

Anastasiia Isakova

Pohjatutkimus osana rakennushankkeen suunnittelua

Pohjatutkimus osana rakennushankkeen suunnittelua

Anastasiia Isakova
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Yhdyskuntatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Anastasiia Isakova

Opinnäytetyön nimi: Pohjatutkimus osana rakennushankkeen suunnittelua

Työn ohjaaja(t): Ari Oikarinen (OAMK), Sami Mahlamäki (Insinööritoimisto Geo-Control Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: 49 + 4 liitettä

Pohjatutkimuksella on tärkeä rooli jokaisessa rakennushankkeessa. Maaperä ja sen olosuhteet vaikuttavat suuresti rakennushankkeen kannattavuuteen, kustannuksiin ja hankkeeseen liittyviin riskeihin. Pohjatutkimuksen ja sen tulosten avulla voidaan suunnitella ja toteuttaa rakennustyöt luotettavasti ja turvallisesti, kaikki vaatimukset ja määräykset huomioon ottaen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota tärkeimmät ja olennaisimmat tiedot maaperätutkimuksesta ja sen tärkeydestä rakennushankkeessa. Opinnäytetyössä käsiteltiin mm. Suomessa yleisesti käytettäviä kairausmenetelmiä, tutkimuksiin käytettävää kairauskalustoa ja kairausdiagrammien tulkin-
taa. Lisäksi työssä perehdyttiin myös maaperätutkimusta ja rakentamista koskeviin standardeihin, ohjeisiin ja määräyksiin.

Opinnäytetyössä esiteltiin myös Insinööritoimiston Geo-Control Oy:n kesällä 2022 tehtyä maape-
rätutkimusta Jämsän Himoksella, jonne on suunniteltu rakennettavaksi uusi monitoimihalli. Pohja-
tutkimus suoritettiin alustavien suunnitelmien perusteella. Opinnäytetyössä käsiteltiin rakennusalu-
eella suoritettuja kairauksia, niiden tuloksia ja tulosten perusteella alustavaa perustamistapaa
suunnitellulle rakennukselle. Opinnäytetyön valmistumisen aikana kyseinen rakennushanke oli
vielä kesken.

Asiasanat: rakennushanke, pohjatutkimus, maaperätutkimus, geotekniikka, kairausmenetelmät

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

Author: Anastasiia Isakova

Title of thesis: Soil investigation as a part of construction project's planning

Supervisors: Ari Oikarinen (OAMK), Sami Mahlamäki (Geo-Control Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023

Number of pages: 49 + 4 appendices

The soil investigation plays a big and important role in every construction project. The soil, its conditions and quality impact on the profitability of the construction project, the costs and the risks associated with the project. By means of research and results, construction work can be planned and carried out reliably and safely, considering all requirements and regulations.

The aim of this thesis was to collect the most important and relevant information about the soil investigation and its importance, the drilling methods in Finland, the drilling equipment and the interpretation of drilling results. The thesis also contains the information about the standards, guidelines and regulations of the construction and the soil investigation.

This thesis also deals with the soil investigation made by Geo-Control Oy in the summer 2022 in Jämsä Himos, where a new multipurpose hall is planned to be built. The soil investigation was carried out based on preliminary plans. Thesis includes drillings that were carried out in the construction area, their results and the preliminary type of foundation for the planned building.

Keywords:

construction project, soil investigation, geotechnical engineering, drilling

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RAKENNUSHANKE JA SEN OSAPUOLET.....	7
3	RAKENNUSHANKKEEN VAIHEET.....	9
4	RAKENTAMISEN LAINSÄÄDÄNTÖ, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET	11
5	POHJATUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA TAVOITTEET	12
	5.1 Pohjatutkimuksen rooli rakennushankkeessa	13
	5.2 Pohjarakennussuunnittelun sisältö suunnittelun eri vaiheissa.....	14
	5.3 Pohjatutkimusta koskevia lakeja, asetuksia ja määräyksiä	15
6	POHJATUTKIMUSMENETELMÄT.....	17
	6.1 Koekuoppa.....	18
	6.2 Painokairaus.....	19
	6.3 Porakonekairaus.....	21
	6.4 Tärykairaus.....	23
	6.5 Heijarikairaus.....	24
	6.6 Puristinkairaus.....	26
	6.7 Puristin-heijari.....	28
	6.8 Siipikairaus.....	30
7	NÄYTTEENOTTO	34
8	POHJAVESITUTKIMUKSET	37
9	KAIRAUSKALUSTO.....	38
	6.1 Kevyt kairausvaunu	38
	6.2 Keskiraskas kairausvaunu.....	39
	6.3 Raskas kairausvaunu	40
10	POHJATUTKIMUSKOHDE.....	42
	10.1 Suoritetut tutkimukset.....	43
	10.2 Maaperäolosuhteet.....	44
	10.3 Perustamistapa.....	44
11	YHTEENVETO.....	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	50

1 JOHDANTO

Suomessa rakentaminen muodostaa merkittävän osan taloudellisesta toiminnasta ja investoinnista. Rakennustoiminta jaetaan kansantaloudellisesti talonrakennustoimintaan ja maa- ja vesirakennustoimintaan. Jokaisen rakennushankkeen suunnittelua varten on hankittava riittävät tiedot rakennusalueen pohjasuhteista, jotta suunnitellun rakennuskohteen perustaminen ja tarvittavat pohjarakennustyöt voidaan toteuttaa oikeudenmukaisesti ja turvallisesti. (Perttilä & Sätilä 1992, 7.)

Pohjarakennussuunnittelulla tarkoitetaan maa- ja kallioperän sekä pohjarakenteiden yhdistämistä siten, että pohjarakenteet ja niiden varassa olevat rakenteet toimivat suunnitellulla ja oikealla tavalla. Pohjatutkimuksella selvitetään maaperän rakennetta ja rakenteellisia ominaisuuksia tarvittavassa laajuudessa. Pohjatutkimuksen laajuus määräytyy rakennuspohjan laadun, tulevien rakenteiden ja kuormituksen perusteella. (RIL 166 1986, 51.) Pohjatutkimuksella on myös iso rooli hankkeen riskien arvioinnissa, määrälaskennassa sekä kustannusten arvioinnissa (Liikennevirasto 2012, 16).

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi rakentamiseen ja pohjatutkimuksiin liittyviä määräyksiä, vaatimuksia ja ohjeita. Opinnäytetyössä esitetään yleisellä tasolla tietoa tavanomaisen rakennushankkeen eri suunnittelu- ja rakentamisvaiheista sekä osapuolien rooleista. Tutkimuksessa perehdytään myös Suomessa käytettyihin pohjatutkimusmenetelmiin, niihin käytettäviin kalustoihin ja kairaustulosten tulkitsemiseen. Lisäksi opinnäytetyön loppuosassa esitetään pohjatutkimushanke Keski-Suomessa, jonne Insinööritoimisto Geo-Control Oy on suorittanut alustavan pohjatutkimuksen keuhällä 2022.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on koota teorian ja käytännön avulla kattava ja selkeä kokonaisuus, joka kuvaa rakennushankkeen kulkua, maapohjatutkimuksen roolia ja sen tärkeyttä rakennushankkeessa.

2 RAKENNUSHANKE JA SEN OSAPUOLET

Rakennushanke syntyy, kun halutaan rakentaa uutta, laajentaa tai korjata vanhaa olemassa olevaa tilaa, joka on huonokuntoinen tai soveltumaton uuteen käyttötarkoitukseen. Rakennushankkeen toteuttamiseen vaikuttavat tilaajat, rakennuttajat, suunnittelijat, urakoitsijat, osa- ja materiaalivalmistajat, viranomaiset sekä yhteiskunta. (Junnonen & Kankainen 2020, 13.) Useimmissa tapauksissa rakennuttajana ja tilaajana toimii sama taho (RT 10-11222 2016, 1).

Rakennushankkeen jokaiseen vaiheeseen osallistuu useita osapuolia, joilla on oma rooli ja tehtävänsä. Projektin eri vaiheissa osapuolena voi toimia esimerkiksi henkilö, työryhmä tai organisaatioyksikkö ja hankkeen edetessä osapuolten kokoonpano voi muuttua. Rakennushankkeen osapuolet voidaan jakaa seuraaviin otsikkoihin:

- rakennuttaminen
- suunnittelu
- rakentaminen
- viranomaiset. (RT 10-11222 2016, 2.)

Rakennushanke käynnistyy joko rakennuttajan eli tilaajan, kiinteistökehittäjän tai -sijoittajan aloitteesta. Rakennuttamiseen kuuluu rakennushankkeen käynnistämisen lisäksi myös lupien hankinta, hankkeen ohjaamista lakeja ja asetuksia noudattaen, hankkeen vaatimuksia ja tavoitteiden asettaminen sekä lopputuloksen vastaanotto. (RT 10-11222 2016, 2.)

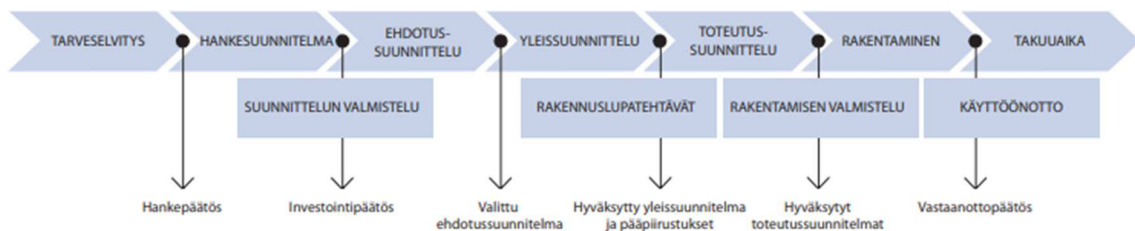
Suunnittelun tarkoituksena on tavoitteiden täsmentäminen suunnitelmien muotoon. Jokaisen rakennushankkeen suunnittelussa mukana ovat eri alojen suunnitteluasiantuntijat, kuten esimerkiksi arkkitehti-, rakenne-, pohja-, vesi- ja viemäri-, lämpö-, sähkö- ja automaatio suunnittelijat. Onnistunut rakennushanke vaatii eri alojen suunnittelijoiden tiivistä yhteistyötä. Suunnittelun kokonaisuudesta ja laadusta sekä yhteistyön koordinoinnista vastaa hankkeen pääsuunnittelija. (RT 10-11222 2016, 3; Perttilä & Sätälä 1992, 14.)

Rakentaminen on työn konkreettinen toteutus, josta urakoitsijat vastaavat rakennuttajan toimeksiannosta. Rakennushankkeeseen kuuluu yleensä useita urakoitsijoita, jotka hoitavat sopimuksella tietyn työkokonaisuuden. Urakoitsijat voidaan valita neuvottelumenettelyllä tai kilpailullisella neuvomenettelyllä. Urakkaan voi sisältyä myös materiaalihankintoja tai suunnittelua. Tilaajan ja urakoitsijan välillä luodaan urakkasopimus, jossa yksityiskohtaisesti sovitaan eri osapuolten vastuut ja velvoitteet. (RT 10-11222 2016, 4.)

Rakennusluvan saamiseksi tulee kunnan rakennusvalvonnalle esittää, että rakennustoimenpide noudattaa valtiovallan lakia, säännöksiä ja määräyksiä sekä voimassa olevaa asemakaavaa. Rakennusvalvontaviranomaiset suorittavat suunnitelmien ennakkotarkistuksia sekä katselmuksia ja tarkastuksia rakennuspaikalla. Valvontaan sisältyy myös suunnittelijoiden ja työnjohtajien kelpoisuuden valvonta. (RT 10-11222 2016, 5; Perttilä & Sätälä 1992, 16.)

3 RAKENNUSHANKKEEN VAIHEET

Rakennushankkeesta luodaan projekti, jossa seurataan ajallisesti peräkkäisiä tai yhä useammin toisiinsa limittyviä vaiheita seuraavassa järjestyksessä: tarveselvitys, hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto ja takuu aika (RT 10-11224 2016, 1). (Kuva 1.)



KUVA 1. Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224 2016, 1)

Tärkeimmät rakennushanketta koskevat päätökset tehdään hankkeen alkuvaiheessa. Hankkeen ensimetreillä tehtävillä päätöksillä voidaan myös luopua hankkeesta kokonaan tai siirtää sen toteutusta. Tätä varten osassa rakennushankkeissa on myös kehitysvaihe, jossa hankkeen toteutuskelpoisuutta selvitetään ilman tilaajan sitoutumista jatkotoimeksiintoon tai rakennushankkeen toteutukseen. (Kankainen & Junnonen 2020, 12.)

Varsinaista rakentamista edeltää useita vaiheita, ja riippuen hankkeen laajuudesta se voidaan käynnistää vuosia ennen varsinaisia rakennustöitä. Hankkeen johtamista ja parempaa hallintaa varten projekti voidaan ositella eli jakaa pienempiin osiin. Osittelumenetelmä ja osittelutapa riippuvat esimerkiksi hankkeen laajuudesta, vaiheesta ja osapuolesta. Osittelut kokonaisuudet vaikuttavat toisiinsa ja koko rakennushankkeeseen, joten vaiheiden ja osien johdonmukaista kokonaisuuden toteutusta on seurattava huolellisesti. (Kankainen & Junnonen 2020, 10.)

