

Ari Hautaniemi

Pohjarakenteiden fysikaalisen toiminnan havainnollistuksia

Opinnäytetyö

Syksy 2019

SeAMK Tekniikka

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennusalan työnjohto

Tekijä: Ari Hautaniemi

Työn nimi: Pohjarakenteiden fysikaalisen toiminnan havainnollistuksia

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi. 2019

Sivumäärä: 62

Liitteiden lukumäärä: -

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja mallintaa talon pohjarakenteita. Tutkimustyössä halutaan mallintaa kolmea eri rakennekerrosta, jotka ovat tavallisia talonrakennuksessa. Mallinnuksia tehdään jäätymisestä, tiiviystä ja kapillaarisesta vedennoususta. Työssä käydään ensin läpi perustietoja pohjarakenteista, sitten käsitellään maakerroksiin vaikuttavia tekijöitä. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin mallinnettaviin maa-aineksiin ja niiden ominaisuuksiin. Seuraavaksi tehdään tutkimuksia sekä mittauksia tutkittavista maakerroksista. Sen jälkeen perehdytään tutkimuksista saatuihin tuloksiin. Lopuksi pohditaan johtopäätöksiä tutkimuksien tuloksista, niiden syistä sekä vaikutuksista.

Avainsanat: maanrakennus, pohjarakenne, routa, tiiviys, kapillaarisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Site Management

Author: Ari Hautaniemi

Title of thesis: Modelling physical activity in buildings' foundations

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2019 Number of pages: 62 Number of appendices: -

The purpose of the thesis was to study and model the foundations of buildings. In the study the aim was to model three different structural layers commonly used in the foundations of buildings. The modellings were done to study freezing, sealing and capillarity. First the study dealt with the basic investigations of foundations, then factors affecting the soil layers were discussed, which was followed by a closer research about soils and their properties. Then surveys and measurements of supporting soil layers were made. After that the results were studied. Finally, reflections and conclusions on the results of studies, their causes and effects were made.

Keywords: excavation, foundation structure, frozen ground, sealing, capillarity

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO.....	10
2 MAAKERROKSIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	11
2.1 Kuivatus.....	11
2.2 Routa ja routivuus.....	13
2.3 Suodatinkangas.....	17
3 TUTKIMUKSEN MAAKERROSTYYPIT.....	20
3.1 Hiekka 0–2 mm.....	21
3.2 8–16 mm kapillaarikatkosepeli.....	23
3.3 0–32 mm murske.....	23
4 TUTKIMUKSEN ETENEMINEN.....	24
4.1 Jäätyminen.....	24
4.2 Tiiviys.....	28
4.3 Kapillaarinen vedennousu.....	32
5 TULOKSET JA HAVAINNOT.....	35
5.1 Jäätyminen.....	35
5.1.1 Hiekan tuloksia ja havaintoja.....	35
5.1.2 Hiekan tuloksista päätelmiä.....	37
5.1.3 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksia ja havaintoja.....	38
5.1.4 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä.....	40
5.1.5 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksia ja havaintoja.....	41
5.1.6 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä.....	43
5.2 Tiiviys.....	44
5.2.1 Hiekan tuloksia ja havaintoja.....	44
5.2.2 Hiekan tuloksista päätelmiä.....	47
5.2.3 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksia ja havaintoja.....	47

5.2.4 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä.....	50
5.2.5 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksia	50
5.2.6 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä	53
5.3 Kapillaarisen vedennousun tuloksia ja havaintoja	53
5.3.1 Kapillaarisen vedennousun tuloksista päätelmiä.....	59
6 JOHTOPÄÄTELMIÄ.....	60
LÄHTEET	62

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Suodatinkankaan limitys ja asentaminen.	19
Kuva 2. Materiaalin kuivatus uunilla.	24
Kuva 3. Pakasterasiat, jonka pohjalla on suodatinkangasta.	25
Kuva 4. Suodatinkankaiden sijainti.	25
Kuva 5. Lähtötiedon mittausta.	26
Kuva 6. Bahcon rullamitta, jolla otettiin tutkimusmittauksia.	26
Kuva 7. Työntömitta, jolla mitattiin tuloksia.	27
Kuva 8. Vesiastia, jolla mitattiin vesimäärät.	27
Kuva 9. Lämpötilanmittari pakastimessa.	27
Kuva 10. Näytteet pakastimessa.	28
Kuva 11. Lämpökaappi.	29
Kuva 12. Tutkimusmateriaalia kuivamassa lämpökaapissa.	29
Kuva 13. Mittaustuloksen ottamista näytteestä työntömitalla.	30
Kuva 14. Vesimäärän mitta-astiat tiivistutkimuksissa.	31
Kuva 15. Tiivistymistä suorittamassa.	31
Kuva 16. Massan mittaustilaite.	32
Kuva 17. Tutkimuksen mittaustelineet.	33
Kuva 18. Muovilasien pohjassa olevia 6 mm reikiä.	33
Kuva 19. Tutkimuksen kerrokset valmiina ennen veden lisäämistä.	34
Kuva 20. Hiekkanäytteen nro 1, irtoaines.	36

Kuva 21. Hiekkanäytteen nro 2, jäätyminen sivusta.....	36
Kuva 22. Hiekkanäyte nro 3, irtoainesta kevyesti irrotettuna.	37
Kuva 23. Hiekkanäyte nro 4, pinnassa jäätä näkyvillä.	37
Kuva 24. Hiekan ja kapillaarisepelikerroksen kaivamista.	39
Kuva 25. Hiekan ja sepelin pakasterasian reunojen jäätyminen vasemmasta reunastaan.	39
Kuva 26. Hiekan ja sepelin näytteessä neljä pinta jääntynyt.....	40
Kuva 27. Murskeen ja sepelin jäätyminen ensimmäisessä näytteessä.....	42
Kuva 28. Murskeen ja sepelin toisen näytteen jäätyminen.	42
Kuva 29. Murskeen ja sepelin näyte neljän jäätyminen.	43
Kuva 30. Näyte nro 2, tiivistyminen hiekalla.....	45
Kuva 31. Näyte nro 3, tiivistyminen hiekalla.....	46
Kuva 32. Näyte nro 1, tiivistyminen hiekalla.....	46
Kuva 33. Näyte nro 4, tiivistyminen hiekalla.....	46
Kuva 34. Näyte nro 1, kapillaarikatko-sepelin ja hiekan tiivistyminen.....	48
Kuva 35. Näyte nro 2, tiivistyminen hiekka- ja kapillaarikatko-sepelikerroksessa. .	48
Kuva 36. Näyte nro 3, tiivistyminen hiekka- ja kapillaarikatko-sepelikerroksessa. .	49
Kuva 37. Näyte nro 4, kapillaarikatko-sepelin ja hiekan tiivistyminen.....	49
Kuva 38. Näyte nro 1, kapillaarikatko-sepelin ja murskekerroksen tiivistyminen....	51
Kuva 39. Näyte nro 2, kapillaarikatko-sepelin ja murskekerroksen tiivistyminen....	52
Kuva 40. Näyte nro 3, kapillaarikatko-sepelin ja murskekerroksen tiivistyminen....	52
Kuva 41. Näyte nro 4, kapillaarikatko-sepelin ja murskekerroksen tiivistyminen....	53

Kuva 42. Näyte yksi, lähtötilanne kapillaariseen nousuun.	54
Kuva 43. Näyte kaksi, lähtötilanne kapillaariseen nousuun.	55
Kuva 44. Näyte kolme, lähtötilanne kapillaariseen nousuun.	55
Kuva 45. Näyte yksi kapillaarinen nousu 15.9.2019.....	57
Kuva 46. Näyte kaksi kapillaarinen nousu 15.9.2019.....	57
Kuva 47. Näyte kolme kapillaarinen nousu 15.9.2019.	57
Kuva 48. Näyte yksi kapillaarinen nousu 19.9.2019.....	58
Kuva 49. Näyte kaksi kapillaarinen nousu 19.9.2019.....	58
Kuva 50. Näyte kolme kapillaarinen nousu 19.9.2019.	58
Kuvio 1. Kosteuden esiintymismuodot.	11
Kuvio 2. Sadevesijärjestelmä.	13
Kuvio 3. Jäätynyt maa.....	14
Kuvio 4. Kiven nousu.	14
Kuvio 5. Lämpövirtojen havainnointi.	16
Kuvio 6. Tutkimuksen havainnekuva hiekkakerroksesta.....	20
Kuvio 7. Kapillaarikatkosepelin ja hiekan havainnekuva.	21
Kuvio 8. Kapillaarikatkosepelin ja murskeen havainnekuva.	21
Taulukko 1. Suodatinkankaan käyttökohteet.	17
Taulukko 2. Käyttöluokan valinta.	18

Taulukko 3. Rakeisuus.....	22
Taulukko 4. Vesimäärät ja vesipitoisuudet jäätymisessä.	24
Taulukko 5. Vesimäärät ja vesipitoisuudet tiivistymisessä.	28
Taulukko 6. Hiekan jäätyksen tulokset.....	35
Taulukko 7. Hiekan kerrospaksuuden kasvu jäätyessä.	35
Taulukko 8. Hiekan ja kapillaarikatkoepelin jäätyksen tulokset.	38
Taulukko 9. Hiekan ja kapillaariseppelin kerrospaksuuden kasvu jäätyessä.	38
Taulukko 10. Murskeen ja kapillaarikatkoepelin jäätyksen tulokset.....	41
Taulukko 11. Murskeen ja kapillaariseppelin kerrospaksuuden kasvu jäätyessä....	41
Taulukko 12. Hiekan tiiviuden tulokset.	44
Taulukko 13. Hiekkanäytteiden tiivistyminen.....	45
Taulukko 14. Hiekan ja kapillaarikatkoepelin tiivistytulokset.	47
Taulukko 15. Hiekan ja kapillaarikatkoepelin tiivistyminen.	47
Taulukko 16. Murskeen ja kapillaarikatkoepelin tiivistytulokset.....	50
Taulukko 17. Murskeen ja kapillaarikatkoepelin tiivistyminen.	51
Taulukko 18. Nousukorkeudet viiden tunnin aikana.....	56
Taulukko 19. Nousukorkeus tutkimuspäivinä senttimetreinä.	56
Taulukko 20. Nousunopeus näytteillä havainnollistettu.....	56

Käytetyt termit ja lyhenteet

Geosynteettinen tuote	Keinotekoisista aineista tehtyjä tuotteita. Yleinen raaka-aine on PVC. Käytetään maa- ja pohjarakenteissa.
Huokoisuus	Huokoisuudella tarkoitetaan huokosten tilavuuden suhdetta näytteen kokonaistilavuuteen.
Huokostila	Tarkoitetaan maa-aineksen rakeiden välistä ilmaa.
Kapillaarisuus	Tarkoittaa huokoisen aineen ominaisuutta, jonka avulla aine pystyy imemään nestettä vapaan nestepinnan yläpuolelle sekä pitämään sen siellä.
Kyllästynyt	Tarkoittaa maa-ainesta, johon ei enää imeydy vettä.
Rakeisuuskäyrä	Kertoo raekokoa vastaavan seulan läpäisy prosentoin.
Routaraja	Tarkoittaa aluetta, jossa routa ja sulamaa kohtaavat.
Siltti	Hiekkaa hienorakeisempi, mutta savea karkeampi maa-aines.
Sepeli	Sepeli on kalliosta murskattua kiviainesta, josta on erotettu hienempi raekoon aines pois.
Tiiviys	Tiiviydellä tarkoitetaan kuivatilavuusmassan suhdetta maksimi kuivatilavuus massaan.
Vajovesi	Maanpinnalta painovoiman vaikutuksesta hitaasti alaspäin liikkuvaa vettä.
Vesipitoisuus	Vesipitoisuus on näytteen veden määrä ilmaistuna prosentteina kuivan näytteen massasta.

1 JOHDANTO

Talon pohjarakenteet ovat tärkeä osa rakennusta, koska rakennus pysyy perustensa varassa koko elinkaarensa ajan. Pohjarakenteissa ja perustuksissa tehdyt virheet ovat erittäin hankalia ja kalliita korjata. Joissain tilanteissa ne ovat jopa mahdollittomia korjata ilman täydellistä purkamista. Tästä syystä pohjarakenteiden huolelliseen suunnitteluun ja ratkaisujen pohtimiseen kannattaa käyttää aikaa ennen rakentamista.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan maa-ainesrakenteita, jotka ovat osana talon pohjarakenteita. Tutkimukseen on otettu kolme yleisimmäksi arvioitua pohjarakennetta, joita on käytetty Suomessa. Rakenteista tehdään mallinnuksia jäätymisestä, tiivistymisestä ja kapillaarisesta vedennoususta. Työssä avataan ensin sitä, mitkä asiat vaikuttavat talon pohjarakenteisiin. Seuraavaksi pohditaan ja perehdytään enemmän maa-aineksien ominaisuuksiin. Lopuksi on tehty tutkimuksia ja pohdittu tutkimuksen tuloksia sekä niiden syntyminen syytä.

