

Antti Sarjanoja

**MAAPERÄN KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVON MÄÄRITTÄMINEN
MAAPERÄTUTKIMUKSEN PERUSTEELLA EC7:N MUKAISESTI**

**MAAPERÄN KANTOKESTÄVYYDEN MITOITUSARVON MÄÄRITTÄMINEN
MAAPERÄTUTKIMUKSEN PERUSTEELLA EC7:N MUKAISESTI**

Antti Sarjanoja
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, rakennesuunnittelu

Tekijä(t): Antti Sarjanoja

Opinnäytetyön nimi: Maaperän kantokestävyyden mitoitusarvon määrittäminen maaperätutkimuksen perusteella EC7:n mukaisesti.

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Determination of geotechnical bearing capacity based on soil exploration in accordance with EC:7.

Työn ohjaaja(t): Vesa Kallio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 41 + 10 liitettä

Vuoden 2014 jälkeen tapahtuva maaperätutkimus sekä maaperän kantokestävyyden mitoitus toteutetaan Eurokoodin 7 antamin ohjein. Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä maaperätutkimukseen ja maaperän kantokestävyyden mitoitukseen eurokoodin ohjeiden mukaisesti. Tarkoituksena oli kehittää laskentapohja maaperän kantokestävyyden ja painumien määrittämiseen.

Työtä varten haettiin tietoa maaperätutkimusta koskevista standardeista, RIL-julkaisusta sekä geoteknistä suunnittelua koskevasta eurokoodista. Laskentapohja laadittiin tilaajan toiveesta Google sheets -ohjelmalla. Laskentapohjalla voidaan määrittää maaperän kantavuus sekä perustuksen painuman arvot annettujen lähtötietojen perusteella avoimissa ja suljetuissa olosuhteissa.

Työn aikana todettiin, että laadukkaan maaperätutkimuksen perusteella maaperän kantavuus voidaan määrittää paremmin ja tämän lisäksi luotettavasti määritetyn maaperän kantavuuden avulla perustusten koko voidaan optimoida suunnitteluvaiheessa. Näin saadaan aikaan säästöjä rakentamisessa perustusvaiheen töissä. Lisäksi havaittiin, että pientalokohteiden pohjatutkimusraporteissa maaperän kantavuuksia esitetään suurilla varmuuksilla. Tämä saattaa aiheuttaa sen, että rakennuksiin tehdään liian leveitä perustuksia, minkä myötä kustannukset kasvavat perustusvaiheen töissä.

Opinnäytetyössä laadittiin laskentapohja, jota tullaan käyttämään tilaajayrityksessä osana perustussuunnittelua. Opinnäytetyössä esitetty teoria antaa kattavan tietopohjan käyttää laadittuja laskentapohjia. Opinnäytetyössä käsiteltiin ainoastaan maanvaraisesti perustettavien rakenteiden kantavuuksien määrittämistä. Ohjeeseen ei sisälly tietoa eikä ohjeita paalujen kantavuuden määrittämiseksi.

Asiasanat: Maaperätutkimus, geotekniikka, geotekninen kantokyky, painumamitoitus

ABSTRACT

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

Author(s): Antti Sarjanoja

Title of thesis: Determination of Geotechnical Bearing Capacity Based on Soil Exploration in Accordance with EC:7.

Supervisor(s): Mr. Vesa Kallio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Number of pages: 41 + 10 appendices

After 2014 soil surveys and the dimensioning of the bearing capacity of the soil are implemented in accordance with the instructions issued by Eurocode 7. The target of the thesis was to get orientate with soil research and the dimensioning of soil bearing strength in accordance with the guidelines of the Eurocode. The second target was to develop a calculation table for determining soil bearing capacity and subsidence.

For the thesis, information was sought from standards for soil research, RIL-manuals and the Eurocode for geotechnical design. The calculation table was compiled at the request of the subscriber using Google sheets. The calculation basis can be used to determine the load-bearing capacity of the soil and the values of foundation subsidence on the basis of the given initial data in open and closed conditions.

It was found during the work that on the basis of high-quality soil research, the bearing capacity of the soil can be better determined, and in addition, the size of the foundations can be optimized at the design phase with the help of a reliably determined soil bearing capacity. This results in savings in the foundation works. Besides, the value of soil bearing capacity in soil research reports of detached houses found to be presented with high certainty. This may cause the foundations in the buildings to be too wide and increase the cost of the foundation phase work.

In the thesis, a calculation base was prepared, which will be used in the client company as part of the foundation planning. The theory presented in the thesis provides a comprehensive knowledge base to be used the prepared calculation bases. The thesis dealt only with the determination of the load-bearing capacity of structures to be established on the ground. The instructions do not contain information or instructions for determining the load-bearing capacity of piles.

Keywords: Soil research, geotechnics, geotechnical bearing capacity,

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	MAAPERÄN GEOTEKNISEN KANTOKESTÄVYYDEN MÄÄRITYKSEEN TARVITTAVAT LÄHTÖTIEDOT JA NIIDEN HANKKIMINEN.....	7
2.1	Kantokestävyyden määrittämiseen tarvittavat lähtötiedot.....	7
2.2	Pohjatutkimusmenetelmät	7
2.3	Maalajitteiden nimien ja rakeisuuksien määrittäminen.....	11
2.3.1	Maalajin määrittäminen Suomalaisen geoteknisen maalajiluokituksen perusteella	12
2.3.2	Maalajin määrittäminen raekoostumuksen nojalla Eurokoodin mukaisesti.....	13
3	KANTAVUUSLASKELMAT EC7:N MUKAISESTI.....	15
3.1	Murtovyöhyke	15
3.2	Painotetut keskiarvot kitkakulmista ja ominaispaineista	16
3.3	Murtorajatilan (MRT) laskenta avoimissa olosuhteissa.....	16
3.4	Murtorajatilan (MRT) laskenta suljetuissa olosuhteissa.....	19
4	KOKOONPURISTUVUUS JA PAINUMAMITOITUS.....	21
4.1	Maan kokoonpuristuminen ja painuminen	21
4.2	Jännitysten jakautuminen maaperässä 2:1-menetelmän mukaan.....	22
4.3	Painumalaskenta konsolidaatiopainumamenetelmällä	23
4.4	Painuman likimääräinen laskenta kokoonpuristuvuuden perusteella.....	26
4.5	Painumien raja-arvot	26
5	KANTAVUUSLASKENTAPOHJA JA ESIMERKKILASKELMAT	28
5.1	Kohteen Sorsajahdintie 3 lähtötiedot.....	28
5.2	Kohteen Sorsajahdintie 3 kantavuuslaskelma	29
5.3	Kohteen Sorsajahdintie 3 painumalaskelma.....	31
5.4	Koheesiomaan kantavuuslaskelma	35
5.5	Saven painuma kosteuspitoisuuden perusteella	36
6	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	41
	Liite 1. Sorsajahdintie 3 pohjatutkimusraportti	

1 JOHDANTO

Vanha kotimainen rakentamismääräyskokoelma, jonka pohjalta pohjarakennesuunnittelua aiemmin tehtiin, kumottiin vuonna 2014. Rakentamismääräyskokoelman tilalle asettui eurokoodi 7: geotekninen suunnittelu. Vuoden 2014 jälkeen tapahtuva kantokestävyyden mitoitus pitäisi pohjautua eurokoodissa annettuihin menetelmiin. (1, s. 5.)

Perustussuunnittelua tehtäessä käsiteltäväksi on tullut monenlaisia pohjatutkimuksia, joissa kantavuusarvoja ei säännönmukaisesti ole ilmoitettu yhdenmukaisella tavalla, joten tarvetta eurokoodin mukaisen kantavuusmitoituksen tarkasteluun selkeästi on. Lisäksi perustussuunnittelijan työssä tapahtuvassa pohjatutkimusraporttien tarkastelussa on tullut vastaan raportteja, joissa tiiviiden maiden kantavuuksiksi on annettu epäilyttävän pieniä kantavuuksia. Tällaisista raporteista on herännyt ajatus selvittää, kuinka suuria varmuuksia pientalokohteiden kantavuusarvot yleensä sisältävät.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä eurokoodin mukaiseen kantokestävyyden määrittämiseen ja luoda edellytykset määrittää maaperän kantokestävyys maaperätutkimuksen ja eurokoodin antamien menetelmien avulla tavanomaisissa pientalokohteissa. Tavoitteena on myös saavuttaa maaperän kantokestävyyden mitoituksesta sellainen ymmärrys, jolla perustussuunnittelijan työssä osaa arvioida vastaantulevien pohjatutkimusten luotettavuutta.

Työssä perehdytään eurokoodin sisältöön sekä maaperätutkimukseen. Aineistona käytetään saatavilla olevaa kirjallista materiaalia, oppimateriaaleja sekä aiemmin laadittuja, havainnollistavia pohjatutkimuksia.

Työn tilaajana toimii A-Perustus Oy. A-Perustus Oy on valtakunnallisesti toimiva perustus- ja betonirakentamisen toimija. Yritys tuottaa betonirakentamisen palveluja alkaen omakotitalokohteista aina suuriin teollisuushankkeisiin asti. (2.)

2 MAAPERÄN GEOTEKNISEN KANTOKESTÄVYYDEN MÄÄRITYKSEEN TARVITTAVAT LÄHTÖTIEDOT JA NIIDEN HANKKIMINEN

Maaperän geoteknisen kantokestävyyden määrittämiseen tarvitaan tietoa maaperästä. Maaperän ominaisuudet, pohjaveden pinnan korkeus, maa-aineksen rakeisuus, tiiveys sekä maan kerrospaksuudet ovat keskeistä lähtötietoa määrittämisessä. Lisäksi kantokestävyyttä määriteltäessä tarvitaan tietoja rakennettavasta rakenteesta, rakenteen malli ja mittatietoja. (3, s. 240.)

2.1 Kantokestävyyden määrittämiseen tarvittavat lähtötiedot

Maaperän kantokestävyyden määrittämisessä tarvittavien lähtötietojen saamiseksi rakennettavalle alueelle tulee tehdä maaperätutkimus. Tutkimuksesta tehtävän raportin tulee sisältää tutkimuksen tekijän tiedot, tutkimusajankohta sekä tutkimustapa. Tutkittavasta kohteesta tulee esittää historia-tiedot, maaperän ominaisuudet ja pohjaveden esiintyminen, pintavaaitustiedot, radonin esiintyvyyss-tiedot, tieto maaperän pilaantumisesta sekä maaperän routivuusominaisuudet. (3, s. 236.)

Pohjatutkimuksen keskeisin tavoite on selvittää rakennuspaikan maaperäolosuhteet. Rakennettavan rakennuksen tai muun rakenteen perustaminen ja tarvittavat pohjanrakennustyöt suunnitellaan ja toteutetaan pohjatutkimuksen tiedoilla. (3, s. 240.)

2.2 Pohjatutkimusmenetelmät

Maaperästä saadaan tietoja erilaisilla kairausmenetelmillä. Luvussa 2.2 esitellään yleisesti Suomessa käytettäviä kairausmenetelmiä. Yleisimmin käytettyjä kairautapoja ovat

- painokairaus
- heijarikairaus
- porakonekairaus
- siipikairaus
- puristinkairaus
- puristinheijarikairaus. (3, s. 243.)

Kuvassa 1 on esitetty maaperän erilaisten ominaisuuksien selvittämiseen parhaiten soveltuvat kairautavat. (3, s. 245.)

Kairausmenetelmän pääasiallinen käyttötarkoitus <div> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> </div>	Selvitettävä seikka	Kallion pinnan sijainti	Tiiviin pohjakerroksen sijainti	Tiivydeltään erilaisten maakerrosten rajat	Maakerrosten lujuus likimäärin	Maakerrosten lujuus tarkasti	Maakerrosten tiiviys likimäärin	Maalajiryhmä	Lyöntipaaluipituuden arviointi
		Kairausmenetelmät							
Painokairaus		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Heijarikairaus		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Puristinkairaus			<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siipikairaus						<input checked="" type="radio"/>			
Tärykairaus		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Porakonekairaus (paineilmakairaus)		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>						<input type="radio"/>

KUVA 1. Kairausmenetelmien käyttötarkoituksia (3, s. 243.)

Paino, heijari sekä puristinkairaus ovat parhaiten soveltuvia kairaustapoja selvittämään maaperän tiiveystilaa. Puristin ja painokaira ovat ominaisuuksiltaan parhaita selvittämään maalajirajojen sijaintia. Siipikaira on ainoa kairaustapa, jolla voidaan selvittää maan leikkauslujuus, karkeata tietoa leikkauslujuudesta saa paino- ja puristinkairauksista. Mikäli maaperä osoittautuu sellaiseksi, että rakennettava kohde on perustettava paalujen varaan, heijarikairauksella voidaan selvittää lyöntipaalujen uppoamispuite. (3, s. 243.)

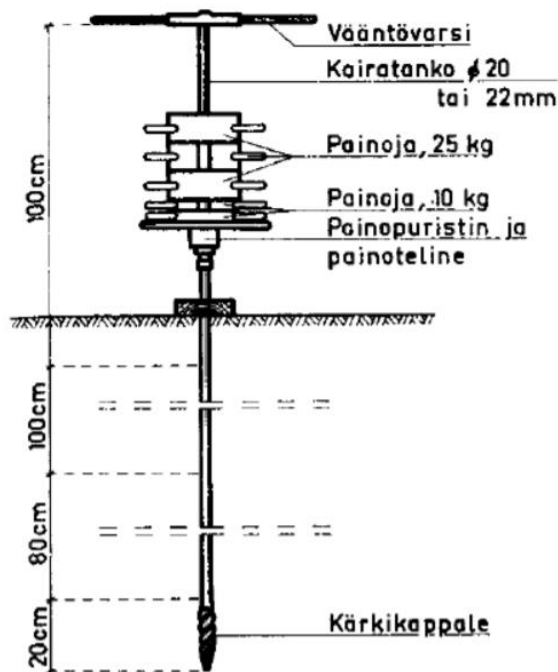
Porakonekairauksella voidaan selvittää luotettavasti kalliopinnan sijainti, jota ei muilla kairaustavoilla voida tehdä. Porakonekairalla porataan oletettua kalliota niin syvään, että epäily mahdollisesta kivistä tai lohkarkeesta voidaan sulkea pois. (3, s. 270.)

