

Maalajeista, joihin rakennetaan, sekä kiviai- neksista, joilla rakennetaan

Tekijä(t) Petri Koskinen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30	Valmistumisaika 2024
Työn nimi Maalajeista, joihin rakennetaan, sekä kiviaineksista, joilla rakennetaan		
Tutkinto ja koulutusala Rakennusmestari (AMK), rakennusalan työnjohto		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Ei toimeksiantajaa		
Tiivistelmä <p>Työssä käsiteltiin nykyisen Suomen alueen maaperämuodostelmien yhteyttä Veikseljääkauteen ja Itämeren kehitysvaiheisiin. Työssä esiteltiin geoteknisen maalajiluokituksen periaatteet, joilla maaperä luokitellaan kivennäismaalajeiksi sekä kuvattiin kivennäismaalajien ominaisuuksia. Työssä verrattiin maalajiluokituksia, joita kirjallisuudessa on esitetty. Lisäksi työssä arvioitiin luokkien vastaavuutta ominaisuuksiin, jolla ne on määritelty.</p> <p>Työssä esiteltiin kerroksellinen maarakenne sekä käsiteltiin rakennekerrosten tarkoitukset. Jalostettujen kiviainesten rakennekerroskohtaiset laatuvaatimukset selvitettiin. Rakennekerroksille tarkoitettuja ominaisuuksia verrattiin vaadittuihin kiviaineslaatuuihin.</p> <p>Työn keskeisimmät johtopäätelmät ovat ensinnäkin se, että maalajien luokittelu tiivysluokkiin kuivatilavuuspainoperusteisesti on teoreettista: kuivatilavuuspainon määrittämisen sisältämä huokoisuus on syy-yhteydessä lajittuneisuuteen, jonka määrittäminen on epätarkkaa.</p> <p>Toinen johtopäätelmä on, että suodatinkerrokselle tarkoitettu ei-kapillaarisuus on ristiriidassa rakennekerroksen kiviaineslaatuvaatimukseen, koska geotekninen maalajiluokitus määrittelee kiviaineksen yleensä routimattomaksi. Jakavan ja kantavan kerroksen kiviainesten laatuvaatimuserot mahdollistavat jalostamattomamman kiviaineksen käytön jakavassa kerroksessa.</p>		
Asiasanat Maaperä, maalaji, kivennäismaalaji, jalostettu kiviaines, rakennekerros.		

Abstract

Author(s) Petri Koskinen	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2024
	Number of Pages 30	
Title of Publication The soils to be built on and the aggregates with which to build		
Degree, Field of Study Bachelor of Construction Management		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Abstract <p>The work dealt with the connection of soil formations in the area of present-day Finland with the Weichselian glaciation and the stages of development of the Baltic Sea. The work presented the principles of geotechnical soil type classification, which classifies soil into mineral soil types, and described the properties of mineral soil types. The work compared the land type classifications presented in the literature. In addition, the work evaluated the correspondence of the classes to the characteristics with which they are defined.</p> <p>The work presented a layered structure. The purposes of the structural layers were discussed. The structural layer-specific quality requirements of refined aggregates were clarified. The properties intended for the structural layers were compared with the required aggregate qualities.</p> <p>The non-capillarity intended for the filter layer is in conflict with the stone material quality requirements of the structural layer, because the geotechnical soil type classification generally defines the stone material as usually ground frost-free. rust-free. The differences in quality requirements for aggregates in the dividing and bearing layers enable the use of less refined aggregates in the dividing layer.</p>		
Keywords Geotechnical soil type classification, properties of soil types, structural layer		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Maalajeista, joihin rakennetaan.....	2
2.1	Maaperä.....	2
2.1.1	Hienorakeiset maalajit.....	3
2.1.2	Karkearakeiset maalajit.....	9
2.1.3	Moreenimaalajit.....	13
2.2	Maalajeista, joihin rakennetaan -luvun yhteenveto.....	15
3	Kiviaineksista, joilla rakennetaan.....	16
3.1	Jalostetut kiviainekset rakennustuotteena.....	16
3.2	Jalostetut kiviainekset rakennekerroksissa.....	16
3.2.1	Jalostettu kiviaines suodatinkerroksessa.....	16
3.2.2	Jalostettu kiviaines jakavassa kerroksessa.....	19
3.2.3	Jalostettu kiviaines kantavassa kerroksessa.....	22
3.3	Kiviaineksista, joilla rakennetaan -luvun yhteenveto.....	26
4	Yhteenveto ja pohdinta.....	27
	Lähteet.....	29