Tutkimustyölle ei ole varsinaista tilaajaa tai kohdetta, jolle työtä tuotetaan. Tutkimustyö tehdään omasta kiinnostuksesta sekä uteliaisuudesta aihetta kohtaan. Etsiesäni tutkimuksia aiheesta totesin, ettei samanlaisia tutkimuksia oltu juurikaan tehty. Oma ideani sekä tavoitteeni oli lähteä mallintamaan teoriaa kokeellisen tiedon perusteella, miten maa-ainekset käyttäytyvät teorian perusteella.

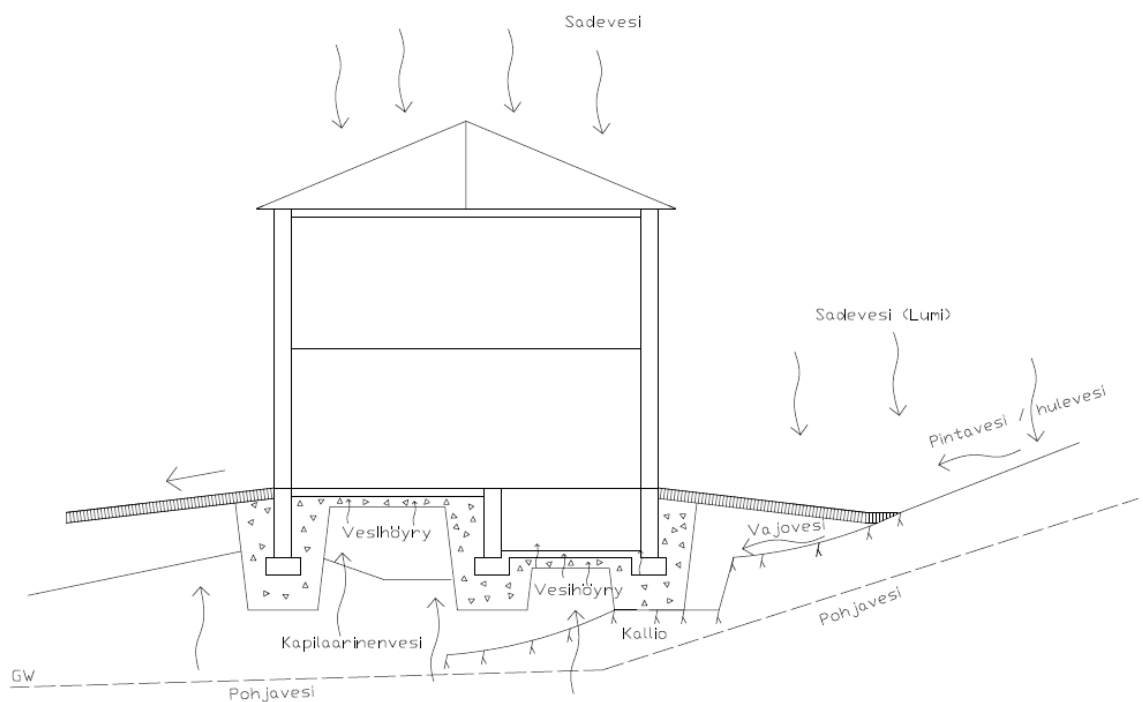
2 MAAKERROKSIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

2.1 Kuivatus

Suomen maaperässä kosteus esiintyy kaasuna, nesteinä ja kiinteänä, toisin sanoen vesihöyrynä, vetenä ja jäänä. Maaperässä vesipitoisuus on huomattavan korkea myös pohjaveden yläpuolella. (Leivo & Rantala 2006, 18-19.)

Pohjavedenpinnan keskikorkeus vaihtelee ja vaihtelurajat selvitetään pohjatutkimuksen avulla. Tutkimuksesta saadulla tiedolla suunnitellaan rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatukset. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2009, 60-61.)

Kosteuden esiintymismuodot (Kuvio 1.) pohjarakenteisiin ovat sadevesi, pohjavesi, hulevesi, vajovesi, vesihöyry ja kapillaarinen vesi. (Jääskeläinen 2009b, 121.)



Kuvio 1. Kosteuden esiintymismuodot.

Kuivatuksen tavoite on estää maaperässä siirtyvän veden haitalliset vaikutukset rakennukseen, rakenteisiin sekä piha-alueisiin. Kuivatuksella estetään maan jäätyminen kiinni perustusten ulkopintaan ja näin estetään perustusten liikkuminen sekä rapautuminen. (Jääskeläinen 2019b, 121.)

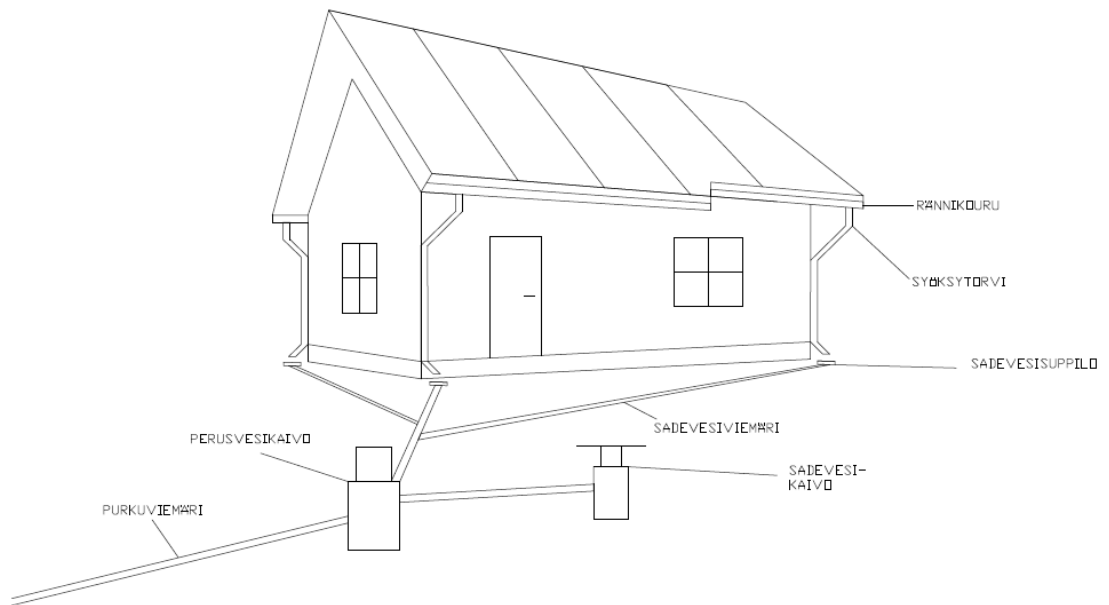
Rakennuspohjan kuivattamisella estetään veden ja kosteuden aiheuttamia haittoja rakennukselle. Tonttialueen kuivatuksella estetään liiallisen veden kertyminen ja jäätyminen. Kuivatuksen tarkoitus on hallita routivuutta ja pysyä suunnitellussa kantavuudessa. (RT 81-11000 2010, 1.)

Rakennuspohjan kuivatus toteutetaan

- maanpinnan muotoilulla
- salaojituksilla sekä siinä olevilla salaojakerroksilla ja purkujärjestelmillä
- vedenpaine-eristetyllä rakenteella (Jääskeläinen 2019b, 130-138).
- Lisäksi kapillaarinen vedennousu katkaistaan kapillaarikatkerroksella (RT 81-11000 2010, 4-5).

Tonttialueen kuivatus toteutetaan

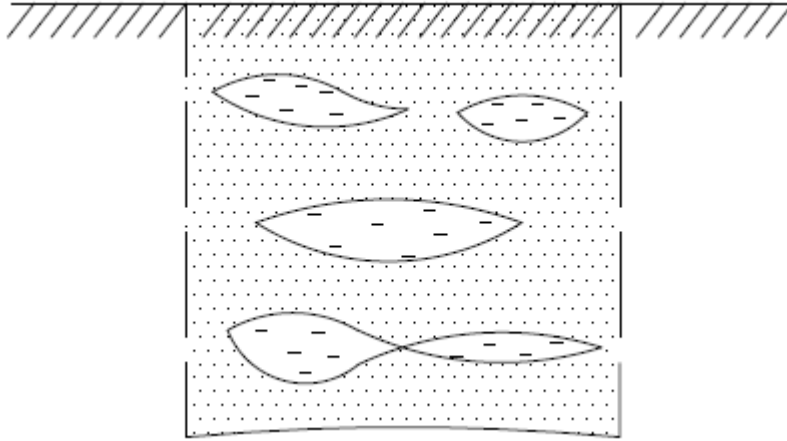
- avo-ojilla
- sadevesijärjestelmillä (Kuvio 2.)
- salaojien avulla
- maanpinnan muotoilulla. (Jääskeläinen 2019b, 121.)



Kuvio 2. Sadevesijärjestelmä.

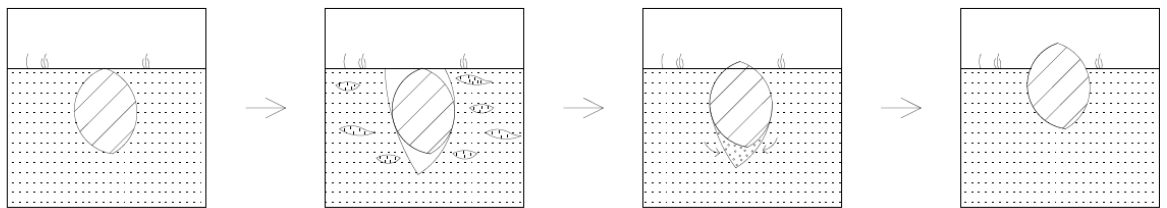
2.2 Routa ja routivuus

Seuraavilla termeillä tarkoitetaan kahta erilaista asiaa. Routautuminen on maan jäätymistä, kun vesi jäätyy maakerroksessa ilman, että maakerros kasvaa. Routimisella tarkoitetaan, kun vedellä kyllästynyt sekä huonosti vettä läpäisevä maakerros kasvaa maan jäätyessä. (Kuvio 3.) Maan routivuus johtuu maakerroksen huokosissa olevasta vedestä, joka ei jäätyessään pääse poistumaan maakerroksesta. (Jääskeläinen 2009a, 86-89.)



Kuvio 3. Jäätynyt maa.

Routivuudesta aiheutunut ilmiö on kiven ja lohkareiden nousu maasta. Jäätynyt maakerros nostattaa kiviä ja lohkareita ylöspäin kohti maanpintaa, jonka jälkeen sulamisvaiheen aikana kiven onteloon pääsee vetistä maata. (Kuvio 4.) Kivi tai lohkare ei pääse laskeutumaan takaisin ennen vetisen maan valumista, koska routa pitää kivistä ja lohkareista kiinni. Tästä seurauksena on kiven tai lohkareen nousu, koska sen alle jää vetistä maata, jonka takia se ei pääse laskeutumaan entiseen syvyyteen. (Jääskeläinen 2009a, 89.)



Kuvio 4. Kiven nousu.

Routa vaikuttaa perustuksiin liikuttelemalla rakennusta kuten epätasainen painuminen. Tästä johtuen perustukset suunnitellaan, ettei routaa pääse muodostumaan perustusten alle. (Kyyrönen 2010, 234.)

Routiviksi maalajeiksi luokiteltavat ovat savi, lieju, siltti, hieno hieta sekä moreeni. Routivan maalajin kriteereinä ovat kaikki maalajit, joissa on 0,02 mm pienempiä rakeita on yli kolme painoprosenttia 2 mm pienempien maarakeiden määrästä. (Kyyrönen 2010, 234.)

Jos maalajin kapillaarinen nousukorkeus on yli metrin, maalaji luokitellaan routivaksi. Suuri kapillaarinen nousukorkeus aiheuttaa maalajin kykyä nostaa kosteutta pohjavedestä routivaan kerrokseen. (Jääskeläinen 2009a, 90.)

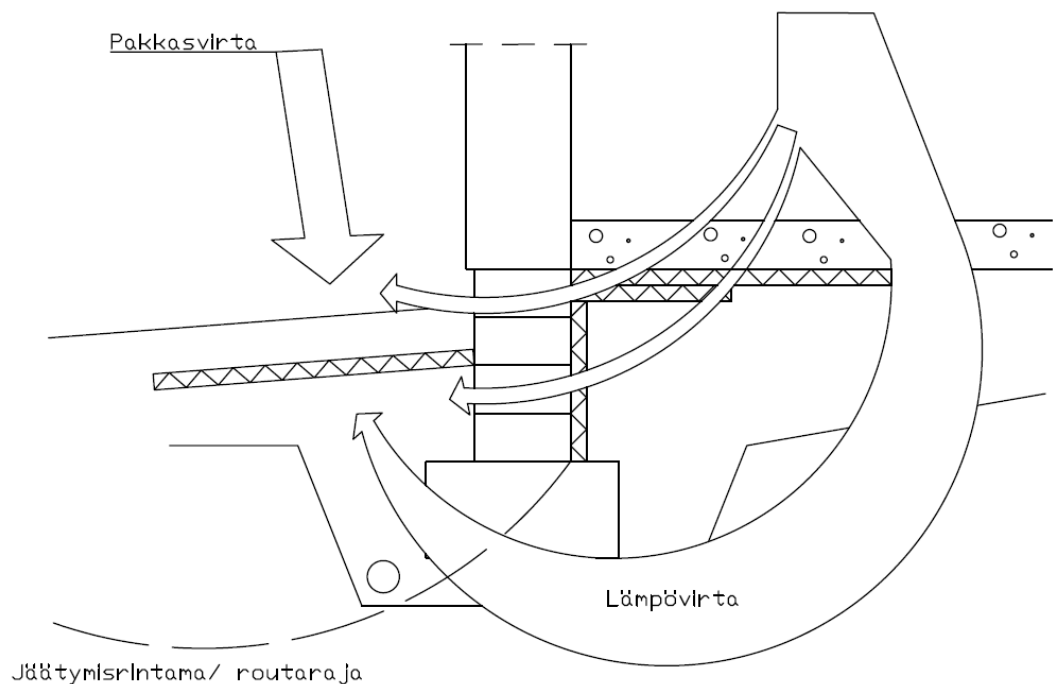
Roudan syvyyteen vaikuttavat tekijät ovat pakkasmäärä, maalaji, lumi- ja kasvillisuuspeite sekä maaperän kosteus. Pakkasmäärä on isoin roudan syvyyteen vaikuttava asia. Se lasketaan astetunteina talviaikana, joka havainnollistetaan vrk-keskilämpötilana. Talon rakenteiden mitoituksena käytetään kerran 50 vuodessa esiintyvää pakkasmäärää. Pakkasmäärän neliöjuuri on verrannollinen roudan syvyyteen, jonka avulla roudan syvyyttä voidaan arvioida. Maalajin lämmönjohtavuus vaikuttaa roudan syvyyteen sekä huokostilan määrä vaikuttaa taas maalajin lämmönjohtavuuteen. Mitä vähemmän huokostilaa maa-aineksessa on, sitä paremmin se johtaa lämpöä. Maalajeille on karkeat suhdeluvut roudan tunkeutumissyvyyteen. (Jääskeläinen 2009a, 93-96.)