Puristin-heijarikairaus on yleistynyt viime vuosien aikana Suomessa sen antamien tulosten tarkkuuden vuoksi, mutta pienissä tavanomaisissa omakotitalokohteissa se ei kuitenkaan ole vielä syrjäyttänyt painokairausta. (3, s. 270.)

Painokairaus

Suomen maaperän parhaiten soveltuva ja eniten käytetty menetelmä on painokairaus. Painokaira voi toimia pääasiallisena tutkimusvälineenä, kun tavoitteena on saada tietoa tiiviin pohjakerroksen sijainnista ja selvittää eri tiiviyssasteissa olevien maakerrosten rajoja ja likimääräistä maakerrosten tiiviyttä. Painokairaustutkimuksella saa toissijaista tietoa myös kalliopinnan sijainnista, maakerrosten likimääräisestä lujuudesta sekä paalukohteissa tarvittavasta lyöntipaalupituuksista, mutta tietojen varmistamiseksi tarvitaan muita kairausmuotoja. (3, s. 242.)

Painokairan perusajatus selviää parhaiten katsomalla kuvaa 2. Kaira koostuu kierteellisestä kärkikappaleesta, metrin pituisista kairatangoista, jotka ovat 22 tai 25 mm paksuja, sekä painoista ja kiertyöyksiköstä. Kuvan kaltaista laitetta ei käytettäne enää nykyaikana, mutta kairaus tulosten merkitseminen ja painojen käyttö perustuvat tähän alkuperäiseen kairauslaitteeseen, joten sen toiminta on hyvä tuntee painokairausta käsiteltäessä. Nykyään kairauslaitteet ovat tela-alustaisia kairausvaunuja, jotka tallentavat tuloksensa suoraan digitaaliseen muotoon. (3, s. 246.)



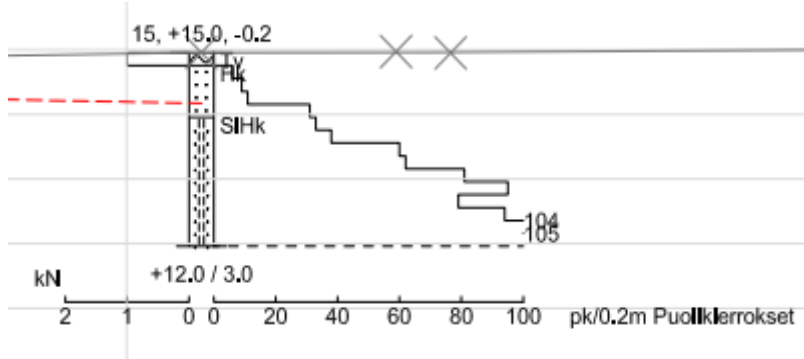
KUVA 2. Alkuperäinen painokairauslaite (3, s. 246)

Tarkoitus on kairattaessa mitata sitä minimipainomäärää, jolla kaira painuu. Kun kaira ei painu täydellä 100 kg:n kuormalla, kairaa aletaan kiertää. Kierrokset mitataan puolikiirroksina jokaista

painunutta kahtakymmentä senttimetriä kohden (pk/0,2 m). Kairauksen tavoittaessa tiiviin maakerroksen kairan uppoaminen hidastuu. (3, s. 243.)

Painokairalla tavoitellaan tiivistä maakerrosta tai kalliopintaa. Tiiviinä maana voidaan pitää maakerrosta, jossa kairaa kierretään yli sata puolikierrosta kahdenkymmenen sentin uppoamaa kohden. Kun tiivistä kerrosta on kairattu sellainen matka, ettei ole syytä olettaa pehmeämpiä kerroksia enää ilmenevän, painot poistetaan ja kairaa lyödään tarkoitukseen tehdyllä nuijalla. Kairaus on päättynyt, kun kaira ei painu edes lyömällä. Lopuksi kairatangot nostetaan ylös. Mikäli kaira uppoaa lyömisien vaikutuksesta tiiviin kerroksen läpi, on kairausta jatkettava. (3, s. 249.)

Kairaustuloksista piirretään diagrammi, jossa esitetään tutkimuksesta saadut tiedot ja havainnot. Keskipylväässä kerrotaan piirustusmerkinnällä, mikä maalaji kyseisessä kerroksessa on esiintynyt. Diagrammin keskellä ilmoitettu maalaji määritetään maanäytteiden ja laboratoriotutkimusten perusteella. Käyrää piirretään keskipylvään vasemmalle puolelle, jos kaira on painunut pelkillä painoilla. Mitä lähempänä viiva on keskipylvästä, sen pehmeämpää maa on. Keskipylvään oikealle puolelle piirretään kairattaessa puolikierrokset jokaista painunutta kahtakymmentä senttimetriä kohden. (Kuva 3.)



KUVA 3. Esimerkki painokairausdiagrammista

Kairauksen päättymismerkit ja maalajien omat piirustusmerkit on esitetty kuvassa 4. Kairauksen päättymispisteeseen merkitään aina oletettu päättymistapa. (3, s. 249.)

MAALAJIMERKINNÄT Symbols for soil types

(Geotekninen maaluokitus)
Merkinnöistä käytetään ensisijaisesti
oikealla puolella esitettyjä maalajimerkintöjä.

(According to Finnish geotechnical soil classification)
It is suggested to use primarily the soil symbols
given on the right side of the table.

Maalajiryhmä Soil group	Maalajit Soil types	Värit Colours
	Humusmaa Organic soil	Hm
	Turve Peat	Tv
	Lieju Mud, ooze	Lj
	Savi Clay	Sa
	Siltti Silt	Si
	Hiekka Sand	Hk
	Sora Gravel	Sr
	Silttimoreeni Silty till	SiMr
	Hiekkamoreeni Sandy till	HkMr
	Soramoreeni Gravelly till	SrMr
	Kiviä Cobbles	Ki
	Lohkareita Boulders	Lo
	Kivi tai lohkar Stone or boulder	X läpiporattu*) hole drilled through*)

*) merkin korkeus osoittaa lohkarren koon

*) the size of the symbol corresponds to the size of the boulder

MAALAJI RAJAT Boundaries for soil types

	Maanpinta, vesialueilla pohjan pinta Ground surface, offshore bottom
	Vesipinta Water table
	Tutkimustulosten perusteella arvioitu maalajiraja Interpreted boundary of soil type
	Tutkimustulosten perusteella arvioitu kalliopinta Interpreted bedrock surface
	Todettu kalliopinta Verified bedrock surface

KAIRAUSTEN PÄÄTTYMINEN Termination of soundings or borings

	Kairaus lopetettu määräsyvyyteen Sounding terminated at the given depth
	Kairaus päättynyt tiiviiseen maakerrokseen Sounding terminated at dense soil layer
	Kairaus päättynyt kiveen tai lohkareseen Sounding terminated at an estimated cobble or boulder
	Kairaus päättynyt kiilautumalla kivien tai lohkariden väliin Sounding terminated with wedging between stones and boulders
	Kairaus päättynyt kiveen, lohkareseen tai kallioon Sounding terminated at cobble, boulder or bedrock contact
	Kairaus päättynyt kallioon, varmistettu kallio Sounding terminated at bedrock contact, verified rock

KUVA 4. Kuvassa esitetään painokairausdiagrammeissa esitettävät maalajimerkinnät, kairauksen lopetusmerkinnät sekä maalajirajamerkinnät (4, s. 5)

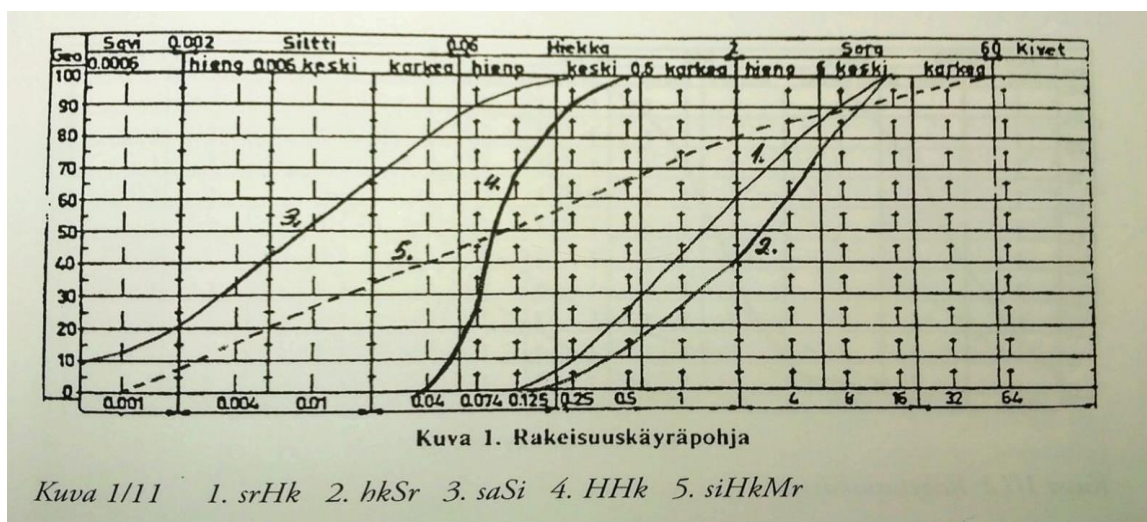
2.3 Maalajitteiden nimien ja rakeisuuksien määrittäminen

Maaperän kantavuuksia määritettäessä on syytä tuntea maalajeille tyypilliset ominaisuudet ja käyttäytymistavat. Maa-ainekset on jaettu maalajitteisiin, jotka määritellään raekoon mukaan. (3, s. 20.)

Karkearakeiset maalajitteet esiintyvät avoimissa olosuhteissa, näissä maalajeissa kitkaominaisuus on vallitsevampi. Karkearakeisia kitkamaalajitteita ovat moreeni, sora (Sr) ja hiekka (Hk). Hienoraakeisiin maalajitteisiin kuuluvat siltti (Si), savi (Sa) sekä eloperäiset lajitteet kuten turve. (3, s. 20.)

Maalajimäärittystä varten maanäyte on seulottava. Seulonnalla saadaan selville maanäytteen rakeisuusjakauma yli 64 mm:n raekoosta aina hienoainesrajaan 0,063 mm:n asti. Alle 0,063 mm

raekoon hienoaineksen koostumuksen ja rakeisuuden määrittämiseen tarvitaan välillinen areometri-menetelmä. Tässä menetelmässä maa-aines sekoitetaan mitta-astiassa nesteeseen ja aletaan mitata nesteen tiheyden pienenemistä ajan kuluessa. Tiheys pienenee, koska maa-ainesrakeet laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta mitta-astian pohjalle. Stokesin lain mukaan isommat rakeet vajoavat nesteessä nopeammin kuin pienet, ja tätä lakia soveltamalla voidaan määrittää hienoa-ineksen rakeisuusjakauma. Areometrikokeesta saatu käyrä sovitetaan seulonnasta saatuun käyrään. Tulosten perusteella voidaan piirtää rakeisuuskäyrä, joka kattaa koko rakeisuusjakauman. Rakeisuuskäyrää lukemalla voidaan määrittää maalaji. (kuva 5.) (3, s. 30.)



KUVA 5. Kuvassa rakeisuuskäyriä sekä sen perusteella nimettyjä maalajeja (3, s.24)

2.3.1 Maalajin määrittäminen Suomalaisen geoteknisen maalajiluokituksen perusteella

Suomessa yleisesti maalajin päänimien määrittämiseen on käytetty d_{50} -menetelmää, jossa maalaji saa päänimensä sen mukaan, minkä lajitteen kohdalla rakeisuuskäyrä on 50 %:n viivalla. Maalaji saa lisänimen, mikäli se sisältää yli 30 % eri raekoon maalajitetta kuin päälaajitetta. Lisänimiä annetaan vain yksi. Jos säännön mukaan voisi valita kaksikin lisänimeä, valitaan hienorakeisempi lisänimi. Poikkeuksia sääntöön on saven, eloperäisen aineksen sekä Suomessa esiintyvän moreenin kohdalla. (3, s. 23.)

Maalaji saa lisänimen savinen, jos savea on yli 10 % maanäytteen määrästä. Jos maa-aines sisältää savea yli 30 %, maalaji saa nimen liha savi (laSa) ja yli 50 % savipitoisuudella nimen lihava savi (liSa) (3, s. 25.)

Moreeni nimi vaatii maanäytteeseen sekä 5 % hienoainesta että 5 % soraa. Moreeni nimelle annetaan aina myös tarkenne, moreeni on aina keskimääräisen raekokonsa mukaan joko siltimoreeni (SiMr), hiekkamoreeni (HkMr) tai soramoreenia (SrMr). Myös moreeni saa lisänimen, jos se sisältää yli 30 % päälaajitteesta poikkeavaa maalajia (esim. srHkMr). (3, s.24.)

Lisänimi liejuinen annetaan maalajin sisältäessä 2–6 % eloperäistä maalajia (esim. ljSa). Jos eloperäistä maalajia on näytteessä yli 20 %, näyte nimetään liejuksi (Lj). (3, s.26.)

