

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**TIIVEYDEN JA KOSTEUDEN MITTAUS TROXLER 3440
– LAITTEELLA**

Heikki Hämäläinen

2011

Ohjaaja Pekka Kämäräinen

Hyväksytty _____ 2011 _____

Tekijä	Heikki Hämäläinen	Vuosi	2011
Työn nimi	Maan tiiveyden ja kosteuden mittaus Troxler 3440 - laitteella		
Sivu- ja liitemäärä	28+3		

Opinnäytetyössä tavoitteena oli kertoa maa-aineiden ominaisuuksista, niiden ja päällysteiden tiiveyden mittauksista, sekä erilaisista tiiveyden mittausmenetelmistä. Opinnäytetyössä esitin tiiveyden ja kosteuden mittauksiin käytettävän, Troxler 3440 - laitteen käytännön mittauksia, sekä mitä tavallisia virheitä mittauksessa voi tapahtua ja miten ne vaikuttivat tuloksiin. Esitin myös laitteen käyttöä tukevan standardimuotoisen laboratoriokekeen, Proctor-kekeen, suorituksen. Tarkastelin työssä myös laitteen käytön aikana tapahtuvaa säteilymäärän kehitystä.

Tutkimusmenetelminä olivat laitteella suoritettavat mittaukset hallirakennukselle tehdyllä maapohjalla, maa-aineksen tiiveystutkimus parannetulla proctor-kokeella sekä erilaiset mittaustilanteet laboratoriossa. Säteilyn seuranta tapahtui yleissäteilymittarilla. Tulokset eri mittauksista siirrettiin taulukkolaskentaohjelmaan. Lähteenä työssä käytin pohjarakennuksen ja geotekniikan kirjallisuutta, säteilykeskuksen verkkojulkaisuja, sekä laitteen valmistajan antamia tuotetietoja ja ohjekirjaa.

Opinnäytetyössä sain tietoa, millä tavoin Troxler-laitteen käyttötekniikassa tapahtuvat virheet, tai mitattavan paikan puutteelliset mittaustulokset vaikuttivat tulosten oikeellisuuteen. Väärällä käytöllä, tai huonoilla valmisteluilla, laitteella saadut tulokset poikkesivat suuresti oikeista arvoista, eivätkä tällöin olleet käyttökelpoisia tiiveyksiä määriteltäessä. Säteilymäärä laitteen käyttöaikana jäi niin pieneksi, että se ei aiheuttanut tarkempaa turvatarkastelua laitteen käyttöä varten.

Avainsana(t) Troxler 3440, proctor, kuivatilavuus, tiiveysaste, maksimitiiveys, säteily

Author	Heikki Hämäläinen	Year	2011
Subject of thesis	Measuring the Density and Moisture of Soil Using Troxler 3440.		
Number of pages	28+3		

The main goal in thesis was to explain properties of different kind of soil, density of soil and pavement and how the density is measured. In the Thesis was presented hands-on measurements using the density and moisture meter Troxler 3440 and common mistakes made while measuring and how they affected the outcome. In the thesis it was also presented how laboratory test, Proctor test was made. In addition a meter was used to measure the radiation generated by the Troxler device.

Measurements were made at the construction site and in a laboratory setting up different kind of situations for measurements. In the laboratory was also made the Proctor test for soil. For measuring the radiation generated by the device there was used common radiation meter. In the thesis was utilized literature of geotechnical engineering, publications of Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) and also product info and manual provided by manufacturer.

Results showed how the mistakes made in the measurements or the insufficient measurement preparations affected the outcome of tests. When making these mistakes device results were not useful for determining density for the soil. The radiation readings proved to be so minor that they did not cause any extra precautions for using the device.

Key words Troxler 3440, proctor, dry density, degree of density, maximum density, radiation

SISÄLTÖ

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	1
1 JOHDANTO	2
2 MAA-AINEEN OMINAISUUKSIA.....	4
2.1 KOOSTUMISOMINAISUUDET.....	4
2.2 RAKENNEOMINAISUUDET	4
2.3 TIIVEYSVAATIMUKSIA	6
2.4 TIIVEYDEN MITTAUSKEINOT	8
2.4.1 Yleistä mittauksesta.....	8
2.4.2 Suorat mittausmenetelmät.....	8
2.4.3 Epäsuorat mittausmenetelmät.....	10
3 PROCTOR-SULLONTAKOE	12
3.1 YLEISTÄ.....	12
3.2 KOKEEN SUORITUS.....	12
3.3 TULOKSET.....	14
4 TROXLER 3440 –TIIVEYDEN JA KOSTEUDEN MITTAUSLAITE.....	16
4.1 YLEISTÄ MITTAUKSESTA	16
4.2 MITTAUSJÄRJSTELYT	17
4.3 MITTAUS - HALLIRAKENNUSTYÖMAA.....	17
4.4 MITTAUS - RAMK LABORATORIO	18
4.5 MITTAUSTEN TULOKSET	21
4.5.1 Hallirakennustyömaa.....	21
4.5.2 RAMK Laboratorio.....	23
5 POHDINTA	26
LÄHTEET.....	27
LIITTEET.....	28

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuviot:

Kuvio 1. Huokoisuus eri tavoin esitettynä	5
Kuvio 2. Proctor-kokeen välineistöä	12
Kuvio 3. Proctor-kokeen tulokset.....	14
Kuvio 4. Troxler 3440 -mittalaite referenssilohkon päällä.....	16
Kuvio 5. Hiertolevy ja poraustanko	18
Kuvio 6. Hierretty ja porattu mittauspiste	18
Kuvio 7. Iso kivi näytteessä	19
Kuvio 8. Isoja kivirakeita näytteessä.....	19
Kuvio 9. Anturasauva osui poratun reiän viereen	20
Kuvio 10. Säteilymittausta yleismittarilla.....	20

Taulukot:

Taulukko 1. 1. Mittaus hallirakennustyömaalla	21
Taulukko 2. 2. Mittaus hallirakennustyömaalla	22
Taulukko 3. 3. Mittaus hallirakennustyömaalla	22
Taulukko 4. 4. Mittaus hallirakennustyömaalla	23
Taulukko 5. Mittaukset laboratoriossa	24
Taulukko 6. Mitatut säteilymäärät.....	25

1 JOHDANTO

Luonnossa esiintyvä maa-aines koostuu erikokoisista ja erimuotoisista rakeista ja partikkeleista. Rakeet ovat voineet lajittua maassa niin, että pääasiassa samankokoista raekokoa esiintyy tietyllä alueella, tai raekokoa esiintyy monessa eri koossa ja muodossa tietyllä paikalla. Maa-aineksen vesipitoisuus vaihtelee, sekä se, miten tiiviisti maa-aines esiintyy, eli kuinka paljon maa-aineksen tilavuudesta on ilmaa, tai vettä.

Rakentamisessa, niin infra- kuin talorakentamisessa usein on lähtökohtana pohjatarkastelu, jossa selvitetään millainen pohjarakenteen tulisi olla, jotta se kestäisi rakennuksen, tai rakennelman painon ja, että miten kyseinen pohjarakenne voidaan tehdä. Pohjamaan tulee olla riittävän kantava sekä tiivis, jotta rakennus, tai tierakenne ei lähde painumaan, tai maa-aines ei lähde liikkumaan liian suuren tyhjän tilan tai vesitilan johdosta. Esimerkiksi maanvaraista lattiaa perustettaessa lattian alla olevan pohjamaan tiiviysastevaatimus voi olla 93 %, tarkoittaen, että täytöstä mitattu kuivatilavuuspaino tulee olla vähintään 93%:a Proctor-kokeella saadusta kuivatilavuuspainosta.

Troxler 3440 - laitteella voidaan mitata asfaltin, maaperän, lajitteen tai betonin tiiveyttä, ja maaperän ja lajitteen kosteutta (Troxler Electronic Laboratories 2011). Troxler-laitetta käytetään mittaustyökaluna, niin talonrakentamisessa, kuin infra-rakentamisessa. Mittaus tapahtuu pinnasta, joten syvempiä kaivantoja mitattaessa, mittaukset tulee tehdä kerroksittain. Gamma-säteilevä laite vaatii tiettyä varovaisuutta ja varotoimia käsittelyssä ja laitteelle on määrätty suositeltavat käyttöajat, toisin sanoen altistumisajat.

Opinnäytetyössä selvitin teoriaa maa-aineksista, niiden koostumuksesta ja miten maa-aines voi esiintyä luonnossa. Selvitin mitä tarkoitetaan maan tiiveydellä, millä tavalla maan tiiveys vaikuttaa ja asettaa vaatimuksia rakentamisessa ja miten tiiveyttä mitataan eri keinoin. Esitin, miten Troxler-laitteella työskenneltäessä tiettyjen työskentelyvaiheiden tekemättä jättämiset vaikuttivat lopputuloksiin ja miten huolimattomat mittausvalmistelut vaikuttivat lopputuloksiin. Suoritin myös laitteen käyttöä tukevan maa-aineen laboratoriotutkimuksen, parannetun Proctor-kokeen ja selvitin myös siihen liittyvää koetekniikkaa ja virhetekijöitä. Tutkin myös, millaisia säteilymääriä laitteesta säteilitavanomaisissa käyttötilanteissa.

