

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2020

Henrikki Moliis

# POHJATUTKIMUKSET KORJAUSRAKENTAMISESSA

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Ohjaaja DI Liisa Larkela

2020 | 48 sivua, 1 liitesivu

Henrikki Moliis

## POHJATUTKIMUKSET KORJAUSRAKENTAMISESSA

Työn tavoitteena oli selvittää korjausrakentamiseen liittyviä pohjatutkimusmenetelmiä. Tämän lisäksi tämän työn tekemisellä saataisiin yrityksen sisällä tehtyä osaamisen siirtämistä työpisteiden välillä.

Talokohteiden korjausrakentamisessa tarve selvittää rakennuksen perustusten nykytilaa tulee esille, kun rakennusta laajennetaan tai viereisillä kiinteistöillä tehdään suurempia rakennustöitä. Tämän lisäksi pohjatutkimusten tarpeeseen havahdutaan, kun rakennukseen on syntynyt painumisesta johtuvia halkeamia. Korjauskohteissa nämä johtavat usein perustusten vahvistamiseen. Opinnäytetyössä selvitetään erilaisten pohjatutkimusmenetelmien valintaa korjausrakentamiskohteissa, jolloin usein päädytään perustusten vahvistamiseen. Tämän lisäksi käsitellään yleisesti erilaisia korjaustoimenpidemenetelmiä. Selvitykset tehtiin kirjallisuuden ja haastatteluiden pohjalta.

Työn aikana havaittiin, että pohjatutkimusmenetelmät eivät pääperiaatteiltaan eroa korjaus- ja uudiskohteiden välillä. Suurimpia eroja tuo rakennetun ympäristön rajoitteet kaluston koon ja niiden aiheuttamien työnaikaisten häiriöiden muodossa, koska rakennusten käyttö usein jatkuu korjaustöiden aikana.

Maaperän ominaisuudet ja alkuperäinen perustamistapa on tarpeellista selvittää, jotta voidaan onnistuneesti suunnitella korjaustoimenpiteet. Onnistuneella maaperätutkimuksella saadaan myös korjaustöiden kustannukset suunniteltua paremmin.

### ASIASANAT:

pohjarakentaminen, korjausrakentaminen, perustusten vahvistus, kairausmenetelmät, pohjatutkimukset

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Liisa Larkela M.Sc. Eng.

2020 | 48 pages, 1 pages in appendices

Henrikki Moliis

# GROUND SURVEYS IN RENOVATION CONSTRUCTION

The purpose of this thesis was for the writer to become familiar with geotechnical basic design in renovation construction. Thesis consists of three parts which are planning of the project, methods that can be used in soil investigations and finally applications of foundation reinforcements. The outcome of this study was that construction renovation projects vary greatly.

Therefore, it is important to be familiar with different methods of the soil investigations as well as foundation reinforcement methods. This way the right methods can be chosen for a project.

KEYWORDS:

renovation, foundation reinforcement, ground surveys

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 HANKKEEN SUUNNITTELU</b>	<b>8</b>
2.1 Suunnittelun tavoitteet	8
2.2 Lähtötietojen selvittäminen	9
2.3 Kartoitukset ja mittaukset	10
<b>3 KORJAUS- JA POHJARAKENNUSUUNNITELMA</b>	<b>12</b>
3.1 Luonnossuunnitteluvaiheen suunnittelu	12
3.2 Luonnossuunnitteluvaiheen tutkimukset	13
3.3 Toteutusvaiheensuunnittelu ja tutkimukset	14
3.4 Tutkimuspisteiden sijoittaminen	15
3.5 Pohjatutkimusraportti	15
3.6 Korjaussuunnitelma	16
3.7 Ympäristövaikutukset	16
<b>4 TUTKIMUSMENETELMIEN VALINTA JA KÄYTTÖ</b>	<b>17</b>
4.1 Kohdekatselmus ja dokumenttiaineisto	17
4.2 Painuma- ja vaurio seuranta	17
4.2.1 Painumaseurannan toteutus	18
4.2.2 Halkeamaseuranta	18
4.2.3 Stabiliateetti ja siirtymä	19
4.3 Poranäyte	19
4.4 Koekuoppa	20
4.5 Kairausmenetelmät	21
4.6 Tärykairaus	22
4.7 Porakonekairaus	23
4.8 Painokairaus	25
4.9 Heijarikairaus	26
4.10 Puristin-heijarikairaus	27
4.11 Siipikairaus	28
4.12 Pinta- ja pohjavesien selvittäminen	30

4.12.1 Pohja- tai orsivesiputki	31
4.12.2 Huokospainemittaus	32
4.13 Näytteenotto	33
4.13.1 Häiriintymätön näyte	34
4.13.2 Häiriintynyt näyte	34
4.14 Laboratoriokokeet	35
4.14.1 Seulonta	35
4.14.2 Ödömetrikoe	35
4.14.3 Kapillaarimetri	36
4.14.4 Humuspitoisuus	36
<b>5 MAAPERÄN OLOSUHTEET</b>	<b>37</b>
5.1 Tavanomaiset korroosio-olosuhteet	37
5.2 Poikkeavat korroosio-olosuhteet	37
5.3 Sulfidisavet	38
5.4 Korroosiotutkimuksen raja-arvot	38
5.5 Vedestä tehtävät korroosiotutkimukset	39
5.6 Korroosioarvot materiaaleissa	39
<b>6 POHJATUTKIMUSTULOSTEN SOVELTAMINEN PERUSTUSVAHVISTUKSIIN</b>	<b>43</b>
6.1 Kuormitusperusteet	43
6.2 Kuormansiirtorakenteet	43
6.3 Paalutetun rakennuksen korjaaminen	44
6.4 Maanvaraisen rakennuksen korjaus	45
6.5 Kuivatus	45
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>47</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>48</b>

## **LIITTEET**

Liite 1. Kairausten maalajimerkinnot.

## KÄYTETYT LYHENTEET

Cl	kloridi
CPTU	sähköinen puristinkairauskoe huokosvedenpainemittauksella
GEO	pohjarakennesuunnittelu
GTK	Geologian tutkimuskeskus
PEH	kova polyeteeni, korkeatiheyksinen polyeteeni
pH	happamuus
RT-kortisto	suunnittelun ohjekortit
SO	sulfaatti
S <sub>t</sub>	sensitiivisyys
S <sub>v</sub>	häiriintymätön leikkauslujuus
S <sub>vr</sub>	häiriintynyt leikkauslujuus
redox	pelkistymispotentiaali
W <sub>L</sub>	juoksuraja
XA	rasitusluokka

# 1 JOHDANTO

Korjausrakentamiskohteissa herätään perustusten vahvistamiseen vasta kun muu korjaustyö on usein alkanut. Seinissä on ollut halkeamia ja ensimmäinen suunnitelma on korjata ne laastilla. Tässä kohtaa usein mietitään miten halkeamien uudelleen syntymisen voitaisiin estää. Lopulta selviää, että perustusten korjaaminen vaati myös tietoa maaperästä syvemältä kuin pelkästään nähtävissä olevasta pintamaasta eikä näitä asioita ole välttämättä rakennusajankohtana selvitetty riittävästi. Tämän lisäksi tutkittua tietoa on nykypäivänä paremmin saatavana.

Työssä selvitetään maaperätutkimuksiin liittyviä päävaiheita. Tarkemmin perehdytään erilaisiin maaperätutkimusmenetelmiin ja selvitetään, miten ne liittyvät perustusten vahvistamiseen korjausrakentamiskohteissa. Lisäksi selvitetään erilaisia laboratoriotutkimuksia, jotka liittyvät aihepiiriin. Lopuksi tarkastellaan asioita, joita perustusvahvistuskohteissa yleensä tulee vastaan.

## 2 HANKKEEN SUUNNITTELU

Korjausrakentamisessa korjaussuunnittelun ja pohjatutkimuksen tarpeen voi käynnistää rakennuksen painuminen ja sen aiheuttamat vauriot rakenteisiin tai lisärakentamisen tarve kiinteistöllä tai sen läheisyydessä (Lehtonen 2006, 7).

Pohjatutkimusten yleisenä tavoitteena on selvittää maakerrosten rajat ja ominaisuudet sekä tiiviin pohjakerroksen tai kalliopinnan syvyys. Näiden selvittäminen myös korjauskohteissa on olennaista. (SGY 1981, 1). Pohjatutkimusten suunnittelu ja tutkimus taas jakaantuu pääsääntöisesti kahteen vaiheeseen, jotka ovat

- luonnossuunnitteluvaihe - lähtötietojen hankinta, tutkimusohjelma ja alustavat selvitykset
- toteutussuunnitteluvaihe - mahdolliset lisätutkimukset ja suunnittelu.

Nämä liittyvät Geosuunnittelun tehtäväluettelon GEO 2018 Hankkeen tehtäväkokonaisuudet. (RT10-3032, 1). Usein joudutaan täsmentämään pohjatutkimuksia, kun rakenteita päästään tutkimaan paremmin.

Rakenteiden korjaussuunnittelussa otetaan kantaa perustusten vahvistamismenetelmiin ja käytettäviin korjaustekniikoihin.

### 2.1 Suunnittelun tavoitteet

Suunnitteluvaiheessa pohjarakennussuunnittelija laatii pohjatutkimus- ja kartoitusohjelman kohteesta olevien lähtötietojen perusteella. (RT10-10619, 2). Riittävän tarkan pohjatutkimuksen suorittaminen edellyttää, että olemassa olevat rakennuspaikat ja korjattavat rakenteet on tarkasti kartoitettu. Tavoitteena on saada riittävät lähtötiedot olosuhteiden ja vaurioiden syiden selvittämiseen ja myöhemmin korjausmenetelmän valintaan ja itse korjaussuunnitteluun. Pohjatutkimusten, mittausten ja erilaisten selvitysten pohjalta pyritään selvittämään syyt vaurioiden syntymiseen.

Näin voidaan suunnitella sellaiset pohjatutkimus- ja suunnitteluasiakirjat, joissa esitetään syyt vaurion syntymiseen. Suunnittelun tavoitteena on myös esittää kohteeseen soveltuvat eri korjaustoimenpiteet kustannusarvion tekemiseksi.



## 2.2 Lähtötietojen selvittäminen

Alkutilanteessa haastatellaan toimeksiantajaa ja selvitetään, onko esim. taloyhtiössä henkilöitä, joilla on pitkäaikaista kokemuseräistä tietoa kohteesta.

Lähtötietojen kerääminen aloitetaan etsimällä rakennuksen vanhat piirustukset perustamistavasta, kantavista rakenteista sekä myöhemmin kantaviin rakenteisiin tehdyistä muutoksista (Lehtonen 2006, 21). Lähtötilanteessa myös vaurion syntymekanismin selvittämiseksi tutkitaan, onko kyseiseltä paikalta tehty aiemmin maaperätutkimuksia. Lähtöaineistoksi on myös hyvä tutkia saatavilla olevia maaperäkartoja. (Jääskeläinen 2011, 242).

Mahdollisia rakennuspiirustusten arkistointipaikkoja riippuen kohteesta voivat olla

- kaupunkien ja kuntien rakennusvalvonta ja niiden sähköiset palvelut
- taloyhtiöiden omat arkistot
- rakennuksen suunnittelijan omat arkistot
- maakunta-arkisto
- vesilaitosten arkistot
- sähköverkon ylläpitäjän karttapalvelut.

Maaperään liittyvää lähtöaineistoa voidaan etsiä seuraavista lähteistä, joita ovat

- maa- ja kallioperäkartat, GTK
- ilmakuvat
- nykyisten rakenteiden pehmeikkö- ja perustamistaparekisterien tiedot
- muiden esimerkiksi kunnan tai kaupungin tekemät pohjatutkimukset.

Kun löydettyjä lähtötietoja hyödynnetään, on myös arvioitava niiden ajantasaisuus. Arkistoitujen piirustusten taso vaihtelee huomattavasti riippuen rakennusajankohdasta ja rakennuspaikasta. (Jääskeläinen 2005, 12).

Piirustusten selvittämisen lisäksi on myös tehtävä katselmus kohteeseen. Katselmuksessa on hyvä päästä kaikkiin rakenteiden toiminnan kannalta olennaisiin tiloihin, vaikka niihin pääsyn järjestäminen ei olisi helppoa. Tilaisuudessa olisi hyvä olla läsnä myös huoltohenkilöstöä tai joku, joka tuntee rakennuksen käyttöhistoriaa. Käynnin yhteydessä

on hyvä varmistaa, vastaavatko piirustukset vallitsevaa tilannetta. (Lehtonen 2006, 21). Samalla on hyvä arvioida se, mahtuuko tarvittava kairauskalusto toimimaan kokonsa puolesta oletetuissa tutkimuspisteissä. Tämä huomioidaan myös rakennuksen sisä- ja ulkopuolella. Lisäksi selvitetään, voidaanko käyttää polttomoottorikäyttöistä laitteistoa sisätilassa. Pohditaan myös mahdollisten koekuoppien tarvetta ja sijaintia.

Selvitystyön yhteydessä on hyvä myös pohtia perustusvahvistuksen vaikutuksia muihin lähellä oleviin rakennuksiin, maanalaisiin tiloihin sekä lähemmäs maanpintaa sijoitettuihin viemäri-, putki-, ja kaapelilinjoihin, jotta ne eivät rikkoonnu tutkimusten tekemisen aikana.

Lähtötietojen perusteella suunnittelija tekee oletuksen tontin pohjasuhteista ja suunnittelee tarvittavat pohjatutkimukset ja mittaukset. Huolellisesti tehty selvitystyö ja perehtyminen kohteeseen vähentävät muutossuunnittelua huomattavasti (Lehtonen 2006, 22).