1 Johdanto

Opinnäytetyöni käsittelee jalostamattomien kivennäismaalajien luokitusperusteita sekä jalostettujen kiviainesten tuotevalikoiman käyttöyhteyksiä rakennekerroksissa. Maaperä, johon rakennetaan -pääluvussa taustoitin alueellamme vallitsevien maaperämuodostuminen yhteyden Veiksel-jääkauteen ja Itämeren kehitysvaiheisiin. Käsittelem periaatteita, joilla maaperä luokitellaan kivennäismaalajeiksi. Maaperän monipuolisuutta kuvataan sen sisältämien maalajien ominaisuuseroilla. Esittelen hienorakeisten maalajien yhteydessä muun muassa juoksu- ja kieritysrajan, joiden erotukseen, plastisuuslukuun, perustuvia maalajiluokituksia vertaan. Käsittelem päälähteistä puuttuvaa juoksevuuslukua ja sen suhdetta plastisuuslukuun. Arvioin lähdekirjallisuudessa esitettyjä pehmeiden määritelmiä ja niiden yhteismitallisuutta. Käsittelem lajittuneisuutta kuvaavan raekokosuhteen ja sen yhteyttä tiivyyteen. Esitän maalajien kuivatilavuuspainoperusteisen tiivysluokittelun ja arvioin siihen liittyviä ongelmia lähdekirjallisuuden perusteella. Kiviaineksista, joilla rakennetaan -pääluku käsittelee rakennekerroksia, sekä rakennekerroksissa käytettäviä jalostettuja kiviaineksia. Selvitän, vastaavatko rakennekerroksille suunnitellut ominaisuudet niissä käytettäväksi määrättyjä kiviaineslaatuja.

Opinnäytetyö on rajattu seuraavalla tavalla: Maaperä, joihin rakennetaan -pääluku on rajattu kivennäismaalajeihin, joten eloperäisten maalajien ryhmää, turvetta ja liejua ei käsitellä. Kiviaineksista, joilla rakennetaan -pääluku ei käsittele jalostamattomien kivennäismaalajien laatuvaatimuksia rakennekerroksissa. Kantava kerros käsitellään vain sitomattomana.

2 Maalajeista, joihin rakennetaan

2.1 Maaperä

Maapallon pintaosa, maankamara, sisältää sekä kallio- että maaperän. Kallioperä, joka Suomen alueella kuuluu valtaosin 1800 miljoonaa vuotta vanhaan peruskallioalueeseen, koostuu maankuoren kivilajeista, jotka muodostuvat mineraaleista. Jokainen nyt tunnetusta noin 4000 mineraalista kuuluu yhteen seitsemästä kidejärjestelmästä. Toisin kuin eloperäiset maalajit, maaperän kivilajisyntyiset maalajit ovat rapautunutta kallioperää. Kallioperä koostuu magmakivilajeista, sedimenttikivilajeista ja metamorfisista kivilajeista. Käsite maa tarkoittaa ainetta, josta maaperä koostuu. (Rantamäki ym. 1997, 15, 31-34; Grönholm ym. 2010, 4-5.) Maaperä on eloperäiset maalajit poisluettuna kivilajisyntyistä.