Työmenetelminä suoritin laboratoriossa rovaniemeläiseltä hallirakennustyömaalta haetulle maa-aineelle parannetun proctor-kokeen, josta saatujen arvojen avulla voidaan määrittää optimivesipitoisuus, jolloin tiivistystyöt maa-ainekselle ovat tehokkaimmillaan. Suoritin hallirakennustyömaalle useita mittauksia Troxler-laitteella, ja laboratoriossa lavastin virheelliseen tulokseen johtavia mittaustilanteita, jotka voisivat hyvinkin esiintyä työmaalla. Laboratoriossa testasin suuren kiven, isojen kivirakeiden ja huolimattomien koevalmistelujen vaikutusta tuloksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena minulla oli selittää, millä tavoin maa-aineen ominaisuudet vaikuttavat tiiveyden määrittelyssä, mitä tiiviysvaatimuksia rakentamisessa esiintyy ja miten tiivysmittauksia suoritetaan eri keinoin. Esitin Troxler 3440 -laitteen käyttötekniikkaa ja esimerkkitalanteita, joissa vääränlaisella tai puutteellisella toiminnalla saadaan aikaan virheellisiä tuloksia, jotta laitteen käyttö olisi varmaa ja tarkoituksenmukaista. Esitin parannetun proctor-kokeen suorittamisen standardien mukaisesti, sekä säteilevän laitteen turvallista käsittelyä ja mittauksessa aiheutuvia säteilymääriä, jotta laitteen käyttö olisi turvallista.

Lähdemateriaalina käytin työssä pohjarakentamisen ja geotekniikan kirjallisuutta, Säteilyturvakeskuksen verkkojulkaisuja, sekä laitevalmistajan verkkosivuilta saatavaa tuotetietoa ja ohjekirjaa.

2 MAA-AINEEN OMINAISUUKSIA

2.1 Koostumisominaisuudet

Maa-aines koostuu erikokoisista ja erimuotoisista kivirakeista, eloperäisestä aineesta, jota voidaan kutsua humukseksi, sekä luonnossa esiintyvä maa-aines usein miten sisältää jossain määrin vettä.

Tiiveystarkastelussa huomioidaan eritoten kiviaines ja vesipitoisuus maa-aineksessa. Maa-aineksessa kivirakenteet esiintyvät erikokoisina. Maa-aineksen koostuessa tietyn läpimittaisesta kivirakeesta, sen voidaan katsoa tämän tietyn raekoon maalajiksi. Kiviaineksen tiheys, eli paino tilavuutta kohden, vaihtelee eri kivilajien mukaan. Yleinen, laskennassa käytetty tiheyden arvo kiviainekselle on: $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ (Jääskeläinen 2009, 46).

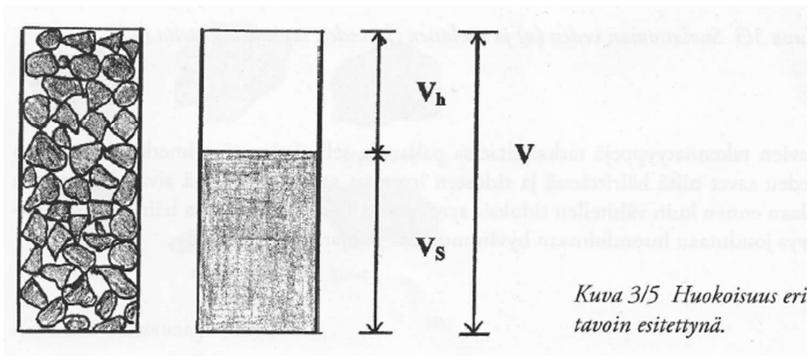
Luonnossa esiintyvä maa-aines sisältää lähes poikkeuksetta myös jossain määrin vettä. Veden tiheytenä laskennassa pidetään: $\rho_w = 1,000 \text{ g/cm}^3$ (Jääskeläinen 2009, 46).

2.2 Rakenneominaisuudet

Maa-aineksen tiiveydellä tarkoitetaan, kuinka paljon maa-aineksessa on kiviaineksen massaa jotakin tiettyä tilavuusmittaa kohden. Kiviaineksen massan suuretessa tilavuuden pysyessä samana, kiviainesta on enemmän tilavuudessa, jolloin se on myös tiiviimpää.

Karkeasti ajateltuna maa-aines koostuu maa-aineksesta ja ns. tyhjästä tilasta, joka on ilmaa, vettä tai kumpaakin. Tyhjää tilaa kutsutaan huokostilaksi.

Maa-aines esiintyy luonnossa huokoisena. Erimuotoiset ja -kokoiset kivirakeet aiheuttavat sen, että kiviaines ei pakkaudu täysin tiiviiksi kerrokseksi, vaan sen sisään jää tyhjää tilaa, jossa on ilmaa ja vettä.



Kuvio 1. Huokoisuus eri tavoin esitettynä (ks. Jääskeläinen 2009, 48)

Kuviossa maa-aines on tilavuudessa V . Tilavuudessa V koostuu tyhjästä tilasta V_h ja kiviaineksen tilavuudesta V_s .

Tiheyden yksikkönä toimii tarpeen mukaan g/cm^3 , kg/dm^3 ja ton/m^3 . Laskennassa yleisesti käytetään tilavuuksista puhuttaessa tilavuuspainoja. Tilavuuspainossa, massan omapainon lisäksi huomioidaan siihen kohdistuva maan vetovoima, jolloin esimerkiksi yksikkö ton/m^3 muuttuu yksiköksi kN/m^3 . (Jääskeläinen 2009, 49.)

Tilavuuspainoista kuivatilavuuspaino saadaan, kun lasketaan vain kivirakeiden aiheuttama maa-aineen paino. Tällöin maa-aine on täysin kuiva. Kuivatilavuuspaino ratkaistaan kaavalla 1.

$$\gamma_d = (1 - n)\gamma_s \quad \gamma_s = \text{kivirakeiden tilavuuspaino} \quad (1)$$

(Jääskeläinen 2009, 49)

Kuten sanottu maa-aines sisältää luonnossa yleensä jossain määrin kosteutta. Laskennassa märkätilavuuspaino saadaan laskettua lisäämällä kuivatilavuuspainoon veden täyttämän osuuden tilavuuspaino. Märkätilavuuspaino ratkaistaan kaavalla 2.

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + n * \gamma_w \quad \gamma_w = \text{veden tilavuuspaino} \quad (2)$$

(Jääskeläinen 2009, 50)

Kuivatilavuuspainoa käytetään apuna työtehtävissä, kun rakennettava pohja halutaan tiettyyn tiiveyteen. Tällöin maasta esimerkiksi Troxler-laitteella mitattua kuivatilavuuspainoa verrataan parannetulla Proctor-laboratoriokokeella määritettyyn kyseisen maan kuivatilavuuspainomaksimiin. Tällä vertailulla saadaan suhde, jota kutsutaan tiiviysasteeksi ja se määritetään:

$$Tiiviysaste = \frac{\gamma_{dL}}{\gamma_{dmax}} * 100 \quad (3)$$

γ_{dL} = mitattu kuivatilavuuspaino

γ_{dmax}

= proctor – kokeella määritetty maksimikuivatilavuuspaino

(Jääskeläinen 2009, 53)

2.3 Tiiveysvaatimuksia

Erilaisille täyttötöille Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y on julkaissut laatuvaatimukset, jotka käsittävät vaatimukset maa-aineksen materiaalille, työtavalle sekä tiiviysasteelle. Laatuvaatimukset löytyvät sekä aluetäyttöihin että rakennusten pohjien täyttötöihin.

Talonrakentamisen pengertäytössä jokaiselta tiivistettävältä kerrokselta vaaditaan rakennettavan kohteen laatuluokan mukainen tiiviysaste. Suunnitelmissa pengertäytölle on myös määritetty minimikantavuuden arvot, joita voidaan tiiviysasteen sijasta käyttää. Penkereen päälle tulevan rakenteen ollessa I-luokan rakenne, sille pienin sallittu keskimääräinen tiiviysaste per tiivistettävä kerros on ≥ 92 %. II-luokan rakenteelle ≥ 89 % ja III-luokan rakenteelle ≥ 85 %. Materiaalivaatimuksien mukaan, I- ja II-luokan pengertöissä materiaaliksi kelpaavat kaikki kivennäismaalajit, paitsi savi ja III-luokan penkereissä täyttömaana voidaan käyttää humuspitoista ja hienompaa maa-ainesta. Töiden valmistuttua, tiiviys varmistetaan mittaamalla vähintään koe/1000 m², tai koe/kerralla tiivistettävä kerros. (RIL 132-2000, 43,44.)

