



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Valtteri Sivula

TYÖOHJEIDEN LAATIMINEN GEOTEKNISEEN LABORATORIOON

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Valtteri Sivula
Opinnäytetyön nimi	Työohjeiden laatiminen geotekniseen laboratorioon
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	28
Ohjaaja	Pia-Lena Närhi

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä geoteknisiin laboratoriotutkimuksiin sekä laatia työohjeet tiettyjen laboratorioskokeiden suorittamiseen. Työohjeiden tarve perustui toisaalta laboratorioskokeiden kysyntään ja toimeksiantajan haluun laajentaa palveluitaan tällä alalla, toisaalta taas laatuvaatimusten kiristymiseen alalla.

Lähdeaineistona tässä työssä käytin laboratoriotutkimuksia käsittelevää kirjallisuutta sekä standarditekstejä. Lisäksi olen saanut huomattavan määrän tietoa geoteknisten tutkimusten merkityksestä ja tavoitteista maarakennusalan kirjallisuudesta.

Työn perusteella voin sanoa, että geoteknisten laboratoriotutkimusten merkitys varsinkin maarakennusalalla niin suunnittelu-, rakennus- kuin jälkitarkasteluvaiheessakin on hyvin suuri. Käytettäviä maa-aineksia ja rakennuspaikan maaperän olosuhteita tutkimalla sekä suorittamalla tarkastelua rakennusvaiheen aikana ja sen jälkeen voidaan varmistaa turvallinen ja laadukas lopputulos.

ABSTRACT

Author	Valtteri Sivula
Title	Work Instructions for a Geotechnical Laboratory
Year	2014
Language	Finnish
Pages	28
Name of Supervisor	Pia-Lena Närhi

The objective of this thesis was to get acquainted with geotechnical laboratory tests and to make work instructions to carry out certain laboratory tests. The need of the work instructions was on the other hand based on the demand of laboratory tests and on the employers wish to expand their services in this sector. More defined work instructions were needed because of tightening quality standards in this field.

As source material in this thesis literature which on laboratory tests and standard texts was used. A significant amount of information about the geotechnical investigations and objectives was received from literature which deals with earthmoving industry.

Based on this thesis it can be said that geotechnical laboratory tests are very important in every phase: planning, construction and post review. With quality controlling and by studying the soil which is used and the ground of the construction place ensures safe and high-class result.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TERMIT	6
1 JOHDANTO	8
2 GEOTEKNISTEN TUTKIMUSTEN HISTORIA JA TARKOITUS.....	9
3 RAKENNUSTUOTEASETUS JA KIVIAINEKSEN CE-MERKINTÄ.....	10
4 NÄYTTEEN JAKAMINEN	11
4.1 Tarkoitus	11
4.2 Menetelmät	11
5 RAKEISUUDEN MÄÄRITYS.....	12
5.1 Tarkoitus	12
5.2 Menetelmät	12
5.2.1 Kuivaseulonta.....	13
5.2.2 Pesuseulonta.....	13
5.2.3 Hydrometrikoe	14
6 VESIPITOISUUDEN MÄÄRITYS	16
6.1 Tarkoitus	16
6.2 Kokeen suorittaminen	16
7 KIINTOTIHEYDEN MÄÄRITYS	17
7.1 Tarkoitus	17
7.2 Menetelmät	17
7.3 Pyknometrinen menetelmä	17
7.3.1 Vedessä punnitus-menetelmä.....	17
8 TILAVUUSPAINON MÄÄRITYS	18
8.1 Tarkoitus	18
8.2 Menetelmät	18
8.2.1 Luonnontilaisen tilavuuspainon määrittäminen	18
8.2.2 Kuivatilavuuspainon määrittäminen.....	18
9 PROCTOR-KOE	19
9.1 Tarkoitus	19
9.2 Kokeen suorittaminen	19

10 MAAN HYDRAULISIIN OMINAISUUKSIIN LIITTYVÄT	
TUTKIMUKSET	21
10.1 Vedenläpäisevyyden määrittäminen	21
10.1.1 Tarkoitus	21
10.1.2 Kokeen suorittaminen	21
10.2 Kapillaarisen nousukorkeuden määrittäminen	22
10.2.1 Tarkoitus	22
10.2.2 Kokeen suorittaminen	23
11 LOS ANGELES -TESTI	24
11.1 Tarkoitus	24
11.2 Kokeen suorittaminen	24
12 POHJOISMAINEN KUULAMYLLYKOE.....	25
12.1 Tarkoitus	25
12.2 Kokeen suorittaminen	25
JOHTOPÄÄTÖKSET.....	27
LÄHTEET	28

TERMIT

hienoaines	0,063 mm seulan läpäisevä aines
huokoisuus	aineksessa olevien huokosten yhteis-tilavuuden suhde kokonaistilavuuteen
jaettu näyte	yhdistetystä näytteestä jakamalla saatu näyte
karkearakeinen aines	aines, jonka raekoko on yli 2 mm
kiintotiheys	kiviainesrakeen massa jaettuna rakeen tilavuudella
kuivatilavuuspaino	maanäytteen kuivapainon suhde näytteen alkuperäiseen tilavuuteen
laboratorionäyte	näyte, joka on tarkoitettu laboratoriossa tehtävään kokeeseen
lajite	kiviaineksen lajittelussa saatu aines, jonka ylä- ja alaraja on määrätty
optimivesipitoisuus:	vesipitoisuus, jolla voidaan saavuttaa ainekselle suurin tiiviys
osanäyte	näytteenottomella yhdellä ottokerralla erästä saatava näytemäärä
raekokojakauma	maa-aineksessa olevien raekokoluokkien massasuhteet
testinäyte	näyte, joka käytetään kokonaan yhteen testiin

tiiviyaste	tiivistetyn maan irtotiheyden ja irtotiheyden maksimin suhde prosentteina
yhdistetty näyte	osanäytteistä yhdistämällä valmistettu näyte
vakiomassa	peräkkäisissä kuivauksen jälkeen suoritetuissa punnituksissa saatujen massojen erotus saa olla korkeintaan 0,1 %
vesipitoisuus	tietyssä maa-aineksen massassa olevan huokosveden ja vapaan veden massan suhde kuivan kiintoaineksen massaan