Alueemme maaperä on nuori, koska se on ollut paljaana Veiksel-jääkauden mannerjäästä vasta kymmenentuhatta vuotta. Veiksel-jääkausi ajoittuu 115 000 eaa. – 10 500 ja tuona aikana nykyisen Suomen alue oli jopa kaksikilometrisen jääkerroksen peittämä. Paikoitellen maankuori vajosi jään painosta jopa kilometrin. Tulevan 10 000 vuoden aikana maa tulee kohoamaan noin 100 metriä. (Rantamäki ym. 1997, 31-34.) Alueen maaperästä valtaosa muodostui joko jääkauden aikana tai tuon ajan seurauksena. Mannerjään paino, sen liikkeet sekä kolmetuhatuotiset sulamisvesivirrat ovat muodostaneet alueemme maaperän. (Järvinen & Lahti 2004, 56; Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 27; Korhonen & Gardemeister 1971, 24-25.)

Maalajiluokitus

Maalajiluokitus on peruste jakaa maaperä eri maalajeiksi (Rantamäki ym. 1997, 55.) Maalajiluokitus on Suomessa perustunut geotekniseen maalajiluokitukseen 1970-luvulta asti (Korhonen ym. 1974, 4-7; RIL 121-2004, 19). Geotekninen maalajiluokitus korvasi aiemmin käytetyn rakennusteknisen maalajiluokituksen ja luokitusperusteiden muuttuessa maalajinimet kuten hiesumoreeni, hietamoreeni, hietä ja hiesu poistuivat muusta kuin viljavuustutkimuksen käytöstä. Esimerkkinä erilaisten ja rinnakkaisten maalajiluokitusten käytössä on sedimentologisessa tutkimuksessa sovellettava Udden-Wentworth-luokitus. Opinnäytetyössäni tärkein luokitus, geotekninen maalajiluokitus yhtyy eurooppalaiseen vuoden 1955 DIN4022-standardiin. (Rantamäki ym. 1997, 67; Salonen ym. 2002, 75.) Yleiseurooppalainen Suomessa vahvistettu standardi SFS-EN ISO 14688-1 koskee maan luokittelua ja tunnistamista. Standardi SFS-EN ISO 14688-2 sisältää luokittelun perusteet. (SFS-EN 1997-2, 51; SFS-käsikirja 179-1 2008, 3-5.)

Maalajite on kivennäismaan määrättyä raekokoa oleva osa. Hienoimman seulan, jonka halkaisija on 0,06 mm, läpäisee kaksi lajitetta, jotka ovat savi ja siltti. Hienoaineksen käsite

viittaa hienoimman seulan läpäisevään maalajitteeseen. (Rantamäki ym. 1997, 57.) Seuraavaksi käsittelen, kuinka kaksi saman seulan läpäissyttä lajitetta luokitellaan maalajeiksi.

Kokonaisaines koostuu maalajitteista. Lajitepitoisuus kuvaa lajitteen osuutta kokonaisuudesta. (Rantamäki ym. 1997, 57.) Kivennäismaalaji eritellään raekokolajitteiksi. Eritellyjen lajitteiden jakaumakäyrää tulkitaan seulasarjojen läpäisyprosenttien perusteella. (Salonen ym. 2002, 75.) Maalaji on savea, jos sen sisältämän savilajitteen osuus kokonaisuudesta on enemmän kuin 30 painoprosenttia. Ollakseen savilajitetta maan rakeiden läpimitan on oltava pienempiä kuin 0,002 mm. Muiden kivennäismaalajien nimeäminen perustuu d_{50} -menetelmään. Raekoko, joka vastaa läpäisyprosenttia 50 rakeisuuskäyrällä, määrittää d_{50} -menetelmässä maalajin nimen. Moreeni sisältää vähintään 5 % sekä soralajitetta että hienoaainesta. (Korhonen ym. 1974, 11.) Geotekninen maalajiluokitus sisältää neljä maalajiryhmää ja yhdeksän maalajia. Eloperäisten maalajien ryhmään kuuluu turve ja lieju. Hienorakeisten maalajien ryhmä koostuu savesta ja siltistä. Karkearakeisten maalajien ryhmä jakautuu hiekkaan ja soraan. Moreenimaalajien ryhmään luetaan siltti-, hiekka- ja soramoreeni. (RIL 121-2004, 21.) Käsittelen seuraavaksi kivennäismaalajeja geoteknisen maalajiluokituksen mukaisissa maalajiryhmissä.