Rakennekerroksille, esimerkiksi tien rakennekerroksille, löytyvät myös laatuvaatimukset.

Suodatinkerrokselle pienin sallittu, valmiin suodatinkerroksen keskimääräinen tiivysaste I-laatuluokassa on ≥ 92 %. II-luokassa vaatimus on ≥ 90 %. Yksittäisetkään mitatut tiivysasteet eivät saa I-luokassa alittaa 90:tä % ja II-luokassa 85:tä %. Suodatinkerroksen tiiveyttä tulee suunnitelmien mukaisesti seurata, tapauskohtaisesti. (RIL 132-2000, 46, 48.)

Valmiilta jakavalta kerrokselta tierakenteessa I-laatuluokassa vaaditaan vähintään keskimäärin ≥ 95 % tiivysaste. II-laatuluokassa vaatimus on ≥ 92 %. Yksittäisten mittauksien arvot eivät I-luokassa saa alittaa 92 % ja II-luokassa 87 %. Jakavan kerroksen laatuvaatimusten täyttymisen toteaminen määritellään suunnitelmissa tapauskohtaisesti. (RIL 132-2000, 49 - 50.)

Valmiille kantavalle kerrokselle, keskimäärin vaaditaan I-laatuluokassa ≥ 95 % ja II-laatuluokassa ≥ 92 % tiivysaste. Yksittäisille tiivysasteen arvoille vaatimukset ovat I-luokassa ≥ 92 % ja II-luokassa ≥ 87 %. Jälleen tiivysvaatimusten toteutuminen osoitetaan suunnitelmien mukaisesti. (RIL 132-2000, 51 - 52.)

Rakennuspohjien täytössä, perustuksien ja lattioiden täyttötöissä, valmiilta tiivistetyltä perustuksen alustäytöltä vaaditaan keskimäärin I-luokassa ≥ 97 % tiivysaste, II-luokassa ≥ 95 % - ja III-luokassa ≥ 92 % -. Maanvaraisen lattian alustäytössä tiiveysvaatimukset ovat hieman keveämmät, I-luokassa ≥ 93 % ja II-luokassa ≥ 87 %. Tiivistystöiden onnistuminen todetaan tekemällä mittaus/400 m² tai mittaus/kerralla tiivistettävä kerros. Rakenteiden vierustäytöille tiivysvaatimukset ovat I-luokassa ≥ 95 %, II-luokassa ≥ 92 % ja III-luokassa ≥ 90 %. (RIL 132-2000, 53 - 54,56.)

2.4 Tiiveyden mittauskeinot

2.4.1 Yleistä mittauksesta

Tiiveyden mittausta voidaan tehdä usealla tapaa. Mittauksia voidaan tehdä erilaisille maapinnoille, betonipinnoille ja päällystepinnoille. Tiiveysselvitykset voidaan tehdä laboratoriossa näytemaalle. Työmaalla eri kokein ja nykyään erilaisten liikuteltavien mittauslaitteiden avulla mittaus on helppoa ja nopeaa.

Parannetulla proctor-kokeella, johon perehdyn opinnäytteessäni, maa-aineesta voidaan määrittää sen kuivatilavuuden maksimi, jota käytetään apuna erilaisten mittauslaitteiden avulla tiiviyksasteita selvittäessä. Erilaisia välineitä kuivatilavuuspainon mittaukseen löytyy useanlaisia.

2.4.2 Suorat mittausmenetelmät

Suorilla mittausmenetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joissa selvitetään maan tiiveys mittaamalla sen kuivatilavuuspainot ja verrataan niitä laboratoriossa selvittävään kyseisen maan kuivatilavuuspainon maksimiin. Suorat mittausmenetelmät sopivat hienorakeisimmille maa-aineille.

Työmaalla suoritettavassa volymetrikokeessa maasta otetaan näyte ja punnitaan sen sisältämä kiviaineksen määrä. Näytekuopasta mitataan otetun näytteen tilavuus ja näiden tietojen avulla määritetään kiviaineksen tilavuuspaino. Kuopan tilavuuden mittaus tapahtuu joko veden tai hiekan avulla, joista tulevat nimitykset vesivolymetrikoe ja hiekkavolymetrikoe. Vesivolymetrikoe on näistä kahdesta monimutkaisempi ja vaatii tehtävään sopivat välineet, kuten kumipussin ja painesynterinin mutta on nopeampi kuin hiekkavolymetrikoe. Volymetri nostetaan levyn päälle, jonka jälkeen männällä painetaan sylinteriin 0,2 barin paine. Männän varresta saadaan mittaukselle alkulukema. Tämän jälkeen volymetri nostetaan pois ja pohjalevyn läpi kaivetaan maahan kuoppa. Tämän jälkeen kuopan maa-aine kuivataan ja punnitaan. Volymetri nostetaan takaisin kuoppaan ja siihen painetaan jälleen 0,2 barin paine. Volymetristä saadaan nyt loppulukema ja alku- ja loppulukeman erotuksella saadaan kuopan tilavuustiedot. Kuivatulla ja punnitulla massalla ja tilavuudella saadaan selville kuivatilavuuspaino kyseisestä maasta. Hiekkavolymetrikokeessa kuoppa täytetään hienorakeisella maa-aineksella, jonka tilavuuspaino

tiedetään entuudestaan. Tilavuuspaino voidaan laskea kuopasta nostetun maa-aineksen massan, sekä kuoppaan lasketun hienorakeisen maa-aineksen määrän perusteella. (Liikennevirasto 2010.)

Tiiveyden mittausta voidaan suorittaa erilaisilla säteilyyn perustuvilla mittauslaitteilla. Säteilevät laitteet aiheuttavat radioaktiivista säteilyä maaperään, joka vaimenee eri maa-aineksilla ja tiheyksillä eri tavoin. Näiden avulla laite rekisteröi mm. tiiveys- ja kosteustietoja maaperästä (RIL 132-2000, 62). Usein säteilevät laitteet ovat herkkiä tutkittavien pintojen epätasaisuuksille, minkä vuoksi pinnat vaativat valmistelutoimenpiteitä, tai vaativat suurta mittauskoe-erää.

Dor-mittalaite käyttää lähteenään radioaktiivista isotooppia Cesium-137.. Laitteella voidaan mitata tiivistettyjä maakerroksia, sekä ohuita päällystekerroksia. Laitteella voidaan suorittaa jatkuvia mittauksia, jolloin laite on kiinnitetty ajoneuvoon, tai yksittäisiä mittauksia, jolloin mittaus yleensä tapahtuu työnnettävällä dor-laitteella. Dor-laitteella mitattaessa parhaimmat tulokset ovat saatu jatkuvilla mittauseriillä. Yksittäisissä mittauksissa pintojen epätasaisuudet ovat aiheuttaneet suuria mittauspiikkejä, mittaustuloksista tehtäviin kuvaajiin. (Elohaka 2007, 41.)

Troxler 3440 käyttää myös lähteenään radioaktiivista isotooppia Cesium-137. Troxler 3440 on pienikokoinen ja liikuteltava tiiveyden ja kosteuden mittauslaite. Opinnäytetyössä kerron myöhemmin lisää Troxler 3440 -laitteesta. Laitteella voidaan mitata tiivistettyjä maakerroksia, sekä ohuita päällystekerroksia. Troxler-laitteella voidaan tehdä vain pistemäisiä mittauksia.

Seaman C-200 -laite käyttää säteilylähteenään Radium-223 isotooppia. Seaman C-200 on pienikokoinen ja liikuteltava tiheyden mittauslaite. Laitteella voidaan mitata sekä kantavasta kerroksesta että päällysteen päältä tiheydet. Seaman C-200 soveltuu erityisesti pinnan tiheyden mittaukseen. Laitteella on neljä erilaista mittausmoodia päällysteen tiheyden määrittämiseksi. (Elohaka 2007, 42.)

Päällysteen tiiveyden määrittämisessä, materiaalien sähköisiä ominaisuuksia voidaan myös käyttää hyväksi. Erityisesti päällysteillä, niiden sisältämien komponenttien, kuten ilman, bitumin ja kiviaineksien dielektrisyysien avulla.

Dielektrisyys on suure, jonka mittauksessa havainnoidaan elektromagneettisten aaltojen kulkunopeutta eri aineissa. (Elohaka 2007, 44.)