Rakennussuunnittelun vaiheet ovat ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennushankkeelle esitetään ratkaisumalleja, jotka vastaavat kohteelle asetettuja tavoitteita. Toiminta- ja maankäyttömalleja vertaillaan ja tutkitaan sekä arvioidaan niiden toimivuutta, soveltumista ympäristöön ja aiheuttamia kustannuksia. Tässä vaiheessa selvitetään lisäksi rakennuspaikan kaavatilanne, kunnallistekniikka ja alustavat perustamisolosuhteet pohjatutkimusten avulla. Jatkosuunnittelua varten loppuvaiheessa valitaan jokin ehdotussuunnitelma. (Kankainen & Junnonen 2020, 52–53.)

Yleissuunnitteluvaiheessa valittu suunnitteluratkaisu kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksiksi. Tavoitteena on laatia sellainen yleissuunnitelma, jonka rakenteellinen kokonaisuus toteutuu ja voi toimia päätöksenteon pohjana. Tässä vaiheessa myös suunnitellaan tilaratkaisuja ja tilaosia sekä määritellään rakennuksen kiinteät ja muuntuvat osat. Yleissuunnitelma verrataan aiemmin asetettuihin tavoitteisiin ja esitetään tilaajalle. Tilaaja hyväksyy yleissuunnitelmat ja pääpiirustukset, jonka jälkeen voidaan siirtyä rakennuslupahakemukseen. (Kankainen & Junnonen 2020, 53.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa selvitetään yksityiskohtaiset tarpeet, jotka ovat sovittujen tavoitteiden mukaiset ja varmistetaan sovintojen detaljien mukaisuus tavoitteihin. Lisäksi tässä vaiheessa varmistetaan, että kaikki osasuunnitelmat nojaavat toisiinsa ja muodostavat ehjän ja toimivan kokonaisuuden. Rakentamisen aikana suunnittelua voidaan myös tarvittaessa täydentää. (Kankainen & Junnonen 2020, 54–55.)

4 RAKENTAMISEN LAINSÄÄDÄNTÖ, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET

Rakentaminen Suomessa on aina luvanvaraista toimintaa. Rakentamiselle asetetaan vähimmäisvaatimuksia asetuksissa, laissa, rakentamismääräyksissä ja ohjeissa. Suomen eduskunnan vuonna 1999 laadittu maankäyttö- ja rakennuslaki on tärkeämpiä elinympäristöä koskevia lakia. Se toimii rakentamisen ohjauskeinona, jota noudatetaan suomalaisessa rakentamisessa hyvän laadun ja terveellisen sekä turvallisen rakentamisen varmistamiseksi. Maankäyttö- ja rakennuslaki uudistuu 1.1.2025. (Ympäristöministeriö 2023.)

Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää maankäyttö- ja rakennuslakia täydentäviä määräyksiä ja ohjeita. Rakentamismääräykokoelma koskee pääosin uudisrakentamista. Rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt määräykset ovat velvoittavia, mutta ohjeet sen sijaan voidaan soveltaa, kuitenkin edellyttäen, että käytetyt ratkaisut täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset. Tarkempia määräyksiä ja ohjeita rakentamisesta antaa kuntien kaavoitus, rakennusjärjestys ja maankäyttösuunnitelma. (Ympäristöministeriö 2023.)

Muita rakentamiseen vaikuttavia asetuksia löytyy sähköturvallisuus-, pelastus-, ja paloturvallisuuslaista. Rakentamisen aikana tulee noudattaa myös RT-kortistoissa sisältäviä rakennusala ohjauksia määräyksiä ja ohjeita sekä rakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia. Kantavien rakenteiden suunnittelua pääosin lujuuden ja vakauden kannalta on esitetty eurooppalaisissa standardeissa. Lisäksi rakennustuotteiden valmistajat antavat tuotteilleen käyttöohjeita. (Rakentaja 2011.)

5 POHJATUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA TAVOITTEET

Pohjatutkimus on tutkimustoiminta, jossa selvitetään maa- ja kallioperän rakennetta ja ominaisuuksia. Tarvetta pohjatutkimukselle syntyy monissa tilanteissa, kuten maanrakennustoiminnassa, maankäytön suunniteluissa ja erilaisten rakennushankkeiden geoteknisessä suunnittelussa. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 2004, 257.) Pohjatutkimuksen kohteena voivat olla esimerkiksi rakennukset, aluesuunnittelu, tiet ja kadut, kunnallistekniikka jne. (Jääskeläinen 2014, 236).

Pohjatutkimuksen tarkoituksena on saada kattava kuva maaperän rakenteesta ja sen ominaisuuksista, jotta rakennuksen perustaminen ja pohjarakennustyöt voidaan suunnitella ja toteuttaa turvallisesti ja oikeudenmukaisesti. Pohjatutkimuksilla selvitetään rakennuspaikan geoteknisten maakerrosten paksuus, tiiviys ja muut geotekniset ominaisuudet, kovan pohjan syvyys ja pohjavesipinnan taso. Rakennushankkeesta riippuen voidaan lisäksi selvittää kallion pinnan korkeusasema, kallion lujuusominaisuuksia ja ehjyyttä sekä maaperän mahdollista pilaantuneisuutta tai korroosio-ominaisuuksia. (Jääskeläinen 2014, 238–240.)

Näiden hankittavien tietojen perusteella on pystyttävä laskemaan jatkossa mm. kantavuuslaskelmia, painumalaskelmia, maanpainelaskuja jne. Laskelmat edellyttävät tietoja, joiden perustella voidaan määrittää tilavuuspainoja, kitkakulmia, leikkauslujuuksia, painumaparametreja jne. Lisäksi on saatava tietoa maaperän vedenläpäisevyydestä, pohjamaan routivuudesta, mahdollisista pilaantuneista maista ja onko syytä varautua radonin torjuntaan. Paaluperustuskohteissa on arvioitava paalujen tunkeutumistasoa, nurjahdusvaaraa, paalun alapäiden liukumavaaraa ja mahdollisia paalutyön esteitä. (Jääskeläinen 2014, 238–240.)

Rakennusprojektin tavanomaisen pohjatutkimustyöhön sisältyy normaalisti rakennusalueen kartointus, vaaitus ja varsinaiset pohjatutkimukset, joihin kuuluu kairauksien suorittaminen, maanäytteiden ottaminen, pohjavedenpinnan tason mittaaminen ja saven leikkauslujuuden selvittäminen. Erityistapauksissa voidaan lisäksi selvittää maakerrostumien kokoonpuristuvuutta, radonpitoisuutta, suorittaa porakonekairauksia tai selvittää perustamistapaa. Kaikki edellä mainitut työt kytkeytyvät toisiinsa ja muodostavat kokonaisuuden, joka palvelee suunnittelijoita rakennushankkeen eri vaiheissa. (RT 10-10619 1996, 2.)

Talonrakennushankkeen kartoituksessa esitetään yleensä tontin rajat ja rajapyykit ja mahdollisesti myös rajapyykkien koordinaatit. Tontilla sijaitsevat suuret lohkareet, mahdollisesti havaittu avokallion esiintymät, tontilla olevat rakennukset ja rakenteet kartoitetaan. Lisäksi kartoitetaan tontilla mahdollisesti kulkevat kaapelit, vesi- ja viemärijohdot, avo-ojat, kaivot ja mahdollinen rantaviiva. (Jääskeläinen 2014, 236.)

Vaaituksessa maanpinta alueella vaaitaan riittävällä tiheydellä (Jääskeläinen 2014, 236). Tontin pintavaaitukseen sisältyy maaston taitekohtien mittaaminen taiteviivoine ja muut alueet hajapistein (RT 10-10619 1996, 2). Talosuunnittelua varten selvitetään tontilla olevien rakennuksien lattiakorot, sokkelien korkeudet ja porrastasot. Korkolukemia mitataan myös viereisiltä tie- ja katualueilta. Viemärikaivojen kannet ja putkien vesijuoksut vaaitaan ja lisäksi vesipinta mitataan tutkimushetkellä. (Jääskeläinen 2014, 236.)

Rakennushankkeessa pohjarakennussuunnittelu liittyy hankkeen kaikkiin vaiheeseen ja palvelee vielä jopa rakennuksen käytön aikaisena. Pohjatutkija on yleensä tarpeen jokaisessa rakennushankkeessa. (Kankainen & Junnonen 2020, 14.) Hyvin ja tarkasti suoritettavat pohjatutkimustyöt ovat pohjarakennesuunnittelun tärkein lähtötieto kaikissa rakennushankkeissa.

5.1 Pohjatutkimuksen rooli rakennushankkeessa

Pohjatutkimus on rakennushankkeen ensimmäisiä ja tärkeimpiä selvitystöitä. Rakennus seisoo perustustensa varassa koko elinkaarensa ajan, joten on erityisen tärkeää tehdä perustus- ja pohjatutkimukset huolellisesti. Perustusten rakentamisaikavaiheessa tehdyt virheet voivat aiheuttaa suuria korjauskustannuksia tai pahimmissa tapauksissa olla mahdottomia korjata, mikä voi johtua rakennuksen purkamiseen perustusten pettäessä. (Rakentaja 2021.)

Geotekniset suunnittelut kuuluvat rakennesuunnittelijan tehtäviin. Usein perustamisolosuhteet selvitetään kuitenkin erillisenä toimeksiantona rakennesuunnittelun pohjaksi. (RT 10-11222 2016, 4.)

5.2 Pohjarakennussuunnittelun sisältö suunnittelun eri vaiheissa

Maa- ja pohjarakennussuunnitteluun sisältyvät seuraavien osien toiminnan ja rakennustoimenpiteiden suunnittelu:

- perustukset
- maarakenteet
- putkirakenteet
- kuivanpito
- kaivannot
- ympäristönsuojelu (RIL 166 1986, 61).

Perustamisen suunnitteluvaiheessa tutkitaan maaperän käyttäytyminen ja sen vaikutusta perustuksiin. Tässä vaiheessa laadittujen perustusratkaisujen avulla varmistetaan, ettei yllä rakenteisiin aiheudu hallitsemattomia tai liiallisia jännityksiä, siirtymiä tai muodonmuutoksia. (RIL 166 1986, 61.)

Maarakenteiden suunnittelussa jokaisen maa-aineksista tehdyt rakenteet mitoitetaan käyttötilanteen vaaditulla tavalla ja lisäksi suunnitellaan näiden rakenteiden rakentamismenetelmät. Maarakenteet voivat toimia joko itsenäisesti tai rakenteiden perustana. (RIL 166 1986, 61.)

Putkirakenteita suunniteltaessa rakennusalueelle suunnitellaan putkijohtojen sijainnit ja niiden rakentamistapa. Lisäksi selvitetään johtolinjojen geotekninen toimintatapa ja sen edellytykset kannatus-, perustus-, kaivanto- ja maarakenteille. (RIL 166 1986, 62.)

Kuivanapidon suunnittelussa pyritään siihen, että rakennusalueen ja piha-alueiden ympäröivät maarakenteet johtavat vedet keräily-, imeytys- ja purkujärjestelmiin oikeudenmukaisesti ja näin pitävät myös rakenteet kuivina. (RIL 166 1986, 62.)

Kaivantosuunnittelussa on tarkoitus selvittää miten kaivannot ja maanpinnan alapuoliset tilat tai rakenteet vaikuttavat toisiinsa sekä rakennustyön aikana että sen jälkeen. Suunnitelmissa tulee esittää, miten kaivannossa suoritettavat pohjarakennus- ja talorakennustyöt voidaan toteuttaa tehokkaasti ja turvallisesti ottaen huomioon myös kaivannon viereisosien muuttumattomuus. (RIL 166 1986, 62.)

Ympäristön suojauksen suunnittelussa esitetään keinot, joilla pyritään minimoimaan pohjarakennustoimenpiteiden aiheuttamat haittavaikutukset rakennusalueen ympäristölle. Ympäristöolosuhteita pyritään joko ylläpitää ne ennallaan koko rakentamisen aikana tai rakennustöiden lopettaessa palauttaa ne hyväksyttävälle tasolle. (RIL 166 1986, 62.)

5.3 Pohjatutkimusta koskevia lakeja, asetuksia ja määräyksiä

Rakennus on suunniteltava, rakennettava ja lisäksi rakennuksen korjaustyöt on tehtävä siten, että rakennus täyttää siihen ennakoitavissa oleva kuormitus ja rakennuksen käyttötarkoitus huomioon ottaen olennaiset tekniset vaatimukset. (RT RakMK-21753 2018, 1.)

Rakennusta koskevat olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät, kun rakennusta suunnitellaan ja rakennetaan eurokoodien sekä niitä koskevien ympäristöministeriön asetuksina annettujen kansallisten valintojen mukaan. Pohjarakenteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että riittävä lujuus ja vakaus murtumista vastaan säilyy suunnitellun käyttöajan ajan. Lisäksi pohja- ja maarakenteet on suunniteltava ja toteutettava niin, että rakenteiden painumat, siirtymät, kiertymät ja muodonmuutokset pysyvät sallituissa arvoissa eivätkä aiheuta haitallisia pysyviä muutoksia tai halkeiluja. On myös huolehdittava, että rakentamisesta ei aiheudu vaaraa ja haittaa lähialueen luontoympäristölle, viereisille rakennuksille ja rakenteille sekä alueella oleskelevien ihmisten terveydelle ja heidän viihtyvyydelle. (RT RakMK-21753 2018, 2.)

Pohjarakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon rakennuspaikan ja lähiympäristön olosuhteet sekä läheisyydessä olevien rakennuksien ja rakenteiden perustukset. Tarvittaessa pohjarakenteet tulee vahvistaa. Maa- ja pohjarakenteet on suunniteltava niin, että maasta nousevan kosteuden haitallisten vaikutukset rakenteisiin pystytään ehkäisemään ja lisäksi myös välttämään maan routimisesta aiheuttavat vahingot. Radonriskeihin on kiinnitettävä huomiota sekä rakennushankkeen suunnittelu- että toteutusvaiheessa. (RT RakMK-21753 2018, 2.)

Pohjarakenteiden suunnittelutehtävät jaetaan kolmeen luokkaan: tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellinen vaativa (Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista YM1/601/2015, 10-12).

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan yleensä jokaisen rakennushankkeen yhteydessä tulee rakennuspaikan pohjaolosuhteet selvittää ennakkoon rakennuspaikalla tehdyllä pohjatutkimuksella (Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 465/2014, 6 §). Helppoissa GL1 luokan kohteissa voi riittää asiantuntijan rakennuspaikalla suoritettu maastokatselmus ja sen perusteella laaditut kirjalliset päätelmät (Rakenteiden lujuus ja vakaus 2018, 9).

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on myös selvitettävä mahdolliset rakentamisesta aiheuttavat haitalliset muutokset ja rakentamisen aikana seurattava vaikutuksia tehdyn tarkkailuohjelman mukaan. Lisäksi jos on syytä epäillä, että rakennusalueella aikaisemmin olevan toiminnan tai jonkun muun syyn takia maaperä saattaa olla pilaantunut, se tutkitaan mahdollisen pilaantuneisuuden selvittämiseksi. (Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 465/2014, 6 §.)

Talonrakennusta koskevan geoteknisen suunnittelun tehtävien sisällön ja laajuuden määrittelyä varten on laadittu erikseen tehtäväluettelo GEO18. Tehtäväluettelossa on esitetty tavanomaisen rakennushankkeen geoteknisen suunnittelun tehtävät ja niiden tulokset. (RT 103032 2019, 1.)

6 POHJATUTKIMUSMENETELMÄT

Pohjatutkimukset aloitetaan yleensä suorittamalla silmävaraisiin havaintoihin perustuva maastokatselmus, jonka avulla voidaan arvioida tarvittavien pohjatutkimuksien laatu ja laajuus. Maastokatselmoinnissa pyritään huomiomaan alueen pinnanmuodostukseen, kivisyyteen ja lohkaraisuuteen, kasvipeitteeseen jne. Rakennuspaikan maaperäolosuhteiden selvittämiseksi tulee rakennusalueella suorittaa kairauksia. Kairausmenetelmät erottuvat toisistaan kairojen rakenteella ja kairan maahantunkeutumistavalla. (Rantamäki ym 2004, 257–258.) Kaikissa geoteknisissä kairauksissa on kairaajan kokemuksella, kentällä tehdyillä havainnoilla, käytettävän kaluston tuntemuksella ja kaluston kunnolla erittäin tärkeä merkitys hyvien ja tulkittavissa olevien tulosten saamiseksi.

Kairausmenetelmät voivat olla dynaamisia, staattisia tai näiden yhdistelmiä. Dynaaminen menetelmä tarkoittaa kairan maahantunkeutumista iskemällä tai täryttämällä kun staattisessa menetelmässä kaira tunkeutuu maahan painojen tai hydraulisen puristimen aiheutuksesta. (Rantamäki ym 2004, 258.)

Suomen maaperä on moreenivaltainen ja pääosin kivinen. Tästä syystä Suomessa eniten käytetyt ja maaperäolosuhteimme parhaiten soveltuvat kairausmenetelmät poikkeavat kansainvälisesti käytetyistä menetelmistä. Pohjatutkimusmenetelmien soveltavuudet sekä menetelmien lyhenteiden selitykset on esitetty kuvassa 2. Tässä tutkimustyössä käydään tarkemmin ainoastaan Suomessa ja Suomen olosuhteisiin sopivia kairausmenetelmiä, joten esimerkiksi kansainvälisesti tunnettua SPT-koetta (Standart Penetration Test) ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Maaperän ominaisuus-tunneissa kallon ominaisuus		Tutkimuksen kohde							
(taulukossa käytettyjen termien ja lyhenteiden selitykset on esitetty taulukossa 12)		Kantava pohjamaa	Pehmeikkö	Rakenteet	Kalliotilat	Väylin päällisrakenne (Nykyisen rakenteen näytteet)	Pohjavesialueet	Lajitysalueet	Kallioleikkaukset, Kivainesotto
Määritettävä ominaisuus		Kenttätutkimusmenetelmät							
I	Maakerrosten taatu	HE, HP, NO, PA, PO, (MTL), (RSL)	HP, PA, CU, NO, (HE), (PO), (SVL)	HP, CU, PA, PO, HE, (NO)	PO, KE, KR	NO, KO, (MTL)	HP, PA, PO, NO, (HE)		PO, KE, (MTL), (RSL), (GMM)
I	Kokoonpuristuvien tai huonosti kantavien kerrosten paksuus		PA, HP, CU, (SVL)	PA, HP, CU, (KO), (NO)				PA, HP	
II	Pohjavedenpaineen, orsivedenpinnan ja/tai pohjavedenpinnan mittaust	VP, (MTL), (SVL)	VP, (HV), (VO), (GMM)	VP, (HV), (VO)	VP		VP		
III	Lujuus- ja kantavuusominaisuudet	NO, HP, HE	NE, CU, SI	PA, HP, HE, CU, NO, SI	PO, KE, KR	NO, KO		NO, SI	PO, KE, (RSL)
IV	Kokoonpuristuvuus- ja vedenläpäisevyysominaisuudet	NO, HP, HE	NE, CU, (NO), (PA), (HP), (SVL)	CU, HE, HP, NO, PA, (NE)	KE, KR			(NO)	
V	Routivuus	NO	(NO)	NO		NO, KO			
VI	Korroosiotutkimus, stabiilituvuustutkimus, betonin kemiallinen aggressiivisuus, hapan sulfaattimaa		NO	NO					

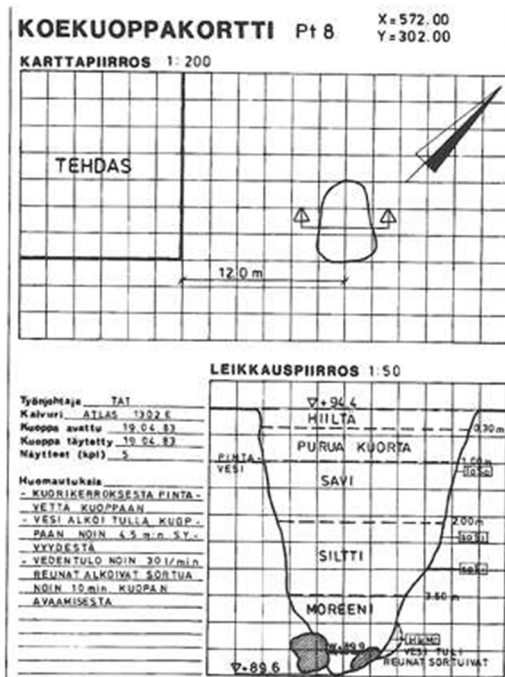
Tutkimusmenetelmä	Lyhenne
Painokairaus	PA
Siiplikairaus	SI
Heijarikairaus	HE
Huokospainekairaus (CPTU)	CU
Heijari-puristinkairaus	HP
Porakonekairaus	PO
Pohjaveden mittausputki	VP
Orsiveden mittausputki	VO
Huokosvedenpaineen mittaus	HV
Koekuoppa	KO
Näytteenotto – häiritty	NO
Näytteenotto – häiriintymätön	NE
Kallionäyttekairaus, laajennettu	KE
Kallionäyttekairaus, videoitu	KR

KUVA 2. Materiaalien ja pohjamaan tutkimusmenetelmät (Geotekniset tutkimukset ja mittaukset 2015, 40,42)

6.1 Koekuoppa

Mikäli halutaan saada tietoa lähellä maanpintaa olevien maakerrosten ominaisuuksia, koekuopan teko on siihen luotettavin menetelmä. Koekuopalla voidaan saada havaintoja maakerroksista ja maalajista, kallionpinnan sijainnista ja kaltevuudesta, pohjaveden tasosta, seinämien pysyvyydestä sekä maan kivisyydestä ja lohkaraisuudesta. Tukemattomana koekuoppa voidaan kaivaa pohjaveden pinnan yläpuolella 2–3 m:n syvyydeksi ja tuettuna syvemmällekin. Lisäksi koekuopasta voidaan ottaa häiriintymättömiä ja häiriintyneitä maanäytteitä jatkotutkimuksia varten. (Rantamäki ym.2004, 258.) Koekupat eivät kuitenkaan yksin ole riittävä pohjatutkimus, vaan tutkimusta on täydennettävä kairauksin (Jääskeläinen 2014, 260).

Kuvassa 3 on esitetty esimerkki koekuoppakortista. Korttiin tulee lisätä karttaa tai tietoa koekuopan sijainnista, tutkimuksen päivämäärää ja leikkauspiirustuksissa osoitettava kaivetun kuopan maakerroksia ja muita havaintoja. Tutkimuksen havainnollisuutta varten voidaan lisätä myös valokuvia koekuopista. (Jääskeläinen 2014, 260.)



KUVA 3. Esimerkki koekuoppakortista (Jääskeläinen 2014, 260)

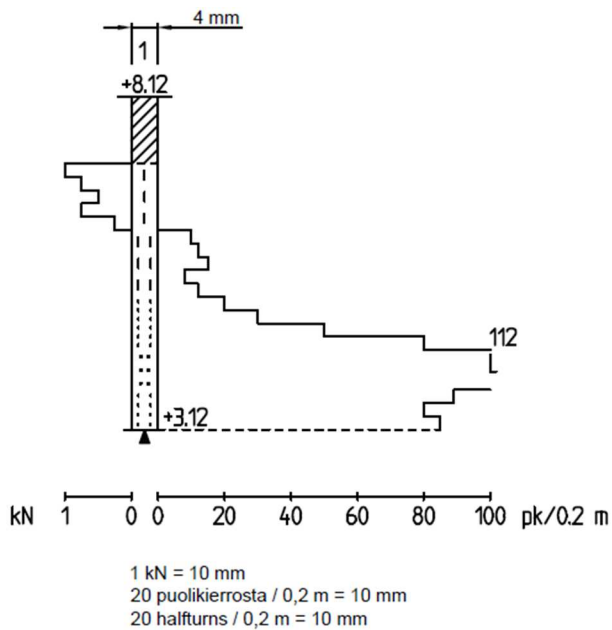
6.2 Painokairaus

Painokairaus on Suomen maaperään parhaiten soveltuva ja näin myös suosituin pohjatutkimusmenetelmä. Pohjoismaissa se on vanhin yleisesti käytössä olevista menetelmistä ja yleisin myös Ruotsissa. Kuormitustavaltaan painokairaus kuuluu staattisiin menetelmiin. Painokaira soveltuu erilaisten geoteknisten maalajikerrosten rajojen selvittämiseen ja suhteellisen tiivyyden arviointiin varsin hyvin. Maakerrosten ominaisuudet on kuitenkin selvitettävä muilla paremmin soveltuvilla menetelmillä, kuten siipikairauksella. Painokairausta voidaan käyttää pehmeiköillä ja jopa keskittiiviissä moreenimaissa, mutta painokairaus ei ole kuitenkaan paras menetelmä tiiviissä ja kivisissä maissa eikä savessa. (Jääskeläinen 2014, 246.)

Nykyään tela-alustaiset kairausvaunut ovat korvanneet käsikaluston käytön, ja tämän takia tässä työssä käsitellään pääsääntöisesti koneellista painokairauslaitteistoa. Toimiperiaate koneellisessa painokairauksessa on kuitenkin lähes sama kuin käsin tehdyssä painokairauksessa, mutta työ tapahtuu koneellisesti. Kaluston vakio-osiin molemmissa tapauksessa kuuluvat painosarja, halkaisijaltaan 22 mm:n tai 25 mm:n tangot, liitostapit ja kärki. (Rantamäki ym. 2004, 260–261.)

Varsinainen kairaus suoritetaan tunkemalla kuormitettuja tankoja vakionopeudella. Pienemmät, kuin 1 kN:n kuormitukset voidaan saada keventämällä kuormitusta hydraulisesti. Kun 1 kN:n kuormituksella kairan tunkeutuminen on pienempi kuin 5 mm/s, kairausta jatketaan kiertämällä ja seurataan montako puolikerrosta kairaa on kierretty jokaisen 20 cm:n painuman jälkeen. Jos kaira ei tunkeudu maahan kiertämällä tai se painuu alle 20 cm:ä 100 puolikierroksella, voidaan lopettaa kiertäminen ja käsin tehtävässä painokairauksessa aletaan lyömään kairaa nuijalla, kunnes painumaa ei enää tapahdu. Monitoimikairaa käytettäessä voidaan tankojen lyöminen korvata kuormittamalla ne yli 1 kN:n kuormituksella pyörittäen lyhyitä eriä kerrallaan. (Kairausopas I. 1980, 5, 6.) Nykyisissä kairausvaunuissa painokairauksen lopetus suoritetaan kevyttä koneeseen liitettyä hydraulisvasaraa käyttäen.