2.1.1 Hienorakeiset maalajit

Hienorakeisten maalajien esiintymät ovat yhteydessä muutoksiin nykyisen Itämeren alueella sijainneen vesistön rantaviivassa. Mitä korkeammalla tuon vesistön pinta on ollut, sitä kauemmaksi sisämaahan hienorakeisia maalajeja on lajittunut. Tämä perustuu siihen, että mannerjään sulamisvesien mukanaan tuomat hienojakoiset maalajit laskeutuivat seisovan veden pohjaan ja että jääkauden aikana tuo ensimmäinen seisova vesi on ollut nykyisen Itämeren alueella sijainnut vesistö. Maankohoamisen myötä osa silloisesta merenpohjasta on nykyistä hienorakeisista maalajeista koostuvaa maaperää. (Korhonen ym. 1971, 25; Korhonen & Gardemeister 1971, 27, 30-32.)

Hienorakeiset jääkaudenaikaiset kerrostumat ovat glasiaali- siis lustosavea. Vuodenaikavaihtelevissa sulamisvesivirroissa hienorakeiset maa-aineet kerrostuivat jäätikön ulkopuolisille vesialueille. Silttikerrokset ovat karkeita ja runsaammassa keväisessä ja kesäisessä sulamisvedessä kerrostuneita, kun niukemmat syksyn virrat toivat hienompaa savea rannikkoalueille. Postglasiaalisavi ei ole sulamisvesivirran seulomaa. Siksi Korhonen ja Gardemeister käyttänevätkin tästä savilajista nimeä homogeeninen vastaparina kerralliselle savelle. Jääkaudenaikaiset lustosavikerrostumat ovat maankohoamisen seurauksena uudelleenaltistuneet huuhtoville vesivirroille ja tämä jääkaudenaikaisen vuodenaikavaihtelun mukainen kerrosjärjestys alkoi yhdenmukaistua homogeeniseksi jääkauden jälkeiseksi savelksi. Sen sijaan liejusavessa, joka myös on jääkaudenjälkeinen savilaji, on eloperäistä

ainesta. Mannerjään sulaessa sen eteläreuna vetäytyi pohjoiseen, etelärannikon vesi mataloitui ja kasvillisuus levisi alueelle. Eräs jääkaudenjälkeinen eloperäinen savilaji on muun muassa pohjanmaalla esiintyvä sulfidisavi. Hienorakeisten maalajien esiintymät ovat seurausta paitsi mannerjään sulamisvesivirroista mutta myös nykyisen Itämeren jääkaudenkaisista kehitysvaiheista. Esimerkiksi 13 000 vuotta sitten alueen vesistö oli järvi, Baltian jääjärvi ja tuona aikana on kerrostunut vain lustosavea, mutta 11 590 – 10 800 vuotta sitten Yoldiameren aikana paitsi lustosavea mutta myös homogeenista savea muodostui. (Korhonen & Gardemeister 1971, 27, 30-32; Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 29, 34; Geologia.fi)