Kaivuutöitä ja paalutusta ajatellen maalajin nimeämisessä on syytä mainita näytteenotto paikalla havainnoitu kivisyys ja lohkaraisuus. Kiven halkaisijamääritelmä on 60–600 mm. Kivi määritellään lohkareeksi sen halkaisijan ollessa yli 600 mm. Maalaji määritellään kivettömäksi tai lohkarheettomaksi kivipitoisuuden ollessa alle 10 %, kiviseksi tai lohkariseksi kivi-, tai lohkaripitoisuuden ollessa 10–30 %, kivikoksi kivipitoisuuden ollessa yli 50 % ja louhikoksi lohkaripitoisuuden ollessa yli 50 %. (3, s. 26.)

2.3.2 Maalajin määrittäminen raekoostumuksen nojalla Eurokoodin mukaisesti

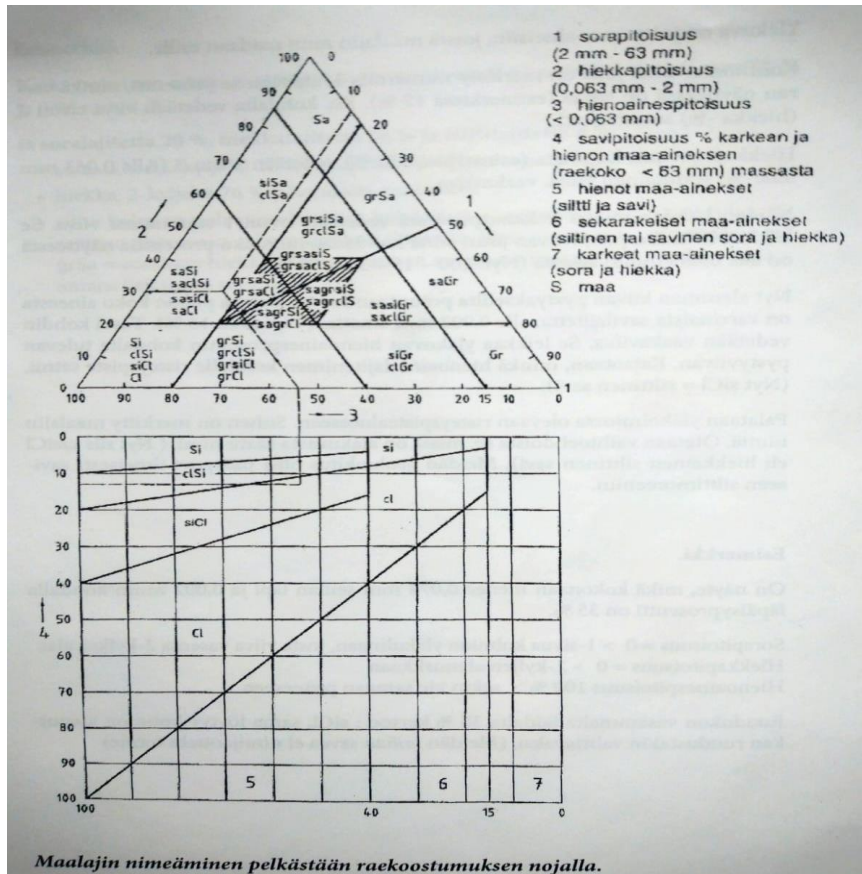
Eurokoodissa maalajitteet ovat lyhennetty englannin kielestä. Maalajitteita tulkittaessa onkin oltava selvillä, onko maalaji nimetty suomalaisella vai eurokoodinmukaisella menetelmällä sekaannusten välttämiseksi. Englanninkieliset lyhenteet ovat

- lohkare = boulder (Bo)
- kivet = cobbles (Co)
- sora = gravel (Gr)
- hiekkas = sand (Sa)
- siltti = Silt (Si)
- savi = Clay (Cl). (3, s. 382.)

Eurokoodin mukaan nimetyn maa-aineksen päänimien lyhenne alkaa isolla alkukirjaimella. Lisänimen lyhenne pienellä kirjaimella. (3, s. 382.)

Eurokoodissa on annettu maalajin määrittämiseen diagrammi (kuva 6). Diagrammissa lähdetään etenemään kolmion jokaiselta kyljeltä kyseisen maalajin prosentuaalisen osuuden kohdalta kolmi-

ossa olevien apuviivojen mukaisesti. Kuvan esimerkissä sorapitoisuus on noin 16 %, hiekkapitoisuus 30 % ja hienoainespitoisuus noin 54 %. Sektorissa, jossa kolme viivaa yhtyy, kertoo maalajin nimivaihtoehdot. (3, s. 385.)



KUVA 6. Kuvassa eurooppalainen maalajin määritysdiagrammi (3, s.385)

Kolmion alla olevalla kaaviolla otetaan huomioon maanäytteen savi ja silttipitoisuus. Kolmion alareunasta edetään alakaavioon kolmion hienoainesviivan alkupisteestä sen prosenttimäärän kohdalle, joka kertoo, kuinka paljon maanäytteen hienoaines määrä sisälsi savea. Esimerkkikuvan näyte sisältää savea 20 % maanäytteen määrästä. Piirretty viiva pysähtyy sektoriin, jossa on merkintä siCl, jonka perusteella maalajiksi valitaan sasiCl. Lyhenne tarkoittaa hiekaista siltistä savea. (3, s. 384.)

Eurokoodinmukaisessa määrittäksessä maalaji voi saada jopa kolme lisänimeä esimerkiksi grsasiS, joka tarkoittaa soraista hiekaista ja siltistä maata. Suomalaisen geoteknisen maalajiluokituksen mukaan maalaji kuuluisi moreeneihin, mutta moreeninimitystä ei tunneta eurokoodinmukaisessa maalajin määrittäksessä. (3, s. 385.)

3 KANTAVUUSLASKELMAT EC7:N MUKAISESTI

Eurokoodi antaa maaperän geoteknisen kantokestävyyden mitoittamiseen kolme mitoitus tapaa. DA1, DA2, DA2* ja DA3. Suomessa on otettu käyttöön mitoittavat DA2, DA2* ja DA3. Antura- ja laattaperustuksia mitoittaessa käytetään mitoitus tapaa DA2 ja DA2*, luiskia ja kokonaisvakavuuksia laskettaessa käytetään mitoitus tapaa DA3. (3, s. 346.)

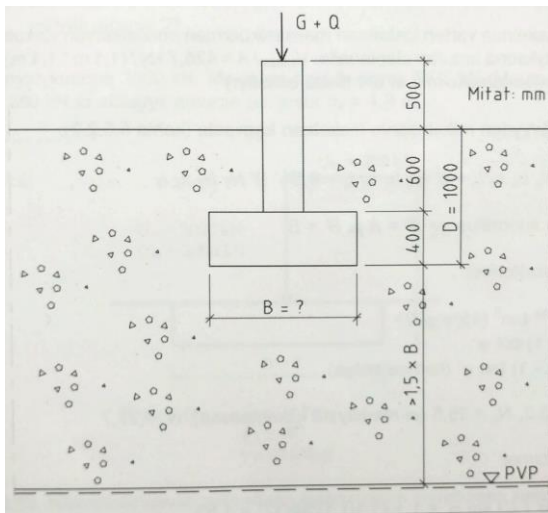
DA2-menetelmässä kuormat kerrotaan osavarmuuskertoimilla, ja menetelmällä saatu kantavuus jaetaan vielä kantokestävyyden osavarmuusluvulla. Menetelmässä DA2* laskelma lasketaan ominaisarvoilla ja osavarmuuslukuja käytetään vasta tarkistettaessa murtorajatilaehto laskelman lopussa. Menetelmää DA2* käytettäessä on perustusten vakavuuden varmistamiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. (5, s. 54.)

DA3-menetelmässä osavarmuudet sijoitetaan muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. Pysyvän kuorman ja laskennalla saadun kestäväyyden osavarmuuskerroin on 1. (3, s. 346.)

Maan kestävyys murtumista vastaan lasketaan murtorajatilassa. Laskennassa käytettävät kuormat ja niiden varmuusluvut on määritetty standardissa EN 1990:2002. Laskennan lopussa on osoitettava, että maan kestäväyyden mitoitusarvo R_d on suurempi kuin kuormien vaikutusten mitoitusarvo V_d . (5, s.48.)

3.1 Murtovyöhyke

Maaperän geotekninen kantavuus murtorajatilassa määritetään murtovyöhykkeen alueella. Murtovyöhykkeen syvyys on suoraan verrannollinen perustuksen leveyteen. Murtovyöhykkeen syvyys on 1,5 kertaa perustuksen leveys, kaikki maakerrokset murtovyöhykkeessä on huomioitava kantokestävyyden määrittämisessä (kuva 7). (5, s.197.)



KUVA 7. Kuvassa on määritetty murtovyöhykkeen syvyys (5, s.197)

3.2 Painotetut keskiarvot kitkakulmista ja ominaispainoista

Jos murtovyöhykkeessä on useita maakerroksia, joiden tilavuuspainot ja kitkakulmat poikkeavat toisistaan, täytyy laskea painotetut keskiarvot kitkakulmista ja ominaispainoista. Painotetut arvot voidaan laskea kaavalla 1. (5, s.107.)

KAAVA 1. Painotetun keskiarvon laskeminen

$$x, p_{ka} = \frac{x_1 \cdot z_1 + x_2 \cdot z_2 + x_3 \cdot z_3}{z_1 + z_2 + z_3}$$

x, p_{ka} = Painotettu keskiarvo kitkakulmasta / ominaispainosta

z = Osakerroksen paksuus

x = kitkakulman / ominaispainon suuruus osakerroksessa.

3.3 Murtorajatilán (MRT) laskenta avoimissa olosuhteissa

Maan kestävyys murtumista vastaan lasketaan kantavuuskaavalla 2 (3, s.353). Kaavassa 2 on esitetty kantavuuskaavan yleinen muoto. Kaavan ensimmäinen osa käsittelee koheesiota, jota ei avoimissa maalajeissa oteta huomioon. Jos maalaji sisältää koheesio ja kitkamaita, on mitoitusta aloittaessa päätettävä, mitoitetaanko maalaji kitka- ,vai koheesio ominaisuuksia hyödyntäen. Koheesiomaalle on olemassa täysin oma kantavuuskaavansa, joka on esitetty koheesiomaan kantavuuslaskennan yhteydessä. (3, s. 353.)

KAAVA 2. Kantavuuskaava

$$R/A' = c' N_{cb} s_{cl} i_c + q' N_q b_q s_{qi} i_q + 0,5 \gamma' B' N_{\gamma} b_{\gamma} s_{\gamma i} i_{\gamma}$$

R = Kantokestävyys (kN)

A' = Tehokas, toimiva pinta-ala (m^2)

q' = Yläpuolisten maakerrosten aiheuttama tehokas mitoituspaine perustuksen pohjan tasolla

N_q = Kantavuuskerroin

b_q = Perustuksen pohjan kaltevuuskerroin

s_q = Perustuksen pohjan muotokerroin

i_q = Kuorman kaltevuuskerroin

γ' = Maan tehokas tilavuuspaino

B' = Tehokas perustuksen leveys, anturan minimileveys 0,3 m

N_{γ} = Kantavuuskerroin

b_{γ} = Perustuksen pohjan kaltevuuskerroin

s_{γ} = Perustuksen pohjan muotokerroin

i_{γ} = Kuorman kaltevuuskerroin. (1, s. 150).

Kitkamaan kantavuutta laskettaessa kaava supistuu kaavan 3 muotoon. Kaavan ensimmäinen osa käsittelee perustamistason yläpuolisenmaan ominaisuuksia ja toinen osa perustamistason alapuolisenmaan ominaisuuksia murtovyöhykkeen alapintaan saakka. (5, s. 198.)

KAAVA 3. Kitkamaan kantavuuskaava

$$R/A' = q' N_q b_q s_{qi} i_q + 0,5 \gamma' B' N_{\gamma} b_{\gamma} s_{\gamma i} i_{\gamma}$$

Kantavuuskertoimille N on annettu laskentakaavat 4 ja 5 (5, s.106). Kerrointa N_q käytetään perustamistason yläpuolisen maan kestävyiden laskennassa ja kerrointa N_{γ} perustamistason alapuolella olevan maan kestävyiden laskennassa. (3, s.353.)

KAAVA 4. Kantavuuskertoimen N_q laskentakaava

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45^\circ + \varphi'/2)$$

KAAVA 5. Kantavuuskertoimen N_γ laskentakaava

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi'$$

Termi b on kerroin perustuksen pohjan kaltevuuden huomioimiseksi. Kertoimen arvo on yleensä 1, koska perustusten pohjat ovat yleisesti ottaen vaakatasossa maanpintaan nähden. Kaavoissa 6–9 käytetty termi s on perustusten muodon huomioiva termi. (5, s.106.)

KAAVA 6. Muotokertoimen s_q laskentakaava suorakaiteen muotoiselle perustukselle

$$s_q = 1 + (B' + L') \sin \varphi'$$

KAAVA 7. Muotokertoimen s_q laskentakaava neliön ja ympyrän muotoiselle perustukselle

$$s_q = 1 + \sin \varphi'$$

KAAVA 8. Muotokertoimen s_γ laskentakaava suorakaiteen muotoiselle perustukselle

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L')$$

KAAVA 9. Muotokertoimen s_γ laskentakaava neliön ja ympyrän muotoiselle perustukselle

$$s_\gamma = 0,7$$

Kaavoissa 10–11 käytetty termi i ottaa huomioon vaakakuorman aiheuttaman kuormituksen vinouden. (5, s. 107.) Tässä opinnäytetyössä epäkeskeiset kuormitukset on rajattu käsittelyn ulkopuolelle. Näitä termejä tarvittaisiin jos laskettavassa kohteessa esiintyisi epäkeskeistä kuormitusta.