Kun kaira ei mene syvemmälle lyömälläkään, kairaus päätetään. Muita syitä kairauksen päättymiseen voivat olla kairausohjelmassa määrätyn syvyyden saavuttaminen, kairauksen päättymisen tiiviiseen maakerroksen, kairauksen päättymisen kiveen tai lohkareseen tai kairauksen päättymisen kiveen, lohkareseen tai kallioon. Kairauksen päättymisen syy, kairan kuormitus ja puolikerrosten lukumäärä, havainnot pohjavedestä sekä muita huomiota kairauksen aikana on aina merkittävä pöytäkirjaan. Kairauspöytäkirjan avulla saadaan tehtyä kairausdiagrammi. Nykyään monitoimikairaa käytettäessä laite kerää kairautiedot automaattisesti, ja tulokset siirretään suoraan tietokoneelle jatkotulkintaa varten. (Kairausopas I. 1980, 5, 6.) Saadusta mittausaineistosta piirretään diagrammi, yleensä mittakaavassa 1:100. Painokairauksen diagrammi on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Painokairauksen diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 3)

Diagrammin keskellä on 4 mm:ä leveä maalajipylväs, johon on merkitty maalaji joko otetun ja tutkitun maanäytteen tai kairaajan tekemien havaintojen perusteella. Pylvään vasemmalle puolelle tulokset piirtyvät, kun painuma tapahtuu pelkillä painoilla, siten että 1 cm vastaa 1 kN:n kuormaa. Pylvään oikealle puolelle tulee kiertämällä tapahtunut painuminen. Diagrammiin kuvataan 0,2 m:n painumaan tarvittavien puolikerrosten määrä. Mikäli 0,2 m:n painumaan on tarvittu yli 100 puolikerrosta, kuvaaja jätetään päästä auki ja viiva vähän yli 5 cm:n etäisyydelle pylväästä. Vastaavalla tavalla piirretään kohdilla, missä kairaaminen on tehty lyömällä. Diagrammin avoimeen päähän tulee silloin L-kirjain lyönnin merkiksi. (Jääskeläinen 2014, 249.)

6.3. Porakonekairaus

Suomen maaperän rakenne on suhteellisen yksinkertainen mutta lujuusominaisuuksiltaan vaihteleva. Suomen olosuhteissa kallioksi voidaan laskea kivimassa, joka teknisiltään ominaisuuksiltaan poikkeaa kallion päällä olevasta irtomaasta. Kallioperä Suomessa koostuu ehjästä kalliosta sekä sitä halkovista raoista. Paikoissa, jossa kallio on rikkinäinen ja rapautunut, kalliopinnan varmistaminen voi olla epävarma. Se johtuu siitä, että kallion päällä olevan maakerroksen kairausvastus voi olla hyvin tiivis tai samaa luokkaa, kuin alla olevan kallion. (Kairausopas V. 1980, 3–5.)

Tapauksessa, jossa kallio on täysin rapautunut, kallion kairausvastus voi olla jopa pienempi kuin päällä olevan maakerroksen. Porakonekairauksella kallion pinta on tavoitettu, kun keskimääräinen tunkeutumisenopeus muuttuu selvästi ja äkillisesti pienemmäksi. Kallion varmistamiseksi porakonekairausta jatketaan vielä vähintään 3 metriä. (Kairausopas V. 1980, 3–5.)

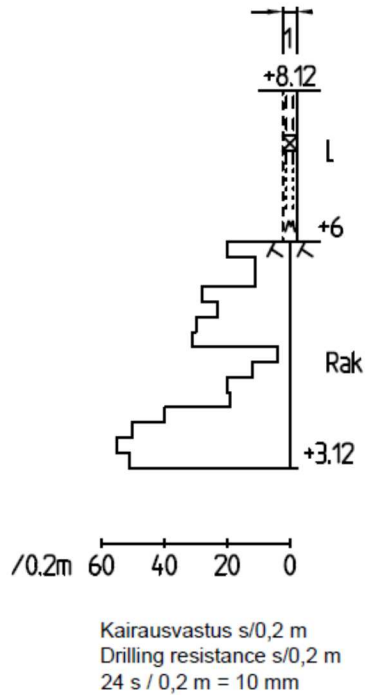
Porakonekairauslaitteistoon kuuluu nykyään hydraulinen monitoimikairayksikkö, huuhtelulaite sekä erilaisia apu- ja suojalaitteita. Tankoina käytetään kalliolouhintaporauksiin tarkoitettuja jatkotankokalustoja. Lisäksi useimmiten porakonekairauksia suoritetaan suojaputkea käyttäen. (Kairausopas V. 1980, 3, 4.)

Porakonekairausta voidaan käyttää seuraavissa tapauksissa:

- kalliopinnan määrittäminen ja kallion pintanäytteen otto
- maanäytteen otto kalliolaadun varmistamiseksi
- pohjavesiputken ja työputkien asennus muita kairausmenetelmiä tai näytteenottoa varten
- täytemaakerrosten läpäiseminen
- in-situ mittauksien suorittaminen. (Kairausopas V. 1980, 3).

On useita muuttujia, jotka voivat vaikuttaa porakonekairaustuloksiin. Sellaisia muuttujia ovat esimerkiksi poravasaran teho, huuhtelutapa tai käytetyn kaluston kunto. Porakonekairauksessa tangentit tungetaan maahan lyönnin ja pyöriksen voimalla. Kairaustangon päähän on kiinnitetty porakruunu, jonka huuhtelureiät pyritään pitämään mahdollisimman auki kairauksen ajan joko paineilmahuuhtelua tai vesihuuhtelua käyttäen. Vesihuuhtelu soveltuu parhaiten paksuja maakerroksia läpäistäessä ja suojaputkea käytettäessä. Paksujen maakerrosten läpäisemistä varten vettä tarvitaan mieluummin yli 100 l/min. Huuhteluveteen voidaan lisäksi sekoittaa esimerkiksi suopaa, bentoniittia tai polymeerejä vaippakitkan ja myös tarvittavan vedenmäärän pienentämiseksi sekä reiän seinämien tukemiseksi. Kairattaessa seurataan huuhteluilman tuloa kairausreiästä. Kun porakruunun tunkeutumisenopeus laskee selvästi, porausääni muuttuu sekä havaitaan kivipölyä huuhteluilman seassa – voidaan olettaa, että kallionpinta on tavoitettu. (Kairausopas V. 1980, 5–6.)

Kuvassa 5 on esitetty porakonekairauksen diagrammi. Varsinaista standardia porakonekairausten tulosten esittämisessä ei ole, sillä kalustot ovat erilaisia. Kairaustulosten perusteella voidaan tehdä päätelmiä kallion rakenteellisesta kiinteydestä, mutta varsinaisen kalliolaadun ja rakenteen selvittämiseksi on suoritettava kalliinäyttekairausta. (Jääskeläinen 2014, 259.)



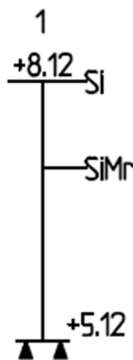
KUVA 5. Porakonekairauksen diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 5)

6.4 Tärykairaus

Tärykairausta käytetään yleensä täydentävänä apututkimusmenetelmänä sen helppokäyttöisyyden ja nopeuden takia. Kairauksessa seurataan kairan painumisnopeudessa tapahtuvia suuria muutoksia, joiden avulla voidaan tehdä alustavia päätelmiä maakerrosten rajoista. Tärykairalla voidaan esimerkiksi tieleikkausten pohjatutkimuksessa tai kaapeli-/putkilinjojen tutkimuksen yhteydessä varmistaa, ettei kaivussyvyydellä esiinny kalliota. Tärykairausta voidaan käyttää myös tapauksissa, joissa kallion pinnan muotoa on tarkoitus tarkentaa jatkosuunnittelua varten. Tutkimuksen tulokset voivat kuitenkin jäädä epävarmoiksi, mikäli tutkimusalueella kallion päällä oleva moreenikerros on kivinen ja lohkareinen. (Jääskeläinen 2014, 256–257.)

Tärykairauksessa painokairan tankoja upotetaan maahan esimerkiksi käsikäyttöisen kallioporakoneen avulla. Monitoimikairoissa tärytyslaite on yleensä aina mukana ja sen avulla voidaan painokairauksen lyöntivaihe suorittaa sillä laitteella. (Jääskeläinen 2014, 256–257.)

Kuvassa 6 on esitetty tärykairan diagrammi. Kairauksen tulos piirretään suorana viivamaisella elementillä siihen syvyyteen, mihin kaira on päässyt. Diagrammissa yleensä esitetään kaikki kairausyritykset ja täydennetään tarvittaessa muilla mahdollisesti tehdyillä havainnoilla. Jopa mataliksi jääneistä kairauksista voidaan saada hyödyllistä tietoa esimerkiksi maaperän kivisyydestä. (Jääskeläinen 2014, 257.)



KUVA 6. Tärykairauksen diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 3)

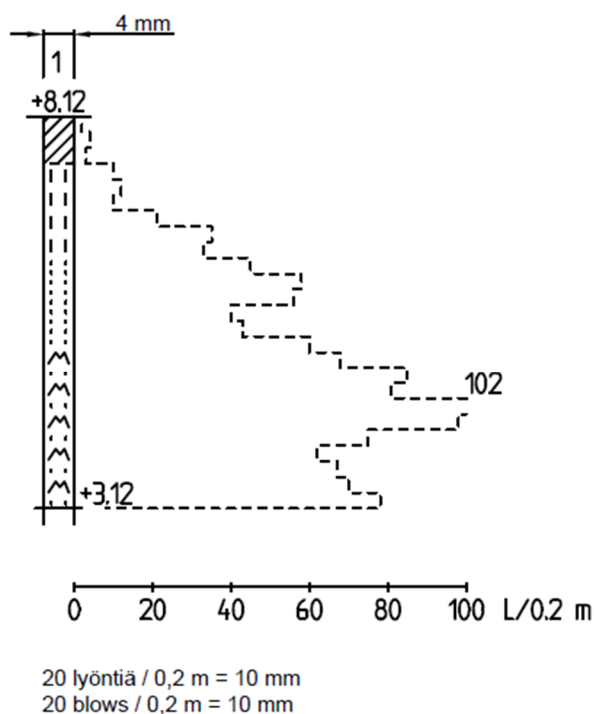
6.5 Heijarikairaus

Heijarikairaus on dynaaminen kairausmenetelmä. Euroopassa käytettyjä heijarikairausmenetelmiä ovat kevyt ja raskas heijarikairaus, DPA ja DPB (Dynamic Probing Type A ja Type B) (Kairausopas I 1980, 9). Suomessa käytetyin menetelmä on vapaapudontaheijarikairaus, ja siksi tätä menetelmää käsitellään tässä tutkimuksessa tarkemmin.

Vapaapudontaheijarikairauksen toiminta perustuu hyvälaatuisesta teräksestä valmistetun vakio-painoisen heijarin (Suomessa $63,5 \pm 1,0$ kg) putoamiseen $0,50 \pm 0,03$ m:n vakiokorkeudelta lyöntialustalle. Heijarikairauskalustoon kuuluvat heijari, kärki, tangot ja liitostapit. Tankoina käytetään putki- tai umpitankoja, joiden pituus on $1,0 \pm 0,001$ m:ä ja halkaisija $32,0 \pm 0,3$ mm:ä. Tankojen liittämiseen soveltuvat esimerkiksi M-29 irtotappeja, joissa on oikeakätinen kierre. Heijarikairauksessa suositeltava lyöntinopeus on 30 lyöntiä minuutissa, lyöntien määrä voi kuitenkin vaihdella välillä 20-60 lyöntiä minuutissa. (Kairausopas I 1980, 9.)

Heijarikairaus soveltuu parhaiten maakerrosten tiiviiden selvittämiseksi, tiiviin pohjakerroksen sijainnin selvittämiseen ja paalujen likimääräiseen tunkeutumissyvyyteen arviointiin. Heijarikairaus on toimiva menetelmä myös tapauksissa, missä painokairaus ei pääse kunnolla tunkeutumaan maahan. Heijarikairauksessa tangot tungetaan maahan pehmeän maakerroksen läpi ja kairaus aloitetaan vasta sitten, kun tunkeutumista maahan ei enää tapahdu painamalla. Kairatankoja pyöritetään vähintään metrin tunkeumavälein. Kun saavutetaan 10 m:n syvyys, tankoja pyöritetään 0,2 m:n välein. On erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, ettei kairatangot pääse vääntymään. Vääntyneet tangot suoritetaan tai poistetaan käytöstä. Kairaus päätetään määräsyyvyyteen tai se voi päättyä kallioon, kiveen/ lohkareseen. (Kairausopas I 1980, 9.)