### 2.3 Kartoitukset ja mittaukset

Kartoitus voi toimia myös lähtötietona kuivatuksen korjaussuunnittelussa. Vaaituksella voidaan saada tietoa rakenteiden kallistumisesta sekä seurata rakenteissa edelleen tapahtuvaa muutosta. Joskus kohteissa tehdään pitkäaikaista, jopa vuosia kestäväää painumaseurantaa ennen päätöstä korjaustoimenpiteistä. Joskus myös päädytään tekemään päätös korjaamatta jättämisestä tai rakennuksen purkamisesta. (Sihvola 2020).

Tärkeä osa lähtötietojen hankkimista on myös saada käsitys korjattavan kiinteistön vallitsevista korkeussuhteista. Korjattava rakennus vaaitetaan, jotta pystytään seuraamaan korjaustoimenpiteiden aikana tapahtuvaa painumaa sekä aiemman painumahistorian selvittämiseksi. Vaaitettavaksi valitaan sellaisia kohtia, jotka on aikoinaan tehty suoriksi, mutta joita ei ole aiemmin painumien vuoksi oikaistu. Lattiat soveltuvat huonosti tähän, koska niitä on usein suoristettu. Parempia kohteita ovat räystä- ja sokkelilinjat, ikkunapenkit, julkisivun koristelistat ja sisäkaton alapinnat. (Lehtonen 2006, 16). Kartoituksissa ja suunnitelmissa on esitettävä mittauksissa käytetty korkeuskiintopiste, korkeus- ja koordinaattijärjestelmä (Sihvola 2020).

Jos lähtökartoituksen yhteydessä arvioidaan jouduttavan kaivamaan rakennuksen vierustoilla runsaasti, on pintavesien ohjauksen nykytilan arviointia ja suunnittelua varten tehdään tontin pintavaaitus. Samalla kartoitetaan pihan pintarakenteet, syöksytorvien paikat, kaivot ja mahdollisesti niissä olevien vesijuoksujen korot ja suunnat. Lisäksi

tontilla olevat luonnolliset esteet kuten avokalliot, suuret lohkareet ja mahdollisesti korjaustoiminnan vaikutusalueella olevat suuret puut. Kartoituksen yhteydessä merkitään myös mahdolliset sähköjen ilmalinjat sekä tontilla olevien nykyisten ja muiden rakenteiden sijainnit. (RT10-10619, 2). Rakennusvalvontojen arkistoista ja karttapalveluista on saatavissa tiedot tonttien rajapyykeistä ja koordinaateista. Kaava-alueen ulkopuolella samat tiedot löytyvät maanmittauslaitokselta. (Jääskeläinen 2011, 240).

Kartoituksen yhteydessä on hyvä selvittää myös, onko lähiympäristön toiminnassa tapahtunut muutoksia. Esimerkiksi rakentamista, joka on alentanut pohjavedenpintaa tai muuta rakennustoimintaa tai liikennettä, joka aiheuttaa voimakasta tai toistuvaa tärinää kuten louhinta tai myöhemmin rakennettu liikenneväylä. Nämä voivat aiheuttaa rakennuksen painumista. Jotta asiasta saadaan varmuus pitää kartoituksessa selvittää myös painuminen pidemmältä aikaväliltä esimerkiksi kantaviin rakenteisiin, kuten sokkeliin talon nurkkiin asennettavalla tarkkailupultilla, joita seurataan erikseen määritettävällä tiheydellä, esim. kerran vuodessa. Näin seurataan painuman kehittymistä ja mahdollista kallistumista. (Sihvola 2020).

### 3 KORJAUS- JA POHJARAKENNUSUUNNITELMA

Kun kohdekohtaisten lähtö- ja pohjatietojen hankinta on suoritettu, tehdään pohjarakennusehdotus. Pohjarakennusehdotus sisältää tiedot kohteen kantavien rakenteiden ja alapohjien nykyisestä perustamistavasta ja korkeusasemasta sekä pohjasuhteista. Suunnitelmissa tulee esittää kaikki kohteen korjaamiseen liittyvät seikat ja suunnitelmassa otetaan kantaa korjaustarpeeseen ja mahdollisiin korjausmenetelmiin. Jos toteutusvaiheessa tulee työnaikaisia muutoksia tilanteeseen, joudutaan tekemään lisäselvityksiä.

#### 3.1 Luonnossuunnitteluvaiheen suunnittelu

Luonnossuunnitteluvaiheessa vanhoista rakennepiirustuksista selvitetään suunniteltu kantavien rakenteiden ja alapohjien perustamistapa. Mikäli piirustuksia ei ole ollut käytävissä, voidaan perustamistapaa alustavasti arvioida tunnettujen tyyppiratkaisujen perusteella. Tätä varten on tunnettava myös eri ajanjaksoille tyypilliset ratkaisut. Ennen korjaustoimenpiteisiin ryhtymistä on kuitenkin aina selvitettävä kohteen toteutunut perustamistapa esim. koekuopalla. (Lehtonen 2006, 15). Lopullinen vahvistus toteutuneesta perustamistavasta saadaan tutkimusvaiheessa yleensä esimerkiksi koekuopalla. Tällä menetelmällä voidaan myös selvittää, onko perustamistapa yhdenmukainen koko korjattavan perustusrakenteen alueella. Samalla arvioidaan yleispiirteittäin täyttöjen vaikutus maapohjan vakavuuteen ja painumiin sekä selvittää kuivatuksen ja routasuojauksen tarvetta.

Samoin jos maankaivu ulotetaan liittyvän tai läheisyydessä olevan rakennuksen perustamistason alapuolelle, selvitetään olemassa olevien rakennusten perustusten vahvistamis- ja tukemistarve. Selvitetään myös, mille etäisyydelle ja korkeusasemaan mahdollinen uudisrakennusosa tulee sijoittaa, jos vahvistamis- ja tukemistoimenpiteet halutaan välttää tai pitää mahdollisimman vähäisinä. Myös silloin, kun suunnitellaan kellarillinen uudisrakennus kellarittoman rakennuksen läheisyyteen, on oltava luotettava tieto viereisen rakennuksen perustamisesta, jotta perustusten alapuolelle ulottuvalla kaivulla ei vaaranneta olemassa olevien rakennusten vakavuutta.

Jotta oletettuihin vauriomekanismeihin saadaan varmuus, on aloitettava rakenne- ja maaperätutkimusten teko sekä tehtävä suunnittelua tulevista tutkimuspisteistä. Näiden

perusteella voidaan jatkaa oletetun korjausmenetelmän suunnittelua tai hankkia vielä lisää tietoa paremman ratkaisun kehittämiseksi. Selvitysten jälkeen voidaan esittää mahdolliset vaihtoehtoiset ratkaisut rakenteiden korjaus- ja perustamistavoista.

### 3.2 Luonnossuunnitteluvaiheen tutkimukset

Mahdollisia laskelmia varten on saatava tietoa maaperän tilavuuspainoista, kitkakulmista, leikkauslujuudesta, puhtaudesta ja pohjavedenpinnan tasosta jne. (Jääskeläinen 2011, 241).

Tutkimuksissa selvitetään lähtökohtaisesti ainakin seuraavat asiat:

- kallion pinta tai kantava maapohja
- maalajien routivuus ja vedenläpäisevyys
- suhteellinen tiiviys
- pohjavedenpinnan taso
- painumaominaisuudet.

Maakerrosrajat ja maalajit selvitetään mahdollisia perustustuentoja, paalutuksia tai rakenteiden painumien tai halkeilun syyn selvittämistä varten. Lähtökohtaisesti pohjasuhteet selvitetään kevyillä kairauksilla ja näytteenotolla tai mahdollisesti koekuopalla. Porakonekairausta käytetään myös kallopinnan todentamiseksi sekä täytemaa-alueilla rakennettujen tiiviiden tai kivisten pintakerrosten läpäisemiseksi.

Jos tontti sijaitsee kallioisella tai karkearakeisten maalajien alueella arvioidaan tarvetta selvittää rakennuspaikan radonpitoisuus. (RT10-10619, 2). Tutkimus voidaan tehdä myös korjauskohteissa myös huoneilmasta ja sen perusteella harkita tarvittavia toimenpiteitä.

Tieto pohjavedenpinnan tasosta ja puhtaudesta on tarpeellinen erityisesti korjausrakennuskohteessa. Pohjavedenpinnan taso ja pilaantuneisuus vaikuttavat vanhoissa kohteissa oleviin puurakenteisiin paaluperustuksiin ja sokkeliarinoin. (Jääskeläinen 2011, 280). Pohjaveden pilaantuneisuuden lisäksi perustuksia saattavat rasittaa rannikkoaluiden sulfidipitoiset tai muuten pilaantuneet maat, jotka ovat selvittettävä, jos niitä epäillään koekuoppatutkimusten tai kartta-aineistojen perusteella.

Määritetään kairaustulosten ja muiden laboratorikokeiden perusteella kokoonpuristuvuuskokeiden tarpeellisuus. Samoin tarvittaessa selvitetään savikkoalueen kaivantojen ja pengerrysten sekä alueen kokonaisstabiiliteetin suunnittelua varten saven leikkauslujuus. Se voidaan määrittää maastossa siipikairauksilla tai laboratoriossa häiriintymättömistä maanäytteistä kartiokokein. (RT10-10619, 2). Savimaaperässä tutkitaan painumaominaisuuksia esim. vesipitoisuus-, humuspitoisuus- tai ödometrikokeella. Usein painumaa arvioidaan vesipitoisuuden perusteella, koska harvemmin on ödometrikokeita käytettävissä. (Sihvola 2020).

Mikäli kohteessa epäillään olevan vanhoja puupaalutuksia tai arinarakenteita. Niiden kantavuuden ja kunnan selvittäminen edellyttää näytteiden ottoa, varsinkin jos epäillään viemärivuotoa tai pohjavedenpinnan laskua. (Liikennevirasto 2012, 37). Näytteenotto on mahdollista tehdä koekuopasta tai mahdollisesta poranäytteestä.

### 3.3 Toteutusvaiheensuunnittelu ja tutkimukset

Ellei erikseen sovita muuta, pohjarakennussuunnittelu sisältää Geosuunnittelun tehtäväluettelon GEO18 kohdan G4 mukaiset suoritukset. Jos pohjarakennussuunnittelua varten tarvitaan täydentäviä pohjasuhdetietoja, pohjarakennussuunnittelija laatii täydentävän pohjatutkimusohjelman rakennusten piirustusten ja pohjarakennusehdotuksen perusteella. Täydentäviä tutkimuksia tarvitaan lisäämään tietoa pohjasuhteiden vaihtelusta tai maakerrosten ominaisuuksista yleensä seuraavissa tapauksissa:

- kustannusarvion tarkentaminen
- lisärakentamisen paikka siirtyy tutkitun alueen ulkopuolelle
- kohteen vauriomekanismi tai vaurion laajuus eivät ole luotettavasti selvillä
- korjaustyön aikana esiintyy merkittävää pohjasuhdevaihtelua
- korjattavaan rakennukseen tulee kahta tai useampaa perustamistapaa
- maanalaiset rakenteet pääsevät työn aikana siirtymään tai tutkimukset eivät ulotu oletettujen maanalaisten rakenteiden syvyyteen.

### 3.4 Tutkimuspisteiden sijoittaminen

Tarvittava tutkimuspistetiheys riippuu pohjasuhteiden vaihtelusta (RT10-10619, 2). Korjauskohteissa tutkimuspisteitä sijoitetaan lähinnä raskaimmin kuormitetuille alueilla tai eniten painuneille kohdille. Minimi pohjatutkimusten määrä olisi yksi rakennuksen jokaiselle nurkalle ja monimuotoisissa rakennuksissa kaikkien kulmapisteiden mukaan. (Jääskeläinen 2009, 14). Tutkimuspisteiden sijoittamista useoin vaikeuttaa se, että rakennuksen käyttö jatkuu normaalisti. Tutkimuspisteet pyritään valitsemaan siten, että koneiden kulku on mahdollista ilman rakenteiden rikkomista ja tutkimustoimenpiteet aiheuttavat mahdollisimman vähän häiriöitä.

### 3.5 Pohjatutkimusraportti

Raporissa on kirjallinen osuus, jossa selvitetään kohteen yleistiedot, maanpinnan taso ja pohjasuhteet, nykyinen perustamistapa ja korkeussuhteet, ehdotus korjausmenetelmistä. Raportissa on syytä tuoda esiin myös vauriomekanismin synty, sen korjausmenetelmiin liittyvät hyödyt tai haitat ja riskit. Korjausehdotus voi olla myös se, että ei korjata tai jatketaan seurantaa. Tarvittaessa otetaan kantaa myös kuivatukseen, routasuojaukseen ja radonin torjuntaan. (RT10-10619 s.2). Kairausten ja muiden selvitysten perusteella tehdään liitepiirustus, josta selviävät seuraavat asiat:

- Kartoissa esitetään korkeuskäyrät, kairauspisteet, tontin rajat ja rajapyykit yleensä mittakaavassa 1:200.
- Suunnitelmasta tulee ilmetä tontin vieressä kulkevat kadut jalkakäytävineen, tontilla olevat rakennukset, vesi- ja viemärijohdot, avo-ojat, kaivot.
- Kartassa esitetään myös mahdollinen rantaviiva, kaapelit, merkittävät puut ja istutukset sekä muut tarvittavat tiedot.
- Rakennukset ja rakennelmat asemoidaan kartalla oikeisiin kohtiin (RT 10-10619. 1996, 2).
- Koekuopista esitetään piirroksia ja kairauksista diagrammit.
- Jos pohjasuhteiden kannalta on selvästi olemassa edullisempi korjausmenetelmä, esitetään uusi ehdotus rakennusten perustusten vahvistamiseksi.
- Mittaustiedot olemassa olevista rakennuksista esitetään pääsääntöisesti julkisivu- ja pohjapiirroksissa.