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena oli työohjeiden laatiminen HKM Infra Oy:n geotekniseen laboratorioon. HKM Infra Oy on vuonna 2010 perustettu suunnittelu- ja asiantuntijatoimisto. Yritys on kehittämässä geoteknisen laboratorionsa toimintaa ja lisäämässä sen valmiuksia tarjota kattavia ja monipuolisia palveluita asiakkaille. Tehtävänäni oli laatia standardien mukaiset työohjeet geoteknisten laboratoriokokeiden suorittamiseen.

Yritys tarvitsi uudet työohjeet, koska aikaisemmat työohjeet olivat liian epätarkkoja ja toisaalta osalle laboratoriotutkimuksista ei ollut laadittu vielä mitään työohjeita. Standardit itsessään ovat liian vaikealukuisia ja toisaalta ainakin osittain liian yleispäteviä käytettäväksi sellaisenaan työohjeina laboratoriossa. Euroopan unionin rakennustuoteasetuksen myötä kiviaineksen laatuvaatimukset ovat kiristyneet, joten geoteknisille laboratoriokokeille riittää kysyntää laadun varmistamisen ja seurannan takia.

CE-merkintöjä kiviaineksille voivat antaa vain sertifioidut laboratoriot, ja hyväksynnän saavuttamiseksi testejä tekevän tahon tulee osoittaa pystyvänsä suorittamaan tutkimukset standardien vaatimusten mukaisesti. Pyrin siis laatimaan ohjeet, jotka noudattavat standardien määräyksiä, mutta ovat samalla mahdollisimman selkeät ja helppolukuiset ja sopivat joko jo käytössä oleville tai järkevin kustannuksin hankittavissa oleville tutkimusvälineille.

En liitä laatimiani työohjeita tähän työhön, vaan kuvailen tarkemmin kunkin laboratoriokokeen tarkoituksia ja merkitystä sekä hieman yleispätevämmiin kokeiden suoritustapojia.

2 GEOTEKNISTEN TUTKIMUSTEN HISTORIA JA TARKOITUS

Suomen geotekniikan tutkimuksen voidaan katsoa käytännössä alkaneen 1910-luvun loppupuolella, kun alettiin selvittää maapohjan pettämisen seurauksena aiheutuneita rautatieonnettomuuksia. Tutkimuksia varten tehtävään asetettiin oma komissio. Nykyään geoteknisten tutkimusten merkitys entistäkin suurempi, kun usein joudutaan rakentamaan huonommallekin pohjamaalle, jolloin tarvitaan tarkkoja tietoja maaperän ominaisuuksista ja käyttäytymisestä. (Jääskeläinen 2011, 13.)

Tänä päivänä geoteknisiä laboratoriokokeita tehdään yleisesti esimerkiksi suunniteltaessa isompia maarakennushankkeita, jolloin tutkitaan maaperän ominaisuuksia kyseisellä alueella sekä rakenteisiin käytettäviä materiaaleja. Tutkimuksia tarvitaan myös töiden aikana ja niiden valmistuttua työn laadun varmistamiseen. (Hartikainen 1990, 28.)

Nykyään panostetaan yhä enemmän käytettävien materiaalien laatuun ja tuottajilta vaaditaan tiettyjen tutkimusten suorittamista, ennen kuin materiaaleja saa myydä eteenpäin. Laboratoriokokeita tarvitaan myös, kun etsitään parhaiten sopivaa materiaalia, johonkin tiettyyn vaativampaan käyttötarkoitukseen.

3 RAKENNUSTUOTEASETUS JA KIVIAINEKSEN CE-MERKINTÄ

Euroopan unionin jäsenmaat ovat yhdessä valmistelleet rakennustuoteasetuksen, joka määrittää rakennustuotteiden teknisten laatuvaatimusten järjestelmän. Asetuksella pyritään estämään jäsenmaita luomasta kaupan teknisiä esteitä. Tavoitteena on tuotteiden vapaa liikkuvuus unionin alueella, kilpailun rajoitteiden poistaminen ja hankintojen helpottaminen. Rakennustuotteilta on vaadittu CE-merkintää 1.7.2013 alkaen, mikäli tuotteella on harmonisoitu tuotestandardi. (Infra ry, 3,4)

Kiviaines CE-merkitään tuotteittain ja käyttökohteittain ja kiviaineksen CE-merkinnästä tulee saada selville tuotteen tekniset ominaisuudet. Tuotestandardit esittävät ominaisuuksille testausmenetelmän, laskentamenetelmän tai taulukkoarvot ja sen miten arvot ja luokitukset esitetään CE-merkinnässä. CE-merkinnän teettää tuotteen valmistaja itse. CE-merkinnän voi antaa vain hyväksytty laboratorio. (Infra ry, 6,7)

4 NÄYTTEEN JAKAMINEN

4.1 Tarkoitus

Maanäytteen jakamisella pyritään saamaan testausta varten sopivan kokoinen ja mahdollisimman edustava testinäyte. Tärkeintä maanäytteen jakamisessa on välttää maa-aineksen lajittuminen tai muu sellainen muutos, joka voisi vaikuttaa tutkimustuloksiin. (SFS-EN 932-2:fi 1999.)