Sähköisiä ominaisuuksia hyväksikäyttäviä mittauslaitteita ovat mm. maatutkat, sekä Pavement Quality Indicator-laitte (PQI). Maatutkien toimintaperiaate perustuu niiden lähettämiin sähkömagneettisiin pulsseihin, joita heijastetaan tutkittavaan pintaan. Heijastumat rekisteröidään ja niiden avulla saadaan selvitettyä päällysteen dielektrisyys. Maatutkat jaetaan kahteen tyyppiin, maavaste- ja ilmastevasteantenneihin. Maavaste-antenni nimensä mukaisesti on kosketuksissa tutkittavan pinnan kanssa. Maavaste-antennin avulla mitattaessa saadaan paremmin tietoa syvemmistä rakennekerroksista, kuin käytettäessä ilmastevaste-antennia. Ilmastevasteantenni sijoitetaan noin puolen metrin korkeudelle tutkittavasta pinnasta. Ajoneuvoon kiinnitetyn ilmastevasteantennin avulla mitattaessa, mittausnopeus voi olla jopa 60 - 80 km/h, tämän vuoksi ilmastevasteantennimittauksia käytetään yleisesti päällysteiden mittaukseen ja mittausajoneuvot pystyvät liikkumaan liikenteen seassa, ilman se häiritsisi muuta liikennettä. PQI-mittalaite on pistemäisiin mittauksiin tarkoitettu, kevyt ja liikuteltava laite. Laitteen mittauskyky perustuu sen lähettämään sähkömagneettisiin aaltoihin, joiden avulla se mittaa dielektrisyydet. (Elohaka 2007, 45-46)

2.4.3 Epäsuorat mittausmenetelmät

Epäsuorilla mittausmenetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joissa maa- tai tie-rakenteen tiiveyttä tarkastellaan sen kantavuuden perusteella. Kun rakenne saavuttaa sille suunnitellun kantavuuden, sen katsotaan tällöin olevan riittävän tiivis. Epäsuoria mittausmenetelmiä käytetään varsinkin silloin, kun tutkittavan maan kivirakeet ovat niin suuria, että suorilla mittausmenetelmillä ei saataisi luotettavia tuloksia.

Levykuormituskoe on kentällä suoritettava kantavuuden ja tiiveyden mittauskoe. Levykuormituskokeessa tutkittavaa pintaa kuormitetaan erisuuruisilla kuormituksilla vastapainon avulla ja laite havaitsee pinnassa tapahtuneet muodonmuutokset, toisin sanoen taipumat. Levykuormituskoe tarkastelee koko tie- tai maarakenteen kantavuutta kokonaisuutena, sillä kuormitustilanteessa kuormituksen ulottuvat pintakerroksesta muihinkin rakennekerrokseen. Levykuormituskokeessa tutkittavalle pinnalle selvitetään painuma, jonka jäl-

keen sen avulla lasketaan Boussinesq`n kaavaa johtamalla muodonmuutosmoduli. Muodonmuutosmodulista voidaan johtaa kantavuutta kuvaava yksikkö ja erilaisilla maa- tai tierakenteilla on erilaiset sallitut kantavuuden arvot. (Ehrola 1996, 202 - 204.)

Pudotuspainolaite on tavallisimmin, vedettävän trailerin päällä kulkeva kantavuuden mittauslaite. Pudotuspainolaitteesta on olemassa myös kevyt käsin kannettava versio, LOADMAN. Pudotuspainolaitteen periaatteena on sen pudotuspainon aikaansaamien erilaisten kuormitusten aiheuttamien taipumien avulla selvittävät muodonmuutosmodulit. (Ehrola 1996, 206 - 207.)

Tiiveyttä voidaan myös seurata itse tiivistystyön aikana erilaisilla itsemittaavilla jyrillä (RIL 132-2000, 62). Itsemittaavat jyrät ovat tiivistyskoneita, jotka ovat varustettuja tiiveyden mittaukseen käytettävällä mittauslaitteistolla. Tällöin mittaus on jatkuvaa, ja mittaus kohdistuu koko tiivistettävällä alueelle.

3 PROCTOR -SULLONTAKOE

3.1 Yleistä

Suomessa Proctor-sullontakoe suoritetaan niin sanottuna parannettuna Proctor-sullontakokeena.

Proctor-kokeen periaatteena on selvittää millä kosteuspitoisuudella tietylle maa-aineelle on saatu mahdollisimman suuri kuivatilavuuspaino, eli maksimikuivatilavuuspaino. Eli käytännössä työtilanteessa, miten kostea maan tulee olla, jotta se saadaan tärytettyä tai jyrättyä haluttuun tiiveyteen helpoiten. Kokeella voidaan selvittää optimivesipitoisuus, jonka toteutumista voidaan työmaalla tarkkailla esimerkiksi Troxler-laitteella.



Kuvio 2. Proctor-kokeen välineistöä

3.2 Kokeen suoritus

Suoritin Proctor-kokeen hallirakennus-työmaalta otetulle maanäytteelle Rovaniemen ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Maanäytettä varasin proctor-kokeeseen noin 30 kg. Proctor-kokeeseen tarvitaan 16mm raekoon siivilä, astiat näytteille, puntari punnitukseksi varten, standardikokoinen koesylinteri (halkaisija 102 mm, korkeus 117 mm ja tilavuus 944 cm³), standardikokoinen iskuvasara (heijari 4,54 kg, pudotuskorkeus 457 mm ja alasimen leveys 50 mm). (Rantamäki – Jääskeläinen –Tammirinne 2004, 88.) Kuviossa 2 on Proctor-kokeen välineistöä.

Ensin seuloin maanäytteestä pois yli 16 mm:n kivirakeet. Tämän jälkeen koekelin erilaisia vesipitoisuuksia eri näytteille. Suuntaa antavat optimivesipitoisuusalueet löytyvät taulukkona. Kyseessä olevan maanäytteen maalaji oli Hiekkamoreeni (HkMr) ja sille ohjealueet olivat 5-10 %, kuivatilavuuspainomaksimialueiden ollessa 20-23 kN/m³. (Rantamäki ym. 2004, 90.)

Jokaista näytettä kohti varasin noin 3 kg maa-ainesta. Näytteisiin mittasin vettä niin, että niiden vesipitoisuudet vaihtelivat 0-15 %. Näytteitä oli yhteensä 9 kpl. Kokeessa tutkittavaa maa-ainesta laitoin koesylinteriin yhteensä viidessä kerroksessa. Jokaista kerrosta iskin iskuvasaralla 25 kertaa. Tämän jälkeen poistin sylinteristä jatkorenkkaan, eli kauluksen, ja tasasin näytteen yläpinnan muotin pintaan tarkasti. Tämän jälkeen punnitsin sylinterin näytteen, josta sain näytteen kostean painon selville. Tämän jälkeen otin sylinteristä 0,2 kg näytettä kuivatukseen, jossa selvitin näytteen tarkan kosteuspitoisuuden. (Rantamäki ym. 2004, 90.)

Näytteiden kuivapainon, sylinterin tilavuuden ja kuivatuskokeella saatujen oikeiden vesipitoisuusarvojen avulla laskemalla, tein taulukkolaskennalla kuvaajan, josta voidaan nähdä kyseiselle maalle optimivesipitoisuus, eli vesipitoisuus jossa tiivistymistä tapahtui eniten. Eli millä vesipitoisuudella saadaan kuivatilavuuspainomaksimi.

Esimerkkinä näyte 2:n kuivatilavuuspaino. Näyte 2:n kosteutin vesipitoisuudelle 2 %. Suoritin Proctor-sullonnan ja sain märälle näytemaalle massaksi 1,924 kg. Punnituksen jälkeen siirsin 0,2 kg näytettä kuivauskaappiin kahdeksi vuorokaudeksi. Kuivatuskoe paljasti, että todellinen vesipitoisuus näytteellä oli 1%. Näytteessä oli siis 1 % 2 kg:sta, $0,01 * 2 \text{ kg} = 0,002 \text{ kg}$ vettä.

$$\text{Vesipitoisuus } w_{\text{Näyte 2}} = \frac{m_W}{m_d} * 100 = \frac{0,002}{0,2} * 100 = 1 \% \quad (4)$$

Märän maan painon avulla selvitin näytteelle märkätilavuuspainon. Tilavuuspainoja käytettäessä massoille huomioidaan oman massan lisäksi maan vetovoima, jolloin tilavuuspainoa laskettaessa, massat muunnetaan kilogrammoista (kg) newtoneiksi (N). Märkäpaino 1,924kg muutetaan newtoneiksi, kertomalla se gravitaatiovakion $g = 9,8\text{m/s}^2$ arvolla.

$$1,924kg * 9,8m/s^2 = \frac{18,8552gm}{s^2} = 18,8552N \quad (5)$$

Märkätilavuuspaino:

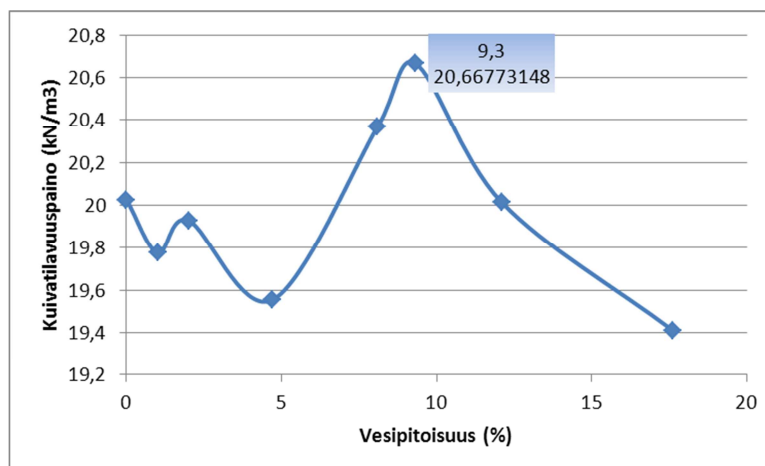
$$\gamma_{Näyte 2} = \frac{G_W}{V} = \frac{18,8552N}{944cm^3} = \frac{0,0199737N}{cm^3} = \frac{19,9737kN}{m^3} \quad (6)$$

Märkätilavuuspainon ja vesipitoisuuden avulla ratkaisen näytteelle 2. kuivatilavuuspainon.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}} = \frac{19,9737kN/m^3}{1 + \frac{1}{100}} = 19,7759kN/m^3 \quad (7)$$

3.3 Tulokset

Kokeen antamista kuivatilavuuspaino-arvoista ja vesipitoisuus-arvoista tein taulukkolaskentaohjelmalla kuvaajan, joka kertoo eri vesipitoisuuksilla saavutetut kuivatilavuuspainon arvot. Mitä suurempi kuivatilavuuspainon arvo, sen tiiviimmäksi maa-aines on tiivistynyt. Kuvaajasta saadaan selville, että vesipitoisuuden arvojen alueella 9 - 10 % maa-aines on saavuttanut kuivatilavuuspainon noin 20,7 kN/m³, joka on suurin kuivatilavuuspainon arvo näytteillä. Vesipitoisuuden arvoa, jolla saavutetaan suurin kuivatilavuuden arvo, sanotaan optimivesipitoisuudeksi.



Kuvio 3. Proctor-kokeen tulokset

Proctor-kokeessa näytteillä 5 ja 6 (Kuvio 3) todelliset vesipitoisuudet olivat lähes samaa luokkaa, näytteellä 6 kostean painon ollessa kuitenkin selvästi suurempi. Tilavuuspainoilla kahden näytteen välillä on myös selvät erot. Tä-

mä voi johtua sullontavaiheessa tapahtuneesta veden karkaamisesta koesynterinin liitoskohdasta. Kokeiden aikana käytin silikonia tiivisteenä sylinterin teräsosien välillä mutta tiivistämisestä huolimatta, vettä pääsi iskuvaiheessa karkaamaan sylinterin juuresta. Hyvän tiivistyksen voisi saada aikaan tiiviste-
renkailla tai tiivistemassoilla.

Maan ollessa optimivesipitoisuudessa, sen tiivistystöillä saavutetaan parhaimmat tulokset. Tiiveystekniikassa on myös muita seikkoja joita tulee huomioida, kuten tiivistäminen riittävän useissa kerroksissa, jolloin tiiveys on hyvä koko maan leikkauksessa.

Työmaalla, Troxler-laitteella voidaan mitata maan pinnasta, tai pinnan alta maaperän vesipitoisuus, sekä kuiva-, että märkätiheydet maaperästä. Laitteella mitattua kuivatilavuuspainon arvoja verrataan proctor-kokeella saatuun kuivatilavuuspainomaksimiin ja näistä saadaan tiivistetylle maalle tiiviysasteen arvo. Rakentamisessa, erilaisilla pohjarakenteilla on erilaisia tiiviysastevaatimuksia, jotka usein löytyvät työselityksistä, rakenteiden vaatimusten mukaisesti.

4 TROXLER 3440 –TIIVEYDEN JA KOSTEUDEN MITTAUSLAITE

4.1 Yleistä mittauksesta

Troxler 3440 on tiiveyden ja kosteuden mittaukseen käytettävä laite. Laitteen mittauskyky perustuu sen sisältämiin radioaktiivisiin lähteisiin, isotooppi Cesium-137:een ja alkuaine Americium-241, sekä niiden tuottamiin säteilyihin ja takaisinheijastumiin. (Troxler Electronics Laboratories 2011. Manual of Operation and Instruction. Model 3440, 35). Laite on umpilähde, eli sen sisältämä radioaktiivinen aine on suojattu ja eristetty laitteeseen niin, että siihen ei voida koskea, tai se ei leviä ympäristöön, kun laitetta käytetään sille suunnitelluin tavoin (Stuklex ST 5.1 Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus) .



Kuvio 4. Troxler 3440 -mittalaite referenssilohkon päällä.

Laitteella voidaan tehdä mittaukset joko maaperän, tai asfaltin pinnasta, tai 50-300 mm:n syvyydeltä. Pintamittaukset, sekä vesipitoisuusmittaukset tapahtuvat heijastusmittauksena, joka on valmistajan mukaan myös ihanteellinen mittaustapa betoni- ja kuuma-asfalttipintoihin. Anturisauvan avulla tapahtuvat, 50-300 mm:n syvyyden mittaukset ovat ihanteellisia mitattaessa maaperää, tai maalajitteita. (Troxler Electronic Laboratories 2011.)

Laitteella saadaan selville maa-aineen, tai pinnoitteen vesipitoisuus, sekä maa-aineen, lajitteen, betonin tai pinnoitteen kuiva- ja märkätiheydet. Vesipitoisuuden arvot laite antaa prosentteina [%], sekä massatilavuutena [kg/m^3]. Tiheydet laite antaa massatilavuuksina [kg/m^3].

4.2 Mittausjärjestelyt

Suoritin mittaukset Rovaniemeläisellä hallirakennustyömaalla, sekä Rovaniemen ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Hallirakennustyömaan pohjatyöt olivat mittaushetkellä tehty jo valmiiksi. Pohjatyöt olivat käsittäneet massanvaihdon, sekä niiden kerroksittaiset tiivistykset valssijyrällä.

Hallirakennustyömaalla, tein mittauksia täytöstä yhteensä neljästä paikkaa. Jokaisesta paikasta otin kolme tulosta. Suoritin mittaukset sekä pintamittauksena, eli heijastusmittauksena, sekä mittausanturin avulla syvyyksillä 50-150 mm. Mittauskohdat vaihtelivat, niin että kaksi mittauspaikkaa valitsin anturalinjalta ja kaksi kentän keskipaikkeilta. Anturalinjojen työstövaiheesta sain urakoitsijalta tiedon, että toisen anturapaikan kohdalta jyräys oli suoritettu viiteen kertaan ja toiselta riittävän moneen kertaan. Erityisesti anturoiden kohdalla pohjatyöt ovat tärkeä tehdä oikein ja kantavina rakenteina, anturat vaativat riittävän kantavan maapohjan. Mittausten avulla sain selville, millä tavoin Troxler-mittalaitteen kanssa työskenneltäessä, tärkeän työskentelyvaiheen poisjättäminen vaikutti lopputuloksiin, sekä miten tulokset vaihtelivat eri syvyyksiltä mitattuina ja erilailla tiivistetyissä paikoissa.

Rovaniemen ammattikorkeakoulun laboratoriossa suoritin hallirakennustyömaalta otetulle maa-näytteelle Troxler-laitteella mittauksia. Mittauksilla selvitin, miten eri työvaiheiden poisjättäminen vaikutti tuloksiin, miten epätarkat koevalmistelut vaikuttivat tuloksiin, sekä miten maanäytteeseen jäänyt iso kivi, tai isot kivirakeet vaikuttivat lopputuloksiin. Tarkastelin myös laitteen aiheuttamaa säteilyä yleismittarilla tavallisissa mittaustilanteissa.

4.3 Mittaus – Hallirakennustyömaa

Ennen mittauksia suoritin testit Troxler-3440 laitteelle sen kuljetuslaatikossa mukana kulkevalla referenssilohkolla. Ennen laitteen käynnistämistä, asetin sen referenssilohkon päälle ja käynnistin virran. Laitte suoritti 300 sekunnin aikana itsetarkastus-testit. Tämän jälkeen syötin tutkittavan kohteen perustiedot laitteeseen, eli tässä tapauksessa tutkittavaksi kohdetyypiksi maaperän.