Heijarikairauksen tulosten perusteella on vaikeaa saada luotettavaa tietoa pehmeiden savi- ja silttikerrosten geoteknisistä ominaisuuksista sekä maalajikerrosten rajoista. Heijarikairaus on kuitenkin toimiva menetelmä maakerrosten suhteellisen tiiviiden arvioinnissa ja likimääräisen kaivu-
luokan määrittämisessä karkearakeisissa maalajeissa ja moreenimaalajeissa. (Kairausopas I 1980, 9–11.) Heijarikairauksen diagrammi on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Heijarikairauksen diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 3)

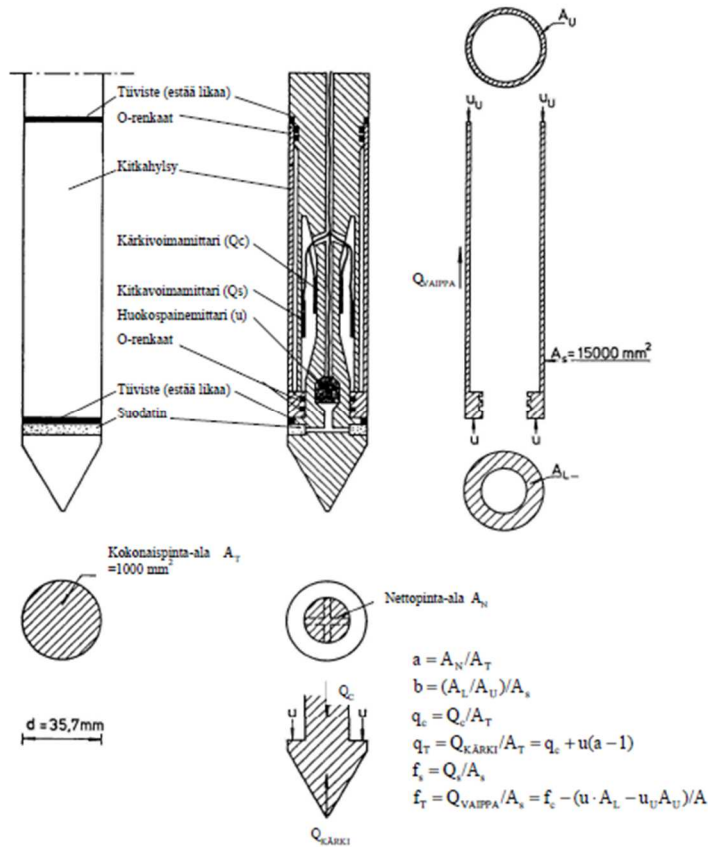
Heijarin diagrammi piirtyy kairauspylvään oikealle puolelle ja katkoviivalla, jotta se erottuu painokairauksesta. Jakamalla iskujen määrä uppoamasenttimetrien määrällä saadaan kuvaajan etäisyys pylväästä. (Jääskeläinen 2014, 255.)

6.6 Puristinkairaus

Puristinkairaus on yksi parhaimmista menetelmistä maakerrosten ominaisuuksien ja lujuusominaisuuksien selvittämiseksi (Kairausopas VI 2001, 7). Tässä tutkimustyössä ei käsitellä mekaanista CPT-kairausta, vaan keskitytään puristinkairaukseen ja CPTU-kairauksesta kehitettyyn puristinheijarikairaukseen.

Puristinkairaus soveltuu koheesiomaalajien sekä löyhien kitkamaiden tutkimiseen. Menetelmässä kairaa puristetaan $20 \text{ mm/s} \pm 2 \text{ mm/s}$ vakionopeudella maahan ja mitataan kairan kärjestä kärkivastusta, vaippakitkaa, huokospainetta ja kairausryvyyttä sähköisesti. Mittauskäyrien on oltava jatkuvia, joten mittaukset rekisteröidään jopa 0,01 m:n välein. (Kairausopas VI 2001, 34.)

CPTU-kalustoon kuuluu kairan kärki, joka muodostuu kärkikartiosta, mahdollisesta suodattimesta, kitkahylsystä ja sisäisistä mitta-antureista, kairatangoista ja puristuslaitteistosta. Kartiokärki on halkaisijaltaan 35,7 mm:ä, poikkipinta-alaltaan 1 000 mm²:ä. Kärjen kitkahylsyn ja jatkokappaleen yhteispituuden tulee olla vähintään 1 000 mm:ä. Lisäksi kärkikulman on oltava 60°. (Kairausopas VI 2001, 15–21.) Puristinkairauksessa käytettävä kärki on esitetty kuvassa 8.

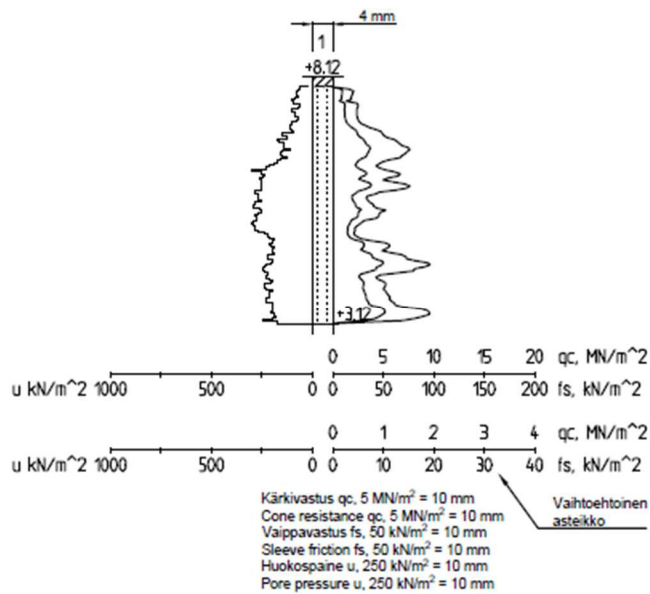


KUVA 8. Puristinkairan kärki ja sen osat (Kairausopas VI 2001, 11).

Tankoina käytetään jäykkiä ja suoria, halkaisijaltaan 35,5 mm:n kokoisia kairatankoja. Viiden ensimmäisen metri pituisten tankojen sekä liitosten taipumaksi on sallittu enintään 0,5 mm:n taipuma. Tankojen katkeamisen estämiseksi on suositeltava käyttää suojaputkea, mikäli kairausa suoriteaan hyvin pehmeissä maissa tai vedessä kairattaessa. (Kairausopas VI 2001, 20.)

Jotta kairauksesta saadaan luotettavia tietoja, kairausmaston syöttöpituuden tulee olla riittävä, että 1 m:n tankoja saadaan puristettua. Vakionopeutta ja annettuja toleransseja on noudettava erityisesti huokospainemittausta suorittaessa. Tankojen pyörittäminen tai lyöminen kairauksen aikana on ehdottomasti kielletty. (Kairausopas VI 2001, 20.)

Kuvassa 9 on esitetty puristinkairauksen diagrammi. Kairauspylvään oikealla puolella olevat käyrät kuvaavat vaippakitkat ja kärkivastuksen muutoksia. Vasemmalle puolelle piirtyvät käyrät kuvaavat maan huokospainetta sekä kairauksen aikana mitattua huokospainetta. (Kairausopas VI 2001, 43).



KUVA 9. Puristinkairauksen (CPTU) diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 3)

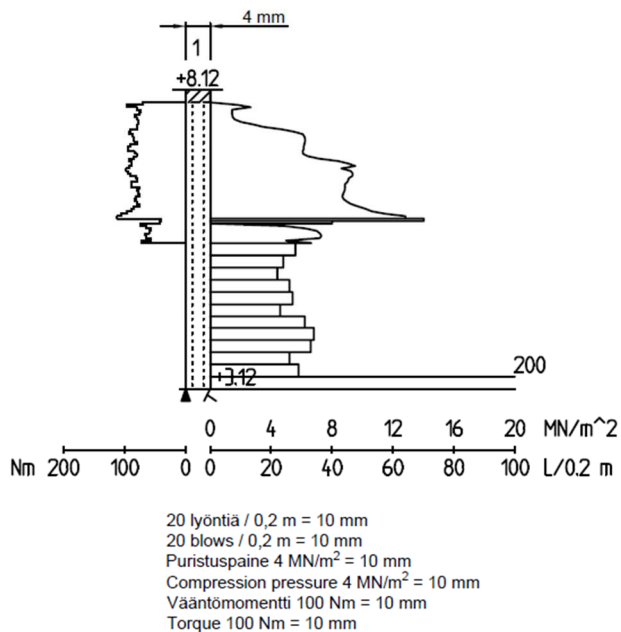
6.7 Puristin-heijari

Puristin-heijarikairauksessa on yhdistetty mekaanisen puristinkairauksen ja vapaapudotusheijarikairauksen parhaat ominaisuudet. Puristinkairaus sopii parhaiten hienojakoisiin kivettömiin maihin, mutta johtuen matalasta maksimipuristustehosta ja kärjen vaurioitumisherkyydestä, tämä menetelmä ei sovi tiiviisiin ja karkeisiin kitkamaihin. Heijarikaira on taas liian järeä pehmeiden ja löyhien maiden tutkimiseen, mutta sopii erinomaisesti keskitiiviin ja tiiviin maihin. (Kairausopas VI 2001, 59.) Näiden kahden tutkimusmenetelmien yhdistämällä, eli puristin-heijarikairalla, voidaan selvittää maakerrosten ominaisuudet koko maaperäasteikolla (Jääskeläinen 2014, 267). Puristin- sekä puristin-heijarikairauksessa on tangoston, kärkien ja tutkimusvaunujen anturoinnin kunnolla erittäin tärkeä merkitys oikeiden ja käyttökelpoisten tutkimustulosten aikaan saamiseksi.

Työn alussa alkukairauksella on avattava tiivistä pintakerrosta esimerkiksi porakonekairalla. Mikäli maa on kivetön, reiän avaus voi onnistua myös puristin-heijarikairalla. Tämän jälkeen varsinainen kairaustyö aloitetaan puristinkairauksella. Kairatankoja pyöritetään noin 12 ± 3 kierrosta minuutissa nopeudella ja myös puristetaan samanaikaisesti. Puristin-heijarikairauksessa tankoja pyöritetään jatkuvasti sekä puristin- että heijarivaiheessa. Kun puristinvaiheessa suurin käytettävissä oleva puristusvoima on saavutettu (yleensä noin 30 kN), siirrytään heijarivaiheeseen. Tässä vaiheessa tankoja pyöritetään edelleen vakionopeudella ja pudotetaan vakiotaajuudella heijaria. Heijarikairauksesta palataan taas puristinkairaukseen, kun lyöntien määrä 20 cm:n kohti laskee viiteen tai sen alle 0,4 m:n matkalla. Mikäli maakerrokset vaihtelevat tiheästi (0...2 m:n välein), ei kairaustapaa tule vaihtaa, sillä vaihtaminen voi vaikeuttaa kairaustulosten tulkintaa. Puristin-heijarikairaus tulee aina päättää heijarikairaukseen. (Kairausopas VI 2001, 61,70.)

Puristin-heijarikairauksessa käytetään normaalia kartion muotoista heijarikairan kärkeä ja kairatankoina heijarikairan jäykkiä umpitankoja. Vapaasti putoavaa heijaria pudotetaan 0,5 m:n korkeudelta lyöntitiheydellä 25...45 kertaa minuutissa. (Kairausopas VI 2001,61.) Kairaustulokset rekisteröidään automaattisella rekisteröintilaitteella ja siirretään tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. Laitte rekisteröi puristusvoiman 4–5 cm:n välein ja momentin 20 cm:n välein. (Jääskeläinen 2014, 265.) Kairaustulosten väärentämisen estämiseksi puristin-heijarikairaukset on suoritettava vähintään 2 m:n tai mikäli on käytetty paineilmaa – 5 m:n etäisyydellä muista alueella tehdyistä kaira-/näytteenottorei'istä (Kairausopas VI 2001, 69).

Kuvassa 10 on esitetty puristin-heijarikairauksen diagrammi. Diagrammissa kärkivastuksen maksimiarvo tulee olla vähintään 10 MPa ja vääntömomentin 200 Nm. Lisäksi heijarilukuna on esitettävä vähintään 100 iskua / 0,2 m.



Kuva 10. Puristin-heijarikairauksen diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 4)

Diagrammin vasemmalla puolella piirretty vääntömomentti skaalauksessa 100 Nm/ 10 mm. Pylvään oikealle puolelle piirretään kärkivastus mittakaavassa 10 mm vastaa 2 tai 4 MPa ja iskut mittakaavassa 10 mm vastaa 20 isku/ 0,2 m:n uppoamaa. (Kairausopas VI 2001, 73.)