Suhdeluvut roudan tunkeutumissyvyyteen

– Louhe	1,5
– Hiekka, sora, moreeni	1,15
– Siltti	1
– Savi	0,85
– Turve	0,60 (Jääskeläinen 2009a, 93).

Lumipeite antaa suojaavan vaikutuksen routaan, mutta mitoituksessa sitä on hankala hyödyntää, koska lumipeitteen määrä vaihtelee vuosittain. Talon rakennuksen mitoitukset tehdään paljaaseen maanpintaan. Myös pintakasvusto juuristoineen ja muut kasvien osat muodostavat eristekerroksen maanpintaan. Mitoituksessa suojaavaa kerrosta ei voida ottaa huomioon. Maaperän kosteudella on iso merkitys roudan syvyyteen. Pohjavedenvirtaukset voivat pitää roudan lähellä maanpintaa. (Jääskeläinen 2009a, 93-96.)

Routasuojaukseen vaikuttaa, pidetäänkö rakennus lämpimänä vai kylmänä sekä perustamistapa. Lämpimässä rakennuksessa lämpövirtojen katsominen kertoo, miten routasuojaus tulee suunnitella. (kuvio 5.) Rakennuksen sisältä tulisi lämpöä kulkeutua perustusten ali niin, että jäätymisrintama ja nollaraja pysyvät perusmuurianturan ulkoreunan ulkopuolella. Näin jäätyvä ja routiva maa ei pääse aiheuttamaan perusmuuriin liikkeitä tai aiheuttamaan pullistumia. Eräs routasuojauksen rakentamistapa on asentaa sokkelin ulkopuolella vaakasuora eristelevy. Eristelevy estäisi lämpövuodon heti ylös perusmuurin vierestä, jonka avulla lämpö estää sekä siirtää jäätymisrintamaa etäämmälle perusmuurista. Lisäksi eristelevy estää kylmää ilmaa kulkeutumasta perusmuuria pitkin anturan alle ja pohjarakenteisiin. Kylmän rakennuksen routaeristämisen periaatteena on perustaa rakennus routasuojauksen tarpeen alapuolelle. Routasyvyyden yläpuolella routasuojaus perustuu lämpimänä aikana maaperään varastoituneeseen lämpöön, joka routasuojauksen avulla pitää rakennuksen perustukset riittävän sulana kylmän ajan. (Jääskeläinen 2009b, 147-157.)



Kuvio 5. Lämpövirtojen havainnointi.

2.3 Suodatinkangas

Suodatinkangas on geosynteettinen tuote. Suodatinkankaita on paljon erityyppisiä ja kankaat voidaan luokitella suodatinkankaisiin sekä lujitekankaisiin. Suodatinkankaat ovat joko neulottuja tai kutomattomia. Lujiteverkot valmistetaan pääsääntöisesti stanssaamalla muovikalvoon reikiä ja venyttämällä haluttuun muotoon. Lujitekangasta käytetään suurissa vetolujuutta vaativissa sekä suuren rasituksen kohteissa, kun taas suodatinkangas on tarkoitettu pienempiin vetolujuuden ja rasituksen kohteisiin. (Jääskeläinen 2010, 158-163.)

Suodatinkankaan tarkoitus on estää maalajien sekoittuminen ja näin estetään hienojakoisemman aineksen sekoittuminen karkeampaan ainekseen. Suodatinkangas mahdollistaa rakennekerroksien pienentämisen ja tällöin saadaan kustannuksia pienemmiksi. Suodatinkangas suodattaa veden, jolloin kankaan päälle ei synny vesipatjaa ja rakenne pysyy kuivana. Suodatinkankaan käyttökohteita ovat tierakentaminen, piharakenteet, rakennusten pohjarakenteet, ranta- ja vesirakenteet, viherrakenteet ja salaojitusrakenteet. (ViaCon, [viitattu 3.8.2019].)

Suodatinkankailla on laatuvaatimukset ja sopivuus eri kohteisiin määritellään Nor-GeoSpec 2012 standardin mukaan. Standardissa kankaat luokitellaan käyttöluokkiin N1 - N5. N1-luokka sopii puutarhoihin ja viherrakenteisiin. N2-luokka on teiden kunnostusrakenteet ja talon pohjarakenteet. N3-luokka on maanteiden rakenteet ja vaativat kohteet esim. mursketäyttöihin. N4-luokka on vaativiin kohteisiin, joissa on pehmeä pohjamaa sekä täyttö teräväsärmäisellä louheella oleviin kohteisiin. N5-luokka on pehmeään pohjamaan ja isoihin louhetäyttöihin. Taulukosta yksi voidaan tarkastella käyttöluokkia ja niiden käyttökohteita. (ViaCon, [viitattu 3.8.2019].)

Taulukko 1. Suodatinkankaan käyttökohteet.

Luokitus	käyttökohde
N1	Puutarhat ja viherrakennus
N2	Teiden kunnostusrakenteet ja talonpohjarakenteet
N3	Maanteiden rakenteet ja vaativat mursketäytöt
N4	Pehmeä pohjamaa ja teräväsärmäinen louhe
N5	Pehmeä pohjamaa ja isoihin louhetäyttöihin

Sopivan suodatinkankaan käyttöluokan valinta perustuu pohjanmaan pehmeyyteen, rakentamisolosuhteisiin ja yläpuolisen täytön karkeuteen. Seuraavaksi kerrotaan ensimmäinen esimerkki suodatinkankaan käyttöluokan valinnasta. Pohjamaa on silttiä, hiekkaa tai muuta pehmeää ainesta. Päälle tuleva täyttökerros ei ole terä-
väsärmäistä eikä päällä ole raskasta liikennettä. Sopiva käyttöluokka olisi N2. Toi-
nen esimerkki kerrottuna suodatinkankaan käyttöluokan valinnasta. Pohjamaa on
pehmeää savea, täyttömaa on yli 200 mm louhetta ja päällä on raskasta liikennettä
sekä tiivistys tehtäisiin raskaalla jyrällä. Tällöin suodatinkanaan käyttöluokka olisi
N5. Käyttöluokkiin vaikuttavat vetolujuudet. Luokassa N2 on 10 kN/m ja N5-luo-
kassa on 26 kN/m. Taulukossa 2 on kerrottu ohjeita käyttöluokan valintaan. (Jääs-
keläinen 2010,159-163.)

Taulukko 2. Käyttöluokan valinta (ViaCon, [viitattu 3.8.2019]).

Pohjamaa	Rakentamis- olosuhteet	Täyttömateriaalin maksimiraekoko (mm)			
		dmax<60	60<dmax<200	200<dmax<500	dmax>500
Pehmeä	Normaalit	N3	N4	N5	N5
	Suotuisat	N3	N3	-	-
Kiinteä	Normaalit	N3	N3	N3	N4
	Suotuisat	N2	N2	-	-

Suodatinkankaiden asentamiseen on vaatimuksia. Kankaita ei saa jättää auringon valon vaikutukseen viikkoa pidemmäksi aikaa. Kankaat tulee limittää 0,5 m toistensa päälle jatkoskohdissa. Kankaiden päällä ei saa liikkua työkoneilla ennen soran tai murskeen lisäämistä. Kevyillä työkoneilla täytyy kankaan päälle asentaa 0,3 m so-
raa tai mursketta tiivistettynä. Raskaiden työkoneiden liikenteelle täytyy asentaa 0,5
m soraa tai mursketta tiivistettynä ennen liikkumista. Kerroksen materiaalin enim-
mäisraekoko voi olla 2/3 kerroksen paksuudesta. (Rakennustieto Oy 2010, 90.)



Kuva 1. Suodatinkankaan limitys ja asentaminen.

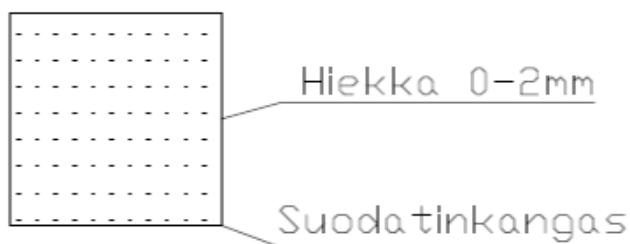
3 TUTKIMUKSEN MAAKERROSTYYPIT

Rakeisuuskäyrien avulla selvitetään maa-aineksen ominaisuuksia ja sen avulla nimetään kivennäismaalajit. Luonnossa esiintyville kivennäismaalajeille on raekoon mukaan annettu nimet savi, siltti, hiekka, sora, kivet ja lohkareet. (Jääskeläinen 2009a, 19-21.)

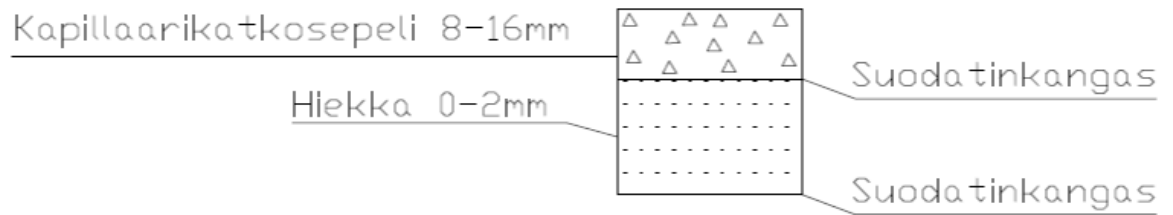
Kalliosta voidaan valmistaa kalliomursketta sekä sepeliä. Näitä käytetään parantamaan maarakenteen kantavuutta. (Rudus, [viitattu 30.5.2019].)

Tutkimukseen valitaan yhdeksi maalajiksi ja rakenteeksi hiekka, koska pohjamooreeni on yleisin maalaji Suomessa. Pohjamooreeni on lähellä hiekan rakennetta. Lisäksi maalajia on helposti saatavilla. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 1985, 34-38.)

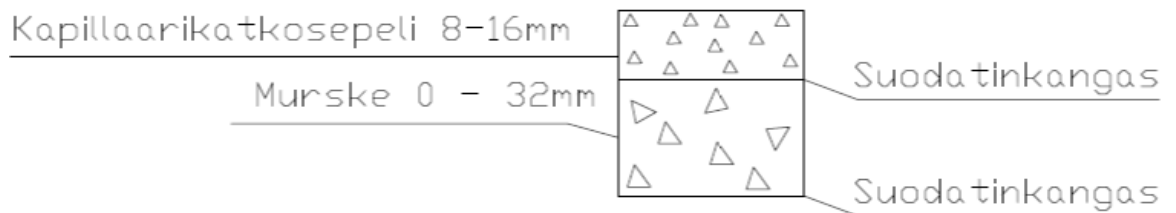
Toinen rakenne on hiekka ja 8–16 mm kapillaarikatkosepeli. Se otetaan tutkimukseen, koska rakenne voidaan ns. korjata edelliseen rakenteeseen lisäämällä kapillaarinen katko. Tässä halutaan katsoa, mitä vaikutuksia on kapillaarisella katkolla. Kolmas tutkimuksen rakenne on murske, jossa on kapillaarinen katko. Tällä tutkimuksella halutaan katsoa, mitä vaikutuksia on maarakenteen vahvistuksella yhdessä kapillaarisen katkon kanssa. Rakenteet ovat kuvioissa 6, 7 ja 8 havainnollistettu.



Kuvio 6. Tutkimuksen havainnekuva hiekkakerroksesta.



Kuvio 7. Kapillaarikatkosepelin ja hiekan havainnekuva.



Kuvio 8. Kapillaarikatkosepelin ja murskeen havainnekuva.