Oikean tuloksen saamiseksi, tutkittavaan kohteeseen tulee tehdä tietyt valmistelutoimenpiteet. Pinnan tulee olla tasainen, ja se tulee hiertää, eli tasoittaa laitteen mukana tulevalla hiertolevyllä. Hierron jälkeen laskin laitteen hierrettyyn paikkaan. Tämän jälkeen annoin laitteelle komennon tehdä mittausta. Mittaustuloksina laite antoi kosteustiheyden, kuivatiheyden, vesipitoisuuden ja veden massatilavuuden. (Troxler Electronics Laboratories 2011. Manual of Operation and Instruction. Model 3440, 24, 46.)

Tein kohteessa pintamittauksia, sekä mittausanturin avulla mittauksia 50-150 mm syvyydeltä. Maanpinnan alta mitattaessa löin lekalla laitteen mukana tulevaa kairaa hiertolevyn läpi haluttuun mittaussyvyyteen. Tämän jälkeen siirsin kairan ja hiertolevyn pois mitattavan kohdan päältä



Kuvio 5. Hiertolevy ja poraustanko



Kuvio 6. Hierretty ja porattu mittauspiste

Kairauksen jälkeen asetin mittalaitteen tarkasti paikalleen, niin että laskiesani mittausanturin laitteesta, se osui tarkalleen kairattuun reikään. Tehtävää helpottamaan maaperään, tai tutkittavaan pintaan voidaan tehdä merkinnät, joiden avulla Troxler-laite on helppo laskea oikealle paikalle.

4.4 Mittaus – RAMK laboratorio

Ennen mittauksia suoritin Troxler-laitteelle samat aloitustestit, kuin hallirakennustyömaalla. Mittauksia varten varasin suuren astiallisen samaa maanäytettä kuin työmaalla.

Mittauksilla selvitin millä tavalla hierron poisjättäminen vaikutti mittaustuloksiin. Ensimmäisistä mittauksista jätin hiertämisen kokonaan pois mittaustuloksesta. Hiertämätön pinta oli hieman epätasaista, eikä Troxler-laite asetunut tiiviisti mitattavaa pintaa vasten. Koetilanne vastasi tilannetta, jossa laitetta käytettäessä jostain syystä laiminlyödään mittausta edeltävä hierto. Tämän jälkeen suoritin vastaavan mittauksen mutta tällä kertaa tein ohjeiden mukaisesti pinnan hiertotyön. Mittaukset tapahtuivat pintamittauksena, eli heijastusmittauksena.

Seuraavaksi kokeilin millä tavoin suuri yksittäinen kivi mitattavassa maa-aineksessa vaikuttaisi tulokseen. Tarkoituksena oli esittää tilannetta, jossa mittaaja ei olisi varmistunut, että mitattavassa kohdassa ei olisi suuria kivirakeita. Asetin kiven noin 100 mm:n syvyyteen astiaan, tasoitin ja hiersin pinnan, sekä suoritin pintamittauksen laitteella.

Kokeilin myös, että miten useampi suurikokoinen kivirake vaikuttaisi lopputulokseen. Asetin 100 mm:n syvyyteen, halkaisijaltaan noin 40mm:n kivirakeita, tasoitin ja hiersin pinnan, sekä suoritin pintamittauksen laitteella.

Selvitin myös, kuinka paljon lukemat voivat vääristyä, jos Troxler-laitteella syvemmältä mitattaessa, anturisauva ei osu tarkalleen poratangolla tehtyyn reikään, vaan anturisauvan ja maa-aineksen väliin jää tyhjää tilaa.



Kuvio 7. Iso kivi näytteessä



Kuvio 8. Isoja kivirakeita näytteessä



Kuvio 9. Anturisauva osui poratun reiän viereen

Mittasin myös RDS-120 säteilyn yleismittarilla kalibroinnin ja pintamittauksen aikana esiintyvää säteilyä. Kalibroinnin aikana, laite oli lattialla referenssilohkon päällä. Tällöin anturisauva oli laitteen sisällä suljettuna. Otin mittarilla lukemia 0,1 m - 0,3 m välillä. Pintamittauksessa aiheutuvaa säteilyä mitattaessa, laite oli muoviasiassa olevan näytetaman päällä. Pintamittauksessa laitteen pohjassa oleva suojaluukku aukeaa, paljastaen säteilevän lähteen. Mittasin myös ns. suurimmat mahdolliset säteilylukemat suoraan laitteen kyljestä.

Suomalaisen keskimäärin vuoden aikana saamat säteilyannokset koostuvat pääosin sisäilman radonista 2,0 mSv, luonnon radioaktiivisuudesta kehossa 0,36 mSv, ulkoisesta maaperän säteilystä 0,45 mSv, sekä lääketieteellisistä röntgentutkimuksista 0,5 mSv (Stuk 2009).



Kuvio 10. Säteilymittausta yleismittarilla

4.5 Mittausten tulokset

4.5.1 Hallirakennustyömaa

Hallirakennustyömaalla minulla oli neljä näytteenottopaikkaa. Ensimmäinen näytteenottopaikka oli keskipaikkeilta kenttää. Otin ensimmäiseltä paikalta mittauksia kolmen sarjoissa. Ensimmäisessä sarjassa jätin hiertämättä pinnan ja tein kolme mittausta. Tämän jälkeen hiersin pinnan ja tein uudet kolme mittausta. Tämän jälkeen kairasin hierrettyyn pintaan 50 mm syvän reiän, johon suoritin mittauksen laitteella. Ensimmäiseltä mittauspaikalta sain seuraavat tulokset:

Taulukko 1. 1. Mittaus hallirakennustyömaalta

NÄYTE- PAIKKA	HIERTO	ANTURI- SYVYYS [mm]	KESKIARVO KUIVATILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO MÄRKÄTILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO KOSTEUS- PITOISUUS %
1	Ei	0	18,5	19,14	3,4
	Kyllä	0	20	20,63	3,1
	Kyllä	50	19,02	19,8	4,1

Taulukoitujen keskiarvojen perusteella, hierron jälkeen tilavuuspainot muuttuivat merkittävästi. Kuivatilavuuspainon arvo kasvoi jopa 1,5 kN/m³. Kosteuspitoisuus kasvoi 0,3 %-yksikköä. Maapohjan tiivysastetta määriteltäessä, kuvitellaan vaikka tiivysvaatimuksen olevan 90 % ja laboratorio-kokeella määritetyn kuivatilavuusmaksimin ollessa 21 kN/m³, ilman hiertoa saadulla kuivatilavuuspainon arvolla tiivysaste-vaatimusta ei saavutettaisi, toisin kuin hiertämisen kanssa. 50 mm:n syvyydeltä mitattaessa, kuivatilavuuden arvo laski hieman, mikä johtui siitä, että pintamaa tiivistyy enemmän ja on löyhempää pinnasta alaspäin mentäessä.

Toiselta mittauspaikalta otin pinta- ja 50 mm:n mittauksen lisäksi lukeman 150mm:stä. Jälleen kokeilin, miten hiertämisen poisjätö vaikutti tuloksiin. Tämä mittaus oli anturalinjalta ja urakoitsijan mukaan mittauspaikan kohdalta maata oli kolmeen kertaan jyrätty.

Taulukko 2. 2. Mittaus hallirakennustyömaalta

NÄYTE-PAIKKA	HIERTO	ANTURI-SYVYYS [mm]	KESKIARVO KUIVATILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO MÄRKÄTILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO KOSTEUS- PITOISUUS %
2	Ei	0	19,88	19,73	3,1
	Kyllä	0	20,17	20,69	2,6
	Kyllä	50	19,18	19,83	3,4
	Kyllä	150	19,85	20,46	3

Jälleen hierron jälkeen kuivatilavuuspainon lukema muuttui merkittävästi verrattuna, jos hiertoa ei tehty, keskimäärin yli 1 kN/m³. Kuivatilavuuspaino jälleen väheni syvemmältä mitattuna, joskin vähenemä ei ollut tasaista.

Kolmas mittauspaikka oli myös anturalinjalta. Maata oli tältä linjalta jyrätty tavallista enemmän, urakoitsijan tiedon mukaan viiteen kertaan. Hierron jälkeen, kuivatilavuuspainon lukema nousi keskimäärin reilulla 0,7 kN/m³:lla, verrattuna hiertämättömään. Kuivatilavuuslukemat verrattuina toiseen mittauspaikkaan olivat syvyydellä 50 mm keskimäärin 0,6 kN/m³ suuremmat, sekä syvyydellä 150 mm keskimäärin lähes 1 kN/m³ suuremmat. Kolmannella mittauspaikalla maata oli tiivistetty jyräämällä viiteen kertaan, toisin kuin toisella mittauspaikalla kolme kertaa. Tämän vuoksi kolmannella mittauspaikalla 150 mm:n syvyydeltä suoritettu mittaus antoi suuremman kuivatilavuuspainon arvon, sekä pienemmän kosteuspitoisuuden arvon. Tiivistystöitä oli tehty useammassa kerroksessa, jolloin tiiveys koko maan leikkauksessa oli parempi.