### 3.6 Korjaussuunnitelma

Korjaussuunnitelma perustuu pohjatutkimusraporttiin, selvityksissä kiinteistöstä ilmenneisiin tietoihin ja tehtyyn katselmukseen. Suunnitelma koostuu kirjallisesta selostuksesta, jossa käsitellään seuraavia asioita:

- siinä on liitteenä pohjakuva tai pohjatutkimustutkimuskartta
- piirustukset ehdotetuista korjaustoimenpiteistä
- kirjallinen työselostus korjaustoimenpiteen suorittamisesta
- taso- ja leikkauspiirustukset, joissa korjaustoimenpiteet on esitetty.

Lausunnon liitteenä toimitetaan myös pohjatutkimusleikkaukset sisältäen kairausdiagrammit ja käytetyt pohjatutkimusmerkinnät liitteen 1 (SGY 201/2005) mukaisesti. Maaperänäytteiden laboratoriokokeiden tulokset ja selvitys olemassa olevien rakenteiden perustamistavasta ja -tasoista toimitetaan tarvittaessa. (RT 10-10619. 1996, 2.)

### 3.7 Ympäristövaikutukset

Korjausrakentamisessa on huomioitava varsinaisen pohjaveden päälle muodostuneet orsivesialtaat. Orsivesikerrokset eivät saa päästä karkaamaan, koska se aiheuttaa maan tiivistymistä ja painumia. Erityisesti pohjavedenpinnan aleneminen kuormittaa puuarina- ja paaluperustuksia, jotka alkavat hapettuessaan lahota. (Jääskeläinen 2011, 43).

Jos alueen orsi- tai pohjavedenpintaa alennetaan rakentamisen takia pysyvästi tai tilapäisesti, selvitetään pohjavedenpinnan alenemisen vaikutus ympäristön rakennusten ja rakenteiden perustuksiin ja maanvaraisiin lattioihin.

Jos kaivu- ja louhintamassoja ei voida käyttää kaivantojen takaisin täyttämiseen ja niitä tulee runsaasti, selvitetään mahdollisuudet niiden hyväksikäyttöön tontin muissa osissa.

Lisäksi on hyvä selvittää, pitääkö varautua radonin torjuntaan tai ovatko maa-ainekset mahdollisesti pilaantuneita, jolloin maamassa on ajettava pois tontilta (Jääskeläinen 2011, 241).



## 4 TUTKIMUSMENETELMIEN VALINTA JA KÄYTTÖ

Korjausrakentamisessa ja perustusten korjaustöissä käytetään periaatteiltaan samoja kairaus- ja tutkimusmenetelmiä kuin uudisrakentamisessa. Eroavaisuuksia löytyy lähinnä kairauspisteiden sijoittelussa sekä kairaus- ja tutkimusolosuhteissa.

### 4.1 Kohdekatselmus ja dokumenttiaineisto

Korjauskohteissa katselmus kohteessa on olennainen osa tehtävän vaatiman suunnittelun lähtötilanteen selvittämiseksi. Tämä on lähtökohtaisesti lähes aina ensimmäinen käytettävä tutkimusmenetelmä käyttäjähaastattelun kanssa.

Katselmuksessa olennaista on etsiä pintoja, jotka ovat vinossa tai haljenneita. Samalla todetaan kartta-aineistojen sekä lähtötietojen paikkansapitävyys sekä verrataan rakennusten piirustuksia ja sijaintia valitsevaan tilanteeseen. Lähtöaineistoissa on usein epätarkkuuksia, jotka voivat ilmetä kohdekäynnillä. Käynnin yhteydessä voidaan tehdä likimääräisiä mittauksia, mutta pääpaino on visuaalisella tarkastelulla ja valokuvadokumentoinilla. Kohteesta otetaan yleiskuvia sekä tarkempia kuvia halkeamista ja muista vaurioituneista kohdista (Sihvonen 2020).

### 4.2 Painuma- ja vaurio seuranta

Kun koko rakenne painuu tasaisesti ei se ole rakenteen kannalta haitallista, mutta voi olla rakennuksen käytön kannalta häiritsevää. Korjausrakentamisessa tämä on harvoin tilanne ja painumat eivät synny tasaisesti koko perustuksen alalla, joten usein määrääväksi tekijäksi tulevat painumien kulmakiertymät, joille on määritetty raja-arvoja. Virheitä alkuperäisiin painumalaskelmiin on voinut syntyä myös virheellisistä maan kokoonpuristuvuus parametreista (Jääskeläinen 2011, 169). Epätasainen painuminen aiheuttaa vaurioita kuten rakenteiden halkeilua ja tasopintojen kallistumista. Näin tapahtuu usein kun perustus on perustettu osittain kantavaan maaperään ja osittain kokoonpuristuvan aineksen päälle. Epätasaista painumista voi ilmetä myös paalutetuissa rakennuksissa, jos ne ovat perustettu koheesiopaaluille eivätkä pohjasuhteet ole koko rakennuksen alla samanlaiset. Tämän lisäksi, vaikka paalut olisivat homogeenisessä koheesiomaakerroksessa, voi kantavan kerroksen muodot tai kallistukset poiketa oletetuista. Toinen

epätasaista painumaa aiheuttava ilmiö on puupaalujen ja arinoiden eriaikainen lahoaminen, jolloin ne alkavat myötäämään. (Lehtonen 2006, 51). Tämän lisäksi puupaalut ovat voineet vaurioitua jo asennuksessa.

Jo syntyneen painuman lisäksi korjauskohteissa syntyy myös jonkin verran työnaikaista painumaa. Työnaikainen jatkuvasti tehtävä painumaseuranta voi antaa viitteitä, että on tarpeen muuttaa työnaikaista työjärjestystä tai menetelmää (Lehtonen 2006, 53).

#### 4.2.1 Painumaseurannan toteutus

Painumaa voidaan seurata vaaituksin alle 1 mm:n tarkkuudella. Rakennukseen kiinnitetään mittauspisteet kulmiin ja lisäksi kantaviin rakenteisiin, joita seurataan säännöllisin välein. Tästä saatavan aika-painumakäyrän perusteella nähdään painumisnopeus ja siinä tapahtuvat muutokset sekä voidaan seurata painuvatko kaikki mittauspisteet samanaikaisesti. (Lehtonen 2006, 16).

Rakenteiden painumamitoituksissa koheesiomaalajeissa lasketaan pääosin alku- ja konsolidaatiopainumaa, joka on merkittävä osa painumisesta. Kuitenkin myös sekundääripainumaa voi esiintyä paksuilla savikoilla. (Jääskeläinen, 122). Tämän jälkimmäisen painumatyyppin jättäminen pois mitoituksista on voinut johtaa esimerkiksi koheesiopaalutettujen rakennusten suurempaan painumiseen kuin on suunnitteluajankohtana ollut odotettavissa (Lehtonen 2006, 53).

Perustusvahvistusmenetelmää valittaessa olennaista on tietää, sallitaanko rakennuksen pieni painuminen vahvistuskorjauksen jälkeen, ennen kuin kuormansiirtorakenteet jännittyvät kuormia vastaan (Lehtonen 2006, 65).

#### 4.2.2 Halkeamaseuranta

Jos rakennuksesta löytyy halkeamia, on tarkkailtava halkeamien suuntaa ja etenemistä. Pystylinjassa olevat suorat halkeamat kertovat rakenteen lämpöliikkeestä tai normaalin liikuntasuman puutteesta. Vinoon syntyvät halkeamat muodostuvat rakennuksen epätasaisesta painumasta, kun rakenteet holvaantuvat. Usein tällainen halkeamalinja muodostuu rakenteellisesti heikoimpiin kohtiin eli esimerkiksi ikkunalinjoille. (Kronqvist 2020).

Halkeamia voidaan seurata kipsisillalla, joka on alle 5 mm paksu. Sillan pysyessä ehjänä painuminen on jo tapahtunut. Halkeaman etenemää voidaan seurata merkitsemällä halkeaman nykyinen loppumiskohta. Halkeaman pidentyessä rakennus painuu edelleen. Näiden lisäksi voidaan halkeaman eri puolille kiinnittää esimerkiksi lattateräkset, joista voidaan seurata niiden keskinäistä liikettä. (Lehtonen 2006, 18).

#### 4.2.3 Stabiliateetti ja siirtymä

Jos kohde sijaitsee rinteessä paksun koheesiomaakerroksen varassa tai vesistön läheisyydessä, on mahdollisia sivusiirtymiä seurattava. Sitä voidaan tehdä inklinometriputkilla tai täkymetrillä. (Lehtonen 2006, 35).

Inklinometri on tarkka kulma-anturi, joka kertoo mittalaitteen asennon suhteessa maan vetovoimaan. Mittaukset tehdään maahan asennetusta inklinometriputkesta. Putki pitää asentaa kovaan pohjaan saakka. Mittausmenetelmän heikkoudeksi voidaan lukea juuri-kin tarve asentaa inklinometriputki kovaan pohjaan saakka. Jos pehmeikkö on hyvin paksu, tulee mittauspisteestä paitsi kallis, myös mittalaitteen mittaustarkkuus kärsii. Maan pinnalla tapahtuvien liikkeiden mittaustarkkuus heikkenee pehmeikön paksuuden kasvaessa. Mittalaitteet voivat olla joko manuaalisesti tai etänä luettavia (Sihvonen 2020).

Jos inklinometriputkea ei saada olosuhteiden vuoksi asennettu voidaan käyttää takymetria, jolla siirtymämittaukset voidaan tehdä erittäin luotettavasti. Pinnalta tehtävä mittaus kertoo liikkeen kolmen koordinaatin suunnassa, mutta maakerrosten sisältä ei saada tietoa. Mittauksissa takymetri asennetaan kiinteästi liikkumattomaan paikkaan, josta on esteetön näkyvyys mittauspisteisiin. Mittauspisteisiin asennetaan prismat, joiden sijainti mitataan halutuun väliajoin. (Liikennevirasto 2010, 11).

#### 4.3 Poranäyte

Poranäyte soveltuu tutkimusaukkojen tai tutkimusnäytteiden ottamiseen. Yksinkertainen ja kevyellä kalustolla tehtävä tutkimus on poranäyte. Timanttiporalla voidaan lieriöterällä porata näytteitä betonista puristuskokeita varten. On mahdollista porata myös hyvin pitkiä reikä, joista selvitetään, onko perustusten alla esimerkiksi puuarinaa. Näin voidaan varmentaa, ovatko jotkin seinät kantavia vai eivät (Kronqvist 2020). Lisäksi

alapohjalaatan läpi voidaan tehdä reikä ja saada näyte alapohjan materiaalista kapillaarisuuden määrittämiseksi.

#### 4.4 Koekuoppa

Koekuoppatutkimuksella selvitetään olemassa olevien rakennusten perustamistavat ja -tasot sekä saadaan tietoa vierustäytöistä ja mahdollisesti niiden routivuudesta sekä pilaantuneisuudesta. Samalla nähdään, mikä tilanne on routa- ja kuivatusrakenteiden osalta. Koekuoppa on kaivanto ja sitä varten selvitetään, voidaanko suunnitellut kuopat tehdä luiskattuna ja millä ehdoilla vai tarvitaanko tukemistoimenpiteitä. Koekuopan ollessa syvä ja etenkin, jos kuopassa on tarve työskennellä, tulee kuopan turvallisuus ottaa huomioon. (Sihvonen 2020).

Alueilla, joissa on vanha rakennuskanta voi koekuopasta löytyä myös erilaista romua, kulttuurikerroksia tai pilaantuneita maa-aineksia. Myös jonkinlainen käsitys saadaan pohjavedenpinnan tasosta. Maaperä häiriintyy koekuopan kaivamisen yhteydessä, joten tiiveysmittauksia ei voida tehdä. Koekuoppien sijainti tulee harkita siten, että sen päälle ei sijoiteta uutta rakennelmaa, koska maaperä ei tiivisty lähtötilannetta vastaavaksi. (Jääskeläinen 2011, 260). Mikäli koekuopan alueelle on tulossa uusia rakenteita, tulee huomioida koekuopan tiivistys. Tämän lisäksi koekuoppa ei saa mennä anturan perustamistason alapuolelle ilman riittävän loivaa luiskausta.

Koekuopasta tehdään piirros heti työmaalla, johon kirjataan

- perustusten mitat, käytetty materiaali ja korkeustaso
- perustusten kunto mahdollisimman totuudenmukaisesti
- alapohjan rakenne mahdollisimman tarkasti
- mahdollinen painuman muodostama tyhjä tila anturan tai laatan alla
- tuleeko kuoppaan pohjavettä
- havainnot paaluista, niiden materiaalista sekä koosta ja niiden keskinäinen sijainti.
- mahdollinen kivimuurin rakenne, kivien muoto ja koko sekä käytetty saumausmenetelmä
- lisäksi valokuva koekuopasta helpottaa tilanteen tulkintaa.

Havaintojen lisäksi koekuopasta voidaan ottaa näytteitä esimerkiksi perusmuurin betoninlujuudesta tai PAH-näytteitä pikisivelyistä. Lisäksi otetaan tarvittaessa näytteitä maaperästä sen ominaisuuksien selvittämiseksi. Jos koekuopasta löytyy puupaaluja, jolloin niiden lahonneisuus tutkitaan piikillä tai lahonneisuustutkimuksella. (Lehtonen 2006, 16).

Jos rakennuksen sisäpuolelle suunnitellaan koekuoppia ja kairauksia kannattaa kairaukset pyrkiä sijoittamaan samaan kohtaan. Jos kairaus tehdään ennen koekuoppaa, saadaan myös ennakkotietoa koekuopan kaivamista varten (Kronqvist 2020).