3.1 Hiekka 0–2 mm

Hiekka on peräisin luonnonharjuista, josta se seulotaan haluttuun kokoon. Hiekan ominaisuuksiin kuuluu hyvä tiivistyminen. (Destia Oy 2019.)

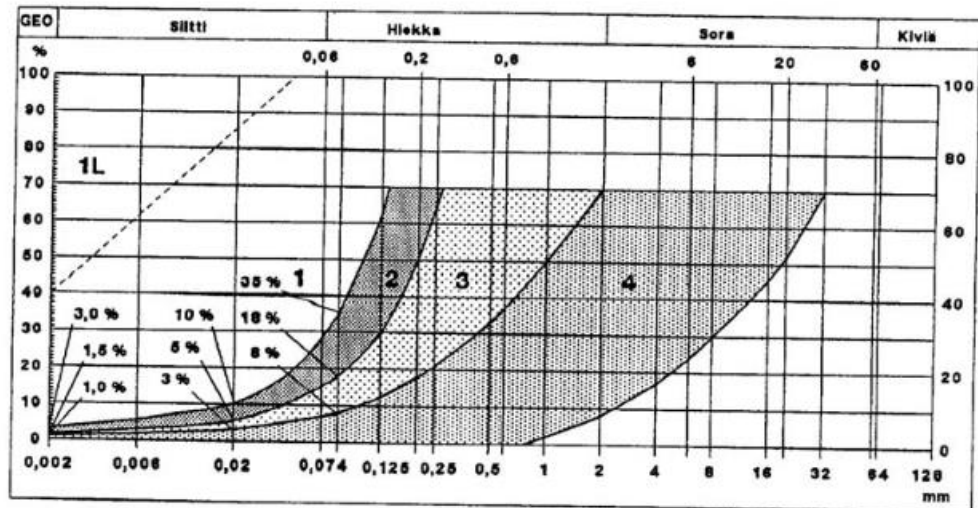
Hiekka on rakeisuutensa perusteella karkeahiekkaa, jos rakeisuuden ohjearvot ovat 0,6–2 mm. Tästä päätellen tutkimuksissa käytettävä hiekka on karkeahiekkaan luokiteltavaa. (Jääskeläinen 2009a, 20-21.)

Vedenläpäisevyyttä on moreeneissa hankalaa arvioida ja vertailla, koska rakeisuus, tiiviyys sekä huokosten määrä vaikuttavat asiaan. Hiekalle on olemassa vedenläpäisevyysarvo 10^{-4} - 10^{-6} m/s. Tästä päätellen voidaan sanoa, että hiekka on hyvin vettä läpäisevää maalajia. (Jääskeläinen 2009a, 68-69.)

Kapillaarisuuteen vaikuttavat huokosten määrä ja tiiviyys. Tiiviissä aineksessa kapillaarinen nousukorkeus on 4-15 cm ja löyhässä 3-12 cm. (Jääskeläinen 2009a, 38-39.)

Hiekan routivuutta voidaan arvioida rakeisuutensa mukaan taulukosta kolme. Taulukosta katsottuna hiekka on rakeisuutensa perusteella lievästi routivaa. Kapillaarisen nousukorkeuden mukaan alle 1 m nousukorkeudessa olevat maalajit ovat routimattomia. (Tielaitos kehittämiskeskus 1993, 22-23.)

Taulukko 3. Rakeisuus (Tieliikelaitos yleisperusteet, 22).



Rakeisuutensa mukaan routivuus määritellään seuraavasti. 1L on lievästi routiva sekä alueet kaksi, kolme ja neljä ovat routimattomia, elleivät käyrien alapäät pääty vasemman reunan rajakäyrän yläpuolelle. (Tielaitos kehittämiskeskus 1993, 22.)

Myös roudan syvyyteen on olemassa karkea suhdeluku, joka on 1.15. Roudan syvyyteen vaikuttavat myös maalajin lämmönjohtavuus sekä huokosten määrä. (Jääskeläinen 2009a, 93.)

Tiiviissä moreeni- ja soramaissa ei tapahdu suuria painumia. Tyypillistä karkearakaisille maille on, että painumat ovat pieniä sekä tapahtuvat muutamien kuukausien aikana kuormituksen jälkeen. (Jääskeläinen 2009b, 40.)

3.2 8–16 mm kapillaarikatkosepeli

Kapillaarikatkosepeli on valmistettu kallioulouheesta tai murskatusta luonnonkivestä, minkä jälkeen aineksesta seulotaan hienoaines pois. Sepeli ei tiivisty ja se läpäisee vettä hyvin. (Destia Oy 2019.)

Routivuus määritellään rakeisuuden perusteella taulukossa kolme. 8–16 mm:n rakeisuus jää routivalle osa-alueelle. (Tielaitos kehittämiskeskus 1993, 22.)

Maalajin roudan syvyys on suuri, jos maalaji on huokoista ja karkeana suhdelukuna voidaan pitää louheen ja hiekan välisellä alueella 1.5–1.15. Tällöin suhdeluku olisi jostain kohtaa tuolta väliltä. (Jääskeläinen 2009a, 92-93.)

Kapillaarinen nousukorkeus on suoraan verrannollinen pintajännitykseen, jonka avulla saadaan tieto, että raekoon kasvaessa huokoskanavien suuruus yleensä kasvaa, minkä takia kapillaarinen nousu vähenee. Tällöin voidaan ajatella, että kapillaarisuus on pienempi kuin hiekalla. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 1985, 121.)

3.3 0–32 mm murske

Murske valmistetaan kallioulouheesta tai luonnonsorasta. Ensin se louhitaan sekä murskataan. Seuraavaksi kiviaines seulotaan haluttuun kokoon. Murskeen erityisominaisuuksia ovat hyvä tiiviys ja kantavuus. (Destia Oy 2019.)

Kapillaarisen nousukorkeuden avulla ei voida luotettavasti arvioida murskeen ja sorien routivuutta. Taulukon kolme mukaan murske olisi rakeisuutensa perusteella routivaa tai lievästi routivaa. (Tielaitos kehittämiskeskus 1993, 22-23.) Kapillaarisuus on vielä pienempi kuin sepelillä, koska raekoon kasvaessa kapillaarinen nousu vähenee vielä sepelin tasosta (Suomen rakennusinsinöörien liitto 1985, 121).

4 TUTKIMUKSEN ETENEMINEN

4.1 Jäätyminen

Tutkimuksessa tehtiin jokaisesta kolmesta maakerrostyypistä neljä tutkimusversiota. Versioiden välillä erona olivat vesimäärät, jotka on kerrottu taulukossa neljä. Tutkimuksessa halutaan seurata, paljonko maakerroksen pinta nousee jäätyksen johdosta. Kaikissa versioissa ja maakerrostyypeissä aloitettiin ensin kuivattamalla tutkimusmateriaali kuivaksi uunilla. Kuivatuslämpötilana käytettiin 200 °C. Uuni on merkiltään AEG, joka on kuvassa kaksi. Kuivatuksen riittävyys todettiin aistinvaraisesti, jonka jälkeen tutkimusmateriaalin annettiin jäähtyä huonelämpötilaan 22 °C.

Taulukko 4. Vesimäärät ja vesipitoisuudet jäätymisessä.

	Vesimäärä	Keskiarvo vesipitoisuudesta
Näyte 1	0,3 Litra	4,30 %
Näyte 2	0,5 Litra	9,40 %
Näyte 3	0,8 litra	12,30 %
Näyte 4	1 Litra	16,60 %



Kuva 2. Materiaalin kuivatus uunilla.

Tutkimuksessa materiaali laitettiin pakasterasiaan (Kuva 3.), jonka mitat ovat leveys 165 mm, pituus 265 mm ja korkeus 200 mm. Rasian tiedoissa oli kerrottu rasian

tilavuudeksi 7,2 litraa. Ennen materiaalin laittamista pakasterasiaan laitettiin pohjalle N2-luokan suodatinkangas, koska tällä haluttiin luoda kuvaa, jolla erotettaisiin vanha ja uusi maakerrosrakenne toisistaan siten kuin oikeassa tilanteessa.



Kuva 3. Pakasterasiat, jonka pohjalla on suodatinkangasta.

Seuraavaksi laitettiin kuivattu sekä jäähtynyt materiaali pakasterasiaan. Rasioita ei täytetty täyteen asti, koska haluttiin antaa jäätyksen aiheuttamalle pinnan nousulle tilaa. Lisäksi materiaalia ei tiivistetty millään tavalla vaan annettiin sen olla ilmavasti, sekä materiaali levitettiin tasaisesti koko rasiaan. Jos maakerrostyypissä oli monta erilaista maa-ainesta, laitettiin myös näiden väliin N2-luokan suodatinkangasta erottamaan maa-ainekset toisistaan. (Kuva 4.) Maakerroksien mitat kahdessa maa-aineksessa olivat 10 cm ja 5 cm paksuisia ja yhdellä maa-aineksella 15 cm.



Kuva 4. Suodatinkankaiden sijainti.

Kun maa-ainekset oli saatu ilmastavasti kasattua pakasterasiaan, otettiin mittaukset rullamitalla sekä työntömitalla. Rullamittaus tapahtui niin, että ensin pinnalle asetettiin lauta ja laudan pinnasta otettiin mitta rasian yläpintaan. Mittauksesta havainnekuvat kuvissa 5 ja 13. Rullamitta oli merkiltään Bahco, joka on kuvassa kuusi. Työntömitalla otettiin myös laudan pinnasta rasian yläpintaan mittaustulos. Mittauksia otettiin kahdella erilaisella tavalla sen takia, että haluttiin varmistua, että pienetkin erot huomataan. Työntömitta oli elektroninen ja merkiltään Procat, joka on kuvassa seitsemän.



Kuva 5. Lähtötiedon mittausta.



Kuva 6. Bahcon rullamitta, jolla otettiin tutkimusmittauksia.



Kuva 7. Työntömitta, jolla mitattiin tuloksia.

Seuraavaksi rasiaan kaadettiin taulukon neljä mukaiset vesimäärät. Käytetty vesi oli hanavettä, joka oli kädenlämpöistä. Kuvassa kahdeksan on mittausastia, jolla vesimäärät mitattiin. Vesi kaadettiin koko pakasterasian alueelle mahdollisimman tasaisesti. Tämän jälkeen rasiaan laitettiin kansi ja nostettiin pakastimeen. (Kuva 9. ja 10.) Pakastimen pakkasmäärä vaihteli $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä.



Kuva 8. Vesiastia, jolla mitattiin vesimäärät.



Kuva 9. Lämpötilanmittari pakastimessa.



Kuva 10. Näytteet pakastimessa.

Näytteitä pidettiin vähintään 22 tuntia pakastimessa. Ne otettiin yksi kerrallaan pois pakastimesta ja mitattiin heti, jotta huonelämpötila ei pääsisi sulattamaan näytettä. Mittaukset suoritettiin samaan tapaan kuin ennen pakastimeen laittoa. Tämän jälkeen pystyttiin tekemään havainnot jäätyneestä näytteistä.

4.2 Tiiviys

Myös tässä tutkimuksessa tehtiin kolmesta maakerrostyyppistä neljä erilaista tutkimusversiota. Tutkimusversioissa olivat eroina vesimäärät taulukon viisi mukaan. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, paljonko näytteet painuvat eri vesimäärillä, kun ilmavaan kerrokseen lyödään 50 kertaa painolla.

Taulukko 5. Vesimäärät ja vesipitoisuudet tiivistymisessä.

	Vesimäärä	Keskiarvo vesipitoisuudesta
Näyte 1	1 Litra	12,90 %
Näyte 2	2 Litra	27,20 %
Näyte 3	1,5 Litra	21,00 %
Näyte 4	0,5 Litra	6,10 %

Ensimmäiseksi tutkimusmateriaalia kuivattiin lämpökaapilla, joka on kuvassa 11 ja 12. Lämpökaappi on merkiltään Binder ja se oli tarkastettu 10/2018. Kuivatuslämpötilana käytettiin 80–110 °C. Kuivatuksen riittävyys ja onnistuminen todettiin aistinvaraisesti. Lisäksi kaikki tutkimusmateriaalit olivat vähintään 15 min kuivatuksessa.



Kuva 11. Lämpökaappi.



Kuva 12. Tutkimusmateriaalia kuivamassa lämpökaapissa.

Seuraavaksi kuivatettu tutkimusmateriaali laitettiin pakasterasiaan, jonka pohjalle oli laitettu N2-luokan suodatinkangasta. Pakasterasian mitat olivat leveys 165 mm, pituus 265 mm ja korkeus 200 mm. Rasian tiedoissa oli kerrottuna tilavuudeksi 7,2 litraa.

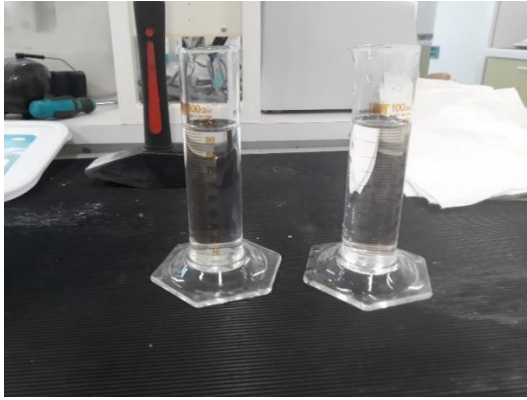
Tutkimusmateriaali laitettiin ilmastavasti rasiaan ja levitettiin tasaisesti koko rasian alueelle. Rasioita ei täytetty täyteen asti, koska haluttiin ottaa mittauksia rasian yläpintaan. Täyttämisen jälkeen näytteistä otettiin mittaukset. Mittaus tehtiin rullamitalla, joka on merkiltään Bahco. (Kuva 6.) sekä työntömitalla, joka on merkiltään Samson master. Mittaus tapahtui niin, että näytteen pinnalle laitettiin laudankappale, josta mittaus suoritettiin rasian yläpinnan tasalle. (Kuva 5. ja 13.)