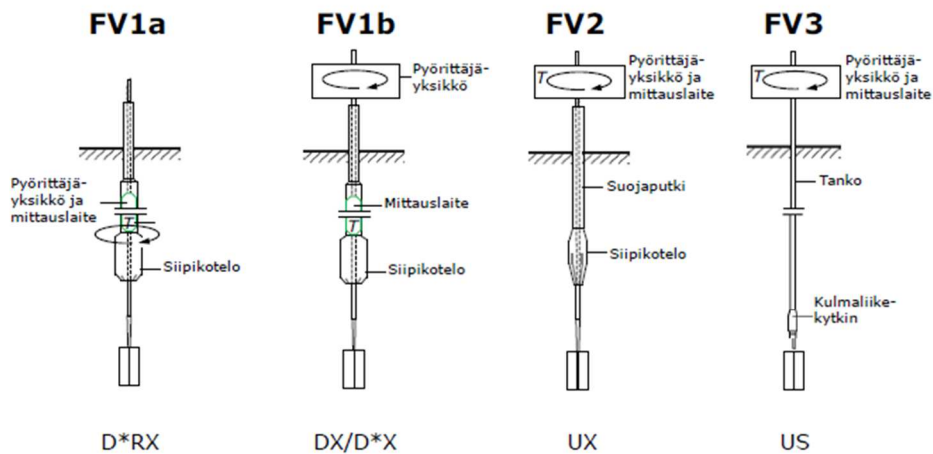
6.8 Siipikairaus

Siipikairaus tai siipileikkauskoe on tärkeä ja suosittu määrittäminen menetelmä, sillä se on ainoa tapa selvittää maaperän leikkauslujuutta kenttätutkimuksena ilman näytteenottoa (Rantamäki ym 2004, 141).

Siipikairaus soveltuu leikkauslujuuden määrittämiseen parhaiten hienorakeisissa maissa, kuten savissa, liejusavissa sekä eloperäisissä liejuissa ja maatumuneissa turpeissa. Hieno- ja keskirakeisessa siltissä leikkauslujuutta voidaan määrittää odotuksella tehdyllä siipileikkauskokeella. Siipikairan avulla voidaan lisäksi määrittää likimääräisesti lujuusarvoja maatumattomasta turpeesta ja karkeasiltistä. Lisäksi maakerroksen suhteellisia leikkausjännitys-muodonmuutos-ominaisuuksia sekä häiritty lujuus ja jäännöslujuus voidaan arvioida siipikairaa käyttäen. (Kairausopas II 2022, 10.)

Siipikairan kalusto koostuu yleensä seuraavista osista: pyörittäjäyksiköstä, vääntömomenttimittauslaitteesta, tangoista, siivestä sekä sen varresta. Lisäksi kairauksissa voidaan käyttää suoja-putkia ja siipikoteloja tankokitkan vähentämiseksi tai kulmaliikekytkintä kitkan mittausta varten. Kairauksissa siipinä voidaan käyttää pientä (55 x 110 mm²), normikokoista (65 x 130 mm²) tai isoa standardisiipiä (80 x 160 mm²). Sopivaa siipikokoa arvioidaan esimerkiksi tutkimusalueelle aikaisemmin tehtyjen painokairaus- ja puristinheijarikairatulosten perusteella. (Kairausopas II 2022, 14–15.)

Laitteistot voivat olla kokonpanoltaan joko ylhäältä tai alhaalta mittaavat. Laitteistokokonpano ja luokan valinta riippuu leikkaussyvyydestä, pohjaolosuhteista, tavoiteltavasta mittaustarkkuudesta ja luotettavuudesta. Laitteistoluokaltaan siipileikkauskokeiden tulee olla luokkaa FV1a/b tai FV2. (Kairausopas II 2022, 18–19.) Kuvassa 11 on esitetty siipileikkauskokeen laitteistoluokat -ja kokonpanot.



Laitteisto-luokka	Kokoon-pano	Vääntömomentin mittaus		Kiertokulman mittaus ^a		Suoja-putki ja siipikotelo	Kulma-liike-kytkin
		Maan-pinnalta	Siiven lähellä	Maan-pinnalta	Siiven lähellä		
FV1a	D*RX		X		X ^b	X	
FV1b	D*X		X		X	X	
FV1b	DX		X	X		X	
FV2	UX	X		X		X	
FV3	US	X		X			X

^a Maanpinnalta mitataan kiertokulma, joka sisältää myös tankojen vääntymisestä aiheutuvan kiertymän. Sitä vastoin, jos kiertokulma mitataan siiven lähellä, mitataan todellisempi siiven kiertokulma.

^b Laitteistoluokassa FV1a myös pyörittäjäyksikkö sijaitsee siiven lähellä. Muissa kokonpanoissa siiven pyörittäminen tapahtuu kiertämällä tangostoa maanpinnalta.

KUVA 11. Laitteistojen kokonpanot ja laitteistoluokat (Kairausopas II 2022, 18)

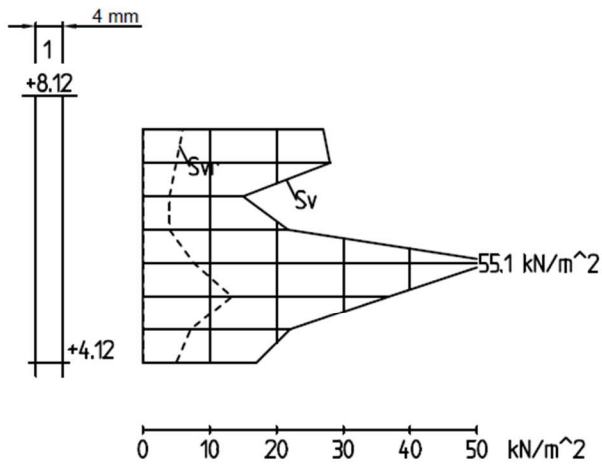
Ennen kairauksen suorittamista laitteistolle tehdään tarvittavat tarkastukset ja kalibroinnit. Tarvittaessa tutkimuspisteellä tehdään alkukairaus tai asennetaan työputki. Kun alkukairaus on tehty, siipilaitteisto painetaan mahdollisimman tasaisesti ja pystysuorassa ensimmäiselle valmiustasolle, joka on noin 280-500 mm:ä leikkaussyvyiden yläpuolella. On huomioitava, että tankojen tai putkien vääntyminen voi vaikuttaa mittaustulosten oikeudenmukaisuuteen. (Kairausopas II 2022, 22.)

Painamalla siipi ulos siipikotelosta, upotetaan se rauhallisesti leikkaussyvyteen. Siipi kierretään tasaisesti vakionopeudella niin, että kiertymisnopeus on $0,1^\circ$ sekunnissa. Siipileikkauslujuuden mittaamisen jälkeen maa häiritään ja mitataan häiritty siipileikkauslujuus. Kun huippulujuuden ja häirityn lujuuden arvot on mitattu, siipi nostetaan yläasentoon ja lukitaan. Tangot on nostettava myötöpäivään kiertäen, etteivät tangoston liitokset pääse avautumaan nostamisen aikana. Tämän jälkeen kaira voidaan työntää maahan jatkaessaan mittaukset seuraavassa mittaussyvytydessä. (Kairausopas II 2022, 22.)

Kun viimeinen leikkaussyvyys on saavutettu, siipilaitteisto nostetaan maanpinnalle ja suoritetaan tarvittavat tarkistukset ja huollot. Siipikairauksen aikana tulee kiertokulma ja vääntömomentti tallentaa automaattisesti joko mittaussyksiköllä tai piirturitallentimella. (Kairausopas II 2022, 17, 22.)

Siipikairalla mittaukset tehdään yleensä 0,5 m:n syvyysvälein. Jos kairauksia tehdään tiheämmin, tulee niitä suorittaa vierekkäisistä rei'istä vähintään 1 m:n etäisyydellä toisistaan. Mikäli pohjatutkimusohjelmassa ei ole määritetty leikkaussyvyksiä, leikkaukset tehdään 1 m:n välein. (Kairausopas II 2022, 23.)

Nykyään mittaustuloksista ei pidetä erillistä pöytäkirjaa, vaan tulokset siirretään suoraan tietokoneohjelmaan käsiteltäväksi. Esimerkki siipikairausten tuloksista on esitetty kuvassa 12.



Häiriintymättömän maan leikkauslujuus S_v , $10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ mm}$
 Shear strength of undisturbed soil S_v , $10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ mm}$
 Häirityn maan leikkauslujuus $S_{v,r}$, $10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ mm}$
 Shear strength of remoulded soil $S_{v,r}$, $10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ mm}$

KUVA 12. Siipikairauksen diagrammi (Pohjatutkimusmerkinnät 2021, 5)

Siipikairauksen diagrammissa tulokset piirtyvät oikealle puolelle niin, että häiriintymätön leikkauslujuuden tulos näkyy katkoviivalla ja häiriintynyt tulos katkoviivan oikealle yhtenäisellä viivalla. Jäännösarvoa ei diagrammissa esitetä. (Jääskeläinen 2014, 263.)

Liikenneviraston ohjeiden mukaan silttisissä maissa on suositeltava tehdä siipikairaukset odotuksella. Odotusaikana käytetään 60 min:n odotusaikaa, ellei tutkimusohjelmassa tosin sanottu. (Liikennevirasto 2015, 83.)

7 NÄYTTEENOTTO

Maalajien geoteknillisten ominaisuuksien tutkimiseen kuuluu kairauksen lisäksi myös maanäytteenotto. Laboratoriotutkimusten avulla maanäytteistä selvitetään maalaji, vesipitoisuus ja tarvittaessa vedenläpäisevyys tai lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia. Laboratoriossa tutkittujen näytteiden avulla on tarkoitus saada kattavaa ja mahdollisimman oikeata tietoa maan luonnonolosuhteista. Tarvittavien näytteiden määrään ja laatuun vaikuttavat alueen olosuhteet sekä suunniteltu kohde. Onnistuneella ja hyvin dokumentoidulla näytteenotolla on suuri merkitys geosuunnittelussa. (Kairausopas III 2023, 1.)

Näytteenottomenetelmä sekä käytettävä kalusto riippuvat valitusta näytteenottokategoriasta, joita on yhteensä 5 (kategoriat A-E). Näytteenottokategoriat määräytyvät tarvittavan laatuluokan mukaan. Tarvittava laatuluokka (1-5) valitaan sen perusteella, mitä ominaisuuksia näytteelle halutaan määrittää. Tarkemmin laatuluokat ja näytteenottokategoriat on esitetty taulukossa 2.

Ominaisuudet, jotka voidaan määrittää laboratoriossa	Maanäytteen laatuluokat				
	1	2	3	4	5
Maakerrosten tunnistus					
Maalaji (silämääräinen)	x	x	x	x	x
Maalajien kerrostumisjärjestys (likimain)	x	x	x	x	x
Maakerrosrajat karkealla tarkkuudella	x	x	x	x	
Tarkat maakerrosrajat (ml. kerrallisuus)	x	x			
Luokitusominaisuudet					
Rakeisuus (raekoko)	x	x	x	x	
Humuspitoisuus, kiintotiheys, Atterbergin rajat	x	x	x	x	
Proctor-tiiviys (tiiviysaste ja maksimitilavuuspaino)	x	x	x	x	
Vesipitoisuus	x	x	x		
Geokemialliset tutkimukset ³⁾	x	x	x		
Hydrauliset ominaisuudet ja huokoisuus					
Vedenläpäisevyys ja kapillaarisuus ²⁾	x	x			
Tilavuuspaino, irtotiheys, huokoisuus, suhteellinen tiiviys	x	x			
Lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet					
Suljettu leikkauslujuus ja häiriintymisherkkyys	x				
Leikkauslujuusparametrit (koheesio ja kitkakulma) ³⁾	x				
Muodonmuutos- ja painumaominaisuudet ²⁾	x				
Näytteenottokategoriat	A				
	B				
	C				
	D				
	E				

²⁾ Lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet, vedenläpäisevyys sekä kapillaarisuus voidaan määrittää karkearakeisille maalajeille ja moreenimaalajeille käyttäen kategorian C tai D näytteitä, jotka on tiivistetty haluttuun kuivatilavuuspainoon tai tietyllä tiivistystyöllä.

³⁾ Kemiallisista tutkimuksista riippuen myös laatuluokka 4 voi olla riittävä (kategoria D). Huom: pH:n määrittäminen tulee aina tehdä mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen (tarpeen mukaan varmistus kenttämittauksin).

TAULUKKO 1. Maanäytteen laatuluokat ja näytteenottokategoriat (Kairausopas III 2023, 10).

A-näytteenottokategoriaan soveltuvista näytteistä voidaan laboratoriossa määrittää maan lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia, sillä näissä maanäytteissä maan rakenne, kerroksellisuus, koostumus ja jännitystila ovat pysyneet muuttumattomina. Vaikka täysin häiriintymättömiä maanäytteitä on käytännössä mahdotonta ottaa, A-kategorian maanäytteet vastaavat parhaiten luonnontilaisen maan olosuhteita. (Kairausopas III 2023, 8.)

B-kategorian tavoitteena on saada näytteitä, joissa maakerrokset, rakenne ja koostumus ovat pysyneet samanlaisina, kuin luonnonmaassa. Näistä näytteistä voidaan laboratoriossa määrittää hienorakeisten maalajikerrosten vedenläpäisevyys, tiheys ja huokoisuus. (Kairausopas III 2023, 8.)

C-kategoriaan kuuluu näytteet, joissa maan kerroksellisuus ja rakenne eivät ole muuttuneet luonnonmaasta. Laboratoriossa tämän kategorian näytteistä voidaan selvittää esimerkiksi vesipitoisuus. (Kairausopas III 2023, 8.)

D-kategorian näytteenotossa tarkoituksena on saada näytteet, joissa maakerrokset ovat pysyneet muuttumattomina. Heikosta laadusta johtuen D-kategorian näytteistä ei yleensä voida määrittää luotettavasti vesipitoisuutta, mutta näyte soveltuu kuitenkin rakeisuuden, humuspitoisuuden ja Atterbergin rajojen määrittämiseen. (Kairausopas III 2023, 9.)