KAAVA 10. Kuormituksen vinouden huomioivan kertoimen i_q laskentakaava

$$i_q = [1 - H / (V + A'c' \cot \varphi')]^m$$

KAAVA 11. Kuormituksen vinouden huomioivan kertoimen i_γ laskentakaava

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A'c' \cot \varphi')]^{m+1}$$

Kaavoissa esiintyvä eksponentti m lasketaan kaavoilla 12 ja 13 (5, s.107).

KAAVA 12. Eksponentin m_B :n laskentakaava

$$m_B = [2 + H / (B' / L')] + [1 + (B' / L')]$$

KAAVA 13. Eksponentin m_L :n laskentakaava

$$m_L = [2 + H / (L' / B')] + [1 + (L' / B')]$$

3.4 Murtorajatilan (MRT) laskenta suljetuissa olosuhteissa

Eurokoodissa annetaan suljetuille olosuhteille oma kantavuuskaava (kaava 14), jolla koheesiomaan kantavuus voidaan määrittää. Kuitenkin käytännössä miltei poikkeuksetta perustuksen painuma määrää, kuinka paljon koheesiomaan anturaa voidaan kuormittaa. (3, s. 352.)

KAAVA 14. Koheesiomaan kantavuuskaava

$$R/A' = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q$$

R = Kantokestävyys (kN)

A' = Tehokas, toimiva pinta-ala (m²)

c_u = koheesio, koheesiosta johtuva leikkauslujuus (kN/m²)

$q = \gamma_1 \cdot D$, yläpuolisten maakerrosten aiheuttama tehokas mitoituspaino perustuksen pohjan tasolla

$b_c = b$ on kerroin perustuksen pohjan kaltevuuden huomioimiseksi. Kertoimen arvo on yleensä 1, koska perustusten pohjat ovat yleisesti ottaen vaakatasossa maanpintaan nähden. (3, s.352.)

Termi s (kaava 15) on perustusten muodon huomioiva termi. Perustuksen muoto määrittää käytettävän arvon (3, s. 352).

KAAVA 15. muotokertoimen s_c laskentakaava

$s_c = 1 + 0,2(B'/L')$ suorakaiteelle, 1,2 neliölle ja ympyrälle

Termi i_c (kaava 16) ottaa huomioon vaakakuorman aiheuttaman kuormituksen vinouden (3, s. 352). Tässä työssä epäkeskeiset kuormitukset on rajattu käsittelyn ulkopuolelle. Jos laskettavassa kohteessa esiintyisi epäkeskeistä kuormitusta näitä termejä tarvittaisiin.

KAAVA 16. Kuormituksen vinouden huomioivan kertoimen i_c laskentakaava

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c}} \right)$$

Kaavaa 17 käytetään opinnäytetyössä kantavuuden laskentaan koheesiomaalla. Kun kuormitus on perustuksen suhteen pystysuora ja laatan alapinta vaakasuora, mikä on yleistä koheesiomaalle perustettaessa, kaava saa lopullisen muotonsa. (3, s.352.)

KAAVA 17. Ehdollinen koheesiomaan kantavuuskaava

$$R/A' = 5,14 \left(1 + 0,2(B'/L') \right) c_u + \gamma_I \cdot D$$

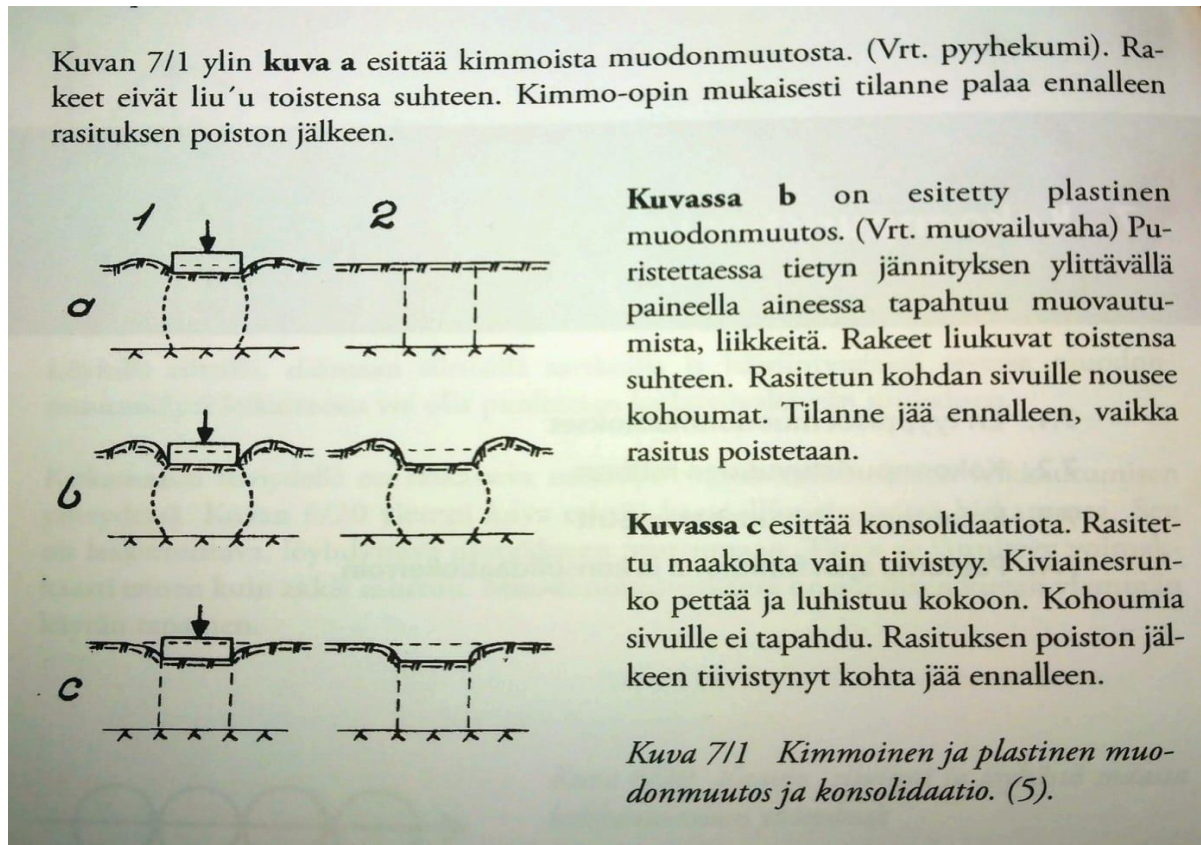
4 KOKOONPURISTUVUUS JA PAINUMAMITOITUS

Maaperän geoteknisellä kantokestävyydellä tarkoitetaan maaperän riittävää varmuutta murtumista vastaan sekä painumien pysymistä sallituissa rajoissa. Jotta kantokestävyys voidaan määrittää, on hallittava kantavuuskaavalaskennan lisäksi myös painumalaskenta. (3, s.226.)

4.1 Maan kokoonpuristuminen ja painuminen

Maa-aineen kokoonpuristuvuudessa voidaan erottaa kolme periaatteellisesti erilaista muodonmuutosilmiötä: kimmoinen muodonmuutos, plastinen muodonmuutos ja konsolidaatio (3, s.120).

Kuvassa 8 havainnollistetaan maaperän kuormittamisesta aiheutuvia muodonmuutosilmiöitä.



KUVA 8. Muodonmuutosilmiöt (3, s.120)

Yleensä lähes koko painuma maaperässä muodostuu konsolidaatiosta, joka käytännön suunnittelussa yleensä tyydytään laskemaan. Tämä tarkoittaa käytännössä maa-aineksen puristumista tiiviimpään muotoon, maa-aines itsessään ei muuta muotoaan. Painuman aikana maa-aineksen huo-

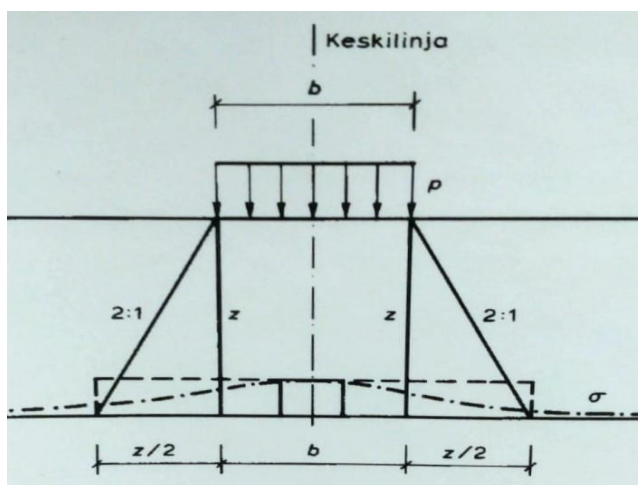
kostila pienenee. Painumat eivät pääosin palaudu kuormituksen poistumisen jälkeen, koska painuman aikana kivirakeet hioutuvat ja liukuvat toistensa lomiin. Vain pientä palautumista tapahtuu. (3, s. 121.)

Jos painumaa halutaan määrittää tarkemmin, lasketaan alkupainuman suuruus. Koheesiomaalla alkupainuma kehittyy kuormituksen lisäyksen myötä. Koheesiomaassa alkupainuman aikana maarakeet liukuvat toistensa suhteen, mutta maa-aineen tilavuus ja vesipitoisuus eivät juurikaan muutu. Koheesiomaa muuttaa hieman muotoaan painuman aikana leikkausmuodonmuutosten vuoksi. (3, s. 121.)

Kitkamaalla alkupainuman aikana maarakeet siirtyilevät, huokosilma ja liika vesi poistuu ja maakerrostuman tilavuus muuttuu. Kitkamaassa alkupainuma ja konsolidaatiopainuma tapahtuu osin yhtä aikaa, joten käytännössä kitkamaan painuma lasketaan joko täysin alku- tai konsolidaatiopainumana. (3, s. 121.)

4.2 Jännitysten jakautuminen maaperässä 2:1-menetelmän mukaan

2:1-menetelmä on yksinkertainen likimääräismenetelmä. Maan pintaan kohdistuvan rasituksen oletetaan leviävän syvemmälle maahan mentäessä rakenteen reunoilla kulmassa 2:1 ja olevan jokaisella tarkastelutasolla tasaisesti jakautunut vaikutusalalleen. (Kuva 9.) Jännityksen jakautumista maaperässä on tarkasteltava, jotta voidaan laskea perustusten painuman arvoja. (3, s.148.)



KUVA 9. 2:1-menetelmän mukainen jännitysjakauma (3, s. 148)

Kaavassa 18 esitetään pitkänomaisen kuormituksen alla syvyydellä z esiintyvä jännitys. Pitkänomaista kuormitusta maan pinnassa voi aiheuttaa esimerkiksi perusmuuriantura. Termi p tarkoittaa paineen suuruutta maanpinnassa. Kaavoissa 18 ja 19 esitetyt merkinnät ovat esitetty kuvassa 9. (3, s. 148.)

KAAVA 18. Jännitys syvyydellä z 2:1-menetelmän mukaisesti pitkänomaisella anturalla

$$\sigma_z = p \cdot b / (b + z)$$

Kuormitusalan ollessa suorakaide, sivumitoilla $a \cdot b$, jännitys syvyydellä z lasketaan kaavalla 19 (3, s. 148).

KAAVA 19. Jännitys syvyydellä z 2:1-menetelmän mukaisesti suorakaiteen muotoisella anturalla

$$\sigma_z = p \cdot a \cdot b / [(a + z)(b + z)]$$

4.3 Painumalaskenta konsolidaatiopainumamenetelmällä

Eurokoodi ei tuonut käyttöön uusia painumalaskentatapoja. Painumien arviointiin käytetään yleisesti tunnettuja menetelmiä. (5, s. 112.)

Tällainen on esimerkiksi ruotsalainen konsolidaatiopainuman laskentamenetelmä. Menetelmässä lasketaan maaperässä vallitsevan jännityksen, rakentamisesta aiheutuvan lisäjännityksen sekä painumaparametrien avulla suhteellisen muodonmuutoksen arvo ε , jolla kerrotaan tiivistyvän maakerroksen paksuutta (kaavat 20 ja 21). (3, s.133.)

Perustuksen alla oleva maa jaetaan laskentaa varten kerroksiin, jotka sisältävät aina vain yhtä maalajia. Kerroksia voi maalajikerroksissa olla useita, ja laskenta on sitä tarkempi, mitä ohuempia kerrokset ovat. Laskenta suoritetaan helpoiten taulukkolaskentana. (6, s. 24.)

KAAVA 20. Suhteellinen muodonmuutos, kun $\beta \neq 0$

$$\varepsilon = 1 / m_1 \beta_1 [(\sigma_z / \sigma_v)^{\beta_1} - (\sigma_{v0} / \sigma_v)^{\beta_1}]$$

KAAVA 21. Suhteellinen muodonmuutos kun $\beta = 0$

$$\varepsilon = \frac{1}{m_1} \ln \left[\left(\frac{\sigma_z}{\sigma_{v0}} \right) \right]$$

Parametri β ja m ovat toisistaan riippuvainen parametri, joiden arvot määrätään laboratoriossa tehtävän ödometrikokeen avulla. JännitysekspONENTTI β :n määrittämiseen on annettu karkeitakin arvioita. Ylikonsolidoituneilla alueilla, eli alueilla, joissa maakerroksessa vallitseva tiiveystila on suurempi kuin maakerrosta kuormittavat rasitukset edellyttävät, on usein valittu jännitysekspONENTTI $\beta = 0$ ja valittu moduuliluku m sen perusteella. (3, s.131.)

Normaalikonsolidoituneilla siltti- ja karkearakeisen maa-aineksen alueilla, eli alueilla, joissa maakerros on siinä tilassa kuin päällä olevat maakerrokset edellyttävät, jännitysekspONENTTI β painottuu arvoon 0,5. (3, s. 131.)