4.2 Menetelmät

Näytteen jakamiseen on olemassa useita erilaisia tapoja, esimerkiksi jakaminen näytteenjakajalla, jakaminen neliöimällä ja jakava lapiointi. Sopiva jakotapa valitaan sen mukaan, minkä kokoinen testinäyte halutaan saada ja kuinka suuri vaihteluväli halutulle testinäytteelle sallitaan. Jakotavan valintaan voi vaikuttaa myös tutkittavan materiaali laatu, esimerkiksi raekoko. (SFS-EN 932-2:fi 1999.)

5 RAKEISUUDEN MÄÄRITYS

5.1 Tarkoitus

Maan kivennäisaineksen raekoostumus on maalajin ja maaperämuodostuman käyttäytymisen ja käytön kannalta ratkaiseva tekijä. Maalajiluokitus perustuukin pääasiassa rakeisuuden määrittämiseen. Raekoostumusta kuvataan niin sanotulla rakeisuuskäyrällä, joka ilmaisee, miten suuri osuus prosentteina tutkitusta aineksesta läpäisee kunkin seulontaan käytetyn seulan. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 2006, 55.)

Rakeisuus on tärkein maalajin nimitysperuste. Lisäksi rakeisuustietoja tarvitaan moniin muihinkin tarkoituksiin muun muassa arvioitaessa maan vedenläpäisevyyttä, routivuutta, tiivistettävyyttä, soveltuvuutta erilaisiin maarakenteisiin sekä stabilointiin. (GLO-85 1985, 10.)

Kuten edellä jo mainittiinkin, rakeisuuden jakautumisella on suuri vaikutus maalajien moniin ominaisuuksiin ja erilaisten maa-ainesten turvallisen käytön kannalta onkin erittäin tärkeää tietää mahdollisimman paljon kyseisen materiaalin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä. Erityisen suuri merkitys raekoostumuksella on karkearakeisissa maalajeissa. Hienojakoisissa maalajeissa raekoostumuksen vaikutukset maalajin ominaisuuksiin ovat pienempiä, koska niiden ominaisuudet suurelta osalta riippuvat muista tekijöistä kuten rakenteesta, konsolidaatioasteesta ja rakeiden vedensitomiskyvystä. (Rakennustekniikan käsikirja. 1970. Pääjakso 1, 967.)

5.2 Menetelmät

Jokaisen raekokoluokan koko voidaan määrittää joko seulomalla tai hydrometrikokeen avulla. Maa-aineksille, joissa on alle 10 % hienoainesta, käytetään seulontamenetelmää. Maa-aineksille, joissa on yli 10 % hienoainesta tai tarkempia tuloksia haluttaessa, voidaan käyttää seulonnan ja hydrometrikokeen yhdistelmää tai pelkkää hydrometrikoeita, mikäli tutkittava aines on niin hienoa, ettei sitä tarvitse seuloa. (SFS-käsikirja 179-2 2008, 41.)

5.2.1 Kuivaseulonta

Kuivaseulonnan avulla selvitetään kiviaineksen erikokoisten rakeitten keskinäinen jakautuminen seulomalla näyte niin kutsutulla normaaliseulasarjalla. Kuivaseulonta soveltuu hienoainesta sisältämättömille karkearakeisille maalajeille, kuten hiekoille ja sorille. (Petäjä-Ronkainen, Roman & Holappa 1995, 21.)

Kuivaseulonta ei voida suorittaa luotettavasti, jos tutkittavassa näytteessä hienoaineksen pitoisuus on suuri. Tässä tapauksessa käytetään rakeisuuden määrittämiseen pesuseulontaa ja tarvittaessa eli, jos hienoainesta on yli 10 % tai haluttaessa tarkempia tuloksia käytetään areometrikoetta. (Jääskeläinen 2011, 29.)

Kuivaseulonta suoritetaan käyttäen niin sanottua normaaliseulasarjaa, jossa on päällekkäin rakeisuuskäyrän asteikkoraekokoja vastaavat seulat suuruusjärjestyksessä, alaspäin tihentyen. Kun näyte seulotaan, kullekin seulalle jäävät ne rakeet, jotka ovat läpimitaltaan kyseisen seulan aukkoja suurempia, mutta seuraavan suurempiaukkoisen seulan aukkoja pienempiä. (Rantamäki ym. 2006, 73.)

Kuivattu näyte punnitaan ja kaadetaan seulasarjaan päällimmäiselle seulalle. Seulasarja asetetaan tärytimeen ja seulasarjan päälle asetetaan kansi, joka estää seulottavan näytteen karkaamisen seulasarjasta. Seuloja tärytetään vähintään kymmenen minuuttia, jotta kaikki rakeet menisivät omiin väleihinsä. Tärytyksen jälkeen punnitaan kullekin seulalle ja seulasarjan pohjalle jäänyt aines, muutetaan se prosenteiksi koko näytteestä, lasketaan jokaiselle seulalle läpäisyprosentti. Läpäisyprosenttien perusteella piirretään rakeisuuskäyrä. (Jääskeläinen 2011, 17.)

5.2.2 Pesuseulonta

Kun tutkittavassa maanäytteessä on karkeiden rakeiden lisäksi mukana runsaasti hienoainesta, ei kuivaseulonta onnistu luotettavasti. Tällaisia näytteitä voivat olla esimerkiksi moreenit tai hienoainesta sisältävät hiekat. Näissä aineksissa pienet rakeet pyrkivät tarttumaan toisiinsa ja isompien rakeiden pinnoille niin tiukasti, etteivät ne irtoa tärytyksessäkään. Lisäksi hienoaines läpäisee hienommat seulat hyvin hitaasti, kun sen määrä on suuri. (Jääskeläinen 2011, 29.)