Kuva 13. Mittaustuloksen ottamista näytteestä työntömitalla.

Maakerrostyypeissä, joissa oli enemmän kuin yhtä maa-ainesta, laitettiin kerroksien väliin N2-luokan suodatinkangasta erottamaan kerrokset toisistaan. Kerroksien paksuudet olivat kahdessa maa-aineskerroksessa 10 cm ja 5 cm. Yhdellä maa-aineskerroksella paksuus oli 15 cm.

Kun näytteet olivat rasiassa ilmastavasti laitettu ja mittaukset suoritettu, lisättiin näytteisiin taulukon viisi mukaiset vesimäärät. Käytetty hanavesi oli kädenlämpöistä. Vesimäärät mitattiin kuvan 14 mukaisella mitta-astialla.



Kuva 14. Vesimäärän mitta-astiat tiivistuskimuksissa.

Seuraavaksi näytteisiin lyötiin 50 kertaa tasaisesti ympäri näytettä tiivistäen koko rasian alueelta. Massana käytettiin moskaa, jonka massa oli 1,81 kg mitattuna. Moska ja tiivistymistä kuvattuna kuvassa 15.



Kuva 15. Tiivistymistä suorittamassa.

Tiivistämisen jälkeen suoritettiin mittaukset uudestaan samaan tyyliin kuin aloittaessa rullamitalla sekä työntömitalla. Tämän jälkeen pystyttiin ottamaan havaintoja tiivistymisestä. Lisäksi kaikista näytteistä otettiin ennen veden lisäämistä kuivamassa ja tiivistämisen jälkeen märkämassa. Massa mitattiin kuvan 16 mittarilla. Mittarin merkki on Lahti precision sekä laite oli kalibroitu 21.8.2019.



Kuva 16. Massan mittauslaite.

4.3 Kapillaarinen vedennousu

Tutkimuksen tarkoitus on seurata kapillaarista vedennousua kolmessa eri maakerrostyyppissä. Näytteet annetaan olla 7 päivää, jonka aikana niiden kapillaarista vedennousua tarkkaillaan. Ensimmäisenä rakennettiin kuvan 17 näköiset mittaustelineet. Tämän jälkeen muovilasiin porattiin 6 mm poralla satunnaisesti ympäri lasia reikiä, kuten kuvassa 18 pystyy havaitsemaan.

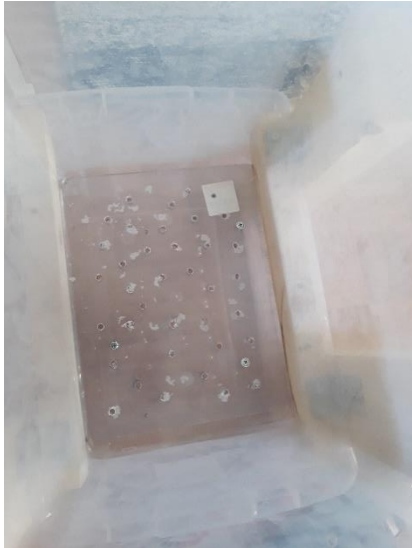
Tutkimusmateriaali kuivattiin uunilla, joka merkiltään on AEG. (Kuva 2) Kuivatuksen onnistuminen sekä riittävyys todettiin aistinvaraisesti. Kaikki tutkimusmateriaali annettiin jäähtyä kuivatuksen jälkeen huoneilman tasoon 22 °C. Tämän jälkeen tutkimustelineisiin laitettiin pohjalle kaikkiin N2-luokan suodatinkangas estämään maa-aineksen valuminen rei'istä veteen. Lisäksi kahden maa-ainekerroksien väliin laitettiin N2-luokan suodatinkangasta erottamaan maa-ainekset toisistaan. Näytteessä kolme on vain yhtä maa-ainesta, jonka paksuus on 30 cm. Näytteissä yksi ja kaksi on kahta maa-ainesta, joissa kerrospaksuudet ovat 20 cm ja 10 cm.

Kuvassa 19 on maakerrokset valmiina veden laittamiseen. Käytetty vesi oli hanavettä, jonka lämpötila oli kädenlämpöinen. Kaikkiin alaosan rasioihin laitettiin aluksi

27 Litraa vettä. Vettä lisättiin tarpeen vaatiessa niihin näytteisiin, joissa vajausta tapahtui. Lisättävä vesi otettiin sivusta olleesta ämpäristä, jossa vesi oli ensin jäähtynyt huoneilman tasoon. Huoneilman lämpötila oli 22 °C.



Kuva 17. Tutkimuksen mittaustelineet.



Kuva 18. Muovilasien pohjassa olevia 6 mm reikiä.



Kuva 19. Tutkimuksen kerrokset valmiina ennen veden lisäämistä.

5 TULOKSET JA HAVAINNOT

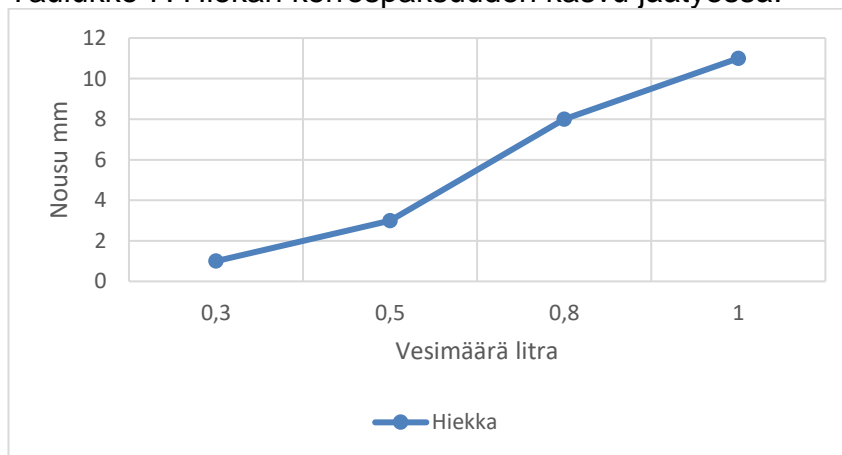
5.1 Jäätyminen

5.1.1 Hiekan tuloksia ja havaintoja

Taulukko 6. Hiekan jäätyksen tulokset.

Hiekka								
	Näyte 1		Näyte 2		Näyte 3		Näyte 4	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu
Rullamitta	68 mm	67 mm	73 mm	70 mm	83 mm	75 mm	78 mm	67 mm
Nousu	1 mm		3 mm		8 mm		11 mm	
Työntömitta	68,6 mm	68 mm	76 mm	72,3 mm	85,4 mm	82,5 mm	79,4 mm	76,2 mm
nousu	0,6 mm		3,7 mm		2,9 mm		3,2 mm	
Massa	7,52 Kg	7,8 Kg	7,36 Kg	7,87 Kg	7,25 Kg	8 Kg	7,45 Kg	8,55 Kg
Massa ero	0,28 Kg		0,51 Kg		0,75 Kg		1,1 Kg	
Vesipitoisuus	3,70 %		6,90 %		10,40 %		14,80 %	
Laitettu vesi	0,3 litra		0,5 Litra		0,8 Litra		1 Litra	

Taulukko 7. Hiekan kerrospaksuuden kasvu jäätyessä.



Hiekanäytteiden laittamisen aikana pakastimessa oli $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ensimmäisen näytteen ottamisen aikaan $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Näytteet olivat olleet pakkasessa 22 tuntia ensimmäisen näytteen ottamisen aikaan. Taulukossa kuusi on lueteltu näytteiden mittaukset. Näytteessä yksi oli selvästi irtoainesta pinnassa (Kuva 20.), joka ei ollut jäätynyt. Pintaa ei tarvinnut raapia vaan, se oli helposti sormilla otettavissa näytteen pinnasta.



Kuva 20. Hiekkanäytteen nro 1, irtoaines.

Näytteen kaksi pinnassa oli myös irtoainesta eikä sitä tarvinnut raapia. Eroavaisuuksia olivat näytteeseen yksi verrattuna se, että kun näytettä katsottiin sivusta, niin kosteus oli jäänyt ylemmäs kuin näytteessä kaksi. (Kuva 21.) Kun näytteitä alettiin kaivaa, niin näytteessä kaksi pinta oli jäänyt syvemmältä kuin näytteessä yksi.



Kuva 21. Hiekkanäytteen nro 2, jäätyminen sivusta.

Näytteen kolme pinnasta irtoainesta irtosi kevyesti raapimalla. (Kuva 22.) Pintaa yritettäessä kaivaa. Se oli heti 0,5 cm jälkeen kovaa ja jäänyt hyvin. Näytteessä neljä irtoainesta ei ollut helposti sormilla otettavissa. Se oli heti alusta alkaen kovaa ja jäänyt tiivistä yhteen sekä pinnalla oli selkeää jäätä. (Kuva 23.)



Kuva 22. Hiekkänäyte nro 3, irtoainesta kevyesti irrotettuna.



Kuva 23. Hiekkänäyte nro 4, pinnassa jäätä näkyvillä.

5.1.2 Hiekan tuloksista päätelmiä

Sopivassa suhteessa laitettu vesi nostattaa enemmän maakerrosta kuin vedestä kylläinen maakerros. Lisäksi vedestä kylläisen maakerroksen vesi vain jäätyy tiiviiksi jääksi. Vähäisellä vesimäärällä vesi valuu maakerroksen läpi, jolloin maakerroksen nousua ei juurikaan tapahdu, koska yläpuolinen maakerros on päällä estämässä nousua ja näin ollen toimii eristeenä. Tästä ajatellen sopiva vesipitoisuus on ollut jäätyneen nousun kannalta tutkimuksessa 14,8 %. Tämän pystyy havaitsemaan taulukoista kuusia ja seitsemän.

Tutkimuksesta havaitsemalla voidaan ajatella, että jos kosteus on hiekkapohjaisella talolla saatu hallittua pois pinnasta syvempään maakerrokseen, jäätyminen aiheuttaman nousun vaikutukset eivät ole enää isoja verrattuna pinnassa olevaan kosteuden aiheuttamaan jäätymiseen. Tästä päätellen kosteuden kuivatuksella on merkitystä talon pohjarakenteissa.

5.1.3 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksia ja havaintoja

Taulukko 8. Hiekan ja kapillaarikatkosepelin jäätyminen tulokset.

Hiekka + Kapillaarikatkosepeli								
	Näyte 1		Näyte 2		Näyte 3		Näyte 4	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu
Rullamitta	56 mm	55 mm	49 mm	46 mm	55 mm	52 mm	55 mm	53 mm
Nousu cm	1 mm		3 mm		3 mm		2 mm	
Työntömitta mm	53,3mm	52,2 mm	49,6 mm	46,4 mm	55,3 mm	52,5 mm	54 mm	52,6 mm
nousu mm	1,1 mm		3,2 mm		2,8 mm		1,4 mm	
Massa	8,1 Kg	7,82 Kg	6,65 Kg	7,18 Kg	8,17 Kg	8,93 Kg	8,2 Kg	9,19 Kg
Massa ero	0,28 Kg		0,53 Kg		0,76 Kg		0,99 Kg	
Vesipitoisuus	3,50 %		8,00 %		9,30 %		12,00 %	
Laitettu vesi	0,3 litra		0,5 Litra		0,8 Litra		1 Litra	

Taulukko 9. Hiekan ja kapillaarisepelin kerrospaksuuden kasvu jäätyessä.



Hiekan ja kapillaarisepelinäytteen asettamisen aikaan pakkasmäärä oli -20 °C ja ennen ensimmäisen näytteen ottoa -22 °C. Näytteet olivat olleet 22 tuntia pakasti-

messa ennen ensimmäisen näytteen ottamista pois. Taulukossa kahdeksan on lueteltu tutkimuksen mittaukset. Näytteessä yksi pinnasta oli helposti irrotettavissa koko kapillaarisepelikerros. (Kuva 24.) Näytteessä kaksi pinta oli myös helposti irrotettavissa melkein kokonaan kapillaarisen kerroksen loppuun asti. Suodatinkangasta vasten olivat sepelit jäätyneet kevyesti yhteen.



Kuva 24. Hiekan ja kapillaarisepelikerroksen kaivamista.

Näytteessä kolme pinta oli jäätynyt kevyesti kiinni, mutta kaivamalla pinnasta saatiin sepeli irti. Kuvassa 25 voidaan huomata, kuinka kosteus on noussut sepelin ympäriltä pakasterasian reunoille. Näytteessä neljä pinta oli jäätynyt täysin ja pienellä voimalla sepeli saatiin irti. Vesi ei ollut kuitenkaan jäätynyt läpi asti kerroksista. (Kuva 26.)



Kuva 25. Hiekan ja sepelin pakasterasian reunojen jäätyminen vasemmasta reunaan.