#### 4.5 Kairausmenetelmät

Korjausrakentamiskohteissa ollaan usein kiinnostuneita painumasta tai kantavan maan tai kalliopohjan syvyydestä. Eri kairausmenetelmillä on erilaiset soveltuvuusalueet. Karkearakeisten maalajien tiiveystilan selvittämiseen soveltuvat paino-, heijari- ja puristinkaira. Maalajirajojen selvittämiseksi puristin- ja painokaira ovat parhaita. Savimaissa painokaira antaa viitteellisiä tuloksia ja taas puristinkaira on tarkempi. Varsinaisen leikkauslujuuden selvittämiseksi on käytettävä siipikairaa. (Jääskeläinen 2011, 243).

Esimerkiksi kallion pintaa ei taas voida varmistaa muuten kuin kairauksella, joka pystyy porautumaan kallioon ja tekemään siihen niin syvän reiän niin, että epäily kivilohkareesta ei ole mahdollinen. Jos maakerros kallion päällä on ohut, voidaan kallion pinta todentaa myös kaivamalla sitä riittävästi esille. Tiiviin pohjamoreenikerroksen pinnan selvittämiseksi puristinkaira on siihen liian heikko ja porakonekairaus voi mennä moreenikerroksen lävitse tunnistamatta sen alkamissyvyyttä. Tällöin varmin tulos saadaan paino-, heijari- tai tärykairalla. Toisaalta puristinkairaus on herkin erottamaan maalajikerrokset toisistaan. Paino- ja puristinkairalla saadaan myös likimääräisiä tuloksia eri maalajikerroksista, mutta kerrosten tarkka nimeäminen on käytännössä tehtävä näytteiden avulla. (Jääskeläinen 2011, 243).

Kuvassa 1 on esitetty eri kairausmenetelmiä ja niiden soveltuvuuskohteita.

	<b>SELVITETTÄVÄ SEIKKA</b>							
	Kallion pinnan sijainti	Tiiviin pohjakerroksen sijainti	Tiiveydelteään erilaisten maakerrosten rajat	Maakerrosten likimääräinen lujuus	Maakerrosten lujuus tarkasti	Maakerrosten likimääräinen tiiveys	Maalajiryhmä	Lyöntipaaluupituuden arviointi
<b>KAIRAUSMENETELMÄ</b>								
Painokairaus	o	•	•	o		•	•	o
Heijarikairaus	o	•	o	o		•	o	•
Puristinkairaus		o	•	•		•	•	o
Siipikairaus					•			
Tärykairaus	o	•					o	o
Porakonekairaus	•	o						o

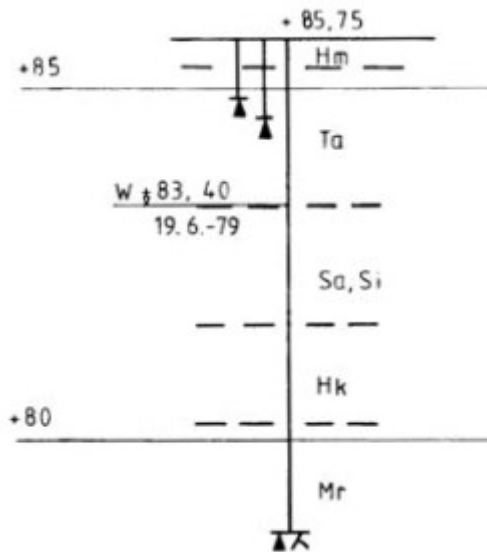
Kuva 1. Kairausten valinta.

#### 4.6 Tärykairaus

Kevyt tutkimusmenetelmä, jolla saadaan tietoa kalliopinnan tasosta. Erityisesti tilanteissa, jossa halutaan varmistua, että kalliopinta ei ole tiettyä tasoa ylempänä kuten esimerkiksi matalassa putkikaivannossa. (Jääskeläinen 2011, 256). Tärykairauskalusto voi olla kooltaan pieni, jolloin se mahtuu ahtaisiin kellari- tai huonetiloihin. Sähkökäyttöinen kalusto mahdollistaa sen käyttämisen myös tiloissa, joita ei saada tuuletettua.

Kuvan 2 diagrammissa esitetyt maakerrosrajat pitää varmistaa maakerrosrajojen määrittämiseen soveltuvalla menetelmällä, koska pääsääntöisesti tärykairauksessa erotellaan vain siirtyminen pehmeästä maalajista tiiviiseen moreeniin. Diagrammissa on

useampi kairaus, koska useilla vierekkäisillä kairauksilla voidaan selvittää maaperän ki-  
visyyttä. (Jääskeläinen 2011, 257).



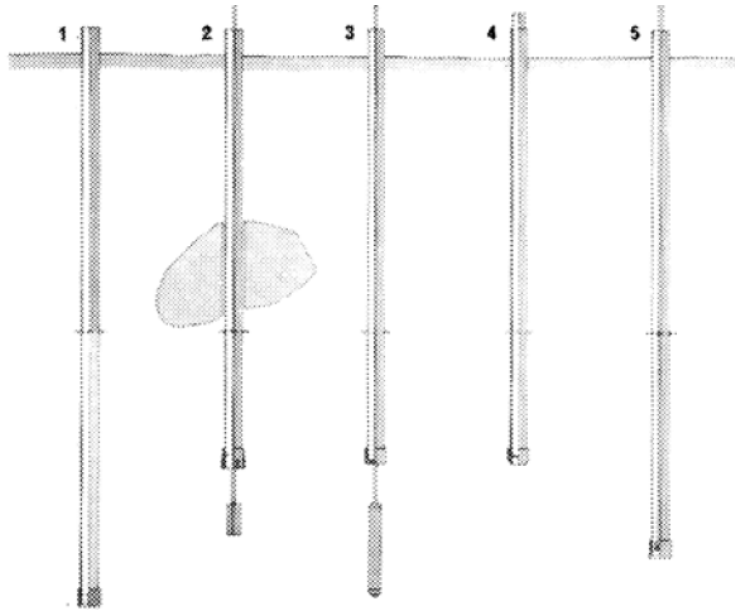
Kuva 2. Tärykairausdiagrammi.

#### 4.7 Porakonekairaus

Porakonekairausa käytetään ensisijaisesti kallionpinnan tason määrittämiseen ja/tai tiiviiden pintakerrosten läpäisemiseen. Kairaus soveltuu hyvin, kun suunnitellaan porapaa-  
lujen käyttöä tai mahdollista tukipaalutusta kallion varaan. Tällä kairauksella saadaan  
kalliopinnasta varmaa tietoa. Tämä tulee esiin erityisesti lohkaraisessa maaperässä  
missä muilla kairauslajeilla saadaan virheellistä tietoa tai pitää lävistää täyttömaaker-  
ros. Samalla saadaan tietoa myös kallioperän laadusta ja rikkonaisuudesta.

Jos kalliosta tarvitaan tarkempaa tietoa, voidaan poraustuhkasta saada viitteellistä tietoa  
kallion kivilajista. Erittäin vaativissa kohteissa kalliolaadun selvittäminen voi edellyttää  
kairasydännäytteiden ottoa. Kairasydännäytteistä voidaan tutkia kallion rikkonaisuutta ja  
ominaisuuksia tarkemmin. Kairasydännäytteestä voidaan tehdä myös puristuslujuusko-  
keita laboratoriossa. Porakonekairauksella tehtävästä reiästä voidaan myös selvittää  
kallion rakoilua vesimenekikokeilla (Sihvola 2020). Samalla kalustolla voidaan asentaa  
myös muita näytteenottotutkimuksissa käytettyjä putkia kuten nähdään kuva 3. (SGY  
1987, 3). Maaputki asennetaan porakonekairalla, kun maahan asennetaan muovista

pohjavesiputkea tai täytön alta tai syvältä maasta on tarvetta ottaa laadukkaista näytteitä tai tehdä siipikairaus kitkamaan alapuolisesta savikerroksesta.



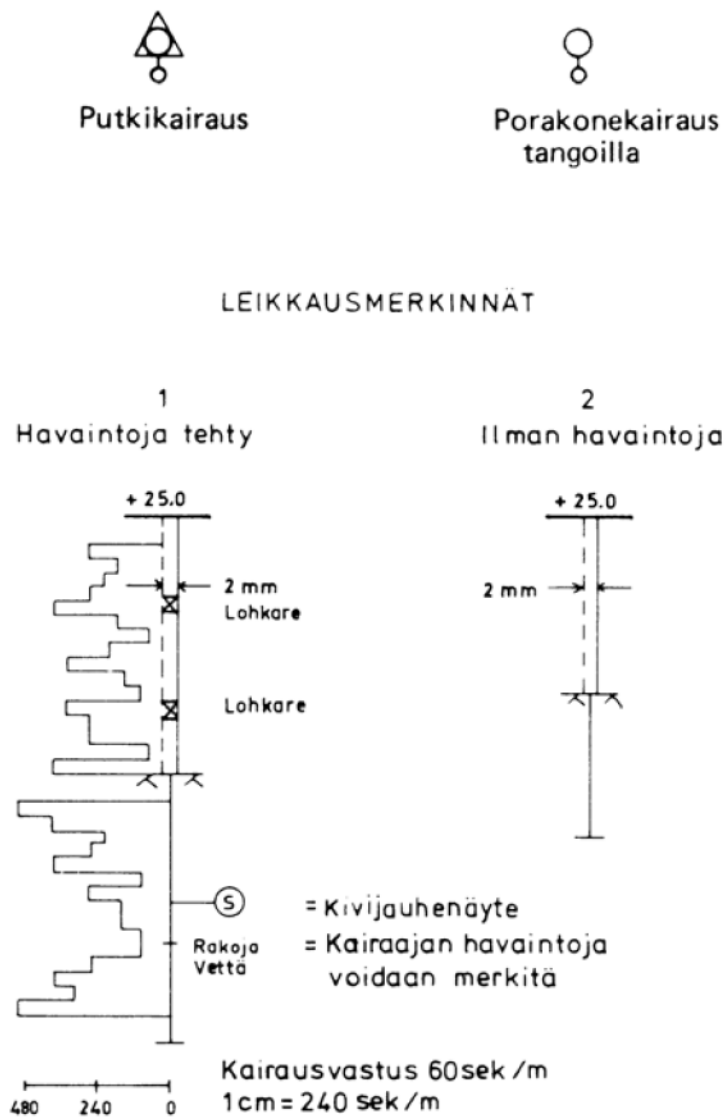
- |   |   |
|---|---|
| 1 Pohjavesitutkimusputki<br>maaputki Ø 50 tai<br>Ø 75 mm siivilä<br>maakenkä (tai umpikärki)  | maaputki tarvittaessa<br>tangot Ø 1 ¼" tai Ø 1 ½"   |
| 2 Siipikairaus (esim.<br>penkereen läpi)<br>maaputki Ø 75 mm<br>kruunu tai maakenkä<br>siipikairakalusto                                | näytteenotin  |
| 3 Näytteenotto hieno-<br>rakeisista maalajeista<br>(esim. penkereen läpi)<br>maaputki Ø 75 mm<br>kruunu tai maakenkä<br>mäntäkaira tms. | 4 Näytteenotto (jatkuva<br>näyte)<br>maaputki Ø 50 tai<br>Ø 75 mm sisäputki<br>näytteenottokenkä                      |
| Näytteenotto kitkamaasta  | 5 Näytteenotto<br>huuhtelemalla<br>maaputki Ø 50 tai<br>Ø 75 mm<br>kruunu tai maakenkä<br>tangot Ø 1 ¼" tai<br>Ø 1 ½" |
|   | kruunu Ø 41 tai Ø 64 mm   |

Kuva 3. Suojaputken käyttö porakonekairauksessa.

Kun kallion pinta on oletettavasti saavutettu, porausta jatketaan vähintään 3 m, jotta voidaan sulkea pois lohkariekin mahdollisuus (Jääskeläinen 2011, 259).

Kuvassa 4 kairauksessa 1 on tehty havaintoja pehmeistä maakerroksista, niissä esiintyvistä lohkariekin sekä kallioperän rikkonaisuudesta. Diagrammin yhteydessä on esitetty mittakaava, koska kairauskalusto on vaihtelevaa ja esitystapaa ei ole standardisoitu. Kairauksessa 2 on esitetty vain saavutetun kalliopinnan tason syvyys ja kairauksen lopettamissyvyys.



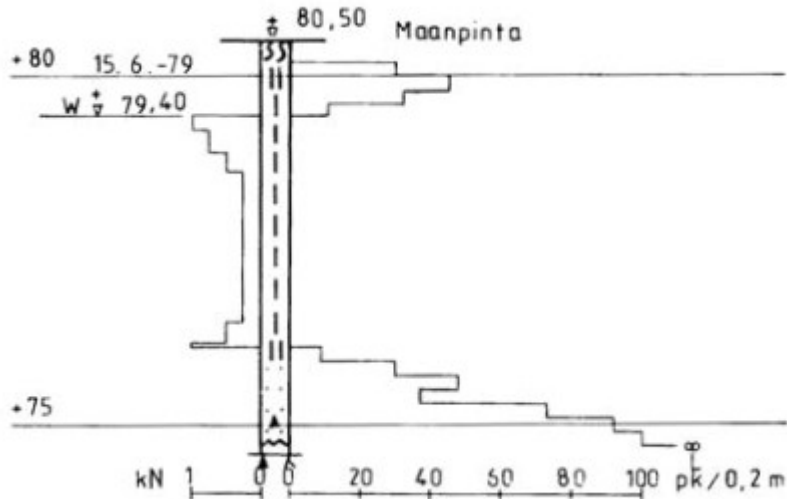


Kuva 4. Porakonekairausdiagrammi.

#### 4.8 Painokairaus

Painokairaus on kustannustehokas yleiskaira, jolla saadaan perustietoa maaperäkerroksista. Näin saatujen tulosten perusteella voidaan sijoittaa laadukkaampia kairauksia tarkoituksenmukaisiin pisteisiin. (Jääskeläinen 2011, 246) Painokairauskalusto on melko suurta ja se soveltuu käytettäväksi pääsääntöisesti rakennuksen ulkopuolella. Ahtaissa kellaritiloissa on myös mahdollista kairata käsikäyttöisellä kalustolla. Tämä onnistuu aiheuttamatta kovinkaan suurta häiriötä.