Pesuseulontaa käytetään, mikäli hienoaineksen osuus tutkittavassa aineksessa on suuri. Haluttaessa tarkempia tuloksia pesuseulontaa voidaan toki käyttää vaikka hienoaineksen osuus ei olisi kovin suuri. Pelkkä pesuseulontakaan ei riitä mikäli hienoaineksen osuus on yli 10 %. Tällöin voidaan suorittaa areometrikoe pesuseulan läpäiselle ainekselle. Pesuseulontaa joudutaan käyttämään usein esimerkiksi moreeneja tai hienoainesta sisältäviä hiekkänäytteitä tutkittaessa. (Jääskeläinen 2011, 29; Rantamäki ym. 2006, 73 – 75.)

Kuivattu näyte punnitaan aluksi lähtöpainon saamiseksi. Punnituksen jälkeen näyte sekoitetaan veteen, jotta rakeet irtoaisivat toisistaan. Tarvittaessa seokseen voidaan lisätä pintajännitystä pienentävää pesuainetta. Liotuksen jälkeen seos kaadetaan pesuseulaan, jolloin hienoaines kulkeutuu veden mukana seulan läpi. Näytettä pestään seulalla kunnes seulan läpäisevä vesi on kirkasta. Seulalle jäänyt aines kuivataan ja punnitaan. Pestyn ja kuivatun näytteen sekä alkuperäisen kuivan näytteen massojen erotuksena saadaan niin sanottu pesutappio eli pesuseulan läpäisseen hienoaineksen määrä. Pesuseulonnan jälkeen näytteelle tehdään vielä tavallinen kuivaseulonta, jonka tuloksiin lisätään pesutappio. Pesuvesi ja siinä oleva hienoaines voidaan ottaa tarvittaessa talteen esimerkiksi areometrikoea varten. (Rantamäki ym. 2006, 74 – 75.)

5.2.3 Hydrometrikoe

Hydrometrikoe soveltuu hienorakeisten maalajien, kuten savien ja silttien rakeisuusmäärittämiseen. Lisäksi sitä käytetään tarvittaessa karkearakeisten maalajien sisältämän hienoaineksen raekoon selvittämiseen. (Petäjä-Ronkainen ym. 1995, 21.)

Monet maa-aineksen käyttäytymiserot muuttuvat rakeisuusalueella, jota ei pystytä tutkimaan seulonnoilla. Esimerkkejä tästä ovat leikkauslujuuden muodostumista pa, vedenläpäisevyys ja routivuus. Tällaisia ominaisuuksia tutkittaessa käytetään hydrometrikoea. Hydrometrikokeella voidaan tutkia rakeita, joita normaali ihmismilmäkään ei erota. (Jääskeläinen 2011, 30.)

Hydrometrikokeessa raekoostumus määritetään mittaamalla tiettyä alkukonsentraatiota olevan lietteen tiheys eri ajankohtina. Maahiukkasten laskeutuessa mittaastian pohjalle lietteen tiheys pienenee ja mittaamalla tiheyden muutokset ajan funktiona voidaan siten määrittää maan raekoostumus lietteen tiheyden muutosten perusteella. Mittaaminen suoritetaan lietteeseen asetettavalla areometrillä, joka laskeutuu alemmas lietteen tiheyden pienentyessä, jolloin areometrin varressa olevalta asteikolta luetaan lietteen pinnan korkeus (RIL 60, 1968, 36.)

Hydrometrikoe perustuu Stokesin lakiin, jonka mukaan tietyn tiheyden omaavan pallon laskeutumisenopeus nesteessä riippuu pallon halkaisijan neliöstä, palloaineen tiheydestä, ja nesteen viskositeetista. (Jääskeläinen 2011, 30.)

Näyte kuivataan uunissa ja siitä määritetään vesipitoisuus. Kuivattu näyte laitetaan koeastiaan, johon lisätään peptisaattoriliuosta sekä 200–300 ml tislattua vettä. Peptisaattoriliuos nopeuttaa kokkareitten hajoamista ja aineksen liettymistä. Näyte sekoitetaan ja jätetään vuorokauden ajaksi rauhaan. Vuorokauden kuluttua astia täytetään 1000 ml asti tislattulla vedellä ja näytettä sekoitetaan uudelleen. Sekoituksen jälkeen suoritetaan areometrin lukeminen tietyin väliajoin kokeen alusta. (Jääskeläinen 2011, 31–32.)

Jokaisella mittauksella mitataan myös lietteen lämpötila. Mittausten perusteella pystytään laskemaan tutkittavan aineksen raekoot ja niitä vastaavat läpäisyprosentit rakeisuuskäyrällä. Tutkittaessa maalajeja, jotka sisältävät runsaasti sekä hienoa että karkeaa ainesta rakeisuuden määrittämiseen voidaan käyttää seulonnan ja areometrin yhdistelmää, jolloin pesuseulan läpäisille ainekselle tehdään areometrikoe ja rakeisuuskäyrät yhdistetään. (Rantamäki ym. 2006, 75.)

6 VESIPITOISUUDEN MÄÄRITYS

Maan vesipitoisuudella tarkoitetaan maa-aineksessa olevan veden massan suhdetta prosentteina kuivan aineksen massaun. (Rantamäki ym. 2006, 79.)

6.1 Tarkoitus

Vesipitoisuutta käytetään maalajimäärityksen tekoon sekä uudelleen tiivistettyjen maiden valvontakriteerinä. Vesipitoisuus mitataan myös useimmissa kenttä- ja laboratoriotutkimuksissa käytetyistä näytteistä. (SFS-käsikirja 179-2 2008, 10.)

Maan vesipitoisuus vaikuttaa merkittävästi sen tiivistettävyyssominaisuuksiin. Vaadittava tiivistysaste saavutetaan helpoimmin silloin, kun maan kosteus on lähellä sen optimivesipitoisuutta. Tiivistystöitä tehtäessä, voidaan tiivistettävän materiaalin vesipitoisuus välillä tarkistaa ja verrata sitä kyseiselle maalajille proctor-kokeen avulla määritettyyn optimivesipitoisuuteen. Mikäli vesipitoisuus on liian pieni, tiivistettävää kerrosta voidaan kastella, jolloin tiivistyvyys paranee. (Tie- ja vesirakennushallitus 1970, osa V, 89–90.)