Kategorian E näytteistä voidaan ainoastaan likimääräisesti arvioida maalaji ja maakerroksen paksuus, sillä kaikki luonnontilaista maata edustavat ominaisuudet näissä näytteissä ovat muuttuneet. Näytteiden laatu ei myöskään riitä rakeisuuden tai vesipitoisuuden luotettavaan määrittämiseen. (Kairausopas III 2023, 9.)

Näytteenottomenetelmän valintaan vaikuttaa esimerkiksi näytteenottosyvyys, maakerroksen ominaisuudet, pohja-/orsivedenpinnan taso sekä näytteenottokategoria (Kairausopas III 2023, 11). Tarkemmin näytteenottomenetelmien soveltavuudet on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Näytteenottomenetelmien soveltavuus eri maaperäolosuhteissa (Kairausopas III 2023, 12).

Maalaji (vallitseva)	Soveltumisen arvioimisessa huomioitava	A	B	C	D
Kuivakuori-savi	Jäykkyys Lujuus	Blokki-näyte ^{a)}	Blokki-näyte ^{a)}	Kierrekaira, Koeuoppa ^{b)}	Kierrekaira, Koeuoppa ^{b)}
Savi	Jäykkyys Lujuus Sensitiivisyys Plastisuus	STI/STII/ Geonor, Blokki-näyte ^{a)}	STI/STII/ Geonor, Blokki-näyte ^{a)}	Suokaira, Putkiotin näyteputkella, Pienoismäntäotin, Koeuoppa ^{b)} , Kannuotin, (Kierrekaira) (Putkiotin) (Läpivirtausnäytteenotin)	Suokaira, Putkiotin, Kierrekaira, Läpivirtausnäytteenotin
Siltti (rakeinen)	Jäykkyys Lujuus Sensitiivisyys Plastisuus Pohja-/orsivedenpinta	Blokki-näyte ^{a)}	Blokki-näyte ^{a)}	STI/STII/Geonor, Suokaira, Putkiotin näyteputkella, Koeuoppa ^{b)} , (Kierrekaira) (Pienoismäntäotin) (Putkiotin) (Läpivirtausnäytteenotin)	Suokaira, Putkiotin, Pienoismäntäotin, Kannuotin, Kierrekaira, Läpivirtausnäytteenotin, Ikkunaotin
Hiekka	Rakeisuus Tiiviys Pohja-/orsivedenpinta	^{c)}	Blokki-näyte ^{a)}	Putkiotin näyteputkella, Suokaira, Koeuoppa ^{b)} , (Kierrekaira)	Suokaira, Putkiotin, Kannuotin, Pienoismäntäotin, Koeuoppa ^{b)} , Ikkunaotin, (Kierrekaira)
Sora	Rakeisuus Tiiviys Pohja-/orsivedenpinta	^{c)}	^{c)}	(Koeuoppa ^{b)}) (Suokaira)	Putkiotin näyteputkella, Koeuoppa ^{b)} (Suokaira) (Putkiotin) (Ikkunaotin)
Moreenit	Rakeisuus Tiiviys Pohja-/orsivedenpinta	^{c)}	(Blokki-näyte ^{a)})	Koeuoppa ^{b)}	Putkiotin, Ikkunaotin, Koeuoppa ^{b)}
Turve	Maatumisaste	(Blokki-näyte ^{a)})	(Blokki-näyte ^{a)})	Koeuoppa ^{b)} (Suokaira) (Kierrekaira)	Koeuoppa ^{b)} Suokaira (Kierrekaira)
Täyttö	Rakeisuus Tiiviys Pohja-/orsivedenpinta	^{c)}	^{c)}	Koeuoppa ^{b)}	Ikkunaotin

^{a)} Blokki-näytteellä tarkoitetaan tässä joko koeuopasta otettua näytettä (luku 6.7.2) tai suuren halkaisijan blokki-erikoisnäytteenottimia (luku 6.10.5)

^{b)} Koeuoppalla tarkoitetaan näytteenottoa koeuopan kaivuluiskasta sujettavaan astiaan (luku 6.7.1).

^{c)} Näytteenottokategorian A-B näytteitä ei yleensä oteta karkearakeisista maalajeista ja moreeneista.

8 POHJAVESITUTKIMUKSET

Pohjavesi on pohjavesivyöhykkeessä sijaitsevaa vettä, joka täyttää maa- ja kallioperän huokostilat. Pohjavedenpinnantasolla vedenpaine on yhtä suuri kuin samalla tasolla olevan vapaan ilman paine. (Kairausopas IV 1987, 4.)

Yleensä pohjavedenpinnan taso Suomessa on noin 2-4 m:n syvyydessä maan pinnasta. Riippuen maalajin veden läpäisevyydestä, pohjavedenpinta voi olla jopa 30-50 m:n syvyydellä maanpinnasta, kuten esimerkiksi sora- ja hiekkamuodostumien kohdilla. Pohjaveden taso voi vaihdella useita metrejä eri vuodenaikoina ja vuosina. Joskus pohjavettä voi muodostua varsinaisen pohjavesipinnan yläpuolelle vettä läpäisemättömän kerroksen päälle. Tällaista uutta pohjavesivarastoa kutsutaan orsivedeksi. Pohjavesi voi esiintyä myös paineellisena, jos se rajoittuu tiiviiseen kerrostumaan. (Rantamäki ym 2004, 51–53.)

Pohjavesimittausten laajuus selvitetään aina tapauskohtaisesti, koska laajuuteen vaikuttaa mm. alueen pohjasuhteet, rakennettava kohde, ympäristö ja suunnitteluvaihe. Jokaisessa rakennuskohteessa ja etenkin pohjarakentamisessa pohjavesi on hyvin vaikuttava tekijä. Mittaukset on aloitettava riittävän aikaisessa vaiheessa ennen varsinaista rakennustöiden aloittamista. Havainnot pohjavedestä tulee suorittaa 1-2 kertaa kuukaudessa, mikäli kyse on pohjaveden luonnollisten vaihteluiden selvittämisestä. Tapauksissa, joissa pohjavedenpintaa joudutaan alentamaan, havaintoja olisi tarpeen olla vuoden ajalta. (Kairausopas IV 1987, 8.)

Pohjavesimittaukset tehdään pohjatutkimuksen tai pohjarakennustyön yhteydessä oikein asennetuista havaintoputkista. Havaintoputket voivat olla joko lyhyt- tai pitkäaikaisia. Putkityyppivalintaan vaikuttaa useita tekijöitä, kuten esimerkiksi maaperäsuhteet tai käyttöajalle asetetut vaatimukset, ja valinta tulee suorittaa tapauskohtaisesti. Lyhytaikaisena havaintoputkena käytetään alaosaan rei'itettyjä teräsputkia, joista saa luotettavia havaintoja korkeintaan vuoden ajan. Pohjatutkimuksen yhteydessä lyhytaikaisia pohjavesiputkia voidaan asentaa ilman työputkea esimerkiksi painokairausreikään. Pitkäaikaiset työputket koostuvat muovirakenteisista, suodattimilla varustetuista havaintoputkesta, jotka asennetaan työputkella. Mittaukset suoritetaan yleensä 10 mm:n tarkkuudella sähköistä mittaussuotia käyttäen. (Kairausopas IV 1987, 5,8,13.)

9 KAIRAUSKALUSTO

Suomessa pohjatutkimuksissa käytetään esimerkiksi suomalaisen Geomachine Oy:n tai Geoelectric Oy:n sekä ruotsalaisen Geotech AB:n valmistamaa kairauskalustoa. Perinteistä käsikairauskalustoa käytetään nykyään vain haastavissa paikoissa, joihin kairausvaunuilla ei ole mahdollista päästä.

Kairausvaunut on luokiteltu kevyisiin, keskiraskaisiin ja raskaisiin kairauskoneisiin. Nykyään kaikissa kairausvaunuissa on sähköinen ohjausjärjestelmä sekä tallenninohjelmisto, joiden avulla koneiden käyttö, tiedonkeruu sekä tiedonsiirto on entistä helpompaa. Runsaan elektroniikan lisäämisen myötä tulee koneiden, antureiden kuntoa ja kalibrointia tarkistaa säännöllisesti. (Mäkinen 2017, 27.)

9.1 Kevyt Kairausvaunu

Geomachine Oy:n valmistama GM50 tai Geoelectric Oy:n valmistama MTG1000 on kevyeen luokan luokitettu, noin kaksi tonnia painava kairavaunu, joka sopii parhaiten painokairaukseen, siipikairaukseen sekä C-luokan näytteenottoon. Puristin-heijarikairauksia kevyellä vaunulla pystyy suorittaa ankkuroimalla koneen maahan. Vaunun teho riittää myös reikien avaamiseen porakonekairauksissa sekä pienten pohjavesiputkien asennukseen. Kallionäyttekairauksiin ja putkikairauksiin tätä vaunua ei kuitenkaan voi käyttää. Pienen painon ansiosta kone ei jätä suuria jälkiä maastoon ja lisäksi sitä voi kuljettaa henkilöauton peräkärjellä. (Mäkinen 2017, 27; Geomachine Oy 2023.) Kuvassa 13 on esitetty Insinööritoimiston Geo-Control Oy:n kairauskalustoon kuuluva GM50 kairausvaunu.



KUVA 13. Geomachine Oy:n valmistama GM50-kairausvaunu/ Geo-Control Oy

9.2 Keskiraskas kairausvaunu

Keskiraskaat vaunut ovat painoltaan noin 2500 kg – 5000 kg ja soveltuvat erinomaisesti paino-, siipi- sekä puristin-heijarikairauksiin. Lisäksi pohjavesiputkien asennus ja erilaiset näytteenotot onnistuvat tällä vaunulla. Porakonekairauksia voidaan keskiraskaalla vaunulla suorittaa alle 20 m:n syvyyteen asti. (Mäkinen 2017, 28; Geomachine Oy 2023.) Geomachinen valmistama GM75-kairausvaunu on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Geomachine Oy:n valmistama GM75-kairavaunu/ Geo-Control Oy

9.3 Raskas kairausvaunu

Raskaat kairauskoneet painavat yli 5 000kg ja ovat tarkoitettu kaikkein haastavimpiin ja raskaimpiin tutkimuksiin. Esimerkkinä on kuvassa 15 esitetty Geomachinen valmistama GM100, jolla voidaan suorittaa syviä porakonekairauksia, asentaa pohjavesiputkia ja ottaa vaativimpia maanäytteitä. Kevyissä kairauksissa raskaan kaluston käyttö ei ole taloudellisesti järkevä, varsinkin jos kairaukset voi suorittaa kevyemmällä vaunulla. Massivisuuden takia raskaat vaunut jättävät huomattavat jäljet maastoon, mutta raskaalla kalustolla kulkeminen maastossa sujuu hyvin myös haastavimmissa olosuhteissa. (Mäkinen 2017, 28; Geomachine Oy 2023.)

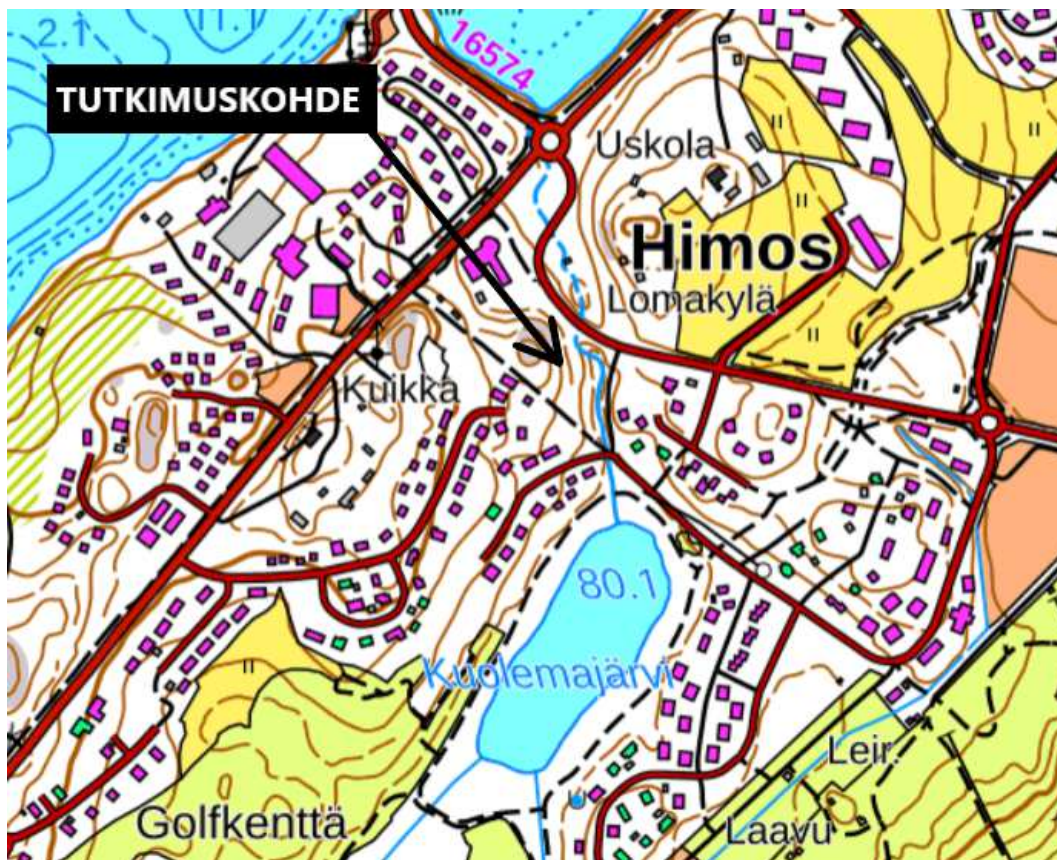


KUVA 15. Geomachine Oy:n valmistama GM100-kairavaunu/ Geo-Control Oy

10 POHJATUTKIMUSKOHDE

Insinööritoimisto Geo-Control Oy suoritti pohjatutkimusta kesällä 2022 Tobermore Oy:n toimeksiannosta Jämsän Himoksella. Alueelle oli haettu asemakaavamuutosta, joka mahdollistaisi alueelle loma-asuntoja, paikatusta sekä matkailua palvelevia liikunta- ja ravintolapalveluja. Peikonrinteen asemakaavan muutos tuli voimaan julkisella kuulutuksella 19.8.2022.