Perusajatus painokairassa on, että mitataan sitä minimipainomäärää, jolla tanko painuu maahan ja tämän jälkeen aloitetaan kairan kiertäminen. Jos kaira ei painu kiertämälläkään 100 puolikierrosta per 20 cm, aloitetaan lyöminen. Painoilla saadaan selville pehmeämmät maakerrosrajat ja kiertämällä kitkamaakerrokset. Kuvassa 5 näkyvä diagrammi esitetään yleensä mittakaavassa 1:100.



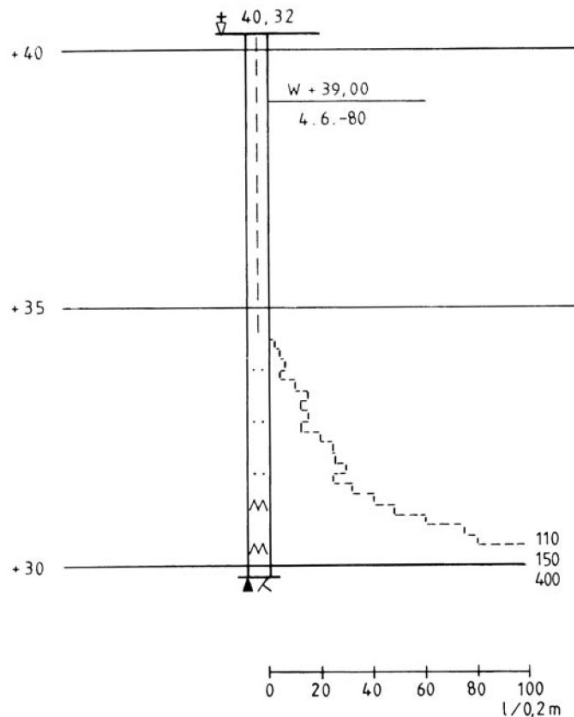
Kuva 3. Painokairausdiagrammi.

Painokairaustulkinta on aina likimääräistä. Painokairaustuloksia tulkittaessa on tunnettava maalaji, jossa mittaus on tehty, koska eri maalajit antavat eri vastuksen. Parhaat tulkinnat tulevat epätiivessä kitkamaalajeissa kuten hiekassa, sorassa ja löyhässä moreenissa. Koheesiomaalajien leikkauslujuuden arvioiminen painokairauksella on hyvin epävarmaa. Leikkauslujuuden arvot eivät kelpaa mitoitusperusteeksi, mutta niistä saadaan osviittaa. Yleisesti voidaan puhua pehmeästä savesta, kun kairatangot uppoavat pelkän painon (0 – 100 kg) avulla (Sihvola 2020).

#### 4.9 Heijarikairaus

Heijarikairalla voidaan monesti läpäistä tiiviitä maakerroksia painokairaa tehokkaammin. Tästä syystä heijarikairalla voidaan usein painokairaa tarkemmin arvioida tukipaalujuuden tunkeutumistasoa.

Heijarikairauksessa pudotetaan aina samankokoinen paino samasta korkeudesta kairatankoon kiinnitettyä pidikettä vasten ja mitataan montako lyöntiä, tarvitaan 20 cm uppoumaan. Jos kairatanko etenee maahan ilman lyöntiä niin sitä aletaan painamaan. Näin saadaan käsitys maalajista tai sen tiiveydestä ja voidaan vertailla eri maakerroksia toisiinsa. (Jääskeläinen 2011, 253).



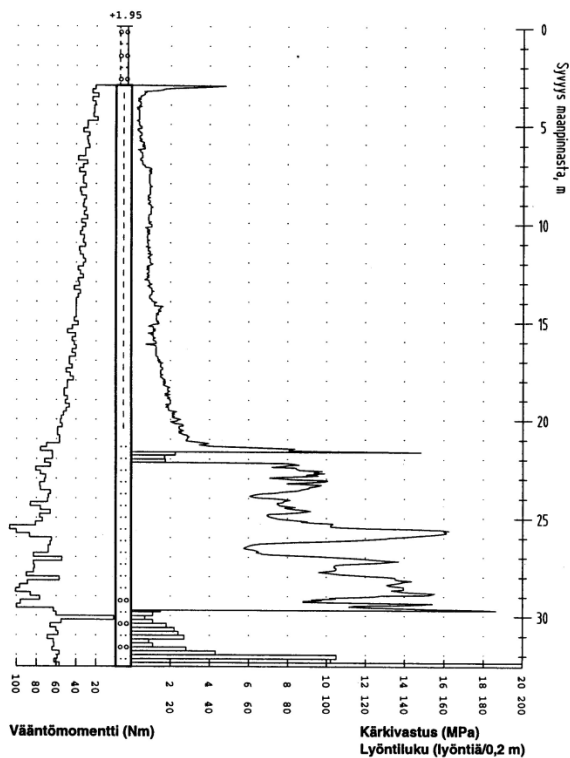
Kuva 4. Heijarikairausdiagrammi.

#### 4.10 Puristin-heijarikairaus

Puristin-heijarikairaus sopii hyvin kohteisiin, jossa suunnitellaan käytettäväksi paalutusta. Kairauksessa on yhdistetty kahden erityyppisen kairauksen ominaisuuksia. Puristinkaira sopii hienojakoisiin kivettämiin maalajeihin ja heijarikairaus taas kiviseen soraan. Näin yhdistämällä nämä kaksi voidaan kairata suurella maaperäasteikolla. (Jääskeläinen 2011, 267).

Aluksi läpäistään pintamaa, jonka jälkeen aloitetaan puristinkairauksella. Puristinkairauksessa mitataan kärjen puristusvoimaa. Puristin-heijarikairauksessa on kuitenkin erityisesti huomioitava, että kairausta voidaan suorittaa eri kalustoilla. Raskaalla kalustolla voi

puristusvoima olla kevyen kaluston puristusvoimaa suurempi, jolloin kairaukset eivät ole keskenään verrattavissa samoissa olosuhteissa. Kevyellä kalustolla joudutaan monesti siirtymään raskaampaa kalustoa aiemmin puristinkairauksesta heijarikairaukseen. Kun saavutetaan suurin sallittu puristusvoima, siirrytään heijarikairaukseen. Kairaustapaa voidaan tarvittaessa muuttaa, mutta kairaus päättyy aina heijarikairauksella. (Sihvola 2020).

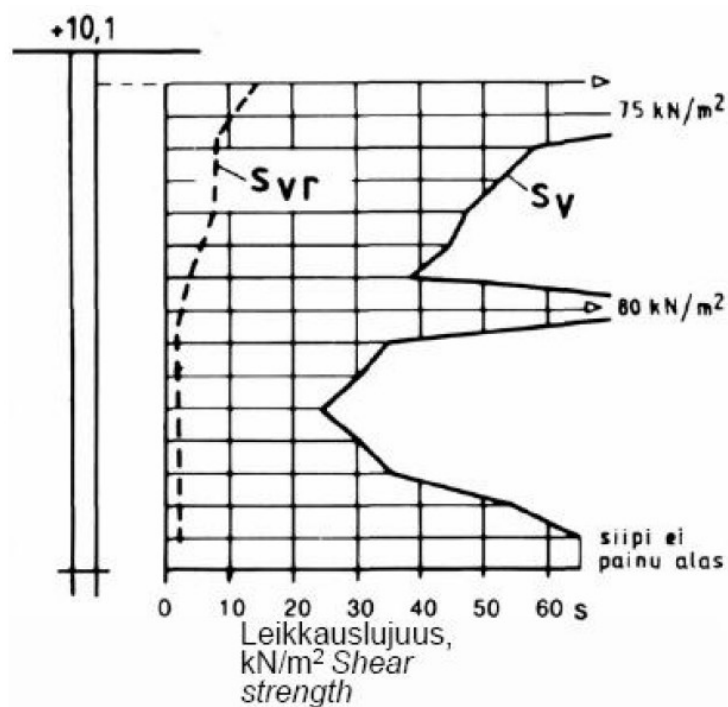


Kuva 5. Puristin-heijarikairaus.

#### 4.11 Siipikairaus

Selvitettäessä paalujen nurjahduspituuksia on siipikaira hyvä menetelmä saven ominaisuuksien tutkimiseen. Siipikairaus soveltuu viskoosisesti käyttäytyvään maaperään kuten saveen. Sitä ei voi käyttää siltti- tai moreenimaassa. Tutkimuspiste sijoitetaan pääosin muiden kairausmenetelmien tulosten perusteella. Jos painokairauksella on tehty tutkimusruudukko, voidaan siipikairaukset sijoittaa tämän perusteella alueelle missä on pehmeimmät maakerroshavainnot.

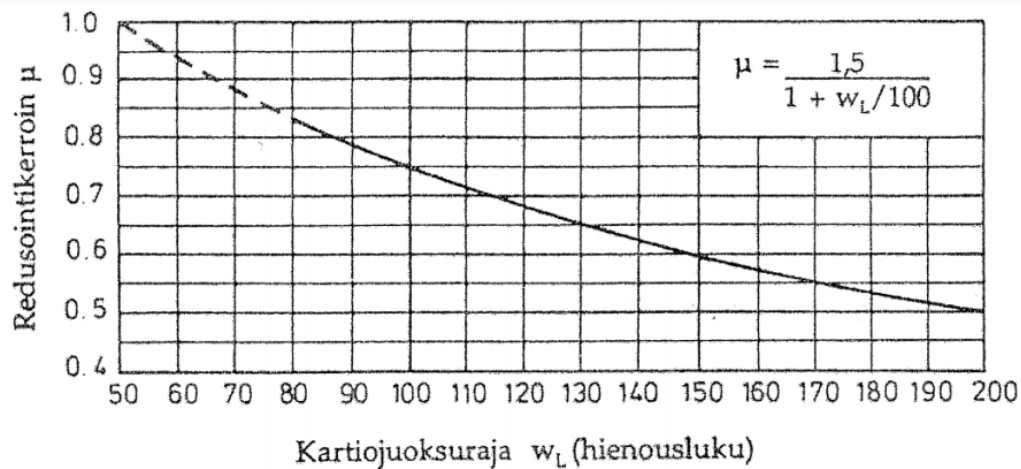
Kairauksessa olennaista on estää kairaustangon vaippahankauksen vaikutus mittaustulokseen. Pyörytyksen saavuttaessa suurimman momentin on saven leikkauslujuus saavutettu. Tämän jälkeen kairaa pyöritetään päinvastaiseen suuntaan ja saadaan häiriintyneen maan leikkauslujuus ja näiden suhteesta saadaan sensitiivisyys  $s_t$ . (Jääskeläinen 2001, 115.)



Kuva 6. Siipikairausdiagrammi.

Kuvassa 10 katkoviiva  $S_{vr}$  edustaa häiriintyneen leikkauslujuuden arvoa ja  $S_v$  häiriintymättömän saven leikkauslujuusarvoa. Kokemusperäisesti on todettu, että korkean plastisuusluvun savissa leikkauslujuus jää liian suureksi ja pienen plastisuusluvun savissa päinvastoin. (SGY 1999, 15).

Lukemaa redusoidaan eli karakteristista arvoa pienennetään varmuuden kasvattamiseksi, jos maa on humuspitoista, erittäin plastista tai ylikonsolidoitunutta. (Jääskeläinen 2011, 263). Tällöin siipikairan leikkauslujuus  $s_v$  redusoidaan suljetuksi leikkauslujuudeksi  $s_u$  kertomalla se redusointitekijällä  $\mu$ .



Kuva 7. Redusointi juoksurajan mukaan.

Normaalikonsolidoituneille ja pehmeille saville Eurokoodi esittää käytettäväksi kuvan 12 mukaista arvoa. Eurokoodi tosin sallii ykköstä suurempiakin kertoimia. (SFS-EN 1997-2 + AC 2007, 108).

Suljetun leikkauslujuuden määrittämiseen käytetään yleensä juoksurajan  $w_L$  mukaan satavaa redusointitekijää. Mitä pienempi redusointitekijä on, sitä tarpeellisempaa on määrittää leikkauslujuus myös muilla menetelmillä kuin siipikairalla. (GSY 1999, 8).

#### 4.12 Pinta- ja pohjavesien selvittäminen

Yleisesti pohjavedenpinnantasolla on suuri vaikutus perustamistaparatkaisuihin työtapoineen sekä geoteknisiin laskelmiin. Määriteltessä pohjaveden pinnan tasoa on huomioitava, että siinä on suurta vaihteluita riippuen vuodenajasta ja sademääristä.

Korjausrakentamisessa mietitään miten pohjavesi kohteeseen vaikuttaa ja miten sitä mitataan. Huonosti vettäläpäisevien- ja tiiviiden kerrosten päällä mahdollisesti olevan orsiveden pinta mitataan myös. Lahoavissa puupaaluissa ja arinoissa on orsiveden korkeus olennaista. Lisäksi on mahdollista, että saastunut pohjavesi lahoatta puupaaluja (Lehtonen 2006, 11). Jos taas rakennus painuu savikolla, on tärkeämpää tietää varsinaisen pohjaveden vaihteluväli ja maaperän huokosvedenpaine. Mittauspisteet rakennuksen eri puolilla mahdollistavat myös veden virtaussuunnan seuraamisen. (Lehtonen 2006, 18).