Moduuliluku m voidaan arvioida kairausvastuksen perusteella karkearakeisissa maissa. Taulukoitujen päteviä moduuliluvun ja jännitysekspONENTIN arvoja on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Saven painumaparametrit määritetään luotettavasti ödometrikokeella. (3. s. 127.)

Saven moduuliluvulle on johdettu empiirinen likiarvokaava saven sisältämän kosteuden avulla (kaava 22). Nimittäjänä on kyseessä olevan saven luonnollinen vesipitoisuus. Kaava antaa moduuliluvun tarkkuudella $\pm 30 \%$. Lähteessä korostetaan, että kaava on tarkoitettu käytettäväksi ainoastaan, kun jännitysekspONENTIN arvo on nolla. Lisäksi huomautetaan, että kaavan kehittäjän Janbun tutkimusaineisto pohjautui saviin, joiden vesipitoisuus oli alle 70 %. Huomioimalla nämä asiat voidaan kaavalla 22 alustavasti arvioida saven moduulilukua. (7, s. 11.)

KAAVA 22. Moduuliluvun m laskentakaava saven sisältämän vesipitoisuuden avulla

$$m = 700 \% / w \%$$

TAULUKKO 1. Karkean siltin ja hiekan lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien arviointi puristin-, paino- ja heijarikairausvastuksen perusteella (8, s. 60)

Maalaji		Tilavuuspaino (kN/m ³) pohja- vedenpinnan		Kitkakul- ma (°)	Janbun yhtälön muodonmuutos- parametri		Kairausvastus		
		Yläpuo- lella	Alapu- o-lella		Moduuli- luku m	Jännitys- ekspon- nenti β	Puristin- kairaus q _c (MPa)	Paino- kairaus Pk/0,2 m	Heijari- kairaus L/0,2 m
Karkea siltti	Löyhä	14 ... 16	9 ...	28	30 ... 100	0,3	< 7	< 40	< 8
	Keski- tiivis			30	70 ... 150	0,3	7 ... 15	40 ... 100	8 ... 25
	Tiivis	16 ... 18	11	32	100 ... 300	0,3	> 15	> 100	> 25
Hieno hiekkä d ₁₀ <0,06	Löyhä	15 ... 17	9 ...	30	50 ... 150	0,5	< 10	20 ... 50	5 ... 15
	Keski- tiivis			33	100 ... 200	0,5	10 ... 20	50 ... 100	15 ... 30
	Tiivis	16 ... 18	11	36	150 ... 300	0,5	> 20	> 100	> 30
Hiekkä d ₁₀ >0,06	Löyhä	16 ... 18	10 ...	32	150 ... 300	0,5	< 6	10 ... 30	5 ... 12
	Keski- tiivis			35	200 ... 400	0,5	6 ... 14	30 ... 60	12 ... 25
	Tiivis	18 ... 20	12	38	300 ... 600	0,5	> 14	> 60	> 25

TAULUKKO 2. Kairausvastukseen perustuva lujuus- ja muodonmuutosparametrien arviointi soralla ja moreenilla (8, s. 61)

Maalaji		Tilavuuspaino (kN/m ³) pohja- vedenpinnan		Kitka- kulma (°)	Janbun yhtälön muodonmuutos- parametri		Kairausvastus		
		Yläpuo- lella	Alapu- lella		Moduuliluku m	Jännitys- ekspon- nenti β	Puristin- kairaus q _c (MPa)	Painokai- raus Pk/0,2 m	Heijarika- i-raus L/0,2 m
Sora	Löyhä	17 ... 19	10 ...	34	300 ... 600	0,5	< 5,5	10 ... 25	5 ... 10
	Keski- tiivis			37	400 ... 800	0,5	5,5 ... 12	25 ... 50	10 ... 20
	Tiivis	18 ... 20	12	40	600 ... 1200	0,5	> 12	> 50	> 20
Moree- ni	Hyvin löyhä	16 ... 19	10 ... 12	... 34	(≤100) * 300 ... 600	0,5	< 10	< 40	< 20
	Löyhä	17 ... 20	10 ... 12	... 36	(100...250)* 600 ...	0,5	> 10	40 ... 100	20 ... 60
	Keski- tiivis	18 ... 21	11 ... 13	... 38	800 ...	0,5	-	> 100	60 ... 140
	Tiivis	19 ... 23	11 ... 14	... 40	1200 ...	0,5	-	Lyömällä	> 140

4.4 Painuman likimääräinen laskenta kokoonpuristuvuuden perusteella

Tarkempi Suomen saville ja vedellä kyllästyneille maille soveltuva kokoonpuristumisindeksikaava määrittää suoraan painuman arvon kosteuspitoisuuden ja maaperässä vallitsevien jännitysten avulla (kaava 23). Kaavaa voidaan käyttää luotettavasti normaalikonsolidoituneilla savilla. Kaava antaa sitä tarkemman tuloksen, mitä ohuempina kerroksina maan painuman laskee. (3, s.128.)

KAAVA 23. Maakerroksen kokoonpuristumisen laskentakaava kokoonpuristumisindeksin avulla

$$\Delta h = \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma_{v0} + \Delta \sigma}{\sigma_{v0}} * h$$

Kaavan 23 muuttuja C_c on määritettävissä laboratoriotutkimuksien avulla. Kaavasta on johdettu kokemusperäinen kaava saven kosteuspitoisuuden avulla. Sijoittamalla C_c :n paikalle $0,85\sqrt{w}$ ja e_0 :n paikalle vedellä kyllästyneelle maalle pätevä lauseke $2,65 + \frac{1}{w}$ saadaan likiarvoja antava kaava 24. (3, s. 128.)

KAAVA 24. Kokemusperäinen likiarvoinen laskentakaava maakerroksen kokoonpuristumiselle

$$\Delta h = \frac{0,85\sqrt{w}}{2,65 + \frac{1}{w}} \log \frac{\sigma_{v0} + \Delta \sigma}{\sigma_{v0}} * h$$

4.5 Painumien raja-arvot

Rakenteiden painumille on annettu kirjallisuudessa suuntaa antavia raja-arvoja (taulukko 3). Taulukossa on määritetty erilaisille rakenteille omat painumarajat sekä kulmakiertymien raja-arvot. (5, s. 58.)

TAULUKKO 3. Painumien raja-arvoja (5, s. 59)

Rakennetyyppi	Kokonais- painuman raja-arvoja (mm)	Kulmakiertymien raja-arvojen vaihteluväli	
		Karkearakei- nen maapohja	Hienorakeinen maapohja
Massiiviset jäykät rakenteet	100	1/250–1/200	1/250–1/200
Staattisesti määrätyt rakenteet	100	1/400–1/300	1/300–1/200
Staattisesti määräämättömät rakenteet:			
– Puurakenteet	100	1/400–1/300	1/300–1/200
– Teräsrakenteet	80	1/500–1/200	1/500–1/200
– Muuratut rakenteet	40	1/1000–1/600	1/800–1/400
– Teräsbetonirakenteet	60	1/1000–1/500	1/700–1/350
– Teräsbetonielementtirakenteet	40	1/1200–1/700	1/1000–1/500
– Teräsbetonikehärakenteet	30	1/2000–1/1000	1/1500–1/700

Useimmiten painumaa rajaavaksi tekijäksi määräytyy kulmakiertymän raja-arvo. Tasaisesti tapahtuva painuma ei ole yleensä keskeinen rajaava tekijä. Painumaeroja on erittäin vaikea määrittää epähomogeenisessä maassa tarkasti. Tarkka määrittäminen vaatii tarkasti tehtyä pohjatutkimusta. (3, s. 169.)

Kulmakiertymiä määrittäessä on hyvä muistaa, että aina kun syntyy painumia, syntyy myös painumaeroja, joita ei hallita pelkällä matematiikalla. Mitoituspainuman määrittäminen laadukkaasti vaatii vankkaa kokemusta geotekniikan alalta. (3, s. 169.)

5 KANTAVUUSLASKENTAPOHJA JA ESIMERKKILASKELMAT

Opinnäytetyössä laadittiin laskentapohjat maaperän kantokestävyyden määrittämiseksi. Laskentapohjilla voidaan määrittää maaperän kestävyys murtumista vastaan sekä maan painuman arvot. Arvot voidaan määrittää avoimissa ja suljetuissa maalajeissa. Laskentapohjat valmistettiin Google Sheets -taulukkolaskentaohjelmalla. Tavoitteena oli laskea esimerkkikohteeseen geoteknisen kantavuuden arvo kohteeseen tehdyn pohjatutkimuksen ja kairausvastusdiagrammeista saatavien lähtöarvojen perusteella.

5.1 Kohteen Sorsajähdintie 3 lähtötiedot

Esimerkkikohteeseen on omakotitalotontti Oulun Ritaharjussa. Pohjatutkimuksen tontille suoritti Morena Oy. Kairauksia tehtiin tontilla 7 pisteeseen. Tontille tehtiin pintavaaitus ja sieltä otettiin häiriintyneet maanäytteet. Maanäytteiden rakeisuudet tutkittiin silmämääräisesti ja niiden vesipitoisuudet määritettiin laboratoriossa. Pohjatutkimuksesta saatiin selville kohteen maalajit ja kerrosrajat ja arvot maaperän tiivyydestä painokairausvastuksen perusteella. Kohteen pohjatutkimus ja perustamistapaalaus on esitetty liitteessä 1.

Pohjatutkimuksen perusteella tontin pinnassa on noin 0,2–0,4 m turvemaata ja turpeen alla on noin metrin paksuinen löyhä hiekkakerros. Hiekkakerroksen alla on keskitiivistä ja tiivistä hiekkaa kairauksien loppuun saakka. Syvimät kairauksen päätyivät noin neljän metrin syvyyteen maan pinnasta tiiviiseen maakerrokseen.

Pitkänomaisen perusmuurianturan pohjan leveyden arvoksi valittiin laskentaa vähimmäisleveys 0,3 m. Pohjavedenpinta oli rakentamiskohteessa noin 1,5 m etäisyydellä maanpinnasta, joten se ei vaikuttanut kantavuuden laskentaan, koska pohjavesi ei ylety murtovyöhykkeen alueelle. Perustamistason yläpuolelle valittiin 0,5 m paksusti hiekkaa, jonka tiiveydenmukainen tilavuuspaino on 16 kN/m³ ja kitkakulma eli leikkauskestävyysskulma on 33 astetta.

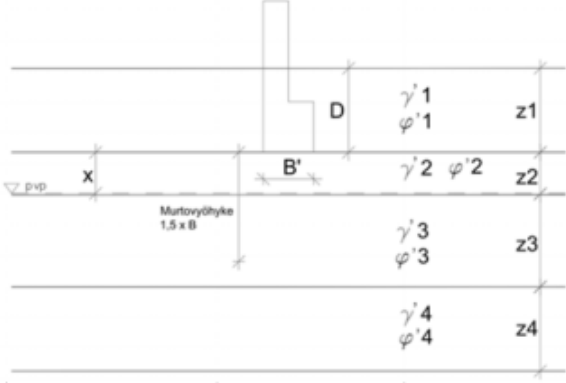
Perustamistason alapuolelle valittiin kapillaarikatkosorakerros, jonka paksuus on 0,3 m, tilavuuspaino 19 kN/m³ ja kitkakulman arvo 40. Pohjatutkimuksen perusteella valittiin kapillaarikatkosoran

alle tiivistä hiekkaa murtovyöhykkeen pohjaan asti. Hiekkakerroksen paksuudeksi jäi 0,15 m, sen tilavuuspainoksi valittiin 17 kN/m^3 ja kitkakulmaksi 34 astetta.

5.2 Kohteen Sorsajahdintie 3 kantavuuslaskelma

Taulukkoon 4 syötettiin lähtötiedoissa määritetyt arvot. Lähtötiedoissa annetut maa-ainesten arvot valittiin opinnäytetyön luvussa 4.3 esitettyjen taulukoiden 1 ja 2 perusteella.

TAULUKKO 4. Kitkamaan kantavuuslaskelman lähtöarvoja

Huom! pvp ei sijaitse aina z2 kerroksen alapinnassa!				
	Perustuksen mitat	B'	0,3 m	
		L'	50 m	
	Pohjavedenpinta	Per. alapinnasta	1,5 m	ei vaikuta kantavuuden laskentaan
	Murtovyöhyke	1,5 x B'	0,45 m	
	Tilavuuspaino	$\gamma'1$	16 kN/m^3	
	Tilavuuspaino	$\gamma'2$	19 kN/m^3	
	Tilavuuspaino	$\gamma'3$	17 kN/m^3	
	Tilavuuspaino	$\gamma'4$	0 kN/m^3	
	Tilavuuspaino	$\gamma'5$	0 kN/m^3	
	Kitkakulma	$\phi'1$	33 deg	
	Kitkakulma	$\phi'2$	40 deg	
	Kitkakulma	$\phi'3$	34 deg	
	Kitkakulma	$\phi'4$	0 deg	
	Kitkakulma	$\phi'5$	0 deg	
	Kuorma täyttömaasta	$\gamma'1 \cdot D$	8,0 kN/m^2	
	Per.syvyys	D	0,5 m	
	Kerros 1	z1	0,5 m	
	Kerros 2	z2	0,3 m	
	Kerros 3	z3	0,15 m	
	Kerros 4	z4	0 m	
	Kerros 5	z5	0 m	

Taulukossa 5 käsiteltiin annettuja lähtöarvoja. Kerroksellinen maa perustamistason alapuolella vaati laskemaan painotetut arvot maan tilavuuspainolle ja kitkakulmalle. Lisäksi lähtöarvojen perusteella laskettiin kantavuuskaavan kertoimille arvot. Laskentaa rajaa oletus kuormien pystysuoruudesta. Ehdon toteutuminen on tarkastettava laskettavan kohteen kuormitustiedoista.