6.2 Kokeen suorittaminen

Yleisimmin käytetty menetelmä vesipitoisuuden määrittämiseen on kuivata näyte määrättyyn lämpötilaan säädetyssä lämpökaapissa. Vesipitoisuus määritetään mitaamalla koenäytteestä kuivaamalla poistetun veden massa ja vertaamalla sitä kiintoaineksen massaun, joka on lämpökaappi-kuivauksen jälkeen jäljelle jäänyt massa. (SFS-käsikirja 179-2 2008, 10.)

Maanäyte punnitaan aluksi kosteana, jonka jälkeen sitä kuivatetaan useiden tuntien ajan tavallisesti noin 105 asteen lämpötilassa, joka riittää haihduttamaan normaalin veden näytteestä, suurempi lämpötila voisi irrottaa kivirakeista niihin kuluva kidevettä, mikä johtaisi virheelliseen tulokseen. Kuivatuksen jälkeen näyte punnitaan uudelleen. Poistuneen veden paino saadaan laskettua vähentämällä kostean näytteen painosta kuivan näytteen paino. Jakamalla poistuneen veden paino kuivan aineksen painolla ja kertomalla tulos sadalla saadaan kosteusprosentti. (Jääskeläinen 2011,16.)

7 KIINTOTIHEYDEN MÄÄRITYS

Kiintotiheydellä tarkoitetaan kuivan huokosettoman maa-aineksen tiheyttä eli massan suhdetta tilavuuteen. Suomessa käytetään yleisesti kivennäismaalajien tiheytenä oletusarvoa $2,65 \text{ t/m}^3$, mikäli tarkempaa tietoa ei vaadita. (Rantamäki 2006, 78.)

7.1 Tarkoitus

Maalajien tiheystietoja tarvitaan moniin eri tarkoituksiin. Kiintotiheyden perusteella voidaan esimerkiksi arvioida tiiviyttä ja tiivistystyö laatua. (GLO-85 1985, 25.)

7.2 Menetelmät

7.3 Pyknometrimenetelmä

”Pyknometrimenetelmä perustuu tunnetun massan tilavuuden määrittämiseen nestettä syrjäyttämällä. Kiinteiden rakeiden kiintotiheys lasketaan maan massasta ja tilavuudesta. Pyknometrimenetelmä soveltuu maalajeille, joiden rakekoko on alle 4 mm.” (SFS-käsikirja 179-2 2008, 35.)

7.3.1 Vedessä punnitus-menetelmä

Karkean soran ja murskeen kiintotiheys voidaan määrittää vedessäpunnitusmenetelmällä. Hienompien ainesten kiintotiheyden määrittämiseen käytetään Pyknometrimenetelmää.

Näyte kuivataan uunissa vakiomassaan ja punnitaan. Punnituksen jälkeen näyte upotetaan veteen ja sitä sekoitetaan kunnes ilmakuplat ovat poistuneet kiviaineksen pinnalta. Näyte punnitaan asettamalla se veden alla olevaan taarattuun punnituskoriin. Lopuksi mitataan veden lämpötila ja merkitään sekin testilomakkeeseen. Kiintotiheys saadaan laskettua jakamalla kuivana punnittu massa kuivana ja veteen upotettuna punnittujen massojen erotuksella ja kertomalla tulos veden tiheydellä tutkimuslämpötilassa.

8 TILAVUUSPAINON MÄÄRITYS

8.1 Tarkoitus

”Tilavuuspainoa tarvitaan lähes kaikissa geoteknisissä laskelmissa. Etenkin vakavuuslaskelmissa tilavuuspainon virhearviointi voi aiheuttaa huomattavia seurauksia.”(GLO-85 1985, 32.)

8.2 Menetelmät

8.2.1 Luonnontilaisen tilavuuspainon määrittäminen

Luonnontilaisella tilavuuspainolla tarkoitetaan luonnontilaisen maamassan painon suhdetta tilavuuteen. Luonnontilainen tilavuuspaino määritetään häiriintymättömästä näytteestä. Kitka- ja moreenimaalajeista on vaikeaa saada häiriintymättömää näytettä. Luonnontilainen tilavuuspaino määritetään luotettavimmin maastossa esimerkiksi vesivolymetrikoella. (GLO-85 1985, 32.)

Hienojakoisista maista, kuten savesta ja siltistä pystytään helposti ottamaan häiriintymättömiä näytteitä ja määrittämään niistä tilavuuspainot. Irto- ja irtorakeisissa maissa häiriintymättömän näytteen ottaminen on vaikeampaa. Maa löyhtyy herkästi pienenkin liikkeen takia. Tilavuuspaino määritetäänkin usein käyttämällä vesivolymetrikoetta. Vesivolymetri koe suoritetaan siten, että kaivetaan kuoppa, josta otetaan talteen kaikki liikahtaneet rakeet ja mitataan tehdyn kuopan tilavuus vesivolymetrillä. Kaivettu maa-aines kuivataan ja punnitaan. (GLO-85 1985, 32.)

8.2.2 Kuivatilavuuspainon määrittäminen

Kuivatilavuuspainolla tarkoitetaan kuivatun näytteen painon ja kostean näytteen tilavuuden suhdetta. Kuivatilavuuspaino saadaan jakamalla kuivatun näytteen paino, joko häiriintymättömän näytteen tilavuudella tai vesivolymetrikoetta käytettäessä kuopan tilavuudella. (GLO-85 1985, 33.)