On muistettava, että maa ei ole kuivaa pohjavesipinnan yläpuolellakaan. Vesi nousee maaperän huokosissa kapillaarisesti riippuen maaperästä. kapillaarikatko sepelissä tai sorassa nousu on vähäistä, mutta savessa se voi olla yli 10 m, joten savimaat ovat kosteita maanpintaan asti. (Jääskeläinen 2011, 37). Maa-aineksen hienoin osuus ja tiiveys määrittelee kapillaarisen nousukorkeuden. Karkeiden, hyvin vettä läpäisevien kerrosten kohdalla luotettava mittaustulos saadaan myös avonaisesta näytteriästä tai koe-kuopasta. (RT10-10619, 2). Rakentamisessa maaperän huokosissa esiintyvä vesihöyry on myös huomioitava ja korjausrakentamiskohteissa tämä on usein ongelma, koska rakenteista puuttuu kapillaarikatkona toimiva sepelikerros.

Alustavat pohjavedenpinnan korkeudet ja muut tiedot voidaan selvittää seuraavilla menetelmillä (Suomen Vesiyhdistys ry 2005):

- maaperä ja peruskartoilla
- pohjavesialuekartoilla
- porakaivoilla
- olemassa olevien pohjavesiputkien seurannalla ja tarvittaessa uusien asentamalla
- kaivannolla missä pohjavesi on näkyvissä.

Pintavesien valumasuunta varmistetaan vaaituksella siten, että veden valumasuunta on rakennuksista pois päin tai kohti sadevesiviemäreitä. Vaaituksella varmistetaan myös veden tulvareitit, jos sadevesiviemärit padottavat vettä kiinteistölle. Tällä varmistetaan se, että vesi ei virtaa rakennukseen sisälle.

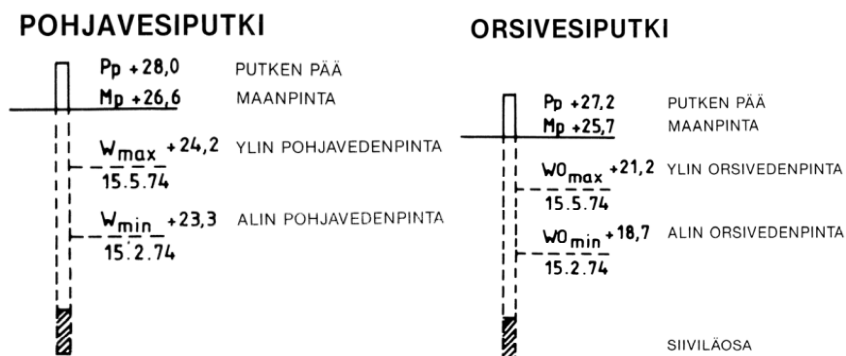
Pohjavedenpinnantasoa mittaavan tutkimusputkien asentaminen onnistuu samalla porauskalustolla millä on otettu kairausnäytteitäkin. On tärkeää selvittää, onko kyseessä pohjavesi vai orsivesi.

#### 4.12.1 Pohja- tai orsivesiputki

Rakennuspaikalla voidaan havainnot tehdä yhdellä havaintoputkella. Jos käytetään useampaa havaintoputkea, saadaan tietoa myös pohjavesivirtauksen suunnasta. Havaintoputki on yleisimmin alle 50 mm halkaisijalla ja maanalaiselta osaltaan rei'itetty. Rei'ittämätön osa nousee vähintään 1 m maanpinnan päälle. Putken pää tulisi myös tiivistää, että pintavesivalumat eivät sekoita tuloksia. Heti asennuksen jälkeen aloitetaan mittaukset parin viikon välein ja pyritään saamaan selville mihin pohjavedenpinta asettuu.

Tämän jälkeen mittaukset otetaan laaditun ohjelman pohjalta. Talviaikaan mittausväli voi olla kuukausia. Poikkeus tilanteessa pohjavesi esiintyy paineellisena ja nousee ylös tutkimusreiästä. Tällöin mittausputka jatketaan maanpinnanpäälliseltä osalta ylemmäs tai pyritään sulkemaan tutkimusreikä esimerkiksi puupaalulla. (Jääskeläinen 2011, 281).

Suomen pohjavesille on tyypillistä, että ne ovat hieman aggressiivisia metalliputkille hiihappopitoisuutensa takia, koska niissä ei vastaavasti ole kalkkia (Jääskeläinen 2011, 44). Mikäli pohjavedestä on tarvetta ottaa laadullisia näytteitä, tulee putkimateriaalin olla muovia (PEH) (Sihvonen 2020). Kloridin suhteen luonnontilaisina pidetään pohjavesiä, joissa kloridipitoisuus on alle 10 mg/l. Pohjavesien luonnollisissakin kloridipitoisuuksissa on kuitenkin alueellisia eroja. Valtioneuvoksen asetuksessa (341/2009) pohjavesissä esiintyvän kloridin ympäristölaatu normi on 25 mg/l. Pohjaveden suolapitoisuus lisää teräspaalujen korroosiota. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 11/2015, 19)



Kuva 8. Pohja- ja orsivesiputki leikkauksessa.

#### 4.12.2 Huokospainemittaus

Huokosvedenpainemittauksesta saatua tietoa käytetään luiskien ja penkereiden vakaavuuslaskelmissa sekä seurannassa. Siitä saadaan tietoa myös konsolidaatiopainuman kehittymisestä. Se antaa tietoa myös paalutuksen tai muiden maanrakennustöiden vaikutuksesta maaperään. (SGY Kairausopas 4, 15).

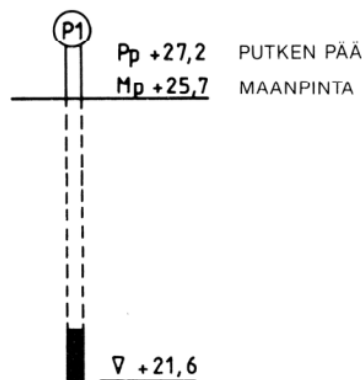
Huokosvedenpaineen mittaaminen tapahtuu joko avointa tai suljettua mittaustapaa käyttäen. Avoin mittaustapa soveltuu maakerroksiin, joiden vedenläpäisevyys on hyvä. Huokosvedenpainetta voidaan mitata suoraan vedenpaineena havaintoputkesta tai huokoskärjestä maanpinnalle johdetusta letkusta. Huokoskärki valitaan maalajin ja



käyttötarkoituksen mukaan. Tällaisissa olosuhteissa huokospainemittari toimii kuten pohjavesiputki. (Liikenneviraston ohjeita 6/2011, 15)

Hienorakeisissa maalajeissa, kuten savissa ja silteissä, maan vedenläpäisevyys on huono ja huokosvedenpaine mitataan suljettuja järjestelmiä käyttäen. Huokospainetta voidaan mitata myös kairauksen yhteydessä kun käytetään CPTU-kairausta. Tällöin mitaus tapahtuu syvyyden mukaan, kun kairan kärkeä painetaan maahan. Näiden lisäksi huokospainetta voidaan mitata sähköisesti huokoskärjestä. (SGY 1987, 16).

### HUOKOSVEDENPAINEN MITTAUSKÄRKI



Kuva 9. Huokosvedenpaine leikkauksessa.

#### 4.13 Näytteenotto

Korjauskohteissa maalajinäytteistä päätellään mahdollista routivuutta, maapohjan kantavuutta ja painumaominaisuuksia. Tämän lisäksi kairausten tarkka tulkinta edellyttää, että maalaji on tunnistettu erikseen. Maalajien tunnistamiseksi ja geoteknisten ominaisuuksien selvittämiseksi otetaan maanäytteitä eri syvyyksiltä. Näytteet voidaan ottaa esimerkiksi heti pintamaasta ja siitä lähtien 0,5 m välein. Lisäksi jos kairausdiagrammeissa tulee yllättäviä vaihteluita kuten löyhä kerros tiiviin sisällä pyritään tästä saamaan myös näyte. (RT10-10619, 2).

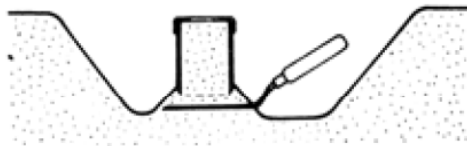
Näytteet jaetaan häiriintyneisiin ja häiriintymättömiin. Häiriintymättömiä näytteitä tarvitaan laboratoriossa tehtäviin lujuus- ja muodonmuutoskokeisiin. Häiriintyneestäkin näytteestä saadaan selvitettyä näytteen luonnontilainen vesipitoisuus, rakeisuus, routivuus

ja humuspitoisuus. (Jääskeläinen 2011, 274). Tämän lisäksi näytteitä voidaan ottaa pohjaveden aggressiivisuudesta ja puurakenteiden lahonneisuudesta.

Riippumatta mitä näytetyyppiä ollaan ottamassa, on varmistuttava, että näytteitä on käsitelty asianmukaisesti ja ne ovat kohdennettavissa ottopaikkaansa (Jääskeläinen 2011, 276).

#### 4.13.1 Häiriintymätön näyte

Näytteestä voidaan laboratoriossa määrittää lujuus- ja painumaominaisuudet. Häiriintymätön näyte sananmukaisesti ei saa muuttaa ominaisuuksiaan näytteenoton aikana riippumatta otetaanko näyte koekuopasta käsin vai mäntäkairalla kairausreiästä. Näytteitä voidaan ottaa erilaisilla mäntäkaivoilla, joissa kaikissa näyte jää näytteenottimeen sisälle ja se voidaan nostaa kairareistä ylös. Kuvassa 15 esitetään häiriintymättömän näytteen periaate.



Kuva 10. Esimerkkinä näytteenotto koekuopasta.

#### 4.13.2 Häiriintynyt näyte

Häiriintyneen näytteen otto on kustannustehokkaampaa kuin häiriintymättömän näytteen otto. Näytteitä voidaan ottaa helposti kevytkairalla koekuopan yhteydessä, jolloin on huomioitava, että näyte ei ole kuitenkaan päässyt liikkumaan ja sekoittumaan jotta maan aineksen rakeisuus vastaa alkuperäistä. (Jääskeläinen 2011, 277). Tiiviistä kitkamaasta näytettä ei saada otettua mäntäkairalla vaan on käytettävä heijarikairan näytteenotinta.

#### 4.14 Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeiden valinta riippuu korjauskohteesta ja arvioiduista vaurioista. Perustusvahvistustapauksessa tutkittavia asioita voisivat olla:

- Painuman yhteydessä maa-aineksen kokoonpuristuvuuden ja vesipitoisuuden selvitys
- Karkearakeisen maalajin rakeisuuden selvitys, jos epäillään routavaurioita tai suunnitellaan injektoinnin soveltuvuutta.
- Saven humuspitoisuuden määrittäminen, jos suunnitellaan suihkuinjektointia
- Saven aggressiivisuuden määrittäminen teräspaalutusta varten.

(Lehtonen 2006, 18).

##### 4.14.1 Seulonta

Kuivaseulonnalla pystytään määrittämään kivennäismaalajin nimeäminen rakeisuus-käyrän avulla. Kuivattu näyte seulotaan seulasarjalla, jossa on suurin seulakoko laboratoriossa 32 mm ja pienin 0,074 mm. Kuitenkin alle 0,074 mm hienoainesta ei pystytä erottamaan seulomalla. Jos seulonnassa 0,074 mm painoprosentti on lähellä routivuuden kannalta kriittistä rajaa, suoritetaan hydrometrikoe. Kokeessa käytetään alle 2 mm seulalla seulottu noin 100 g näyte. Hydrometrilukeman, kuluneen ajan ja lämpötilan perusteella saadaan tulkintadiagrammin avulla läpäisyprosentit ja yhdistämällä käyrät saadaan parempi kuva maaperän routivuudesta.

##### 4.14.2 Ödömetrikoe

Painumakokeella haetaan maanäytteistä ominaisarvoja ja parametrejä, joita käytetään kun lasketaan painuman suuruutta tai nopeutta. Kokeessa käytettävä näyte on valmistettava häiriintymättömästä maa-aineksestä. Jos halutaan painuma ajan funktiona niin näytteelle annetaan vakiojännitys ja mitataan painumaa. Kun halutaan selvittää laskentaparametrejä, lisätään näytteen kuormitusta portaittain. Jatkuvatoimisella CRS-

mittauksella pystytään mittaamaan pystyjännitystä, sellipainetta, huokosvedenpainetta ja näytteestä poistuvaa vesimäärää. (Jääskeläinen 2011, 124).

#### 4.14.3 Kapillaarimetri

Kokeessa vedellä kyllästetty ja ilmataskuja sisältämätön näyte alipaineistetaan ja seurataan ilman etenemistä maanäytteeseen. Kokeen tulokset ovat epätarkkoja, mutta niitä voidaan käyttää rinnakkaiskokeina, kun arvioidaan maa-aineksen routivuutta. Maa-aines katsotaan routivaksi, kun sen kapillaarinousukorkeus on yli 1 m. (Jääskeläinen 2011, 40).

Korjauskohteissa voidaan kapillaarimetrikokeella määrittää routivuutta. Sillä tutkitaan, että syntyykö näytteeseen kapillaarista veden nousua ja millä korkeudella sitä esiintyy. Kokeella voidaan arvioida maanvaraisen lattian alustäytön soveltuvuutta kapillaarikatkerrokseen. Kapillaarikatkerroksen paksuuden tulee olla sen kapillaarisen nousukorkeutta suurempi. (Sihvola 2020).

#### 4.14.4 Humuspitoisuus

Maanäytteiden eloperäisen aineksen pitoisuus (humuspitoisuus) määritetään joko kalorimetrillä tai polttamalla. Kalorimetri- ja spektrometrimenetelmissä verrataan näytteen heijastaman sähkömagneettisen aallon taajuutta ja intensiteettiä (kalorimetrlukema) tunnettujen vertailunäytteiden heijastuksiin. Polttomenetelmässä orgaaninen aines (humus) poltetaan pois. Humuksen määrä lasketaan polttamisen yhteydessä tapahtuneesta painon alenemisestä. Jos saven fraktio on suuri, korjataan tulosta arvioimalla haihtuneen kideveden määrä.