Baltia-, Yoldia-, Ancyclus- ja Litorinakerrostuminen ominaisuuksissa, kuten leikkauslujuudessa, on huomattavaa sisäistä vaihtelua, mutta myös selviä maalajikerrostumille ominaispiirteitä. Kerrostumista vesipitoisin ja keskimääräiseltä leikkauslujuudeltaan alhaisin on Litorinakerrostuma. Kerroksen maalaji muistuttaa liejua tai liejuista savea. Sekä Ancyclus- että Baltiakerrostumilla on sama suurin mitattu leikkauslujuus, mutta Ancycluskerrostumasta on mitattu myös alhaisin tilastoitu leikkauslujuus. (Rantamäki ym. 1997, 161.) Kerrostumien sisäiset vaihtelut leikkauslujuudessa ovat suuret, mutta esimerkiksi maalajien sekä vesi- ja humuspitoisuuksien osalta on nähtävissä, miten maaperä on muodostuma sen eri kehitysvaiheissa vallinneista olosuhteista. Veden suolaisuudella, jossa savi on laskeutunut, on huomattava vaikutus saven laatuun. Suolaisessa vedessä laskeutunut savi on huokoisempaa kuin suolattomassa vedessä laskeutunut. Suola vaikuttaa saveen, sen laskeutuessa muodostavien hiutaleiden, niin sanottujen aggregaattien suuruuteen. Suola, vedessä jossa savi laskeutuu, huokoistaa savikerrostuman rakennetta. Savikerrostumien erot häiriintymisherkkyydessä ovat yhteydessä laskeutumisveden suolaisuuteen ja huokoisuuden vaihteluihin. (Jääskeläinen 2011, 47.)

Hienorakeisten maalajien ominaisuuksista

Hienorakeisten maalajien maalajiryhmän maalajien hienoainepitoisuus on yli 50 % ja humuspitoisuus on alle 20 painoprosenttia. Maalajiryhmä sisältää kaksi maalajia, jotka ovat savi ja siltti. Maalaji on savea, jos sen sisältämän savilajitteen osuus kokonaisaineksestä on enemmän kuin 30 painoprosenttia. Ollakseen savilajitetta on maan rakeiden läpimitan oltava pienempiä kuin 0,002 mm. (Korhonen ym. 1974, 9-11.)

Jos maalajin savipitoisuus on yli 30 painoprosenttia, mutta alle 50 painoprosenttia, nimitetään maalajia lihaksi saveksi. Sen sijaan maalaji, jonka savipitoisuus ylittää 50 painoprosenttia, saa maalaji nimityksen lihava savi. (Korhonen ym. 1974, 11-13.) Alle 2 painoprosentin humuspitoisuus ei vaikuta hienorakeisen maalajin nimitykseen, mutta arvon ylittyessä maalaji saa täydennysosan liejuinen. Mikäli humuspitoisuus ylittää 6 painoprosenttia,

nimitetään hienorakeista maalajia joko saviseksi tai silttiseksi liejuksi. Kuten edellä todettiin, jos humuspitoisuus ylittää 20 painoprosenttia, maalaji kuuluu hienorakeisten maalajien maalajiryhmän sijasta eloperäisten maalajien maalajiryhmään. (Korhonen ym. 1974, 12.)

Plastisuus on keskeinen hienorakeisten maalajien ominaisuus. Lämpimiltään tuhannesmilimetricien kokoisten rakeiden huokosvälit ovat niin pienet, että hiukkasvesi on kapillaarisessa alipaineessa. (Knappett & Craig 2012, 10.) Plastisuus on siis paitsi raekokoon, myös vesipitoisuuteen sidonnainen ominaisuus. Vesipitoisuus (w) prosentteina ilmaistu maanäytteen veden massan (m_w) suhde maanäytteen kuivamassaan (m_d). (Jääskeläinen 2011, 16; Ronkainen 2012, 23.)