9 PROCTOR-KOE

Tässä työssä tarkoitan proctor-kokeella niin sanottua parannettua proctor-koetta. Proctor-kokeella selvitetään tiiviyden ja vesipitoisuuden välistä riippuvuutta eli suurinta kuivatilavuuspainoa, joka kyseiselle maalajille voidaan saavuttaa ja vesipitoisuutta, jossa kyseinen kuivatilavuuspaino saavutetaan. (Petäjä-Ronkainen ym. 47.)

9.1 Tarkoitus

Maalajin tiiviyden on yksi sen rakenneominaisuuksista. Tiiviyden avulla voidaan arvioida maalajin lujuus-, muodonmuutos- ja kantavuusominaisuuksia. Tiiviyttä ilmaisevia suureita ovat muun muassa irtotiheys, tilavuuspaino, huokoisuus, huokosluku, suhteellinen tiiviyden ja tiiviydenaste. (Petäjä-Ronkainen ym. 1995, 47.)

Tiivistystarkkailu on oleellinen osa tiivistystyötä. Työn ja lopputulokseen laatua voidaan arvostella useammalla tavalla. Tavallisesti tiivistystyön tarkkailu perustuu maan irtotiheyden kasvun tai maapohjan kantavuuden lisäyksen mittaamiseen. (Hartikainen 1990, 129.)

Proctor-kokeen perusteella annetaan tiivistämisvaatimus niin sanottuna tiivistysasteena, jolla tarkoitetaan tiivistetyn maan kuivatilavuuspainon suhdetta proctor-tiiviyteen. (Tie- ja vesirakennushallitus 1970, osa 2, 34.)

9.2 Kokeen suorittaminen

Näytteen maalaji tunnistetaan silmämääräisesti ja määrityksen perusteella selvitetään kyseiselle maalajille valmiiksi määritetty optimivesipitoisuus esimerkiksi aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta. Tutkittavasta näytteestä poistetaan ylisuuret, rakeet seulomalla. Näyte laitetaan proctor-muottiin ja tiivistetään 5 kerroksessa junteamalla jokaista kerrosta proctor-vasaralla 25 kertaa pienempää ja 55 kertaa isompaa muottia käytettäessä. (Tie- ja vesirakennushallitus 1970, osa 2, 35.)

Maan irtotiheyden kasvuun perustuvassa tarkkailussa verrataan kentällä mitattua kuivairtitiheyttä proctor-menetelmällä laboratorioissa samasta maa-aineksesta saa-

tuun kuivairtoteiheyden maksimiarvoon. Kentällä aikaansaatu tulos ilmoitetaan siten niin sanottuna suhteellisena tiiviytenä. Saavutettu tiivistetyn maan irtoteiheyden ja irto-teiheyden maksimin suhde prosentteina ilmaisee tiiviyksasteen. (Hartikainen 1990, 129.)

10 MAAN HYDRAULISIIN OMINAISUUKSIIN LIITTYVÄT TUTKIMUKSET

Maan huokostilassa olevan veden virtausilmiöiden ja paineolosuhteiden merkitys on hyvin suuri käytännön maa- ja pohjarakentamisessa sekä pohjaveden hankinnassa. Erityisesti nämä tulevat esille maapatojen rakentamisessa ja pohjarakennuksen kuivanapidossa. Tällöin tarvitaan tietoa maan vedenläpäisevyydestä, huokosvedenpaineesta ja kapillaarisuudesta. Näitä ominaisuuksia voidaan yhteisellä nimellä kutsua maan hydraulisiksi ominaisuuksiksi. (Petäjä-Ronkainen ym. 1995, 56.)

10.1 Vedenläpäisevyyden määrittäminen

Kaikki maalajit läpäisevät vettä aina hienorakeista savea myöten, mutta karkeat maalajit läpäisevät vettä huomattavasti paremmin kuin hienot. Maan vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka aikayksikössä virtaa määrätyn poikkileikkauksen kautta. Maassa virtaava vesi noudattaa Darcyn lakia, jonka mukaan veden keskimääräinen nopeus on kyseessä olevan maan vedenläpäisevyyskerroin kerrottuna painekehäluvulla. (Petäjä-Ronkainen ym. 1995, 56.)

10.1.1 Tarkoitus

Vedenläpäisevyyden määrittämisessä saadut tulokset auttavat laskettaessa pohjaveden virtausta ja arvioitaessa keinotekoisien läpäisemättömien kerrosten ja suodatinkerrosten vedenläpäisevyyttä. Saatujen tulosten avulla voidaan esimerkiksi valita sopiva materiaali rakenteeseen, joka ei saisi läpäistä vettä. (SFS-käsikirja 179-2 2008, 186.)

10.1.2 Kokeen suorittaminen

Vedenläpäisevyyttä tutkitaan joko koepumppauksilla maastossa tai laboratorio kokeilla. Yleensä maastossa suoritettavat mittaukset antavat varmemman tuloksen pohjarakennustöiden suunnitteluun, mutta ovat myös kalliimpia. Laboratoriokokeita tehdään usein, kun halutaan tietää jonkin käyttöön aiotun maa-aineen sopi-

vuus tarkoitukseensa, mutta myös selvitetessä maaperän vedenläpäisevyyttä. (Jääskeläinen 2011, 68.)

10.2 Kapillaarisen nousukorkeuden määrittäminen

Maalajin kapillaarisuudella tarkoitetaan sitä etäisyyttä pohjaveden pinnasta, johon vapaa vesi nousee maahiukkasten välissä huokoskanavissa esiintyvien kapillaarivoimien vaikutuksesta. Tämä tapahtuu veden pintajännityksen sekä maarakeiden ja veden välisen vetovoiman vaikutuksesta. Koska huokoskanavien läpimitta yleensä suurenee raekoon kasvaessa, on kapillaarinen nousukorkeus kääntäen verrannollinen kyseessä olevan maalajin raekokoon. Maalajien kapillaarisuus kasvaa siis jatkuvasti raekoon pienentyessä. Kapillaariset nousukorkeudet vaihtelevat paljon eri maalajeilla. (Petäjä-Ronkainen ym. 1995, 63.)