Tutkittu rakennusalue sijoittui Länsi-Himoksentien, Haapanantien ja Peikkometsäntien väliin jäävälle alueelle. Alue oli tutkimushetkellä pääosin rakentamaton, kalliainen metsikkö. Alueelle on suunniteltu rakennettavaksi uusi, pinta-alaltaan noin 3 000 m²:n ympärivuotinen monitoimihalli, jonka nimeksi tulee Villi Länsi. Rakennukseen tulevat sijoittumaan keilarata, golf- ja ammuntasimulaattorit, kuntosali sekä ravintola terasseineen. Alueelle on suunniteltu rakennettavaksi myös muita rakennuksia, joita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Pohjatutkimusta oli suoritettu alustavien arkkitehtisuunnitelmien perustella. Pohjatutkimuskohteen sijainti on esitetty kuvassa 16.



KUVA 16. Villi Länsi pohjatutkimushankkeen sijainti

Tämän hankkeen rakentamisesta vastaa Rakennusliike U.Lipsanen Naarajärveltä ja rakennesuunnittelusta sekä rakennustyövalvonnasta Sitowise Oy. Maatyöt hoitaa Jämsän Metalli ja Kuljetus Oy. Rakennuksen arkkitehtuurista on vastuussa Jyväskyläläinen Arkkitehtipalvelu Oy. Tobermore Oy on urakan tilaaja.

Opinnäytetyön teon hetkellä elokuussa 2023 alueella oli tehty jo maanrakennustyöt, louhintatyöt, perustukset sekä runkotyöt. Hallin on tarkoitus valmistua keväällä 2024.

10.1 Suoritetut tutkimukset

Ennen kairaustöiden aloittamista, alueelta selvitettiin mahdollisten maanalaisten kaapeleiden ja putkijohtojen sijainnit. Perustamisolosuhteiden selvittämiseksi suoritettiin heinä-elokuussa 2022 tulevan hallin kohdalta ja sen läheisyydeltä 12 painokairausta, 6 porakonekairausta ja lisäksi otettiin 10 häiriintynyttä maanäytettä kairauspisteistä numerot 2,3 ja 5. Suunnitelmien muututtua/ tarkennuttua pohjatutkimusta täydennettiin 3 painokairauksella, 1 porakonekairauksella ja 3 näytteenotolla. Painokairaukset oli suoritettu GM50-kairavaunulla ja porakonekairaukset sekä näytteenotot GM100-kairavaunulla. Pohjatutkimuksen tarkoituksena oli selvittää geoteknisten maakerrosten paksuus, tiiviys, kovan pohjan syvyys ja mahdollinen kallion pinta. Alueella suoritettiin myös pinta-vaaitus maastomallimittauksena takymetrilla. Kartoitus on sidottu EUREF-koordinaatti ja N2000-järjestelmiin.

Jatkosuunnittelua varten kohteesta laadittiin pohjatutkimuskartan ja maaperäleikkausten lisäksi myös pohjatutkimuslausunto. Lausunnossa käytiin läpi mm. tutkimusalueen maaperäolosuhteita, tulevan rakennuksen perustamista, rakennuksen ja tontin kuivatusta, routasuojasta, radonin torjunnasta sekä annettiin alustavat ohjeet ja arvot maanrakennuksen materiaaleille ja laadunvalvonnalle.

10.2 Maaperäolosuhteet

Rakennusalueella pintakerroksen muodosti tutkimushetkellä pääosin ohut humuskerros ja paikoin avokallio. Perusmaa alueella on otettujen ja tutkittujen näytteiden perusteella tiiviydeltään vaihtelevaa savista silttiä, tiivistä ja kantavaa silttiä, routimatonta hiekkaa ja routimatonta hiekkaisa soraa. Syvemmälle mentäessä maalaji muuttuu moreeniksi. Tehtyjen kairauspisteiden kohdilla maanpinta vaihteli noin välillä +83.1...+94.1 (N2000). Tehdyt painokairaukset päättyivät perusmaassa oleviin kiviin tai mahdolliseen kallioon noin 0,3...8,2 m:n syvyydellä maanpinnasta. Kallion pinta laski avokallioalueelta koillisen ja idän suuntaan jyrkästi. Tehdyissä porakonekairauksissa kallion pinta tuli vastaan noin 1,2...8,2 m:n syvyydellä maan pinnasta. Pohjaveden pinnasta ei oltu tehty havaintoja tutkimuksen yhteydessä.

10.3 Perustamistapa

Perustamisolosuhteet alueella oli lähtökohtaisesti hyvät, mutta haastavat johtuen maaston isoista korkeuseroista ja kalliopinnan vaihtelusta. Kuvassa 17 on nähtävissä kalliopinnan korkeuden muutokset alueella. Yhteensä louhittavaa aluetta oli noin 9 500 m³. Tehdyistä porakonekaurauksista huolimatta, kalliopinnan korkeusaseman tulkinta oli vaikeaa ja epätarkkaa.



KUVA 17. Louhintatyöt rakennusalueella maaliskuussa 2023

Tehtyjen kairauksien ja otettujen näytteiden perusteella päätettiin, että monitoimihallin kuormat on mahdollista perustaa määrätasoon kaivetun perusmaan pinnasta ja määrätasoon louhitun kallion pinnasta tehdyn täytön varaan maanvaraisanturoin. Kairauksien perustella pystyttiin arvioimaan likimääräisesti kallion louhinnan tasoa sekä kaivutasoa tulevien perustusten alle. Louhinta- ja kaivutasot esitettiin likimääräisesti maaperäleikkauksissa.

Liikuntahallin perustamisessa on kuitenkin huomioitava kallion ja maanvaraisen alueen mahdolliset painumaerot sekä tarvittaessa rakennuksessa on varauduttava liikuntasaumoihin. Perustamistapa-lausunnossa myös huomautettiin, että tulevan liikuntahallin kohdalla liikuttaessa päin Länsi-Himoksentietä ja Haapanantietä maasto putoaa jyrkästi ja niissä kohdissa suunnitelulla sijainnilla ja ehdotetulla perustamistasolla täyttökerros tulee olemaan varsin paksu. Jatkosuunnittelua varten tilaajalle toimitettiin pohjatutkimuskartan, maaperäleikkaukset sekä alustava perustamistapalausnon.

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä maaperätutkimuksen rooliin rakentamisessa, tutustua sen käytäntöön ja menetelmiin sekä näiden tietojen pohjalta luoda selkeä ja yksinkertainen selostus, josta voi olla apua alan ammattilaisille, pienrakentajille tai asiasta kiinnostuneille. Työssä käytiin läpi tavanomaisen rakennushankkeen kulkua, rakentamista sekä pohjarakentamista koskevat lainsäädännöt ja vaatimukset, yleisimmät käytetyt geotekniset menetelmät ja lisäksi tutustuttiin maaperätutkimuksissa käytettyyn kalustoon.

Lisäksi opinnäytetyössä kuvattiin vuonna 2022 suoritettua pohjatutkimusta suunniteltua liikuntahallia varten. Pohjatutkimuksen osalta tutkimusalue oli suhteellisen haastava. Tuleva rakennusalue oli laaja, maastoltaan vaihteleva ja lisäksi kallion pinta vaihteli paikoittain. Tutkimuksen alussa kairauspisteiden sijainteja jouduttiin miettimään tarkasti ja myöhemmin rakennussuunnitelmien muuttuessa alueella suoritettiin lisäkairauksia, jotta saisimme tarpeeksi kattavan kuvan tontin maaperäolosuhteista, kallion sijainnista ja sen pinnan vaihtelusta. Rakennushankkeen kaivutöiden alkamisen jälkeen suoritettiin tontilla pohjakatselmus, jossa todettiin, että porakonekairauksia olisi pitänyt suorittaa merkittävästi enemmän, jotta kallion pinnasta olisi saatu pohjatutkimusasiakirjoihin muodostettua tarkempi malli.

Tehtyjen kairauksien ja otettujen maanäytteiden perusteella liikuntahallin kuormat oli mahdollista perustaa maanvaraisesti. Suoritetun kartoituksen sekä pohjatutkimustulosten perusteella kohteesta laadittiin pohjatutkimuspiirustuksia sekä perustamistapalausunto. Näihin tietoihin pohjautuen, rakennushankkeen suunnittelu jatkui maanrakennus-, louhintatöiden ja perustusten suunnittelujen parissa.

LÄHTEET

A2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat A2. Määräykset ja ohjeet 2002. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen suunnittelijoista ja suunnitelmista, annettu 8 päivänä toukokuuta 2002. Hakupäivä 10.4.2023. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/10970-a2.pdf>

B3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista, annettu 25 päivänä syyskuuta 2003. Hakupäivä 11.4.2023. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/17075-B3s.pdf>

Geomachine Oy 2023. Geotekniset kairavaunut. Hakupäivä 26.5.2023. <https://geomachine.fi/maaperatutkimus/geotekniset-kairavaunut/>

Junnonen, Juha-Matti & Kankainen, Jouko 2020. Rakennuttaminen. 6. päivitetty painos. Vaasa. Rakennustieto Oy.

Jääskeläinen, Raimo 2014. Geotekniikan perusteet. Porvoo: Bookwell Oy.

Kairausopas I 1980. Painokairaus, tärykairaus ja heijarikairaus. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

Kairausopas II 1999. Siipikairaus. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

Kairausopas II 2022. Siipileikkauskoe. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

Kairausopas III 2023. Näytteenotto geoteknisiä tutkimuksia varten. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

Kairausopas V 1986. Porakonekairaus. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

Kairausopas VI 2001. CPTU/ puristinkairaus ja puristin-heijarikairaus. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

Liikennevirasto 2015. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Hakupäivä 19.4.2023. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120992/lo_2015-10_978-952-317-172-5.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mäkinen, Tero 2015. Pohjatutkimukset vaativissa erityisolosuhteissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Hakupäivä 20.5.2023. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/24880>

Perttilä, Heikki & Sätälä, Heikki 1992. Rakentamistalous 2. Rakennuttaminen. Karisto Oy

Rakentaja.fi 2011. Lait, määräykset ja ohjeet. Hakupäivä 16.4.2023. https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8510/lait_ja_maaraykset.htm

Rakentaja.fi 2021. Pohjatyöt. Hakupäivä 21.4.2023. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/12045/pohjatyot.htm>

Rantamäki, Martti, Jääskeläinen, Raimo & Tammirinne Markku 2004. Geotekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy

RT 10-10619 1996. Asuinrakennushankkeen pohjatutkimus ja pohjarakennussuunnittelu. Ohjetiedosto.. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 18.4.2023. <https://rt.rakennustieto.fi/>. Vaatii käyttäjälisenssin.

RT 10-11222 2016. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen osapuolet. Ohjeet. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 3.2.2023. <https://rt.rakennustieto.fi/>. Vaatii käyttäjälisenssin.

RT 10-11224 2016. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Ohjeet. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 14.3.2023. <https://rt.rakennustieto.fi/>. Vaatii käyttäjälisenssin.

RT 103032 2019. Pohjarakennesuunnittelun tehtäväluettelo GEO18. Ohjeet. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 17.5.2023. <https://rt.rakennustieto.fi/>. Vaatii käyttäjälisenssin.

RT RakMK-21753 2018. Pohjarakenteiden suunnittelu. Säännökset. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 9.4.2023. <https://rt.rakennustieto.fi/>. Vaatii käyttäjälisenssin.

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL 1986. RIL 166 Pohjarakenteet. Hanko: Hangon Kirjapaino Oy.

Ympäristöministeriö 1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Hakupäivä 16.4.2023. <https://ym.fi/maan-kaytto-ja-rakennuslaki>

Ympäristöministeriö 2014. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 465/2014. Hakupäivä 23.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140465>

Ympäristöministeriö 2015. Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaatimusluokista YM1/601/2015. Hakupäivä 11.9.2023.

LIITTEET

Liite 1 Pohjatutkimuskartta

Liite 2 Maaperäleikkaukset A-A, B-B, C-C, D-D

Liite 3 Maaperäleikkaukset 1-1, 2-2, 3-3

Liite 4 Maaperäleikkaukset 4-4, 5-5, 6-6, 7-7, 8-8