$$w(\%) = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \quad (1)$$

Hienorakeisella maalajilla on kolme vesipitoisuuteen sidonnaista olomuotoa: juokseva, muovautuva ja kiinteä. Kiinteän ja muovailtavan olomuodon ero määritellään kieritysrajalla, josta käytetään myös ilmaisua plastisuusraja. Koeasetelmassa maanäytettä kieritetään tangoksi lasitason päällä. Kierittäessä maatanko ohenee ja samanaikaisesti osa maan kosteudesta höyrystyy. Kun maatanko on ohentunut ja kuivunut niin, että se alkaa katkeilla, mitataan sen kosteusprosentti. Tämä merkitsee maalajin kieritysrajan kosteusprosenttia. Jos maan kosteuspitoisuus ylittää sen kieritysrajan, maa ei ole kiinteässä olomuodossa. Muovailtavan ja juoksevan olomuodon ero on Casagranden koputuskojella mitattava juoksurajan kosteusprosentti. Kuppiin asetettuun näytemaahan tehdään ura. Kuppia pudotettaessa seurataan, milloin näytemaahan tehty ura iskujen seurauksesta umpeutuu. Toistettaessa koe eri kosteuksissa saadaan tulokseksi maalajin juoksurajan kosteusprosentti. Jos maan kosteuspitoisuus ylittää sen juoksurajan, kosteusprosentin maa on juoksevassa olomuodossa. (SFS-EN 1997-2, 53; Jääskeläinen 2011, 64-65; Salonen ym. 2002, 110; Ronkainen 2012, 21.)

Kieritys- ja juoksuraja ovat merkittäviä ominaisuuksia, koska niiden perusteella voidaan määrittää plastisuusluku, joka on jakoperuste maalajien plastisuusluokittelussa. Korhonen ym. (1974) jakaa maalajit plastisuuslukuperusteisesti kolmeen plastisuusluokkaan. (Korhonen ym. 1974, 15.) On kuitenkin tiedettävä mitä plastisuusluku tarkoittaa ennen kuin Korhosen hienorakeiset maalajit kattavalla plastisuusluokittelulla on merkitystä. Plastisuusluku¹ (I_p) on juoksurajan² (w_L) ja kieritysrajan³ (w_p) erotus (Knappett & Craig 2012, 10; Jääskeläinen 2011, 66)

¹ Plasticity index

² Liquid limit

³ Plastic limit

$$I_P = w_L - w_P \quad (2)$$

Plastisuusluku kuvaa laajuuden kosteusprosenttien vaihteluvälille, jolla maalaji on muovautuvassa olomuodossa. Mitä suurempi juoksurajan ja kieritysrajan erotus on, sitä pysyvämpi on maalajin olomuoto muovautuvana suhteessa kosteuspitoisuusvaihteluihin.

Nimitys	Plastisuusluku, I_P
Vähän plastinen	< 10
Kohtalaisen plastinen	> 10 ... 25
Erittäin plastinen	> 25

Taulukko 1. Maalajien plastisuus (Korhonen ym. 1974, 15)

Plastisuus ja rakeisuus ovat yleensä syy-yhteydessä (Jääskeläinen 2011, 66.) Frosterus (1924) jaottelee hienorakeiset maalajit lihavuusluokkiin. Korhonen (1974) käyttää jakopuusteena savipitoisuutta. Sen sijaan Frosterus määrittelee lihavuusluokat plastisuusluvulla. (Frosterus 1942, 9). En vastaa kysymykseen Frosteruksen ja Korhosen lihavuuden määritelmien eroista. Kysymys, joka ratkaisee sen onko määritelmässä ero, on savipitoisuuden ja plastisuusluvun suhteesta.

Nimitys	Plastisuusluku, I_P
Puolilihava	< 16-19
Lihava	> 20-26
Erikoisen lihava	> 27-37