Maalajin huokostilaa voidaan verrata monihaaraiseen kapillaariputkien järjestelmään, jossa vesi nousee kapillaarisesti vedenpinnassa vallitsevan pintajännityksen vaikutuksesta. Veden pintajännitys vaihtelee maan sisällä valitsevalla lämpötila-alueella lämpötilan mukaan vain vähän. Suurin kapillaarinen nousu-korkeus eli kapillaarisuus riippuukin kivennäismaalajeissa pääasiallisesti vain huokosten suuruudesta. Samallakin maalajilla saattaa huokoskoko vaihdella ja niin vaihtelee myös kapillaarisuus maalajin kerrostumistiheyden mukaan. (Rakennustekniikan käsikirja. 1970. Pääjakso 1, 989.)

10.2.1 Tarkoitus

Maalajien kapillaarisuusarvoja tarvitaan usein routivuuskysymyksien yhteydessä ja samoin esimerkiksi selvitetessä niin sanottua märkärataa vapaan pohjaveden korkeuden ollessa tiedossa. Kapillaarinen nousukorkeus on oleellinen asia myös rakennusten lattioiden alle tulevissa salaojituskerroksissa. Kerroksen minimipaksuus on määräysten mukaan 20 cm ja salaojasoran on sillä matkalla kyettävä luotettavasti pysäyttämään veden kapillaarinen nousu pohjamaasta. (Petäjä-Ronkainen ym. 1995, 63; Jääskeläinen 2011, 40.)

Koska sekä kapillaarisuus että kokoonpuristuvuus lisääntyvät maalajin muuttuessa hienojakoisemmaksi, koheesiomaalajit kutistuvat runsaasti kuivuessaan, toisin

kuin kitkamaalajit. Hienojakoisissa maalajeissa saattavat kapillaarijännitykset olla hyvin suuria. Hienojakoinen maalaji kutistuu kuivuessaan ja muuttuu kovaksi tai jäykäksi. Jos kapillaarijännitykset osittain tai kokonaan kuivuneesta savinäytteestä poistetaan lisäämällä näytteeseen vettä, näyte turpoaa. Sekä kutistuminen, että turpoaminen saattaa aiheuttaa rakenteille vaarallisia liikkeitä maaperässä. (Rakennustekniikan käsikirja. 1970. Pääjakso 1, 991–992.)

10.2.2 Kokeen suorittaminen

Hienorakeisten maalajien kapillaarisuus määritetään tavallisesti niin sanotulla kapillaarimetrillä, jossa mitataan suurin alipaine, johon veden kyllästämä näyte voidaan toispuoleisesti asettaa ilman vielä imeytymättä näytteen läpi. (Rakennustekniikan käsikirja. 1970. Pääjakso 1, 990.)

11 LOS ANGELES -TESTI

11.1 Tarkoitus

Los Angeles -luku kuvaa kiviaineksen kulutuskestävyyttä ja lujuutta. Los Angeles -luku määritetään jauhamalla kiviainesta teräskuulien avulla niin sanotussa Los Angeles -myllyssä ja laskemalla tämän jälkeen 1,6 mm seulan läpäiseväksi jauhuneen kiviaineksen määrä painoprosenteina. (RIL 60 1968, 47; SFS EN 1097-2:fi.)

11.2 Kokeen suorittaminen

Tutkittava näyte kuivataan ennen testin aloittamista. Kuivaamisen jälkeen näyte seulotaan käyttäen 10 mm, 11,2 mm (tai 12,5 mm) ja 14 mm testiseuloja erillisten lajitteiden 10–11,2 mm (tai 12,5 mm) ja 11,2 (tai 12,5)–14 mm saamiseksi. Kukin lajite pestään erikseen ja kuivataan vakiomassaan. Näistä kahdesta lajitteesta sekoitetaan muunnettu näyte siten, että testiin käytetään kiviainesta, joka läpäisee 14 mm testiseulan, mutta jää 10 mm testiseulalle. Lisäksi raekokojakautuman on täytettävä ainakin toinen seuraavista vaatimuksista: a) 60–70 % läpäisee 12,5 mm testiseulan tai b) 30–40 % läpäisee 11,2 mm testiseulan. (SFS EN 1097-2:fi; Tie- ja vesirakennushallitus 1970, osa 2, 87.)

Tutkittava aines laitetaan niin sanottuun Los Angeles -myllyyn, jossa on sisällä 11 teräskuulaa. Mylly pyörii 500 kierrosta. Kun mylly pysähtyy, poistetaan kiviaines ja se pesuseulotaan käyttäen pesuseulana 1,6 mm seulaa. Tämän seulan läpäissyt ainesmäärä painoprosenteina koko 5 kg näytteestä on Los Angeles -luku. (SFS EN 1097-2:fi; Tie- ja vesirakennushallitus 1970, osa 2, 87.)

12 POHJOISMAINEN KUULAMYLLYKOE

12.1 Tarkoitus

Kiviaineksen lujuus vaikuttaa ratkaisevasti päällysteen kulumiskestävyyteen. Lujuusluokiteltavasta päällystekiviaineksestä määritetään kuulamylyarvo, jota käytetään arvioitaessa kiviaineksen kestävyyttä tien päällyste- ja kantavan kerroksen materiaaleina. Menetelmää voidaan käyttää tutkittaessa murskattuja luonnonkiviaineksia, mutta se sopii myös keinotekoisille materiaaleille. Kuulamylyarvo ilmoittaa painoprosentteina sen materiaalin määrän, joka jauhautuu kuulamylykokeessa hienommaksi kuin 2 mm. (Asfalttinormit 2000, 55; Sandström 2005, 31.)