Taulukko 3. 3. Mittaus hallirakennustyömaalla

NÄYTE-PAIKKA	HIERTO	ANTURI-SYVYYS [mm]	KESKIARVO KUIVATILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO MÄRKÄTILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO KOSTEUS- PITOISUUS %
3	Ei	0	20,06	20,63	2,9
	Kyllä	0	20,8	21,4	2,9
	Kyllä	50	19,79	20,42	3,2
	Kyllä	150	20,73	21,3	2,8

Neljäs mittauspaikka oli kentän keskipaikkeilta. Hiertämätön pintamittaus antoi keskimäärin reilun 1 kN/m^3 pienemmän kuivatilavuuspainon tuloksen, kuin hierretty pinta. Kuivatilavuuspainot olivat selvästi pienempiä, kuin verrattuna toiseen ja kolmanteen mittauspaikkaan. Kentän keskiosille tiivistystöitä ei oltu tehty niin paljon, kuin anturalinjoille.

Taulukko 4. 4. Mittaus hallirakennustyömaalla

NÄYTE- PAIKKA	HIERTO	ANTURI- SYVYYS [mm]	KESKIARVO KUIVATILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO MÄRKÄTILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO KOSTEUS- PITOISUUS %
4	Ei	0	18,97	19,58	3,2
	Kyllä	0	20,09	20,74	3,2
	Kyllä	50	19,13	19,86	3,8
	Kyllä	150	19,26	19,88	3,2

4.5.2 RAMK laboratorio

RAMK laboratoriossa, aloitin mittaukset mittaamalla näytteen pintamittauksella, ilman hierontaa. Tällä kertaa tein viisi mittausta jokaista koetta kohden. Hiertämättömässä mittauksessa saatu kuivatilavuuspainon arvo oli selvästi pienempi, kuin hierretyssä mittauksessa.

Kun näytteessä oli iso kivi mittalaitteen alla 100 mm:n syvyydessä, kuivatilavuuspainolukema kasvoi keskimäärin yli 1 kN/m^3 , kosteuspitoisuuden muuttuessa vähän. Kiven suuri tiheys verrattuna tutkittavan maa-aineksen tiheyteen oli niin suuri, että laite antoi kuivatilavuuspainolle selvästi suuremman arvon, vaikka mittaus tapahtui pintamittauksena.

Kun näytteessä oli isoja, noin 40 mm halkaisijaltaan olevia kivirakeita 100mm:n syvyydessä, kuivatilavuuspainolukema oli keskimäärin noin $0,8 \text{ kN/m}^3$ pienempi, jälleen kosteuspitoisuuden muuttuessa vähän. Kiven suuri tiheys riitti häiritsemään pintamittausta.

Syvempää mitattaessa kokeilin, millainen vaikutus oli, jos syvempää mitattaessa anturisauva ei osunut tarkasti poratangolla näytteeseen porattuun reikään. Tällöin anturisauva ei täyttänyt porattua reikää tiiviisti, vaan osa antu-

rista jäi tyhjää tilaa vasten. En huomannut merkittävää eroa tilavuuspainolu-
kemissa, joten tässä mittauksessa ei epätarkalla laitteen mittauspintaan aset-
telulla ollut suurta vaikutusta tuloksiin.

Taulukko 5. Mittaukset laboratoriossa

NÄYTE- PAIKKA	HIERTO	ANTURI- SYVYYS [mm]	KESKIARVO KUIVATILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO MÄRKÄTILAVUUS- PAINO [kN/m ³]	KESKIARVO KOSTEUS- PITOISUUS %
	Ei	0	17,06	17,23	1
	Kyllä	0	17,78	18,00	1,2
ISO KIVI NÄYTTEESSÄ	Kyllä	0	18,90	19,12	1,1
ISOJA KIVIRAKEITA NÄYTTEESSÄ	Kyllä	0	18,63	18,82	1,1
ANTURI OSUI REIKÄÄN	Kyllä	100	15,19	15,80	4,0
ANTURI OSUI REIÄN VIEREEN, EPÄTARKKA KOHDISTUS	Kyllä	100	15,39	16,03	4,9

Säteilymittauksissa, kalibroinnissa laitteen kyljestä, etäisyydellä 0 m mitattu säteilylukema oli 67 $\mu\text{Sv/h}$. Eli tunnin aikana tästä säteilynopeudesta aiheutuisi 67 μSv , eli 0,067 mSv säteilyannos. Tämä vastaisi noin 2 % suomalaisen keskimääräisestä vuotuisesta säteilyannoksesta. Laitteesta 0,1 m päästä säteilynopeus on enää vain 28 $\mu\text{Sv/h}$. Säteilynopeus laskee, pudoten neljäsosaan mittausetäisyyden kaksinkertaistuessa. Etäisyydellä 1 m säteilynopeus on enää 1,6 $\mu\text{Sv/h}$.

Pintamittauksessa, säteily määrä laitteen kyljestä mitattuna oli 132 $\mu\text{Sv/h}$. Eli tunnin aikana tällaisesta säteilynopeudesta aiheutuisi 132 μSv :n säteily määrä, joka on jo noin 4 % suomalaisen keskimääräisestä säteilyannoksesta. 0,1 m päästä mitattu lukema on enää 47 $\mu\text{Sv/h}$.

Taulukko 6. Mitatut säteilymäärät

MITTARIN ETÄISYYS	TILANNE	
	SÄTEILYNOPEUS [$\mu\text{Sv/h}$]	
SÄTEILIJÄSTÄ [m]	KALIBROINTI	MITTAUS (MUOVIASTIAN LÄPI)
0,1	28	47
0,2	16,5	21,5
0,5	5	5,8
1	1,6	2
1,5	1,2	0,5
2	0,5	0,3
3	0,35	0,3
MITTAUS VÄ- LITTÖMÄSTÄ LÄHEISYYDESTÄ	67	132

Mitatut säteilymäärät eivät olleet suuria, mutta säteilevän laitteen käytössä on aina syytä olla varovainen. Aina kun sain mittaukset suoritettua, varmistin, että mittausanturi oli nolla-asennossa ja pakkasin laitteen sille suunniteltuun kuljetuslaatikkoon. Ennen pakkaamista tarkistin, että laitteen pohjassa oleva anturin peittävä suojaluukku oli kiinni, eikä ollut esimerkiksi maan tukkimana jäänyt auki.

5 POHDINTA

Opinnäytetyössä suoritettujen mittauksien ja näistä saatujen johtopäätösten perusteella työelämässä Troxler 3440-laitetta voidaan hyödyntää, kun halutaan nopea ja helppo keino mitata, että maapohjissa saavutetaan riittävät ja suunnitellut tiiveydet. Onnistuneessa pohjatyöseurannassa, tarkkailu tapahtuu jatkuvasti, ensimmäisestä tiivistystyöstä viimeiseen, mitaten jokaisen tiivistettävä kerroksen.

Laboratoriokokeessa määritin tutkittavalle maa-aineelle kuivatilavuusmaksimin. Maa-aineen tiiveyttä eri vesipitoisuuksissa kuvaavan kaaviokuvan käyrä ei ollut täysin sellainen millaisen sen odotin olevan. Iskuvaiheissa vesi pääsi karkaamaan näytteistä sylinterin liitoskohdista, jonka vuoksi käyrän nousu ja lasku ei ollut säännöllistä kuvaajassa. Koesylinterin liitoskohdat tulisi tiivistää hyvin ennen iskuvaihetta, jotta saataisiin täysin oikeita tilavuuspainoja näytteelle.

Troxler-3440 laitteella suoritettujen mittausten perusteella, laite vaatii ohjeiden mukaiset tutkittavan kohteen valmistelut ennen mittausta. Ilman tutkittavan pinnan hierontaa, kuivatilavuuspainojen arvojen heitot olivat niin suuria, että tuloksia ei voisi käyttää työmaan tiiviydestä tarkkailussa. Yleisesti ottaen säteilyä hyväksikäyttävät mittauslaitteet vaativat tasaisen ja puhtaan mittauspinnan.

Kivirakeiden suuri tiheys vaikutti suuresti kuivatilavuuden arvoihin, ja pahimmillaan huonolle, tai ei riittävän tiiviille pohjamaalle saataisiin virheellisesti riittävä tiiveys.

Laitteen kanssa työskentelevään kohdistuva säteily määrä ei laitetta oikein käytettäessä ole poikkeuksellisen suuri, tai haitallinen. Mittaajaan kohdistuva säteilynopeus ei ole niin suuri, että tästä aiheutuisi vuosittaisella tasolla haitallista annosmäärää säteilyä. Säteilyturvallisuudesta työpaikalla löytyy lisää tietoa Säteilyturvakeskuksen verkkosivuilta (Stuklex 2009. ST 1.6 Säteilyturvallisuus työpaikalla.)