Kuva 26. Hiekan ja sepelin näytteessä neljä pinta jäänyt.

5.1.4 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä

Tuloksista pystytään havaitsemaan samanlaiset piirteet kuin hiekan tuloksista. Veden määrällä täytyy toteutua sopiva vesipitoisuus, jotta maakerros nousee selkeästi. Sopiva vesipitoisuus on ollut 8 %, jonka pystyy havaitsemaan taulukoista kahdeksan ja yhdeksän. Lisäksi vedestä kylläinen näyte vain jäätyy kuin taas vähäisellä veden määrällä vesi valuu kerroksien läpi kuten hiekan näytteellä.

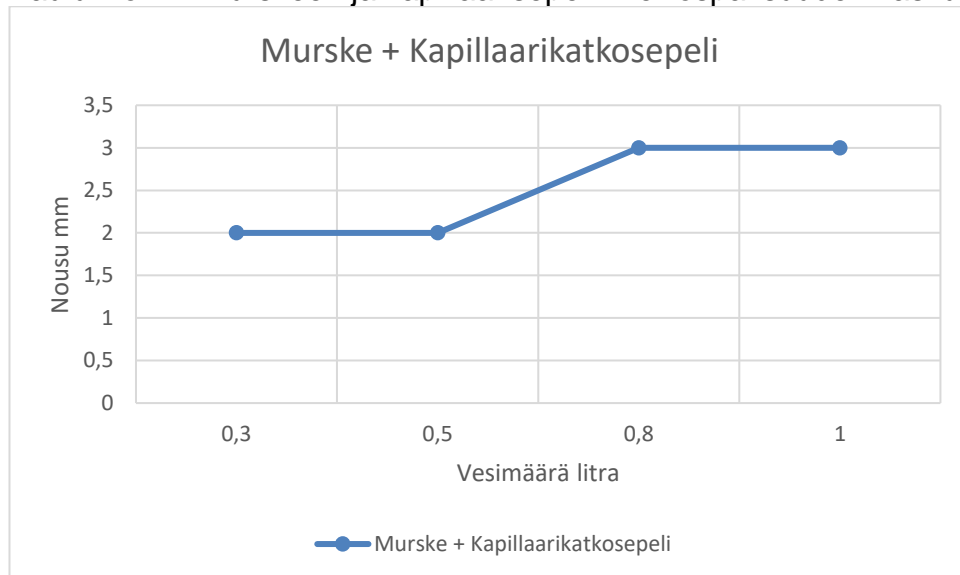
Jos tuloksia verrataan hiekkänäytteen tuloksiin, niin pinnat eivät ole jäätyneet kuten hiekkänäytteellä. Johtopäätökset sekä ajatukset ovat, ettei vesi pääse nousemaan kapillaarikerroksessa yhtä helposti, koska hienoaines puuttuu kerroksesta kokonaan. Tästä johtuen sepeli ei saa vettä, jolla pinta jäätyisi. Lisäksi suodatinkangas saattaa estää kosteuden nousua vähäisessä määrin ja estää maa-aineksien sekoitumista toisiinsa. Myös näistä tuloksista käy ilmi, kuinka tärkeää on saada kosteus pois pinnasta, jotta jäätyminen aiheuttamat ongelmat välttyään. Tuloksista nähdään lisäksi, kuinka kapillaarikerros toimii. Se läpäisee veden ja estää kosteuden nousumisen takaisin pintaan.

5.1.5 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksia ja havaintoja

Taulukko 10. Murskeen ja kapillaarikatkosepelin jäätyminen tulokset.

Murske + Kapillaarikatkosepeli									
	Näyte 1		Näyte 2		Näyte 3		Näyte 4		
	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	
Rullamitta	50 mm	48 mm	43 mm	41 mm	55 mm	53 mm	43 mm	40 mm	
Nousu cm	2 mm		2 mm		3 mm		3 mm		
Työntömitta mm	51,2 mm	49,8 mm	42,2 mm	40,3 mm	52,8 mm	49,6 mm	42,9 mm	40,5 mm	
nousu mm	1,4 mm		1,9 mm		3,2 mm		2,40 mm		
Massa	4,58 Kg	4,84 kg	3,95 kg	4,47 Kg	4,51 Kg	5,28 kg	4,16 Kg	5,12Kg	
Massa ero	0,26 Kg		0,52 Kg		0,77 kg		0,96 Kg		
Vesipitoisuus	5,70 %		13,20 %		17,00 %		23,00 %		
Laitettu vesi	0,3 litra		0,5 Litra		0,8 Litra		1 Litra		

Taulukko 11. Murskeen ja kapillaarisepelin kerrospaksuuden kasvu jäätyessä.



Murskeen ja kapillaarisepelin pakastimeen laittamisen aikaan lämpötila oli $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ennen ensimmäisen näytteen ottamista oli $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Näytteet olivat pakastimessa 23 tuntia, jonka jälkeen ensimmäinen näyte otettiin pois pakastimesta. Taulukossa kymmenen on lueteltu tutkimuksen mittaustulokset. Näytteen yksi pinnasta irtosi irtainesta ja sepelikerros oli helppo ottaa täysin pois. Jäätymistä oli tapahtunut vain pohjalla kuten kuvasta 27 voidaan havaita.



Kuva 27. Murskeen ja sepelin jäätyminen ensimmäisessä näytteessä.

Näytteessä kaksi sepelikerros oli helppo ottaa pois ja se ei ollut jäätynyt juuri lainkaan. Kuvasta 28 voidaan katsoa, kuinka kosteus on jäätynyt murskekerroksen alueelle.



Kuva 28. Murskeen ja sepelin toisen näytteen jäätyminen.

Näytteessä kolme sepelikerros oli myös helppo ottaa pois ja se oli jäätynyt vain suodatinkankaan kohdalta. Näytteen neljä pinnasta irtosi sepeliä, mutta se oli jäätynyt osittain pohjalle kaivaessa. Vesi oli jäätynyt sepelikerrokseen asti kuten kuvasta 29 pystytään tulkitsemaan.



Kuva 29. Murskeen ja sepelin näyte neljän jäätyminen.

5.1.6 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä

Näytteistä päätellen sopiva vesipitoisuus on ollut 17 %, joka havaitaan taulukoista 10 ja 11. Tällöin maakerros on noussut parhaiten. Ajatuksena, miksi 17 % vesipitoisuus aiheuttaa suurimman nousun on se, että vesi on jäänyt juuri ennen kapillaarisepelikerrosta ja päässyt näin ollen nostamaan koko kerrosta jäätyessään. Tässä apuna on ollut todennäköisesti suodatinkangas, jota vasten jäänyt vesi on saanut nostopinta-alaa. Myöskään vesi ei ole päässyt jäätyessään kapillaarisepelikerroksen tyhjiin sepelin rakoihin, koska suodatinkangas on estänyt vettä pääsemästä rakoihin. Lisäksi kapillaarisepelistä puuttuu hienoaines, joka nostattaisi vettä kerrokseen.

Näytteessä neljä taas vesi on päässyt kapillaarisepelikerrokseen asti sekä jäänyt kerrokseen. Tämä taas aiheuttaa mahdollisesti vastusta murskekerroksen nousulle. Myös kapillaarisepelikerroksen tyhjä sepelin raot ovat ottaneet jäätyneen veden tilavuuden muutosta vastaan. Raot ovat levittäneet jäätyneen veden vaikutukset laajemmalle alueelle, jolloin ei ole syntynyt selkeää nostopintaa. Näytteissä yksi ja kaksi jäänyt vesi on päässyt murskekerroksen vapaisiin onkaloihin, joten jäätyminen ei ole aiheuttanut nostetta kuten näytteessä kolme. Lisäksi näytteissä yksi ja kaksi jäätyminen ei ole yltänyt kapillaarisepelikerrokseen asti.

Talon pohjarakenteita ajatellen myös tällä tutkimusosalla tulee ilmi kuivatuksen tärkeys, koska jos vesi pääsee lähelle kapillaarista sepelikerrosta ja sopivin olosuhtein

pääsee jäätymään suodatinkankaan alla, niin nostevaikutukset voivat rikkoa perusrakenteita. Ongelmaan ratkaisuksi voisi olla paksumpi kapillaarikerros, jolloin nosteen vaikutukset eivät olisi mahdollisesti niin suuria tai pohjarakenteet tulisi pitää sulana lähellä kerroksen vaihtumista.

5.2 Tiiviys

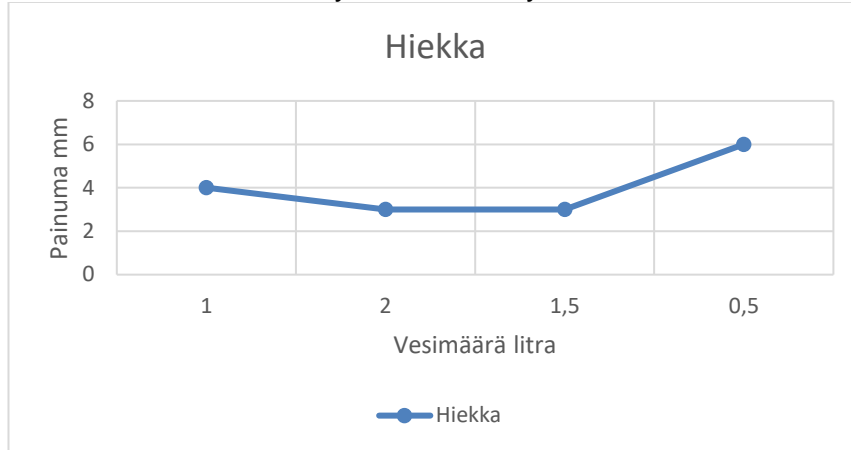
Kaikissa näytteissä mitattiin molemmilla tyyleillä sekä rullamitalla, että työntömitalla. Myöhemmin tarkastettiin tuloksia, olivat työntömittauksen tulokset liian epäselviä sekä niissä oli liian suuria heittoja verrattuna rullamitan ja työntömitan tuloksiin keskenään. Päädyttiin, ettei hyödynnetä hiekkakerroksen sekä hiekka ja kapillaarikat-kosepelikerroksien työntömittausten mittaustuloksia. Näin ollen mittausvirhe ei pääse vaikuttamaan havaintojen lopputuloksiin. Tutkimuksissa massan mittaamisen tarkoituksena on havaita laitettua veden määrää ja massan määrää keskenään. Näin pystyy arvioimaan, onko lisätty vesimäärä lähellä litroina mitattua.

5.2.1 Hiekan tuloksia ja havaintoja

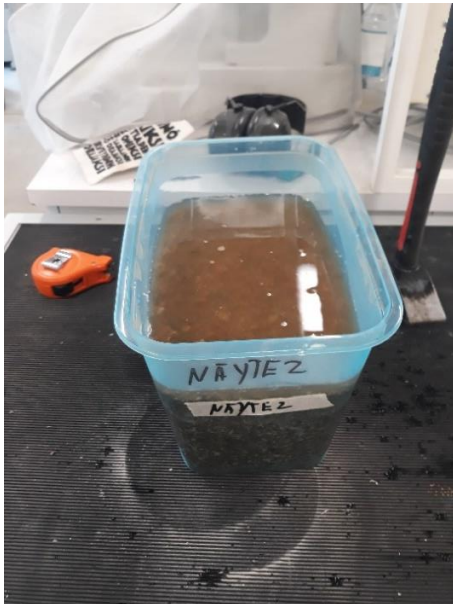
Taulukko 12. Hiekan tiiviiden tulokset.

Hiekka								
	Näyte 1		Näyte 2		Näyte 3		Näyte 4	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu
Rullamitta	60 mm	64 mm	70 mm	73 mm	66 mm	69 mm	64 mm	70 mm
Painuma	4 mm		3 mm		3 mm		6 mm	
Massa	7,77 Kg	8,74 Kg	7,41 Kg	9,39 Kg	7,40 Kg	8,88 Kg	7,78 Kg	8,22 Kg
Massa ero	0,97 Kg		1,98 Kg		1,48 Kg		0,44 Kg	
Vesipitoisuus	12,50 %		26,70 %		20,00 %		5,70 %	
Laitettu vesi	1 Litra		2 Litra		1,5 Litra		0,5 Litra	

Taulukko 13. Hiekkänäytteiden tiivistyminen.



Taulukon 12 näytteistä sopivin vaihtoehto tiivistymisen kannalta on näyte neljä, jonka vesipitoisuus on 5,7 %. Tämän pystyy havaitsemaan myös taulukon 13 perusteella. Muilla näytteillä painumaerot ovat pieniä verrattuna näytteeseen neljä. Näytteissä kaksi ja kolme lisätty vesi ei imeytynyt maakerroksen läpi ja vettä oli maan aineksen päällä kuten kuvista 30 ja 31 voidaan tarkastella. Näytteellä yksi vesi ei ole kastellut koko rakennetta, vaikka vesi kaadettiin tasaisesti koko pakasterasian alueelle. (Kuva 32.) Lisäksi vesi on valunut kerroksen läpi pohjalle asti. Kuten taas näytteessä neljä pystyy havaitsemaan kuvasta 33, kuinka rakenne on kastunut paremmin pinnastaan.



Kuva 30. Näyte nro 2, tiivistyminen hiekalla.