Kantavuuskaavasta saatiin kantavuudelle ominaisarvo. Ominaisarvo jaetaan eurokoodin mukaisella osavarmuusluvulla 1,55, jolloin saadaan kantavuuden mitoitusarvo. Laskelman perusteella saatiin Sorsajahdintie 3 tontille kantavuus 268 kN/m². Esimerkkikohteen pohjatutkimusraportissa on tontille annettu kantavuus 160 kN/m². Voidaan todeta, että pohjatutkimusraportin kantavuutta ei todennäköisesti ole kohdekohtaisesti mitoitettu, vaan se on suurella varmuudella annettu arvio maan kantavuudesta.

TAULUKKO 5. Kitkamaan kantavuuslaskelman kertoimien laskenta ja lopputulokset

Painotettu tehokas tilavuuspaino per.tason alapuolella	γ'	18,33333333	kN/m ³
Painotettu tehokas kitkakulma per.tason alapuolella	φ'	38	deg
yläpuolella		0,6632251158	rad
yläpuolella	φ'	33	0,5759586532
pii	3,141592654		
e	2,718281828		
Asteita radiaaneiksi	45	deg	
	0,7853981634	rad	
Kantavuuskertoimet			
Nq, per.y.p.maalle	26,0920121	$N_q = e^{\tan \varphi' \tan^2(45^\circ + \varphi'/2)}$ $N_{\gamma} = 2(N_q - 1) \tan \varphi'$	
Nq, per.ap.maalle	48,9332527		
Ny, per.ap.maalle	74,89912274		
Per.muotokertoimet			
Sq1	1,003693969	Suorakaiteelle	$S_q = 1 + (B' + L') \sin \varphi'$
Sq2	1,615661475	Neliö/Ympyrä	$S_q = 1 + \sin \varphi'$
sy1	0,9982	Suorakaide	$s_{\gamma} = 1 - 0,3 (B'/L')$
sy2	0,7	Neliö/Ympyrä	$s_{\gamma} = 0,7$
Perustuksen alapinta on vaakasuora joten alapinnan kaltevuuden huomioiva kerroin b = 1			
b _y	1		
b _q	1		
Kuormat pystysuoria joten vaakakuormat huomioiva kerroin i = 1			
i _y	1		
i _q	1		
R _k /A	415,1089983	kN/m ²	Pitkälle anturalle
R _d /A	267,812257	kN/m ²	Pitkälle anturalle

5.3 Kohteen Sorsajahdintie 3 painumalaskelma

Opinnäytetyössä valmistettiin laskentapohja maapohjien painumien laskentaan (taulukko 6). Painumalaskelmaa varten pohjatutkimuksesta haettiin maalajit ja niiden kerrosrajat, taulukoista 1 ja 2 poimittiin arvot maalajien kitkakulmille sekä painumaparametreille m ja β . Laskelmaa varten on arvioitava, paljonko rakennettavan rakennuksen aiheuttama lisäkuorma on maan pinnassa.

TAULUKKO 6. Painumalaskelman lähtöarvoja

		Rak.kuorma	p	150	kN/m ²		
		Tilavuuspaino	$\gamma'1$	16	kN/m ³		
		Tilavuuspaino	$\gamma'2$	19	kN/m ³		
		Tilavuuspaino	$\gamma'3$	17	kN/m ³		
		Tilavuuspaino	$\gamma'4$	0	N/m ³		
		Tilavuuspaino	$\gamma'5$	0	N/m ³		
		Kitkakulma	$\varphi'1$	33	deg		
		Kitkakulma	$\varphi'2$	40	deg		
		Kitkakulma	$\varphi'3$	34	deg		
		Kitkakulma	$\varphi'4$	0	deg		
		Kitkakulma	$\varphi'5$	0	deg		
		Kuorma täyttömaasta	q'	8,0	kN/m ²		Jännitys
Maalaji	Tiiveysaste	Per.syvyys	D	0,5	m	moduuliluku m	eksponentti β
Hiekka	Keskitiivis	Kerros 1	$z1$	0,5	m	200	0,5
Sora	Tiivis	Kerros 2	$z2$	0,3	m	600	0,5
Siltainen hiekka	Löyhä	Kerros 3	$z3$	1	m	100	0,5
Hiekka	Tiivis	Kerros 4	$z4$	2	m	70	0,3
		Kerros 5	$z5$	0	m	0	0
		Kokonaissyvyys	Z	3,3	m		
		Perustuksen mitta	B'	0,3	m		
			L'	50	m		
		Pohjavedenpinta	Per. alapinnasta	1,5	m		

Taulukkoon 7 on syötetty maan osakerrosten numerot, paksuudet sekä etäisyydet maan pinnasta osakerrosten puoliväliin ja pohjaan. Painumaparametrit m ja β syötettiin jokaiselle maakerrokselle erikseen.

TAULUKKO 7. Taulukoidut arvot maan osakerroksille

	syvyys osaker- roksen	osakerroksen paksuus	syvyys osaker- roksen puoli	Moduuliluku	Jännitys eksponentti
	alareunaan Z		väliin		
Kerros	Alareuna (m)	h1	z1	m	β
1	0,1	0,1	0,05	600	0,5
2	0,2	0,1	0,15	600	0,5
3	0,3	0,1	0,25	600	0,5
4	0,5	0,2	0,4	100	0,5
5	0,7	0,2	0,6	100	0,5
6	0,9	0,2	0,8	100	0,5
7	1,1	0,2	1	100	0,5
8	1,3	0,2	1,2	100	0,5
9	1,7	0,4	1,5	70	0,3
10	2,1	0,4	1,9	70	0,3
11	2,5	0,4	2,3	70	0,3
12	2,9	0,4	2,7	70	0,3
13	3,3	0,4	3,1	70	0,3
14	3,3	0	3,3	0	0
15	3,3	0	3,3	0	0
16	3,3	0	3,3	0	0
17	3,3	0	3,3	0	0
18	3,3	0	3,3	0	0

Taulukossa 8 laskettiin maaperässä vallitsevat jännitykset. Laskelmassa laskettiin jännitys maaperässä ennen rakentamista, rakentamisesta aiheutuva jännitys sekä näiden kahden jännityksen summa. Lisäksi laskettiin valmiiksi laskentakaavoissa esiintyviä kaavan osia auki laskennan selkeyttämiseksi.

TAULUKKO 8. Taulukoidut arvot maaperässä vallitsevista jännityksistä

$D \cdot \gamma'1 + z1 \cdot \gamma'2 + \Sigma h1 \cdot \gamma'$	$p \cdot b / (b+Z)$					
Jännitys maa- perässä ennen rakentamista	rakentamisesta aiheutuva jännitys	Jännitys maa- perässä raken- tamisen jälkeen				
σ_v0	$\Delta\sigma$	σ_z	σ_v	$1 / m\beta$	$(\sigma_z/\sigma_v)^\beta$	$(\sigma_v0/\sigma_v)^\beta$
9,0	128,57	137,5	100	0,0008	1,173	0,299
10,9	100,00	110,9	100	0,0008	1,053	0,329
12,8	81,82	94,6	100	0,0008	0,972	0,357
16,2	64,29	80,4	100	0,0050	0,897	0,402
19,6	50,00	69,6	100	0,0050	0,834	0,442
23,0	40,91	63,9	100	0,0050	0,799	0,479
26,4	34,62	61,0	100	0,0050	0,781	0,513
29,8	30,00	59,8	100	0,0050	0,773	0,545
36,6	25,00	61,6	100	0,0043	0,865	0,739
43,4	20,45	63,8	100	0,0043	0,874	0,778
50,2	17,31	67,5	100	0,0043	0,889	0,813
57,0	15,00	72,0	100	0,0043	0,906	0,845
63,8	13,24	77,0	100	0,0043	0,925	0,874
63,8	12,50	76,3	100	1,0000	1,000	1,000
63,8	12,50	76,3	100	1,0000	1,000	1,000
63,8	12,50	76,3	100	1,0000	1,000	1,000
63,8	12,50	76,3	100	1,0000	1,000	1,000
63,8	12,50	76,3	100	1,0000	1,000	1,000

Taulukossa 9 laskettiin suhteellisten muodonmuutosten arvot osakerroksissa. Suhteellisen muodonmuutoksen arvo kerrottiin osakerroksen paksuudella, jolloin saatiin osakerroksen painuman arvo. Lopullisen painuman arvo saatiin, kun laskettiin kaikkien määritettyjen osakerrosten painumat yhteen. Suhteellisen painuman laskentaan on olemassa omat kaavansa laskentatapauksille, joissa $\beta = 0$ tai $\beta \neq 0$. Laskentataulukossa painuman lopullinen arvo katsotaan jännityseksponentin arvon määrittämän sarakkeen alta. Esimerkkilaskussa β oli yli nollan, joten arvo luetaan sarakkeesta $\beta \neq 0$. Lopullisen painuman arvoksi saatiin 2,5 mm. Esimerkkitapauksen puurakenteisen rakennuksen painuma saa olla enintään 100 mm, joten painuma on sallituissa rajoissa.

TAULUKKO 9. Suhteellisten painumien arvot, osakerrosten painumat ja lopullinen painuma-arvo

$\beta \neq 0$	$\beta = 0$	$\beta \neq 0$	$\beta = 0$	
ϵ	ϵ	Δh	Δh	
0,0007279	0,004554	0,000073	0,000455	
0,0006029	0,003873	0,000060	0,000387	
0,0005128	0,003340	0,000051	0,000334	
0,0024749	0,016055	0,000495	0,003211	
0,0019591	0,012691	0,000392	0,002538	
0,0016003	0,010234	0,000320	0,002047	
0,0013374	0,008388	0,000267	0,001678	
0,0011377	0,006973	0,000228	0,001395	
0,0005363	0,007445	0,000215	0,002978	
0,0004100	0,005522	0,000164	0,002209	
0,0003241	0,004235	0,000130	0,001694	
0,0002630	0,003340	0,000105	0,001336	
0,0002180	0,002695	0,000087	0,001078	
0,0000000	17904823144,9	0,000000	0,000000	
0,0000000	17904823144,9	0,000000	0,000000	
0,0000000	17904823144,9	0,000000	0,000000	
0,0000000	17904823144,9	0,000000	0,000000	
0,0000000	17904823144,9	0,000000	0,000000	
Kokonaispainuma		0,002587	0,021340	m

5.4 Koheesiomaan kantavuuslaskelma

Kitkamaan kantavuuslaskelmien lisäksi opinnäytetyössä tehtiin laskentapohja koheesion kantavuuden laskentaa varten. Koheesiomaalle on olemassa oma kantavuuskaavansa, jossa kitkakulmien tilalta käytetään koheesiomaan leikkauslujuutta. Taulukossa 10 on syötetty taulukkoon laskelman alkuarvot eli perustuksen mitat, maakerrosten ominaisuudet ja kerrospaksuudet.

TAULUKKO 10. Koheesiomaan kantavuuslaskelman lähtöarvoja

Perustuksen mitat	B'	0,3	m		
	L'	15	m		
Pohjavedenpinta	Per. alapinnasta	1,5	m	ei vaikuta kantavuuden laskentaan	
Murtovyöhyke	1,5 x B'	0,45	m		
Tilavuuspaino	$\gamma'1$	18	kN/m ³		
Tilavuuspaino	$\gamma'2$	19	kN/m ³		
Tilavuuspaino	$\gamma'3$	0	kN/m ³		
Tilavuuspaino	$\gamma'4$	0	kN/m ³		
Tilavuuspaino	$\gamma'5$	0	kN/m ³		
Leikkauslujuus	Cu2	25	kN/m ²		
Leikkauslujuus	Cu3	0	kN/m ²		
Leikkauslujuus	Cu4	0	kN/m ²		
Leikkauslujuus	Cu5	0	kN/m ²		
Kuorma täyttömaasta	$\gamma'1 \cdot D$	9	kN/m ²		
Per.syvyys	D	0,5	m		
Kerros 1	z1	0,5	m		
Kerros 2	z2	3	m		
Kerros 3	z3	0	m		
Kerros 4	z4	0	m		
Kerros 5	z5	0	m		

Taulukossa 11 laskettiin maakerroksien ominaisuuksista painotetut arvot perustamistason alapuolella. Esimerkkilaskelmassa maakerroksia ei ollut kuin yksi, joten painotetut arvot ovat samat kuin lähtötiedoissa syötetyt maakerroksien ominaisuuksien arvot. Laskelmasta saatiin kantavuuden ominaisarvo taulukossa näkyvän kaavan avulla. Saatu ominaisarvo jaettiin vielä osavarmuusluvulla ja päädyttiin kantavuuden mitoitusarvoon R_d .

TAULUKKO 11. Koheesiomaan kantavuuslaskelman kertoimien laskenta ja lopputulokset

Painotettu tehokas	γ'	19	kN/m ³
tilavuuspaino per.tason			
alapuolella			
Painotettu	c_u	25	kN/m ²
leikkauslujuus per.			
tason alapuolella			
$R/A' = 5,14(1 + 0,2(B'/L')c_u + \gamma_1 \cdot D)$			
R/A'	51,914	kN/m ²	
Rd/A'	33,493	kN/m ²	

5.5 Saven painuma kosteuspitoisuuden perusteella

Saven painumalle laadittiin laskentapohja saven vesipitoisuuteen perustuvan kaavaan perustuen. Taulukossa 12 annettiin painumalaskelman lähtötiedot. Tarvittavia tietoja ovat rakentamisesta aiheutuva kuorma maanpinnassa, maakerrosten paksuudet ja tilavuuspainot, perustuksen mitat sekä maakerrosten vesipitoisuudet.