## 5 MAAPERÄN OLOSUHTEET

Yleensä teräspaalujen korroosio otetaan huomioon ylimitoituksella eli korroosiovarana, jolloin rakenteiden paksuuksia lisätään niin, että paalun kantavuus säilyy syöpmisestä huolimatta. Pohjarakenteissa korroosiolta voidaan suojautua myös pinnoitteilla kuten betonointi. (Liikennevirasto 2017, 113).

### 5.1 Tavanomaiset korroosio-olosuhteet

Rakennuspaikan pohjamaan korroosio-olosuhteita voidaan pitää tavanomaisina, kun maaperä koostuu koko paalun upotuspituudelta kivennäismaalajeista muodostuneista ei aggressiivisista luonnonmaakerroksista ja karkearakeisista täytöistä. Kemiallisen korroosion kannalta ei ole merkitystä ovatko teräs- tai betonirakenteet pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolella toisin kuin puurakenteiden kanssa. Taustaselvityksessä katsotaan, onko rakennuspaikan historiatietojen perusteella syytä epäillä maaperän tai pohjaveden olevan pilaantunutta. (Liikennevirasto 2017, 113). Tavanomaisissa olosuhteissa varautumiseen riittää rakennepaksuuden ylimitoitus (Leino, 121).

### 5.2 Poikkeavat korroosio-olosuhteet

Tavanomaisesta poikkeaviksi ja eräissä tapauksissa aggressiivisiksi olosuhteiksi katsotaan löyhät täytöt, kun täyttöön pääsee kulkeutumaan suoloja. Esimerkiksi täytöt, joihin suolainen merivesi tunkeutuu. Ihmisen aiemman toiminnan pilaamat maapohjat katsotaan normaalista poikkeaviksi olosuhteiksi. Vaikka itse maaperä ei olisi voimakkaasti pilaantunut voi rakenteenkäytön aikainen ympäristö osoittautua aggressiiviseksi kuten maanteiden suolaus tai maatalouden lietteet. Erikoistilanteissa korjauskohteissa voi esiintyä myös tilanteita, joissa esiintyy tasavirtalähteiden aiheuttama potentiaalilenttä. Kuten muuntajien, raitiotievaunujen raiteiden, katodisesti suojattujen putkistojen ja kaapeleiden sekä sähkökoneiden huonon maadoituksen yhteydessä. (Liikennevirasto 2017. LIITE 5 / 1).

### 5.3 Sulfidisavet

Happamat sulfaattimaat ovat maaperässä luonnollisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä. Sulfaattipitoisuuden määrittämisen tarkoituksena on määrittää pitoisuudet mahdollisesti teräkseen ja betoniin aiheutuvan rasituksen vuoksi. Pohjavesi, joka sisältää liuenneita sulfaatteja, erityisesti natrium- ja magnesiumsulfaatteja, voi syövyttää betonia sekä terästä ja muita maassa tai maanpinnalla olevia materiaaleja. Maan ja pohjaveden luokitus sulfaattipitoisuuden perusteella on siksi tarpeellinen, jotta varotoimenpiteisiin voidaan tarvittaessa ryhtyä.

Olosuhteiden tavanomaisuus todetaan tavanomaisilla pohjatutkimuksilla tilanteissa, joissa ei ole aihetta olettaa maapohjan pilaantumista. Epävarmoissa olosuhteissa erikoistutkimuksilla, joiden perusteella selvitetään ylittyvätkö aggressiivisen olosuhteen raja-arvot. Tavanomaisesta poikkeavissa korroosio-olosuhteissa käytetään esimerkiksi teräspaalujen kanssa korotettua ylimitoitusta tai korroosionsuojausmenetelmiä. Betonipaaluja käytettäessä aggressiivisiin maa-aineksiin varaudutaan betonilaadun valinnalla.

Erilaisia korroosionsuojausmenetelmiä ovat katodinen suojaus, orgaaniset ja epäorgaaniset-, sekä ylipaksut pinnoitteet ja manttelointi. Suojausmenetelmien sijaan ja rinnalla voidaan käyttää seostettuja teräksiä. Korroosionsuojausmenetelmiä voidaan käyttää vain, mikäli voidaan todentaa menetelmän kestävän myös paalun asentamisen rakennuspaikan pohjaolosuhteissa. Tavanomaisissa olosuhteissa ylimitoitus on riittävä varautumiskeino. (Liikennevirasto 2017, LIITE 5 / 4).

### 5.4 Korroosiotutkimuksen raja-arvot

Arvot, joiden perusteella maapohja tulkitaan tavanomaisesta poikkeavaksi:

- Humuspitoisuus hehcutushäviö pohjatutkimusten yhteydessä > 6 %
- pH < 4,5 pH > 9
- Sulfaatti SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > 500 mg/kg tai SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > 200 mg/l vesiliuoksessa
- Kloridit Cl > 500 mg/kg tai Cl > 300 mg/l vesiliuoksessa

Tutkimukset ulotetaan vähintään 1,5 m pohjavedenpinnan alapuolelle, jollei pohjavedenpinta ole syvällä (> 10 m).

Suomessa mahdollisia sulfidisavialueita ovat erityisesti Litorinavaiheen orgaanista aineesta sisältävät sedimentit Pohjanmaalla, Varsinais-Suomessa ja Etelä-Suomessa. Litorinsedimenttien rikki- ja rikkipitoisuus vaihtelee huomattavasti. Rikki- ja rikkipitoisuutta osoittava selvä tunnusmerkki on musta väri. Mikrobiologisen korroosion mahdollisuus tutkitaan tarvittaessa määrittämällä sulfidipitoisuus ja redox-potentiaali. (Liikennevirasto 2017, LIITE 5 / 2).

#### 5.5 Vedestä tehtävät korroosiotutkimukset

Pinta- tai pohjaveden aggressiivisuus selvitetään maastossa mittaamalla kenttämittarilla pH, sähkönjohtavuus ja happipitoisuus sekä tarvittaessa redox-potentiaali. Vesinäytteistä tutkitaan laboratorioissa kloridi-, sulfaatti- ja kalsiumpitoisuus.

Pohja- ja maaveden korroosiotutkimusohjelma ja aggressiivisen ympäristön raja-arvot tavanomaisille olosuhteille näkyvät taulukossa. (Liikennevirasto 2017, LIITE 5 / 4).

#### 5.6 Korroosioarvot materiaaleissa

Jos maaperätutkimuksissa todetaan aggressiivisen maa-aineksen sijaitsevan vain tietyllä syvyydellä, voidaan esimerkiksi teräspaalussa käyttää paksuseinämäisempää teräsputkea vain tällä kohtaa. (Lehtonen 2006, 57). Taulukossa 1 on nähtävissä maa-ainesten rajat korroosion syntymiseen.

Taulukko 1: Korroosion aiheuttama menetys suojaamattomille teräsraudoille (Liikennevirasto 2017, LIITE 5 / 5)

Mitattava ominaisuus	Menetelmä	Raja-arvo
pH	ISO 10523, SFS 3021	< 6,5
sähkönjohtavuus	SFS-EN 27888, ISO 7888	> 50 mS/m
liuennan hapen määrä	SFS-EN 25813 jodometrinen menetelmä (ISO 5813:1983)	< 2 mg/l tai < 8 %
kloridit	SFS 3002 titraus Mohrin menetelmällä tai SFS 3006 Potentiometrinen titraus tai SFS-EN ISO 10304-1 määrittäminen ionikromatografialla.	>25 mg/l
kalsium <sup>(1)</sup>	SFS-EN ISO 7980 Atomiabsorptiospektrometrinen menetelmä tai SFS 3001 titrimetrinen menetelmä tai SFS 3018 määrittäminen atomiabsorptiospektrometrisesti liekkimenetelmällä tai SFS-EN ISO 14911 määrittäminen ionikromatografialla	< 10 mg/l
alkaliteetti <sup>(1)</sup>	SFS 3005 potentiometrinen titraus, SFS-EN ISO 9963-1	< 0,5 mmol/l
kovuus <sup>(1)</sup>	SFS 3003 titrimetrinen	< 0,5 mmol/l
sulfaatti	SFS-EN ISO 10304-1 määrittäminen ionikromatografialla.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >250 mg/l



Taulukossa 2 on esitetty korroosionopeudet ajansuhteen esitettyinä eri maalajeissa.

Taulukko 2: Aggressiivisuusrajat (Liikennevirasto 2017, LIITE 5 / 6).

Tavoitekäyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
<b>Tavanomaiset olosuhteet</b>					
Häiriintymättömät luonnonmaat (hiekk, siltti, savi, liuske)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Tiivistämättömät, ei-aggressiiviset homogeeniset täyttömaat (hiekk, siltti savi, liuske,)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
<b>Tavanomaisesta poikkeavat tai aggressiiviset olosuhteet</b>					
Saastuneet luonnonmaat ja teolli- suusalueidenmaa-alueet	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressiiviset luonnonmaat (suo, räme, turve)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Tiivistämättömät ja aggressiiviset täyttömaat (tuhka, kuona)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
<b>Huom.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Korroosionopeudet tiivistetyissä täytöissä ovat pienempiä kuin tiivistämättömissä. Tiivistetyissä täytöissä yllä olevat arvot voidaan jakaa kahdella.</li> <li>• Annetut arvot ovat vain ohjeellisia. Paikalliset olosuhteet tulee ottaa huomioon.</li> <li>• 5 ja 25 vuodelle esitetyt arvot perustuvat mittauksiin, muut arvot on ekstrapoloitu.</li> <li>• Korroosio ilmassa sadalle vuodelle: 1 mm normaali-ilmastossa ja 2 mm lähellä merta</li> </ul>					

Taulukossa 3 on esitetty sulfaatin kestävästä sementin rasitusluokat XA2 ja XA3 mukaiset korroosioarvot.

Taulukko 3: Kemiallisten rasitusten ympäristöluokkien raja-arvot (Betoninormit BY65 2016).

Alla luokitellut kemiallisesti aggressiiviset ympäristöt perustuvat luonnollisiin ympäristöihin maassa ja vedessä 5 °C ja 25 °C lämpötilavälillä ja riittävän hitaalla veden virtausnopeudella, minkä voidaan katsoa vastaavan staattista tilannetta. Jokaisesta yksittäisestä kemiallisestä ominaisuudesta suurin rasitusarvo määrittää luokan. Jos kaksi tai useampi aggressiivista ominaisuutta johtaa samaan luokkaan, ympäristö luokitellaan seuraavaan korkeampaan luokkaan. Aggressiivisten ominaisuuksien määrittämiseen käytetään taulukossa annettuja standardikoemenetelmiä.				
Kemiallinen ominaisuus	Koemenetelmä	XA1	XA2	XA3
<b>Pohjavesi</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	SFS-EN 196-2	≥ 200 ja ≤ 600	> 600 ja ≤ 3000	> 3000 ja ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 ja ≥ 5,5	< 5,5 ja ≥ 4,5	< 4,5 ja ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> mg/l aggressiivinen	SFS-EN 13577	≥ 15 ja ≤ 40	> 40 ja ≤ 100	> 100 kyllästymiseen asti
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 ja ≤ 30	> 30 ja ≤ 60	> 60 ja ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 ja ≤ 1000	> 1000 ja ≤ 3000	> 3000 kyllästymiseen asti
<b>Maaperä</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>a)</sup> kokonaismäärä	SFS-EN 196-2 <sup>b)</sup>	≥2000 ja ≤3000 <sup>c)</sup>	>3000 <sup>c)</sup> ja ≤12000	>12000 ja ≤24000
Happamuus Baumann Gullyn mukaisesti ml/kg	prEN 16502	> 200	Ei esiinny käytännössä	
<p>a) Savimaat, joiden läpäisevyys on pienempi kuin 10<sup>-5</sup> m/s, voidaan luokitella alempaan luokkaan.</p> <p>b) Testausmenetelmän periaate on uuttaa SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> suolahapolla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vesiuuttoa, jos betonin käyttöpaikalla on siitä kokemusta.</p> <p>c) Raja-arvo 3000 mg/kg lasketaan arvoon 2000 mg/kg, jos betonin toistuva kuivuminen ja kastuminen tai kapillaarinen kastuminen saattavat aiheuttaa betonin sulfaatti-ionien kasaantumisriskin.</p>				

## 6 POHJATUTKIMUSTULOSTEN SOVELTAMINEN PERUSTUSVAHVISTUKSIIN

Työssä ei varsinaisesti käydä lävitse esimerkkilaskuja mutta todetaan, että pohjarakenteiden suunnittelu perustuu seuraaviin normeihin. Geotekniset suunnittelut ja tutkimukset tehdään seuraavien Eurokoodi 7:n osien SFS-EN 1997-1 + A1 + AC, yleiset säännöt ja SFS-EN 1997-2 + AC, pohjatutkimus ja koestus mukaisesti huomioiden ympäristöministeriön säännökset RT RakMK-21753 standardien kansallisista valinnoista.

### 6.1 Kuormitusperusteet

Ennen perustusvahvistussuunnittelun aloittamista on selvitettävä olemassa olevan rakennuksen kuormitukset, kantavien rakenteiden mekaniikka ja käytetyt materiaalit sekä niiden kunto. Nämä seikat voivat vaikuttaa perustusvahvistustapaan sekä käytettyihin rakenteisiin. (Lehtonen 2006, 21). Tämän lisäksi on huomattava, että yleensä uusi materiaali ja rakenne ovat huomattavasti vahvempia kuin vanha rakenne, jolloin kokonaisuuden kestävyys mitoittaa vanha rakenne. (Lehtonen 2006, 27).

Hyvän suunnittelun varmistamiseksi voidaan tehdä koepaalutuksia sekä testata erityyppisiä kuormansiirtorakenteita ennen lopullisen menetelmän valintaa (Lehtonen 2006, 53).