Kuva 31. Näyte nro 3, tiivistyminen hiekalla.



Kuva 32. Näyte nro 1, tiivistyminen hiekalla.



Kuva 33. Näyte nro 4, tiivistyminen hiekalla.

5.2.2 Hiekan tuloksista päätelmiä

Näytteen neljä tiivistymisen syy oletettavasti on siinä, että vesi on imeytynyt pinta-kerrokseen, johon lyönnin suurin voima on iskeytynyt. Näin ollen myös siinä on tapahtunut parhaiten tiivistymistä. Näytteessä yksi taas vesi on valunut maakerroksen läpi ja imeytynyt pinnasta pohjalle asti. Näytteissä kaksi ja kolme pinnalla oleva vesi ottaa lyönnin voimaa pois sekä vettä on liikaa, jolloin maa-aineksen tyhjät ilma-arat ovat täyttyneet liiasta vedestä. Näin ollen tiivistymistä ei tapahdu niin suuresti kuin näytteellä neljä.

5.2.3 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksia ja havaintoja

Taulukko 14. Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tiivistulokset.

Hiekka + Kapillaarikatkosepeli								
	Näyte 1		Näyte 2		Näyte 3		Näyte 4	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu
Rullamitta	57 mm	45 mm	59 mm	55 mm	60 mm	45 mm	57 mm	46 mm
Painuma	12 mm		4mm		14 mm		11 mm	
Massa	8,18	9,13 Kg	7,96 Kg	9,86 Kg	8,12 Kg	9,63 Kg	8,38 Kg	8,86 Kg
Massa ero	0,95 Kg		1,9 Kg		1,51 Kg		0,48 Kg	
Vesipitoisuus	11,60 %		23,90 %		18,60 %		5,70 %	
Laitettu vesi	1 Litra		2 Litra		1,5 Litra		0,5 Litra	

Taulukko 15. Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tiivistyminen.



Taulukkoa 14 tarkasteltuna suhteellinen tiivistyminen on tapahtunut näytteessä kolme, jonka vesipitoisuus on ollut 18,6 %. Tämän pystyy havaitsemaan myös tau-

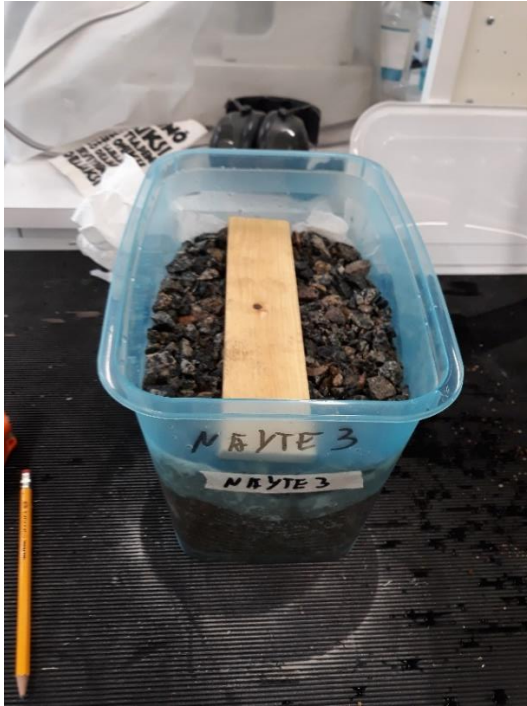
lukosta 15. Näytteessä yksi vesi on läpäissyt kapillaarikatkoepelikerroksen ja kastellut hiekan rakenneosan kuten kuvassa 34. Näytteessä kaksi vesi jäi maa-aineksen pinnalle eikä imeytynyt maa-ainekseen. (Kuva 35.) Näytteessä kolme vesi imeytyi molempiin kerroksiin ja vesi ei ole jäänyt maa-ainesten pinnalle kuten näytteessä kaksi. (Kuva 36.) Näytteessä neljä vesi on läpäissyt vain sepelikerroksen ja imeytynyt vähän hiekkakerrokseen. (Kuva 37.)



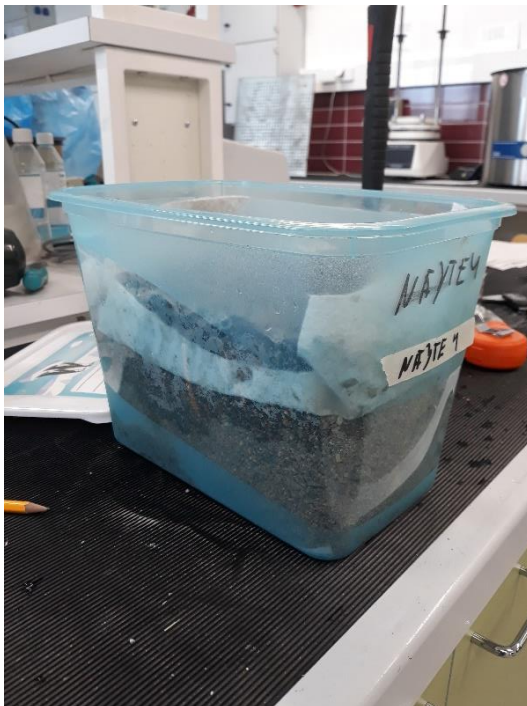
Kuva 34. Näyte nro 1, kapillaarikatkoepelikerroksen ja hiekan tiivistyminen.



Kuva 35. Näyte nro 2, tiivistyminen hiekka- ja kapillaarikatkoepelikerroksessa.



Kuva 36. Näyte nro 3, tiivistymisen hiekka- ja kapillaarikatkosepelikerroksessa.



Kuva 37. Näyte nro 4, kapillaarikatkosepelin ja hiekan tiivistyminen.

5.2.4 Hiekan ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä

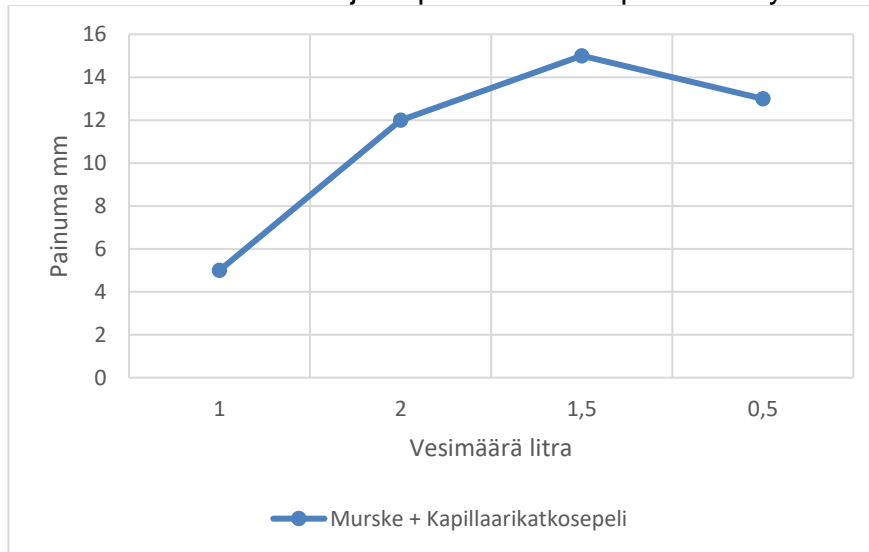
Näytteessä yksi vesi on läpäissyt sepelikerroksen ja kyllästännyt hiekkakerroksen. Vettä ei ole jäänyt sepelikerrokseen vaan ainoastaan hiekan osalle, jolloin tiivistymisen kannalta oleellinen vesi on päässyt tällöin vaikuttamaan vain hiekan osalle. Myös kuivempi sepelikerros on ottanut paremmin lyöntien voimaa vastaan ilman tiivistymistä kuin kyllästettynä kuten näytteessä kolme. Näytteessä kaksi lyönnin voimaa on ottanut vastaan pinnalla ollut vesi, jolloin tiivistyminen on ollut heikompa. Näytteessä kolme vesi on kyllästännyt molemmat maa-aineskerrokset, jonka takia tiivistyminen on ollut parempi kuin muilla. Vettä ei ole ollut kuitenkaan liian paljon kuten näytteessä neljä tai liian vähän kuin näytteessä yksi. Näytteessä neljä vesi on läpäissyt maa-aineskerrokset ja valunut näytteen pohjalle. Tällöin tiivistyminen on suurimmalta osin tapahtunut vain pohjassa. Myös lyöntien voima on kohdistunut kuivaan pintarakenteeseen sekä välissä olleet kuivemmat maa-aineskerrokset ovat ottaneet lyönnin voimaa pois eikä näin ollen tiivistymistä ole tapahtunut.

5.2.5 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksia

Taulukko 16. Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tiivistystulokset.

Murske + Kapillaarikatkosepeli								
	Näyte 1		Näyte 2		Näyte 3		Näyte 4	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu
Rullamitta	71 mm	66 mm	75 mm	63 mm	83 mm	68 mm	70 mm	57 mm
Painuma	5 mm		12 mm		15 mm		13 mm	
Työntömitta painuma mm	8,1 mm		7,9 mm		10,2 mm		9,8 mm	
Massa	6,48 Kg	7,42 Kg	6,14 Kg	8,04Kg	6,00 Kg	7,46 Kg	6,70 Kg	7,17 Kg
Massa ero	0,94 Kg		1,9 Kg		1,46 Kg		0,47 Kg	
Vesipitoisuus	14,50 %		30, 9%		24,40 %		7,00 %	
Laitettu vesi	1 Litra		2 Litra		1,5 Litra		0,5 Litra	

Taulukko 17. Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tiivistyminen.



Taulukon 16. tarkastellessa suhteellinen tiivistyminen on tapahtunut näytteessä kolme, jonka vesipitoisuus on ollut 24,4 %. Tämä pystytään tarkastelemaan myös taulukosta 17. Näytteessä yksi vesi on kyllästännyt murskekerroksesta noin puolet kuten kuvasta 38 pystytään havaitsemaan. Näytteessä kaksi vesi on kyllästännyt murskekerroksen sekä kapillaarikatkosepelikerroksen. (Kuva 39.) Näytteessä kolme vesi on kyllästännyt murskekerroksen ja kastellut kapillaarisen kerroksen. Vettä ei kuitenkaan ole kapillaarikerroksessa selvästi havaittavissa kuten näytteessä kaksi. (Kuva 40.) Näytteessä neljä vesi on läpäissyt kerrokset ja valunut astian pohjalle, joka nähdään kuvassa 41.



Kuva 38. Näyte nro 1, kapillaarikatkosepelin ja murskekerroksen tiivistyminen.



Kuva 39. Näyte nro 2, kapillaarikatkosepelin ja murskekerroksen tiivistyminen.



Kuva 40. Näyte nro 3, kapillaarikatkosepelin ja murskekerroksen tiivistyminen.



Kuva 41. Näyte nro 4, kapillaarikatkosepelin ja murskekerroksen tiivistyminen.

5.2.6 Murskeen ja kapillaarikatkosepelin tuloksista päätelmiä

Näytteessä yksi vesi on täyttänyt murskeen tyhjät ilmarat siinä määrin kuin vettä on ollut laitettu. Tällöin yläpuolelle on jäänyt kuivia kerroksia, jotka ovat ottaneet lyönnin voimaa pois, jonka takia tiivistymistä ei ole tapahtunut. Näytteessä kaksi vesi on kyllästännyt maa-aineskerrokset täysin, jolloin ilmarat ovat täyttyneet vedellä sekä vesi on ottanut lyönnin voimaa pois. Näin ollen tiivistyminen on ollut vähäisempää. Näytteessä kolme vesi on kyllästännyt vain murskekerroksen rakenteen sekä hieman kastellut kapillaarisepelikerrosta. Tulkinnan mukaan lyönnin voima on näin pureutunut hyvin maa-ainekseen sopivan kosteuden ansiosta. Myös lyönnin voimaa ei ole ollut estämässä kuiva tai liian kostea rakenne. Näytteessä neljä vesi on valunut maa-ainesten läpi pohjalle, joten lyöntien voimaa on jäänyt kuiviin maa-aineskerroksiin.

5.3 Kapillaarisen vedennousun tuloksia ja havaintoja

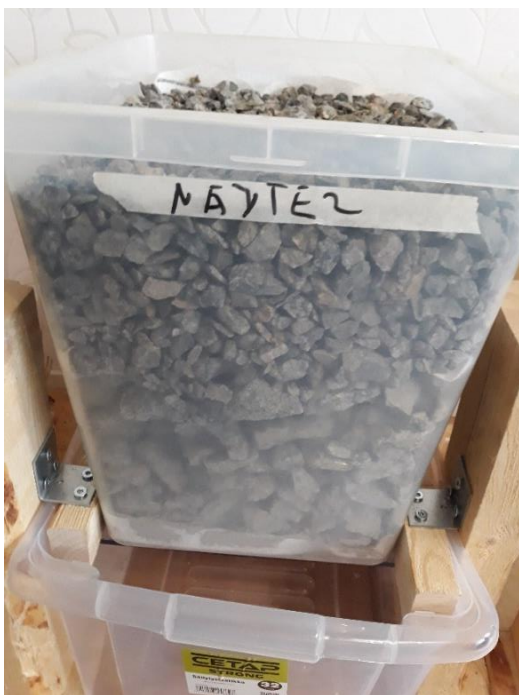
Kuvissa 42–44 ovat lähtötilanteet ennen veden lisäämistä rasian alaosaan. 12.9.2019 klo 16 kaikkien näytteiden alaosiin on lisätty 27 litraa vettä, jonka jälkeen näytteitä tarkkailtiin kello 17.00, 19.00 ja 21.00. Näytteet annettiin olla paikoillaan

täysin koskematta veden laittamisen jälkeen. Ainoastaan tarkasteluaihana sekä veden lisäämisessä näytteisiin koskettiin.

