavedenpinnan ja houkosvedenpainon mittaaminen. <<https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-4.pdf>> Luettu 17.3.2022
- 6 Kairausopas 1. 2017. Verkkoaineisto. Suomen geoteknillinen yhdistys. <<https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-1-painokairaus-taerykairaus-heijarikairaus.pdf?msclkid=31729db7be6411ecaa6000f6bed37d71>> Luettu 19.4.2022
- 7 Kairausopas 2. Siipikairaus. 2018. Verkkoaineisto. Suomen geoteknillinen yhdistys. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje_2018_siipikairaus_web.pdf?msclkid=c9086569be6411ec8bfa45c28f49cd2b> Luettu 20.4.2022
- 8 Kairausopas 6. 2017. Verkkoaineisto. Suomen geoteknillinen yhdistys. <<https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-6-cptu-puristinkairaus-puristin-heijarikairaus.pdf?msclkid=0eec45dabe6511eca3f985d3cdd2b87a>> Luettu 21.4.2022
- 9 Maatutkaluotauksen teoriaa. 2018 Verkkoaineisto. Maatutkaluotaustutkimusraportti. <https://www.raasepori.fi/wp-content/uploads/pdf/7764/Liite%202020Ramboll_B%C3%A4ljars_Maatutkaluotausraportti_25012018_v2.pdf> Luettu 24.3.2022
- 10 Näin kaikuluotain toimii. 2022. Verkkoraportti. Pioneer. <<https://pioneerboat.fi/inspiraatiota/kalastus/nain-kaikuluotain-toimii/>> Luettu 24.3.2022

- 11 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D, nro 3.
- 12 Mittaustarkkuus ja virheriskit. 2011. Verkkoaineisto. Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-06_siirtyma_ja_huokospainemittausten_web.pdf> Luettu 29.3.2022
- 13 Mäkinen, Teemu. 2015. Inklinometrimittausten käyttö stabiliteetin arvioinnissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 14 Bäcklund, Jalle. 2013. Geotekninen monitorointi Suomessa. Diplomityö. Aaltoyliopisto. Aaltodoc-tietokanta.
- 15 Geoteknisen mittaamisen ja monitoroinnin olennaiset käsitteet ja periaatteet. 2017. Verkkoaineisto. Suomen geoteknillinen yhdistys. <https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/geoteknisen_mittaamisen_ja_monitoroinnin_olennaiset_kasitteet_ja_periaatteet_6-11-2017_julkaisu.pdf> Luettu 14.4.2022