TAULUKKO 12. Saven painumalaskelman lähtötiedot

	Rak.kuorma	p	100	kN/m ³	
	Tilavuuspaino	γ'1	18	kN/m ³	
	Tilavuuspaino	γ'2	19	kN/m ³	
	Tilavuuspaino	γ'3	19	kN/m ³	
	Tilavuuspaino	γ'4	0	N/m ³	
	Tilavuuspaino	γ'5	0	N/m ³	
Kuorma täyttömaasta		q'	9	kN/m ²	
	Per.syvyys	D	0,5	m	
	Kerros 1	z1	0,5	m	
	Kerros 2	z2	1,5	m	
	Kerros 3	z3	2	m	
	Kerros 4	z4	0	m	
	Kerros 5	z5	0	m	
	Kokonaissyvyys	Z	3,5	m	
	Perustuksen mita	B'	0,3	m	
	Pohjavedenpinta	Per. alapinnasta	1,5	m	
saven vesipitoisuus		kerros 2	30	%	
		kerros 3	50	%	
		kerros 4	0,000000001	%	
		kerros 5	0,000000001	%	

Taulukkoon 13 on taulukoitu saven painumalaskennan lähtöarvot sekä laskettu kerroksittain jännitys ennen rakentamista. Maakerroksiltaan poikkeavat kerrokset on jaettu omiin sarakkeisiinsa, tässä laskelmassa maan ominaisuudet muuttuvat pohjavedenpinnassa. Taulukossa 14 laskettiin maaperässä vallitsevat jännitykset kerroksittain sekä maan painuma.

TAULUKKO 13. Saven painumalaskennan taulukoidut lähtöarvot

	syvyys osakeroksen alareunaan Z	osakerroksen paksuus	syvyys osakeroksen puoli väliin		Jännitys maaperässä ennen rakentamista
Kerros	Alareuna (m)	h1	z1	w % / 100	σ_v
1	0,50	0,50	0,25	0,3	13,75
2	1,00	0,50	0,75	0,3	23,25
3	1,50	0,50	1,25	0,3	32,75
4	1,90	0,4	1,70	0,5	40,35
5	2,30	0,4	2,10	0,5	47,95
6	2,70	0,4	2,50	0,5	55,55
7	3,10	0,4	2,90	0,5	63,15
8	3,50	0,4	3,30	0,5	70,75
9	3,50	0,0	3,50	0	70,75
10	3,50	0,0	3,50	0	70,75
11	3,50	0,0	3,50	0	70,75
12	3,50	0,0	3,50	0	70,75
13	3,50	0,0	3,50	0	70,75
14	3,50	0	3,50	0	70,75
15	3,50	0	3,50	0	70,75
16	3,50	0	3,50	0	70,75
17	3,50	0	3,50	0	70,75
18	3,50	0	3,50	0	70,75

TAULUKKO 14. Saven painumalaskelma ja laskennan lopputulos

$D \cdot \gamma'_1 + z_1 \cdot \gamma'_2 + \Sigma h_1 \cdot \gamma'$	$p \cdot b / (b+Z)$			
rakentamisesta aiheutuva jännitys	Jännitys maaperässä rakentamisen jälkeen		Vesipitoisuuden mukaan laskettu painuma	
$\Delta \sigma$	σ_z	σ_v	Δh	
54,55	68,30	100	0,0255	
28,57	51,82	100	0,0127	
19,35	52,10	100	0,0074	
15,00	55,35	100	0,0067	
12,50	60,45	100	0,0049	
10,71	66,26	100	0,0037	
9,38	72,53	100	0,0029	
8,33	79,08	100	0,0024	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
7,89	78,64	100	0,0000	
		kok.painuma=	0,0662	m

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekemisen päätavoitteena oli perehtyä eurokoodinmukaiseen maaperätutkimukseen sekä maaperän geoteknisen kantavuuden määrittämiseen. Tarkoituksena oli saavuttaa riittävä ymmärrys geotekniikasta perustussuunnittelijan työtä varten ja kehittää tietokoneella käytävä laskupohja kantavuuden sekä maaperän painumien määrittämiseen. Laskupohja laadittiin tiiläajan käyttöön perustussuunnittelun aputyökaluksi.

Opinnäytetyön aikana perehdyttiin saatavilla olevaan tietoon maaperätutkimuksesta sekä kantavuuden määrittämisestä. Eurokoodin tulkintaa helpotti Suomen Rakennusinsinööriliiton julkaisu RIL-207-2017 Geotekninen suunnittelu, joka avasi havainnollisesti eurokoodin sisältöä. Maaperätutkimuksesta löytyi hyvin tietoa Raimo Jääskeläisen kirjoittamasta geotekniikan oppikirjasta Geotekniikan perusteet.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua maaperän kantavuuden määrittämiseen tarvittavat laskupohjat sekä koottua paljon tietoa geotekniikan tutkimusalalta. Laskupohjat laadittiin Google sheets -alustalle. Näiden avulla voidaan arvioida perustussuunnittelua tehdessä käsiteltäväksi tulevia maaperätutkimuksia sekä määrittää tarvittaessa maaperän kantavuutta perustussuunnittelun yhteydessä. Opinnäytetyö sekä valmistettu laskentapohja sisältävät maanvaraista perustamista varten tehtävän maaperätutkimuksen sekä kantavuuden määrittämisen. Opinnäytetyössä ei perehdytty paalunvaraisen perustamisen suunnittelussa tarvittaviin paalujen kantavuuden mitoittamiseen, tässä olisi aihetta erilliseen laskupohjaan ja opinnäytetyöhön.

Opinnäytetyötä tehtäessä havaittiin laadukkaan ja monipuolisen pohjatutkimuksen olevan perustussuunnittelussa merkittävässä roolissa. Panostamalla pohjatutkimukseen suunnittelun alkuvaiheessa voidaan perustukset suunnitella ja toteuttaa kustannustehokkaasti. Rakennettavan kohteen koon kasvaessa pohjatutkimuksen merkitys korostuu. Pinta-alaltaan isolla tontilla vähillä kairauspisteillä toteutetun pohjatutkimuksen perusteella voidaan päätyä paaluttamaan kaikki tontille rakennettavat rakennukset perusmaan ollessa huonosti kantavaa. Tiheämmällä kairauksella toteutetun tutkimuksen perusteella voidaan parhaassa tapauksessa paaluttamisen sijaan osa rakennuksista perustaa maanvaraisesti ja näin säästää kustannuksissa.

Lisäksi opinnäytetyön tavoitteissa esitettiin arvio suurista varmuuskertoimista. Esimerkkikohteena toimineessa Sorsajahdintie 3 kohteessa arvio osoittautui todeksi, eli pohjatutkimuksessa esitetty kantavuusarvo oli arvioitu todellista kantavuutta paljon pienemmäksi. Tarpeettoman pienet kantavuuden mitoitusarvot aiheuttavat usein tarpeettoman leveitä anturoita perustuksille, mikä kasvattaa perustuksiin käytetyn materiaalin menekkiä sekä kasvattaa perustusvaiheen kustannuksia. Nykyään panostetaan rakennusten ekologisuuteen ja hiilijalanjälkeen. Maaperän kantavuuden tarkemmalla mitoittamisella voitaisiin säästää perustusvaiheen rakennusmateriaaleja ja näin pienentää rakennettavasta rakennuksesta aiheutuvia päästöjä ja ympäristölle aiheutuvaa kuormaa.

LÄHTEET

1. SFS-EN 1997-1+A1+AC 2014. Eurokoodi 7 geotekninen suunnittelu. Suomen standardisoi-
misliitto SFS ry. Hakupäivä 20.10.2020. [https://online.sfs.fi/fi/index/tuot-
teet/SFS/CEN/ID2/1/385621.html.stx](https://online.sfs.fi/fi/index/tuot-
teet/SFS/CEN/ID2/1/385621.html.stx). Vaatii lisenssin.
2. A-Perustus Oy 2020. Etusivu. Hakupäivä 18.11.2020. <https://aperustus.fi/>.
3. Jääskeläinen, Raimo 2011. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä: Tammertekniikka / Amk-Kus-
tannus Oy.
4. SGY 201. 2005. Pohjatutkimusmerkinnät. Helsinki: Suomen geotekninen yhdistys ry.
5. RIL-207-2017 2017. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Hel-
sinki:Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
6. Tielaitos 1999. Pohjarakennusohjeet sillan suunnittelussa. Hakupäivä 5.1.2021. [https://julkai-
sut.vayla.fi/sillat/julkaisut/prakos99.pdf](https://julkai-
sut.vayla.fi/sillat/julkaisut/prakos99.pdf).
7. Länsivaara Tim 2000. Painumalaskentamenetelmien käyttökelpoisuuden arviointi. Hakupäivä
5.1.2021. <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/3200630-03i.pdf>.
8. Tiehallinto 2007. Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. Hakupäivä 16.12.2021. [https://jul-
kaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillan_geosuunn.pdf](https://jul-
kaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillan_geosuunn.pdf).

Morena

**POHJATUTKIMUKSET JA
PERUSTAMISTAPALAUSUNTO**

**Omakotitalo Saranoja
Sorsajahdintie 3
90545 Oulu**

Kunta:	564
Kaupunginosa:	79
Kortteli/Tila:	217
Tontti/Rek.nro:	7

MORENA OY

• Madetojankuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

SISÄLLYSLUETTELO

1. KOHDE JA TUTKIMUKSET	3
1.1 Toimeksianto ja tutkimuskohde	3
1.2 Tehdyt tutkimukset	3
1.3 Tutkimusalueen maasto- ja ympäristöolosuhteet	3
1.4 Pohjasuhteet	3
1.5 Maaperän pilaantuneisuus	4
2. SUUNNITTELUOHJEET	4
2.1 Rakennuksen korkeusasema	4
2.2 Kantavien rakenteiden perustaminen	4
2.3 Geotekninen kantavuus Eurokoodin mukaisesti	4
2.4 Hulevesien viivytys/imeytys	5
2.5 Routasuojaus	5
2.6 Salaojitus ja kapilaarinen nousu	5
2.7 Radon ja muut kaasut	5
2.8 Piha- ja liikennealueet	6
2.9 Putkijohdot	6
2.10 Pintakuivatus	6
3. POHJARAKENNUSTYÖN ALUSTAVAT SUORITUSOHJEET	6
3.1 Yleistä	6
3.2 Kaivu- ja täyttötöyt	6
3.3 Kaivot ja kanaalit	7
3.4 Salaojat	8
3.5 Pihan liikennealueet ja muut rakenteet	8
3.6 Laadun valvonta	8

Liitteet:

- pohjatutkimuskartta
- pohjatutkimusleikkaukset A-A, B-B ja C-C

MORENA OY

• Madetojankuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

POHJATUTKIMUKSET JA PERUSTAMISTAPALAUSET

1. KOHDE JA TUTKIMUKSET

1.1 Toimeksianto ja tutkimuskohde

Toimeksiannosta on Morena Oy tehnyt pohjatutkimukset ja perustamistapalausannon puurakenteisen omakotitalon rakennushanketta varten. Pohjatutkimukset tehtiin lokakuussa 2020.

Tutkimusten tavoitteena oli selvittää perustolosuhteet geosuunnittelua, rakennussuunnittelua, perustussuunnittelua ja rakentamista varten.

Tämä lausunto on tehty alustavien rakentamisloukkojen pohjalta, jolloin rakennusten ja muiden alueiden lopulliset tarkat korkeudet, sijainnit, materiaalit ja käyttöluokat eivät ole tiedossa. Tästä syystä lausunnossa esitettyjä rakenteita pidetään alustavina suosituksina ja lopulliset rakentamis- ja työsuunnitelmat suunnitellaan lausunnon pohjalta myöhemmissä suunnitteluvaiheissa.

Noudatetaan KSE2013 konsulttisopimusehtoja.

1.2 Tehdyt tutkimukset

Tutkimuksina kohteessa on tehty:

- painokairauksia 13 eri pisteessä
- rakennuspaikan pintavaahtaus, ETRS-GK25 / N2000
- maanäytteiden otto
- pohjavedenpinnan mittaus.

Tutkimuspisteiden sijainnit ja korot on esitetty liitteenä olevassa pohjatutkimuskartassa.

Kairauspisteiltä otettiin häiriintyneitä maanäytteitä. Näytteiden rakeisuudet on tutkittu silmämääräisesti ja niiden vesipitoisuudet on mitattu laboratoriossa.

Tutkitulle alueelle ei asennettu pohjavesiputkia. Tutkimushetken pohjavedenpinta oli tutkimusreiästä havaittuna noin 2,0 m nykyisen maanpinnan alapuolella.

1.3 Tutkimusalueen maasto- ja ympäristöolosuhteet

Tutkittu alue on metsää. Alueen maanpinta on pinnanmuodoiltaan tasaista aluetta, maanpinnan korkeuksien vaihdellessa tontin alueella karkeasti ottaen välillä N2000+14,7...+15,3.

1.4 Pohjasuhteet

Maakerrosjako on tutkitulla rakennuksen alueella seuraava:

- pintakerroksena on turvetta noin 0,2...0,4 m paksu kerros
- turvekerroksen alapuolella on noin 1,0 m paksu löyhä hiekkakerros
- löyhän siltisen hiekkakerroksen alapuolella on keskitiivistä/tiivistä siltistä hiekkaa kairauksien loppuun saakka

MORENA OY

• Madetojankuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

- kairaukset lopetettiin 1,3...4,0 m syvyydelle maanpinnasta tiiviiseen kiviseen hiekkamoreeniin, kiveen, lohkareseen tai kallioon (kalliovarmistuksia poraamalla ei tehty).