12.2 Kokeen suorittaminen

Kuulamylykokeessa jauhetaan tunnin ajan noin 1000 g suuruista murskattua kiviaineksnäytettä metallikuulien kanssa pituusakselinsa ympäri vaakatasossa pyörivässä sylinterimäisessä metallirummussa eli kuulamylyssä. Näyte koostuu kahdesta lajitteesta, 11,2 mm – 14,0 mm ja 14,00 mm – 16,00 mm. Lajitetta 11,2 mm – 14,00 mm otetaan 65 % kokonaismäärästä kun taas lajitetta 14,00 mm – 16,00 mm otetaan 35 % kokonaismäärästä. Pestyjen ja kuivattujen rakeiden muoto yhdenmukaistetaan välppäseulonnalla, missä käytetään 8 mm välppäseulaa hienommalle ja 10 mm välppäseulaa karkeammalle lajitteelle. Lisäksi määritetään kiviaineksen kiintotiheys. (Sandström 2005, 32.)

Molemmat kiviainekslajitteet laitetaan pesun ja kuivatuksen jälkeen kuulamylyyn, jonka jälkeen myllyyn lisätään 2000 ml vettä. Lopuksi myllyyn punnitaan yhteensä 7000 g halkaisijaltaan 15,0 mm olevia kuulia. Myllyä pyöritetään tunnin ajan yhteensä 5400 kierrosta, jolloin mylly pysähtyy itsestään. Myllyn pysähtyttyä pestään aines ja metallikuulat 2 mm seulan päällä ja kuivatetaan. Tulos ilmoitetaan 2 mm hienommaksi jauhautuneen kiviaineksen määränä painoprosentteina alkuperäisen näytteen määrästä. Kuulamyly arvo saadaan laskettua vähentämällä alkuperäisen näytteen massasta kokeen jälkeen 2 mm seulalle jäänyt massa, ker-

tomalla tulos sadalla sekä jakamalla edelleen alkuperäisen näytteen massalla.
(Sandström 2005, 32.)

JOHTOPÄÄTÖKSET

Selkeät ja helposti luettavat työohjeet ovat välttämättömät missä tahansa laboratoriotutkimuksissa. Työohjeita tarvitaan, jotta kokeiden tulokset olisivat vertailukelpoisia ja virhemahdollisuudet pienenevät. Yrityksen kannalta myös sillä on suuri merkitys, että hyvien työohjeiden ansiosta yksittäisen työn suorittamiseen kuluva aika pienenee, mikä taas parantaa kannattavuutta.

Laatimani laboratoriotyöohjeet ovat toimeksiantajani eli HKM Infra Oy:n käytettävissä ja niiden avulla yritys voi kehittää toimintaansa. Ohjeita voidaan vielä joutua päivittämään mahdollisesti tehtävän laboratorion sertifiointin takia, mikäli sertifiointi sitä vaatii.

Työn tarkoituksen kannalta ei olisi ollut järkevää laatia työohjeita siten, että kuka tahansa kyseisiin laboratoriotutkimuksiin perehtymätön pystyisi pelkästään niiden perusteella suorittamaan tutkimukset luotettavasti, koska se olisi tehnyt ohjeista huomattavasti yksityiskohtaisemmat ja turhan laajat. Laadinkin ohjeet olettaen, että niiden käyttäjä on ainakin jonkin verran perehtynyt asiaan, joten työohjeiden täsmällinen ymmärtäminen vaatii esimerkiksi laboratoriovälineistön tuntemusta. Toisaalta esimerkiksi motivoituneen kesätyöntekijän, jolla on edes jonkinlaista tuntemusta alasta, perehdyttämisen näiden työohjeiden käyttöön pitäisi onnistua melko helposti.

LÄHTEET

Asfalttinormit 2000. Päällystealan neuvottelukunta. Pank ry. Jyväskylä. Gummerus kirjapaino Oy.

Asfalttinormit 2011. Päällystealan neuvottelukunta. Pank ry. Vantaa. Edita Oy.

GLO-85, 1985. Geotekniset laboratorio-ohjeet, 1. luokituskokeet. Helsinki. Rakentajain kustannus Oy.

Hartikainen, O-P. 1990. Maarakennustekniikka. 4. uud. painos. Hämeenlinna. Karisto Oy. Otatieto.

Infra ry. Kiviainesten laatuvaatimukset hankinnoissa. Viitattu 9.5.2015. http://www.infra.fi/files/3740_CE-merkintjahankinnoissakytettvtkiviainestenlaatuvaatimukset.pdf

Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Jyväskylä. Bookwell Oy. Tammertekniikka.

Petäjä-Ronkainen, A. Roman, S. & Holappa, K. 1995. Fysikaalisen maaperägeologian laboratorio- ja kenttäkurssi. Oulun yliopisto.

Rakennustekniikan käsikirja. 1970. Pääjakso 1. Toimitussihteeri Teuvo Koivu. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Rantamäki, M. Jääskeläinen, R & Tammirinne, M. Geotekniikka. 21. muuttumaton painos. Helsinki. Hakapaino Oy. Otatieto.

Sandström, P-L. 2005. Lepplaxin kallioperän soveltuvuus tienpitomateriaaliksi. Opinnäytetyö. Oulun yliopisto.

RIL 60. 1968. Betonin kiviainesten luokitusohjeet.

SFS-EN 932-2:fi.1999. Viitattu 27.4.2014. <http://sales.sfs.fi/sfs/>

SFS EN 1097-2:fi. 2010. Viitattu 27.4.2014. <http://sales.sfs.fi/sfs/>

SFS-käsikirja 179–2. Geotekninen tutkimus ja koestus. Osa 2: Maan laboratoriokokeet 2008. 1. painos. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS RY.

Tie- ja vesirakennushallitus. 1970. Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa, 2. Helsinki. Valtion painatuskeskus.

Tie- ja vesirakennushallitus. 1970. Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa V. Helsinki. Valtion painatuskeskus.