LÄHTEET

- Ehrola, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Elohaka, E. 2007. Diplomityö Teknillisessä korkeakoulussa. Helsingin teknillinen korkeakoulu: Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto.
- Jääskeläinen, R. 2009. Geotekniikan perusteet. Tampere: AMK-Kustannus Oy
- Liikennevirasto 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Osoitteessa http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-10_radan_eristys_web.pdf. 3.5.2011
- Rantamäki, M. – Jääskeläinen, R. – Tammirinne, M. 2004. Geotekniikka. Helsinki: Oy Yliopistokustannus.
- RIL 132-2000. Talonrakennuksen maarakenteet – yleinen rakennusselostus ja laatuvaatimukset. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y.
- Stuk 2009. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. Osoitteessa http://www.stuk.fi/sateilytietoa/ihmisen_radioaktiivisuus/fi_FI/keskimaarainen_sateilyannos/. 1.5.2011
- Stuklex 2007. ST 5.1 Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus. Osoitteessa <http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/ST5-1>. 30.04.2011
- Stuklex 2009. ST 1.6 Säteilyturvallisuus työpaikalla. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/data/normit/5773-ST1-6.pdf>. 1.5.2011
- Troxler Electronics Laboratories 2011. Manual of Operation and Instruction. Model 3440. Osoitteessa <http://www.troxlerlabs.com/downloads/pdfs/3440/3440manual.pdf>. 1.5.2010
- Troxler Electronics Laboratories 2011. Model 3440 surface moisture-density gauge. Osoitteessa <http://www.troxlerlabs.com/products/3440.php>. 29.04.2011

LIITTEET

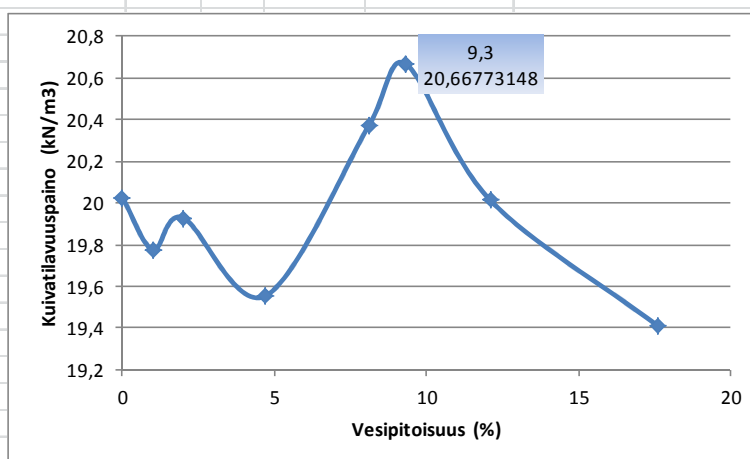
Proctor-kokeen tulokset	Liite 1
Mittaustulokset – hallirakennustyömaa	Liite 2
Säteilymittaukset	Liite 3

PROCTOR-KOKEEN TULOKSET

Liite 1

PROCTOR		
	Proctor sylinteri = 944cm ³	Sylinterin massa = 3658g
NÄYTENRO	KOSTEUSPROSENTTI [%]	TODELLINEN KOSTEUS PROSENTTI [%]
1	0	0
2	2	1
3	4	2
4	6	4,7
6	10	8,1
7	12	9,3
8	14	12,1
9	16	15,2
KOSTEA PAINO [kg]	MÄRKÄTILAVUUSPAINO kN/m ³	KUIVATILAVUUSPAINO kN/m ³
1,929	20,02563559	20,02564
1,924	19,97372881	19,77597
1,958	20,32669492	19,92813
1,972	20,4720339	19,55304
2,121	22,01885593	20,36897
2,176	22,58983051	20,66773
2,161	22,43411017	20,01259
2,154	22,36144068	19,41097

%	kN/m ³
0	20,02564
1	19,77597
2	19,92813
4,7	19,55304
8,1	20,36897
9,3	20,66773
12,1	20,01259
17,6	19,41097



NÄYTE- PAIKKA	KOE NRO.	HIERTO	ANTURISYVYYS [mm]	DD [kg/m ³]	WD [kg/m ³]	M [%]	M [kg/m ³]	DD [kg/m ³]	WD [kg/m ³]	M [%]	M [kg/m ³]
1 Kentän keski- paikkeil ta.	1	Ei	0	1869	1930	3,3	60,9	1850	1914	3,4	63,3
	2	Ei	0	1840	1900	3,2	59,4				
	3	Ei	0	1841	1911	3,8	69,7				
	1	Kyllä	0	2017	2080	3,1	62,3	2000	2063	3,1	62,3
	2	Kyllä	0	1991	2056	3,3	65,3				
	3	Kyllä	0	1993	2052	3	59,4				
	1	Kyllä	50	1891	1974	4,4	83	1902	1980	4,1	78,1
	2	Kyllä	50	1905	1977	3,8	72,7				
	3	Kyllä	50	1910	1989	4,1	78,6				
2 Maata oli viiteen ker- taan jyrätty	1	Ei	0	1908	1971	3,3	62,3	20	1973	3,1	58,4
	2	Ei	0	1915	1970	2,9	55				
	3	Ei	0	1920	1978	3	57,9				
	1	Kyllä	0	2049	2092	2,1	43,1	2017	2069	2,6	52,0
	2	Kyllä	0	2012	2061	2,4	49,1				
	3	Kyllä	0	1990	2053	3,2	63,8				
	1	Kyllä	50	1924	1995	3,7	71,2	1918	1983	3,4	64,8
	2	Kyllä	50	1931	1982	2,6	50,5				
	3	Kyllä	50	1900	1972	3,8	72,7				
3 Anturalinja.	1	Kyllä	150	1991	2053	3,1	62,3	1985	2046	3,0	60,8
	2	Kyllä	150	1986	2049	3,1	62,3				
	3	Kyllä	150	1977	2035	2,9	57,9				
	1	Ei	0	2007	2062	2,7	55	2006	2063	2,9	57,9
	2	Ei	0	2025	2081	2,8	56,4				
	3	Ei	0	1985	2047	3,1	62,3				
	1	Kyllä	0	2104	2157	2,5	53,5	2080	2140	2,9	60,4
	2	Kyllä	0	2074	2134	2,9	59,4				
	3	Kyllä	0	2062	2130	3,3	68,2				
4 Kentän keski- paikkeil ta.	1	Kyllä	50	1965	2037	3,7	72,7	1979	2042	3,2	62,8
	2	Kyllä	50	1982	2046	3,2	63,8				
	3	Kyllä	50	1991	2043	2,6	52				
	1	Kyllä	150	2046	2110	3,1	63,8	2073	2130	2,8	57,4
	2	Kyllä	150	2089	2144	2,6	55				
	3	Kyllä	150	2083	2136	2,6	53,5				
	1	Ei	0	1931	1995	3,3	63,8	1897	1958	3,2	60,4
	2	Ei	0	1875	1941	3,5	65,3				
	3	Ei	0	1885	1937	2,8	52				
4 Kentän keski- paikkeil ta.	1	Kyllä	0	2049	2108	2,9	59,4	2009	2074	3,2	64,8
	2	Kyllä	0	1994	2064	3,5	69,7				
	3	Kyllä	0	1984	2049	3,3	65,3				
	1	Kyllä	50	1905	1978	3,8	72,7	1913	1986	3,8	72,7
	2	Kyllä	50	1927	1996	3,5	68,2				
	3	Kyllä	50	1906	1983	4	77,1				
	1	Kyllä	150	1943	1995	2,7	52	1926	1988	3,2	61,9
	2	Kyllä	150	1908	1975	3,5	66,8				
	3	Kyllä	150	1927	1994	3,5	66,8				

SÄTEILYMÄÄRÄT

27.4.2011

SÄTEILEVÄ LAITE = TROXLER 3440

ANNOSNOPEUS = MIKROSIEVERTIÄ TUNNISSA [$\mu\text{sv/h}$]

SÄTEILYMITTARI = ALNOR RDS-120 SÄTEILYN YLEISMITTARI (KALIBROITU 15.2.2011)

MITTARIN ETÄISYYS SÄTEILIJÄSTÄ [m]	TILANNE SÄTEILYNOPEUS [$\mu\text{sv/h}$]	
	KALIBROINTI	MITTAUS (MUOVIASTIAN LÄPI)
0,1	28	47
0,2	16,5	21,5
0,5	5	5,8
1	1,6	2
1,5	1,2	0,5
2	0,5	0,3
3	0,35	0,3
MITTAUS VÄ- LITTÖMÄSTÄ LÄHEISYYDESTÄ	67	132