1.5 Maaperän pilaantuneisuus

Tutkitulla alueella ei tietojemme mukaan ole tehty pilaantuneisuusselvitystä. Pilaantumistutkimuksia ei tehty, mutta silmämääräisten havaintojen perusteella alueella ei havaittu mitään pilaantumiseen viittaavaa.

2. SUUNNITTELUOHJEET

Tämän suunnitteluohjeen lisäksi huomioidaan Oulun kaupungin rakentamista koskevat ohjeet ja määräykset.

Kohteen geotekninen luokka on GL2 ja seuraamusluokka CC2.

2.1 Rakennuksen korkeusasema

Suunnitelmassa käytetty korkojärjestelmä on N2000+.

Perustamisolosuhteet ovat hyvät ja ne eivät rajoita rakentamiskorkeuden valintaa.

Rakennuksen korkeusasemaa valittaessa on huomioitava pintavesien pois johtaminen rakennuksen seinustoilta.

Lattioiden on oltava rakennuksen seinustoilla vähintään 0,3 m ylempänä tulevia maanpintoja. Rakennuksen välittömästi ympäröivät maanpinnat muotoillaan rakennuksesta pois päin viettäväksi. Sopiva vähimmäiskaltevuus kolmen metrin etäisyyteen sokkelista on 1:20.

2.2 Kantavien rakenteiden perustaminen

Perusmaan pintaosaa tiivistetään kaivutasosta tärylevyllä.

Kantavat rakenteet voidaan perustaa maanvaraisesti anturaperustuksin tiivistetyn perusmaan hiekan päälle tehtävän vähintään 0,3 m paksun kapilaarisora-arinakerroksen varaan.

Lattiat voidaan perustaa maanvaraisesti tiivistetyn perusmaan hiekan päälle tehtävän alustäytön ja vähintään 0,3 m paksun kapilaarisorakerroksen varaan.

2.3 Geotekninen kantavuus Eurokoodin mukaisesti

Esitetyllä tavalla perustettaessa maaperän geotekninen kantavuus R_d on murtorajatilassa jatkuvalla 0,3 m leveällä anturalla ja 0,5 m perustamissyvyydellä 160 kN/m^2 .

Kantavuuslaskelmissa perustusten kuormitusresultantti on oletettu keskeiseksi ja pystysuoraksi. Perusmaan kantavuus riippuu perustusten muodosta ja perustamissyvyydestä. Laskennallisia kantavuuksia voidaan käyttää vain perustamistasojen ja perustusten muodon ollessa

MORENA OY

• Madetojakuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

esimerkin mukaisia. Lopulliset perusmaan kantavuudet ja perustusten mitoitus tarkennetaan tarvittaessa rakennus-/rakennesuunnittelun edetessä rakenteiden mukaisesti tapauskohtaisesti.

2.4 Hulevesien viivytys/imeytys

Alueen pohjamaan peruskerrokset ovat kairausvastuksen ja maanäytteiden mukaan pääosin hiekkaa ja siltistä hiekkaa. Hiekan vedenläpäisevyyttä ei ole tutkittu, mutta se soveltuu todennäköisesti kohtalaisesti hulevesien imeytykseen.

2.5 Routasuojaus

Alueen pohjamaan peruskerrokset ovat routivia. Rakennukset suositellaan routaeristettäväksi.

Rakennuksen routasuojauksen suunnittelussa noudatetaan ohjetta RIL261-2013 Routasuojaus.

2.6 Salaojitus ja kapilaarinen nousu

Rakennuksen ympärille (suurissa rakennuksissa myös alle) on suositeltavaa rakentaa salaojitus perustustöiden yhteydessä varmistamaan perustusrakenteiden ja routaeristeiden kuivana pysyminen (esim. kevään sulamisvedet, orsivedet) ja samalla rakennuksen vierustoille karkeisiin täyttöihin kertyvät vajoivedet voidaan johtaa pois perustusalueilta. Salaojat sijoitetaan 0,2 m perustustason alapuolelle, niin että ylin kuivatustaso on vähintään 0,1 m anturan alapintaa syvemmällä.

Alapohjan eristeiden alle tehdään vähintään 0,3 m paksu pohjaveden kapillaarisen nousun katkaiseva täyttö, jonka kapilaarinen nousukorkeus on alle 0,2 m.

Rakennuspohjien kuivatuksen suunnittelussa noudatetaan ohjetta RIL126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus.

2.7 Radon ja muut kaasut

Suomessa sisäilman radonpitoisuudet ovat Euroopan ja mahdollisesti koko maailman suurimpia. Soraharju tai kallio on todennäköisiä paikkoja, joissa radonpitoisuudet voivat ylittää ohjearvot.

Tässä tutkimuksessa ei ole mitattu radonpitoisuuksia. Oulu ei kuulu merkittävään radonriskialueeseen ja kallio ei ole tutkitulla alueella lähellä maanpintaa, joten radonin poistoa ei todennäköisesti tarvita.

Maanvaraisen lattian täydyissä muodostuu mahdollisesti radon kaasua ja muita epämiellyttävien hajuisia kaasuja, rakennukset rakennetaan tiiviiksi ja sisätilat pidetään koneellisesti alipaineisena. Tästä syystä suositellaan seinän/sokkelin ja maanvaraisen lattian liittymäkohdassa käytettäväksi tiivistyskaistaa / radonhuopaa. Pelkkä höyrynsulkumuovin käyttö liitoskohdassa ei estä hajumolekyylien kulkeutumista sisäilmaan.

MORENA OY

• Madetojankuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

2.8 Piha- ja liikennealueet

Pohjamaa on tutkimusalueella pääosin routivaa silttistä hiekkaa ja pohjavesipinnan oletetaan olevan yli 2 m tulevien liikennealueiden tasauksen alapuolella. Uusien liikennealueiden rakennekerroksina voidaan tällöin käyttää seuraavia aluetyypin 3 (tavanomaiselle henkilöauto-liikenteelle tarkoitettua piha- ja paikoitusalueet) mukaisia rakennekerroksia.

Ilman routaeristettä massanvaihdoilla (laskennallinen routanousu ~100 mm):

-kulutuskerros	≥50 mm
-kantavakerros, murske # 0/32 mm	150 mm
-jakavakerros, murske # 0/56 mm	250 mm
-eristys- /suodatinkerros, routimaton hiekka	100 mm
	yht. ≥550 mm

2.9 Putkijohdot

Putkijohdot tulee pyrkiä sijoittamaan liikennealueiden ulkopuolelle. Vesijohto- ja viemäri- liit-
tymät suunnitellaan paikallisten määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Jätevesiviemäreiden ja
muiden putkijohdojen alkutäyttö tehdään putken toimittajan ohjeen mukaan.

2.10 Pintakuivatus

Alueen pintavedet johdetaan sopivin kallistuksin sadevesikaivoihin ja / tai avo-ojiin kaupun-
gin rakentamistapaohjeiden mukaisesti.

3. POHJARAKENNUSTYÖN ALUSTAVAT SUORITUSOHJEET

3.1 Yleistä

Tämän kohdekohtaisen työohjeen ja suunnitelmien lisäksi maarakennustöissä noudatetaan oh-
jetta Talonrakennuksen maatyöt MaaRYL 2010 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset.

3.2 Kaivu- ja täyttötöyt

Rakennuspaikalta kaivetaan ensin pois kaikki humusmaat, kannot, juuret ja suuret kivet. Li-
säksi poistetaan roudan löyhdyttämät perusmaan pintakerrokset.

Rakennuspohja leikataan tasoon anturan alapinta -0,3 m

Leikkauksen on kaivun pohjalla ulottuttava perustuksen reunan ulkopuolelle vähintään anturan
alapinnan ja kaivun pohjan välinen etäisyys + 1 metriä ja siitä kaltevuudessa 1:1 maanpintaan
saakka.

Ennen täyttötöihin ryhtymistä rakennuspohjalla on pidettävä pohjakatselmus. Kairausten pe-
rusteella todetut perusmaan kerrokset edustavat vain kairauspisteiden aluetta. Kaivutöiden yh-

MORENA OY

• Madetojankuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

teydessä tulee rakennustyön valvojan seurata työtä ja todeta ettei merkittäviä muutoksia maa-lajissa tai sen tiiveydessä tapahdu kairauspisteiden välisellä alueella. Jos silmämääräisesti merkittäviä muutoksia tapahtuu, on ennen täyttöjen tekemistä otettava yhteyttä suunnittelijoi-hin.

Perusmaan päälle laitetaan tarvittaessa suodatinkangas, käyttöluokka N2. Kaivutyön valvojan todetessa perusmaan rakeisuuden vastaavan leikatussa pinnassa vähintään hiekan karkeutta, ei suodatinkangasta tarvita.

Jos perusmaan leikkaus ei ulotu vähintään 0,8 m syvyydelle nykyisen maanpinnan tasosta, tiivistetään leikkauksen alapuolinen löyhä perusmaan hiekkakerros leikkauksipinnasta ennen täyttöjen tekemistä.

Pohja oikaistaan ja täytetään tarvittaessa routimattomalla murskeella, soralla tai hiekalla ker-roksittain tiivistäen, tasoon anturan alapinta -0,3 m.

Perustusten alustäytöt anturan alapintaan saakka rakennetaan kerroksittain tiivistäen puhtaasta ja kantavasta kapilaarisorasta.

Tiivistettävien täyttöjen on ulotettava täytön pohjalla vähintään etäisyydelle täytekerroksen paksuus + 1 metri perustuksen reunan ulkopuolelle. Perustamistasossa tiivistetyn täytteen on ulotuttava vähintään yhden metrin etäisyydelle perustuksen reunasta.

Perustamistasosta ylöspäin tehtävien maanvaraisten lattioiden alustäytöt tehdään kerroksittain tiivistäen puhtaasta, kantavasta ja hyvin tiivistyvistä hiekasta tai sorasta.

Jos työ ajoittuu pakkaskauteen, täytöt on rakennettava kuivasta maa-aineksesta, jonka vesipi-toisuus on. $\leq 3\%$. Pakkaskaudella rakennettaessa on perusmaan ja täyttöjen jäätyminen estet-tävä koko rakentamisen ajan.

Alapohjien eristeiden alle tulee tehdä vähintään 0,3 m paksu kosteuden kapillaarisen nousun katkaiseva salaojasepeli tms. kerros, jonka kapillaarinen nousukorkeus on $< 0,2$ m.

Kapillaarisen nousun katkaisevan täytön ja sen päälle tehtävien alapohjatäyttöjen väliin laite-taan suodatinkangas, käyttöluokka N2.

Rakennuksen vierustoille on tehtävä sokkelin vastainen, $\geq 0,2$ m paksuinen salaojituserros esim. sepelistä # 6...8/16.

3.3 Kaivot ja kanaalit

Kaivojen tasauserros tehdään murskeella # 0/16 ja ympärystäyttö murskeella # 0/16 tai rou-timattomalla hiekalla. Tasauserroksen paksuus 200 mm ja ympärystäyttö kaivon ympärille 500 mm. Lopputäyttö tehdään kaivannon viereisen rakenteen täyttömateriaalilla.

Putkikanaalien tasauserros tehdään murskeella # 0/16 ja ympärystäyttö murskeella # 0/16 tai routimattomalla hiekalla. Tasauserroksen paksuus 150 mm ja alkutäyttö ulotetaan vähintään

MORENA OY

• Maaletojanukuja 26, 90460 Oulunsalo

Morena

300 mm ylimmän putken laen yläpuolelle. Lopputäyttö tehdään kanaalin viereisen rakenteen täyttömateriaalilla.

Kaapelikanaalien tasauseros ja alkutäyttö tehdään hiekalla. Tasauseroksen paksuus on 200 mm, alkutäyttö vähintään 200 mm ylimmän putken tai kaapelin suojakourun yläpuolelle. Lopputäyttö tehdään kanaalin viereisen rakenteen täyttömateriaalilla.

3.4 Salaojat

Salaojituseros putkien ympärille tehdään sepelistä # 6...8/16, alle ja sivuille vähintään 100 mm ja päälle vähintään 200 mm. Sepeli ympäröidään kuitukankaalla. Lopputäyttö tehdään rakenteen edellyttämällä täyttömateriaalilla.

3.5 Pihan liikennealueet ja muut rakenteet

Maanpintojen korkeudet rakennuksen seinustoilla on oltava vähintään 0,3 m lattiatasoa alempana ja pinta on muotoiltava seinustoilta pois päin laskeviksi kaltevuudessa 1:20 vähintään 3 m matkalla.

Rummut yms. perustetaan vähintään 0,3 m paksun murske- / sora-arinan avulla pohjamaan varaan. Rumpujen kohdille yms. paikkoihin, missä voi esiintyä epätasaista routanousua, tehdään routimattomasta hiekasta siirtymäkiilat kaltevuuteen 1:5.

3.6 Laadun valvonta

Täytöt tehdään kerroksittain käyttäen sellaisia tiivistyskoneita, kerrospaksuuksia ja tiivistyskertoja, että rakenteelle vaadittu tiiviyys saavutetaan.

Vaaditun tiiviyssasteen varmistamiseksi tehdään tarvittavat levykuormitus- tai loadman- kokeet MaaRYL:n ohjeiden mukaisesti.

Perustusten alustäytön tiiviyssaste $\geq 95 \%$ ja pienin sallittu yksittäinen kantavuusarvo $E1 \geq 50 \text{ MN/m}^2$.

Perustamistasosta ylöspäin tehtävien lattiatäyttöjen tiiviyssaste $\geq 90 \%$ ja pienin sallittu yksittäinen kantavuusarvo $E1 \geq 40 \text{ MN/m}^2$.

Oulussa 20.10.2020


Matti Kauppi

Tarkastanut 20.10.2020


RI Ilkka Räihä

MORENA OY

• Madetojankuja 26, 90460 Oulunsalo