Taulukossa 18 voidaan nähdä nousukorkeuksia eri näytteiden välillä ensimmäisen viiden tunnin aikana. Lisäksi taulukosta 18 nähdään, että kaikki näytteet ovat nostattaneet hyvin vettä ja nousukorkeus on lähes samaa luokkaa kaikissa näytteissä. Myös nousunopeus on ollut tasaista riippumatta näytteestä.



Kuva 42. Näyte yksi, lähtötilanne kapillaariseen nousuun.



Kuva 43. Näyte kaksi, lähtötilanne kapillaariseen nousuun.



Kuva 44. Näyte kolme, lähtötilanne kapillaariseen nousuun.

Taulukko 18. Nousukorkeudet viiden tunnin aikana.

12.9.2019	Cm			
Näyte 1	0	2	4	9,5
Näyte 2	0	1	2,5	8
Näyte 3	0	1,5	3,5	8,5
Kello	16.00	17.00	19.00	21.00

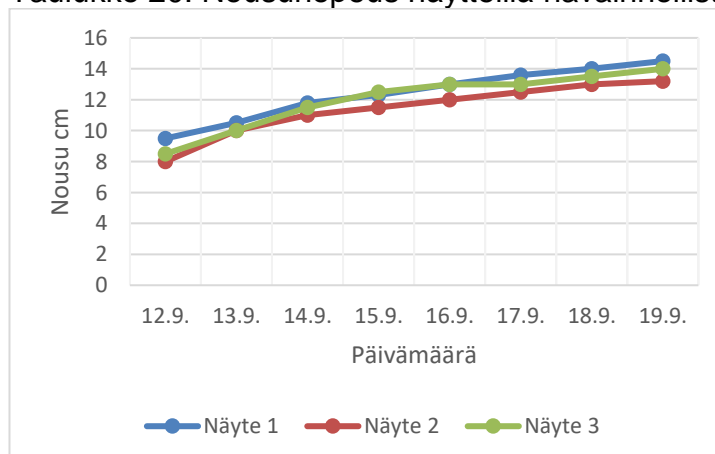
12.9. kello 21.00 tarkastelun jälkeen lisättiin kaikkiin näytteisiin 1 litra vettä, jolloin näytteissä on 28 litraa vettä. Myös 14.9. vettä lisättiin näytteeseen yksi 1 litra, näytteeseen kaksi 6 desilitraa ja näytteeseen kolme 2 litraa. Taulukossa 19 tarkastellaan nousukorkeuksia tutkimuspäivien aikana. Taulukosta voidaan havaita, että aluksi nousunopeus on vauhdikasta ja puoliväliin tutkimusta nousunopeus tasaantuu. Myös nousukorkeudet ovat tutkimuksen lopetettaessa tasaisia.

Kuvissa 45–47 on 15.9. tutkimuksen tilanteet eri näytteistä. Kuvista pystytään havaitsemaan kosteuden nousu maakerroksesta suhteellisen helposti. Myös kuvissa 48–50 on tutkimuksen lopputilanteet 19.9. Lisäksi taulukossa 20 havainnollistetaan nousunopeutta koko tutkimuksen ajalta.

Taulukko 19. Nousukorkeus tutkimuspäivinä senttimetreinä.

	Cm							
Näyte 1	9,5	10,5	11,8	12,3	13	13,6	14	14,5
Näyte 2	8	10	11	11,5	12	12,5	13	13,2
Näyte 3	8,5	10	11,5	12,5	13	13	13,5	14
Päivä	12.9.	13.9.	14.9.	15.9.	16.9.	17.9.	18.9.	19.9.

Taulukko 20. Nousunopeus näytteillä havainnollistettu.





Kuva 45. Näyte yksi kapillaarinen nousu 15.9.2019.



Kuva 46. Näyte kaksi kapillaarinen nousu 15.9.2019.



Kuva 47. Näyte kolme kapillaarinen nousu 15.9.2019.



Kuva 48. Näyte yksi kapillaarinen nousu 19.9.2019



Kuva 49. Näyte kaksi kapillaarinen nousu 19.9.2019



Kuva 50. Näyte kolme kapillaarinen nousu 19.9.2019.

5.3.1 Kapillaarisen vedennousun tuloksista päätelmiä

Tutkimuksessa kaikkien näytteiden ensimmäinen kerros sisältää hienoainesta eli nolla raekokoa, jonka takia kaikissa tutkimuksissa vesi pääsee nousemaan hyvin. Lisäksi tutkimuksen alussa kaikki näytteet ovat kuivattuja, jonka takia näytteet ottavat hyvin vastaan vettä ja alkavat nostattaa sitä ylöspäin. Toisella veden lisäämisen kerralla vesimäärien erot voivat johtua haihtumisesta tai mahdollisesti tutkimustelineen upottavasta puuosasta. Tämä puuosa on voinut imeä vettä eri näytteissä erilaiset määrät.

Hiekassa olevan veden nousukorkeuden nouseminen on tapahtunut nopeammin kuin murskeen. Arvion mukaan syy tähän voi olla se, että hiekassa maa-aines on tiivistynyt kiinni eikä hiekassa ole isoja ilmarakoja. Murske 0–32 mm sisältää hienoainesta, mutta se ei riitä tiivistämään murskeen isoja raekokoja tiiviisti yhteen ja murskeeseen jää suuria ilmarakoja.

6 JOHTOPÄÄTELMIÄ

Teoriaosaan etsittiin vieraskielisiä lähteitä, mutta ongelmaksi muodostui Suomen maaperä, josta ovat tutkimuksen maa-ainekset. Suomessa maa-ainekset ovat erilaisia verrattuna esim. Afrikan mantereeseen. Tutkimuksessa käytettyjä maa-aineksiä löytyisi Skandinaviasta, muttei sopivaa vieraskielistä aineistoa löytynyt.

Suoraan tutkimukseen ei löytynyt käyttökelpoista tietoa vertailuksi, mutta Suomessa asiaa oli tutkittu Tampereen teknillisessä korkeakoulussa. Siellä tutkimuksia oli tehty maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytymisestä sekä maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta. Näistä tutkimuksista ei voinut suoraan tehdä verrannollisia päätelmiä, koska tutkimukset olivat erilaisia kuin tässä opinnäytetyössä. Suurimmat erot tutkimuksien välillä olivat mittausmenetelmät eikä opinnäytetutkimuksessa ole rajattu alapohjarakennetta maanvaraiseen rakentamiseen. Lisäksi opinnäytetyön tutkimuksissa ei ole otettu huomioon maa-ainesten päällä olevia lattiarakenteita, koska opinnäytetyön tutkimukset liittyivät maa-aineksiin.

Jäätymistutkimuksessa olisi hyvä ottaa huomioon tutkimusastiat. Tutkimusastialla voi olla vaikutusta, onko se vaaka- vai pystymallinen. Lisäksi tutkimuksessa ei ole otettu huomioon tutkimusastian laajentumista sivuille. Parannettavaa jäätymistutkimuksissa olisi tutkimusastiat sekä rajata pakkaneen täysin samaan tasoon kaikkien tutkimuksien ajaksi. Jatkotutkimusideoita, joita voisi tutkia, olisi kerran jäätyneen maa-aineksin uudelleen jäädyttäminen ja sen vaikutuksien seuraaminen. Lisäksi erilaiset mittausmenetelmät eli lämpökamera tai maa-ainekseen sisään laitettavat lämpötila-anturit tuottaisivat lisää tietoa tutkimusnäytteistä.

Tiivistytutkimuksessa olisi parannettavaa tiivistäminen, koska nyt lyönnin voimat vaihtelivat ja lyönnin sijaintien kohdat vaihtelivat hieman näytteiden välillä. Lisäksi tutkimusastiat tulisi olla sellaisia, jotka eivät laajentuisi sivuille. Jatkotutkimusideoita, joita voisi tutkia olisi, onko vedenlämpötilalla vaikutusta tiivistymiseen sekä tehdä vertailua täysin kuivien näytteiden tiivistymisestä.

Kapillaarisessa vedennousussa parannettavaa olisi veden saaminen pohjalle paremmin. Tutkimuksessa reiät olivat satunnaisesti pohjalla tutkimuksen muovilasin

takia. Lisäksi tutkimustelineen vaikutus pitäisi saada poistettua. Tutkimuksessa puuosa oli upotettu vesitilaan, jolloin puuosa on voinut imeä vettä itseensä. Jatkotutkimusideoita olisi, onko huonelämpötilalla tai maa-aineksen lämpötilalla vaikutusta kapillaariseen nousuun.

Kaikista tutkimuksista pitäisi tehdä toistoja, jotta pystyttäisiin varmistumaan paremmin tutkimustuloksista. Tällöin mahdolliset poikkeamat pystyttäisiin havaitsemaan ja saataisiin luotettavimpia tutkimustuloksia. Lisäksi tutkimuksen mittausmenetelmiin pitäisi saada lisää monipuolisuutta, jolloin vertailutietoa saataisiin enemmän. Myös mittausolosuhteisiin tulisi kiinnittää huomiota, jotta olosuhteet pysyisivät mahdollisimman samanlaisina tutkimuksien aikana sekä mittaustapahtumiin pitäisi saada lisää tarkkuutta.

Tutkimuksista pystyi havaitsemaan näytteen kuivatuksen merkityksen, joka ilmeni jäätymistutkimuksessa. Kun mahdollinen kosteus saadaan pois läheltä perustuksia, jäätyminen aiheuttamat ongelmat vähenevät. Myös routasuojauksien tarve ilmeni hyvin jäätymistutkimuksissa. Lisäksi kapillaarisessa tutkimuksessa pystyi havaitsemaan vedennousun sekä kuivatuksen tärkeyden talon pohjarakenteissa. Kaikissa tutkimuksissa ilmeni suodatinkankaan tarkoitus, jonka tarkoitus on estää maa-aineksien sekoittuminen. Tämä näkyi jokaisessa tutkimuksessa.

Jäätymistutkimuksien tulokset olivat odotetun tapaisia kuten teoriassa pystyi päättelemään. Mikään maa-aines ei noussut ylitse muiden ja kaikki olivat routautuneet ja suuria eroja tutkimuksien välillä ei syntynyt. Myös tiivistyminen tapahtui teoriaosan ajatusten mukaan kuten siinä oli kerrottu. Kapillaarisessa nousussa yllätti murskeen kapillaarisuus, mutta se hidastui loppua kohti. Hiekan kapillaarisuus oli odotetun tapainen kuten teoriaosasta pystyi päättelemään.

Jos tutkimuksien perusteella tulisi valita näistä kolmesta maakerrostyypistä talon pohjarakenne, niin valitsisin kapillaarikatkosepelin 8–16 mm ja murskeen 0–32 mm. Tähän perusteena on, että jäätymisessä murskekerros ei aiheuttanut suuria nousuja ja laajenemista. Myös murskekerroksen kuivattaminen olisi mahdollisesti helpommin hallittavissa kuin hiekan. Lisäksi jäätyminen olisi helpommin estettävissä kuin hiekan, koska murskeeseen jää ilmarakoja, joihin lämpövirta voisi mennä lämmittämään ilmaa. Tällöin maakerros pysyisi sulana eikä jäätyisi.

LÄHTEET

- Destia Oy. 2019. Kiviainekset. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.6.2019]. Saatavana: <https://www.destia.fi/palvelut/kiviaines/kiviainekset.html>
- Jääskeläinen, R. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. Tampere: Amk-kustannus Oy.
- Jääskeläinen, R. 2009a. Geotekniikan perusteet. 2. Painos. Tampere: Tammertekniikka / Amk-kustannus Oy.
- Jääskeläinen, R. 2009b. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammertekniikka / Amk-kustannus Oy.
- Kyyrönen, K. 2010. Talonrakennus 1. – 3. Painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Leivo, V. & Rantala, J. 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennusteollisuus RT ry & rakennusteollisuuden kustannus RTK Oy.
- Rakennustieto Oy. 2010. MaaRYL 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rudus. Ei päiväystä. Tuotteet. [Verkkosivu]. [Viitattu: 30.5.2019]. Saatavana: <https://www.rudus.fi/tuotteet/kiviainekset/murskeet/3174/032-kalliomurske>
- RT 81-11000. 2010. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. Helsinki: Rakennustieto.
- Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL ry. 2009. RIL 207-2009, geotekninen suunnittelu. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL ry.
- Suomen rakennusinsinöörin liitto. 1985. RIL157-1 Geomekaniikka 1. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörin liitto ry.
- Tielaitos kehittämiskeskus. 1993. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset, yleiset perusteet. Helsinki: Tielaitos.
- ViaCon. Ei päiväystä. Suodatinkangas. [Verkkosivu]. [Viitattu: 3.8.2019]. Saatavana: <https://www.viacon.fi/tuote/suodatinkangas/>