### 6.2 Kuormansiirtorakenteet

Usein tarvitaan perustusrakenteiden lisätuentaa, koska alkuperäinen rakenne ei ole ollut riittävä muodonmuutoksia tai murtumaa vastaan. Näin ollen tarvitaan kuormansiirtorakenteita, joilla vahvistetaan perusmuurin rakennetta, suurennetaan anturoiden kantopintaa tai syvennetään anturaa sekä haetaan lisätuentaa kantavasta maaperäkerroksesta.

Kuormansiirto rakenteina toimivat usein esimerkiksi rakenteiden kylkeen asennettavat pilasterit tai alapuoliset poikittaispalkit. Puristuspaalutuksessa niiden pitää kestää myös asennusaikainen 1,5-2 kertainen kuormitus lopputilanteeseen nähden (Lehtonen 2006, 29).

Vaikka kuormansiirtorakenteet olisivat hyvin suunniteltuja, joudutaan suunnitelmia korjaamaan työn aikana, koska lähtötiedot vanhoista perustuksista ovat vaillinaisia ja kaikki mahdolliset tilanteet eivät selviä koekuoppatutkimuksissa. (Lehtonen 2006, 58).

Tämän lisäksi on huomioitava se, että sallitaanko rakennuksen painuminen ennen kuormansiirtorakenteiden jännittymistä kuormia vastaan. Usein tämä ei ole järkevää, koska vanhat puupaalut saattavat jäädä osittain kantamaan ja painuminen jatkuu vielä myöhemmin kun paalut lahoavat lisää. Näin ollen rakenteiden esijännitys huomioi paaluille tulevan kimmoisen kokoonpuristumisen. (Rajakallio 2020).

Jos kantava maapohja on kohtuullisen pinnassa, voidaan kuormansiirtorakenteena käyttää suihkuinjektointia. Tällä saavutetaan hyvä kantavuus ja pieni painuma. Lisäksi perustusten ympäristöjä ei tarvitse kaivaa kuten palkkirakenteita käytettäessä. (Lehtonen 2006, 60). Paalutettaessa kellaritiloissa voi paalutuskohte sijaita pohjaveden pinnan alla. Tällöin on huomioitava, että paineellinen vesi ei pääse purkautumaan työnaikana kellaritiloihin. (Lehtonen 2006, 53).

### 6.3 Paalutetun rakennuksen korjaaminen

Esimerkiksi siipikairauksella voidaan selvittää vanhojen puupaalujen nurjahduskantavuuksia ja puristinheijarikairauksella paalujen asentamissyvyyttä sekä tarkempaa maakerrosten rakennetta. (Lehtonen 2006, 37). Käytännössä mitoittamisessa on olennaista saada tietää maaperän ominaisuudet paalun nurjahduskestävyyden kannalta ja kalliopinnan taso, jotta korjaus voisi onnistua. Näin porakone- ja siipikairaus ovat yleisimmät tutkimusmenetelmät. (Rajakallio 2020).

Teräksinen lyöntipaalu on nopea asentaa ja kustannuksiltaan edullinen. Asentaminen kuitenkin aiheuttaa tärinää ympäristöön ja sen vaatimaa tilaa ei ole käytössä. Vastaavasti porapaaluja käytetään kallioon asti vietävinä tukipaaluina, mutta niiden asentamiskustannukset ovat suuremmat kuin lyöntipaalujen. Kuitenkin porapaalun etuja on, että se porautuu lohcareiden, täyttöjen ja vanhojen puupaalujen läpi. Menetelmä ei aiheuta paljon tärinää eikä maansiirtymistä juurikaan tapahdu. Porapaalu saattaa tuottaa ongelmia, jos sen asentamisessa käytetään paineilmaa. Ilma jää osittain maakerrokseen sekä kuljettaa hienoainesta pois porareian ympäristöstä (Rajakallio 2020). Lisäksi se heikentää maaperän ominaisuuksia lisäämällä huokostilavuutta ja tiivistymistä. Ilma voi myös muodostaa suurempia ilmataskuja, jotka voivat liikkua plastisessa savessa kauemmaksi

rakennuspaikasta. Porapaalutus pitäisi suorittaa käyttämällä pora-aineena laastia, joka injektoidaan porauksen aikana maaperän porapaalun ympäriltä. (Kronqvist 2020).

Puristuspaalumenetelmässä käytetään hydraulista tunkkia ja itse rakennus toimii vastapainona. Menetelmä vaatii tämän vuoksi vain vähän tilaa eikä aiheuta tärinää. Haasteena on paalun pysyminen suorana jos se osuu vanhoihin puupaaluihin. (Lehtonen 2006, 24).

Puupaalutetuissa rakennuksissa voidaan paalujen kantavuustutkimusten jälkeen päätyä paalujen katkaisutason alentamiseen. Näin saadaan jatkettu puupaalujen käyttöikä, jos niiden kunto on riittävä. Ongelma ei poistu jos puupaalut jatkavat edelleen lahoamista ja tämän lisäksi työmenetelmä on suuritöinen. (Lehtonen 2006, 31). Puupaalutettujen rakennusten perustuksia voidaan helpommin vahvistaa suihkupaalutuksella (Sihvola 2020).

#### 6.4 Maanvaraisen rakennuksen korjaus

Maanvaraisissa perustuksissa on huomattava, että koekuopat ja vastaavat perustustasolle vietävät kaivuutyöt heikentävät maan stabiliteettia. Tämän lisäksi jos vanhojen perustusten viereen tehdään maanvaraisia rakenteita, ei uusia rakenteita tehdä viereisiä perustuksia alemmas, koska muuten vanhoille perustuksille syntyy lisäkuormitusta (Sihvola 2020). Perustuksen kantokykyä voidaan parantaa kasvattamalla stabiliteettia liukupintoja pidentämällä. Tähän päästään muuttamalla maaperän ominaisuuksia stabiloimalla maaperää perustusten alla suihkuinjektoimalla betoniset suihkupaalut lisäämään perustusten kantokykyä. Toinen vaihtoehto saattaa olla alentaa perustussyvyyttä lamelloimalla anturaa vaihteittain. Kolmantena on perustusten leventäminen leventämällä. Tällöin perustuksen kylkiin ankkuroidaan uusi betonianturan levennysosa. Vanhoissa rakennuksissa olevia kivilatomuksia korjataan injektoimalla kivien tyhjät välit betonilla tai tarvittaessa mantteloimalla ulkopinnalta. (Lehtonen 2006, 29).

#### 6.5 Kuivatus

Tässä vaiheessa hankitaan olemassa olevat tiedot pohjavesialueesta sekä pohjaveden laadusta. Lisäksi arvioidaan myös rakennuspohjan kuivatustarve sekä korkeustaso, jolta rakennuspohja voidaan painovoimaisesti salaojittaa. Jos perusvesiä ei johdeta

sadevesiviemäriin, voidaan esittää vaihtoehtoiset vesien purkupaikat ympäristössä. Jos maankaivu ulottuu pohjavedenpinnan alapuolelle, selvitetään työnaikaisen kuivatuksen järjestäminen. Jos alueen orsi- tai pohjavedenpintaa alennetaan rakentamisen takia pysyvästi tai tilapäisesti, selvitetään pohjavedenpinnan alenemisen vaikutus ympäristön rakennusten ja rakenteiden perustuksiin (mm. puuperustukset) ja maanvaraisiin lattioihin.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö tehtiin Turun ammattikorkeakoulun päättötyönä ja sen toimeksiantajana toimi Sitowise Oy. Työssä selvitettiin korjaushankkeissa ilmeneviä pääasiallisia ongelmia ja niiden tutkimista sekä ratkaisuja. Näissä kohteissa esiintyy tarpeita yhdistää vanhaan rakennukseen lisärakentamista, saada jo syntyneet vauriot korjattua tai estää niiden paheneminen. Työn lähtökohtana oli aihepiirin kirjallisuus ja suunnittelijoiden haastattelut.

Korjaushankkeen alkaessa on selvittävä, miksi vaurioita on syntynyt. Mitä menetelmiä pohjasuhteiden selvittämiseksi pitää käyttää ja miten hanke saadaan toteutettua kustannustehokkaasti ja rakennusteknisesti laadukkaasti. Tätä varten pitää tietää, minkä tyyppisiä kairaus- sekä laboratoriotutkimusmenetelmiä on käytössä ja minkä tyyppisiin ratkaisuihin ne soveltuvat.

Selvisi, että työn aihepiiristä ei ole kattavasti julkaistu kirjallisuutta, vaan työmenetelmät ovat pääosin tämän tyyppisiä työmaita suunnittelevien tekijöiden käytännössä oppimia. Jotta työkohteista oppiminen olisi mahdollista ja työmenetelmiä voisi kehittää on suunnittelu tehtävä yhteistyönä eri osapuolien välillä. Siihen osallistuu asiakkaan ja suunnittelijan lisäksi työssä käytettävien rakennusmateriaalien ja menetelmien valmistajat sekä työmaaryhmä. Suunnittelija voi paljon vaikuttaa, miten ryhmä motivoidaan työskentelemään tekeillä olevan ongelman ratkaisemiseksi.

On tullut esille, että laadukkaan korjaussuunnitelman tekeminen edellyttää aluksi riittävän laajan lähtöaineiston selvittämistä. Tämän lisäksi pitää ymmärtää vaurioiden syntymekanismeja ja maaperän olosuhteiden vaikutus niihin. Kun lähtökartoitukset ja tutkimukset tehdään hyvissä ajoin, voidaan asiakkaalle esittää kustannustehokas ja kohteeseen parhaiten soveltuva korjausmenetelmä.

Työn aihepiiristä ei tullut vastaan prosessikaavioita. Vaikka kohteiden suunnittelu on melko vaihtelevaa, voisi tällaisilla kaavioilla mahdollisesti selkiyttää asiakkaalle suunnittelutyön merkitystä.




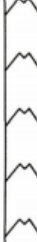
.

## LÄHTEET

- Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. 2. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Kronqvist, P. 2020. Haastattelu. Sitowise Oy:n Geotekniikka Talo-osaston johtavaa konsulttia haastatteli 18.11.2020 Henriikki Moliis.
- Lehtonen, J. 2006. Perustusten vahvistaminen. Turun ammattikorkeakoulu 2006.
- Leino, T yms. 1998. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu, VTT
- Liikennevirasto 2010. Ratapenkereiden monitorointi 22/2010. Viitattu 14.12.2020 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts\\_2010-22\\_ratapenkereiden\\_monitorointi\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2010-22_ratapenkereiden_monitorointi_web.pdf).
- Liikenneviraston 2011. Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset 6/2011. Viitattu 14.12.2020 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2011-06\\_siirtyma\\_ja\\_huokospainemittausten\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-06_siirtyma_ja_huokospainemittausten_web.pdf).
- Liikennevirasto 2012. Sillan geotekninen suunnittelu. Sillat ja muut taitorakenteet. Liikenneviraston ohjeita 11/2012. Viitattu 14.12.2020 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2012-11\\_sillan\\_geotekninen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-11_sillan_geotekninen_web.pdf).
- Liikennevirasto 2015. Salpausselän pohjaveden kloridipitoisuuksien muutokset ja niihin vaikuttavia tekijöitä 11/2015. Viitattu 14.12.2020 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2015-11\\_salpausselan\\_pohjaveden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-11_salpausselan_pohjaveden_web.pdf).
- Liikennevirasto 2017. Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7Sillojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet 21.4.2017. Viitattu 15.12.2020 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-13\\_ncci7\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-13_ncci7_web.pdf).
- RT10-10619. Asuinrakennushankkeen pohjatutkimus ja pohjarakennusuunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT10-3032. Pohjarakennesuunnittelun tehtäväluettelo GEO18. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- SFS-EN 1997-1 + A1 + AC. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt.
- SFS-EN 1997-2 + AC. Eurokoodi 7: Pohjatutkimus ja koestus
- SGY Suomen Geoteknillinen yhdistys ry 1981. Kairausopas 1. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.
- SGY Suomen Geoteknillinen yhdistys ry 1999. Kairausopas 2. Nummela: Nummelan Kopiopalvelu Oy.
- SGY Suomen Geoteknillinen yhdistys ry 1987. Kairausopas 4. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.
- Sihvonen, A. 2020. Haastattelu. Sitowise Oy:n Geotekniikka Talo-osaston osastopäällikköä Aino Sihvolaa haastatteli 28.11.2020 Henriikki Moliis.
- Suomen Vesiyhdistys ry 2005. Pohjavesitutkimus. Käytännön ohjeita. Toim. T. Kinnunen. Saatavilla <https://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Pohjavesiopas.pdf>.
- Rajakallio, J. 2020. Haastattelu. Sitowise Oy:n Turun KOR osaston suunnittelupäällikkö Jarno Rajakalliota haastatteli 31.11.2020 Henriikki Moliis.



## Liite 1. Kairausten maalajimerkinnät.

Maalajiryhmä Soil group	Maalajit Soil types	Värit Colours	
	Humusmaa Organic soil	Hm	
	Turve Peat	222 Tv	harmaa grey RGB 192 192 192
	Lieju Mud, ooze	222 Lj	tumman harmaa dark grey RGB 146 146 174
	Savi Clay	— Sa	sininen blue RGB 146 210 254
	Siltti Silt	Si	violetti violet RGB 211 3 255
	Hiekka Sand	⋮ Hk	keltainen yellow RGB 240 234 82
	Sora Gravel	oo Sr	vihreä green RGB 113 219 113
	Silttimoreeni Silty till	⌄ SiMr	ruskea brown RGB 218 173 48
	Hiekkamoreeni Sandy till	⌄ HkMr	
	Soramoreeni Gravelly till	⌄ SrMr	
	Kiviä Cobbles	▲ Ki	
	Lohkareita Boulders	● Lo	
	Kivi tai lohcare Stone or boulder	X läpiporattu*) hole drilled through*)	

\*) merkin korkeus osoittaa lohcareen koon  
\*) the size of the symbol corresponds to the size of the boulder