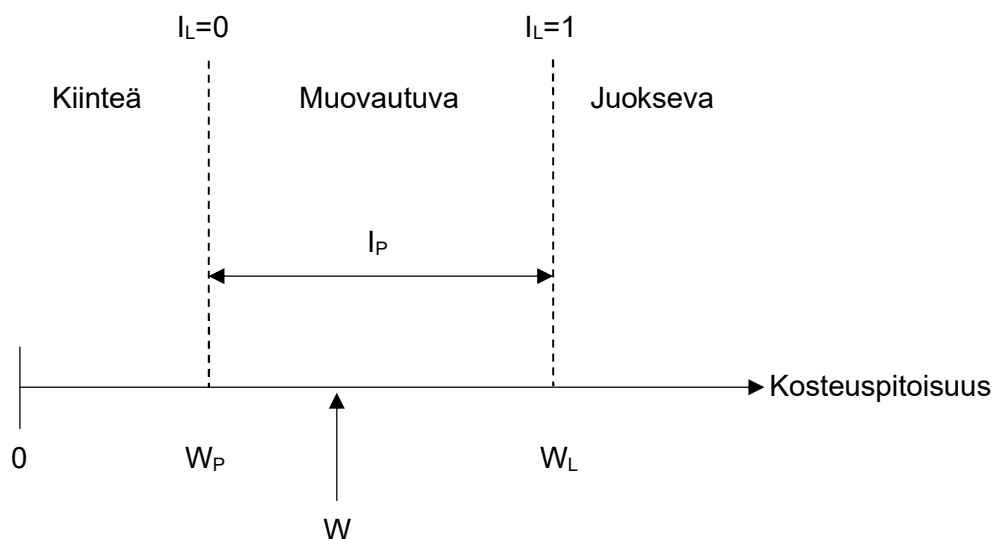
Taulukko 2. Maalajien lihavuus (Frosterus 1942, 9)

Plastisuusluku on kosteuspitoisuuksien, joissa maa on muovautuvassa olomuodossa, laajuus. Plastisuusluku rajaa kaikista mahdollisista kosteuspitoisuuksista ne, jossa maa on muovautuvassa olomuodossa, mutta plastisuusluku ei sijoita maata kuvaamiinsa rajoihin. Juoksevuusluku ilmaisee tiedetyssä kosteuspitoisuudessa olevan maan suhteessa sen juoksu- ja kierityssuusrajoihin. Juoksevuusluku (I_L) on maan vesipitoisuuden (w) ja plastisuusrajan (w_P) erotuksen suhde plastisuuslukuun (I_P) (Knappett & Craig 2012, 10).

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \quad (3)$$

Juoksevuuslukua ei käsitellä teoksissa Korhonen ym. (1974), Jääskeläinen (2011). Juoksevuusluvun ollessa 0, maa on kieritysrajalla. Juoksevuusluku 1 merkitsee, että maa on

juoksurajalla. Kuva 2 sisältää määritelmiä, joita käytettiin käsiteltäessä hienorakeisten maalajien olomuotoja.



Kuva 1. Hienorakeisten maalajien olomuodot. (Mukailtu Knappett & Craig 2012, 11)

Vertaan taulukoita 3 ja 4. Taulukot ovat hienorakeisten maalajien luokituksia, mutta taulukko 3 perustuu suljettuun leikkauslujuuteen ja taulukko 4 perustuu konsistenssilukuun. Molemissa taulukoissa on luokat "hyvin pehmeä" ja "pehmeä". Seuraavaksi tarkastelen pehmeiden määritelmien yhteismitallisuutta.

Nimitys	Suljettu leikkauslujuus, S_u
Hyvin pehmeä	< 10
Pehmeä	> 10-25
Sitkeä	> 25-50
Kova	> 50-100
Hyvin kova	> 100

Taulukko 3. Hienorakeisten maalajien luokittelu (Korhonen ym. 1974, 17)

Konsistenssi	Konsistenssiluku, I_c
Hyvin pehmeä	< 0,25
Pehmeä	0,25-0,5
Kova	0,5-0,75
Jäykkä	0,75-1
Hyvin jäykkä	> 1

Taulukko 4. Hienorakeisten maalajien konsistenssiluokitus (SFS-käsikirja 2008, 58)

Konsistenssiluku (I_c) on juoksurajan (w_L) ja kosteuspitoisuuden (w) erotuksen suhde juoksurajan ja kieritysurajan (w_p) erotukseen (Liikenneviraston ohjeita 9/2010, 58, RIL 157-I Geomekaniikka I:n mukaan).

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} \quad (4)$$

Konsistenssiluku on hienorakeisten maalajien ominaisuus muovautuvuudelle ja jäykkyydelle häiritynä (Jääskeläinen 2011, 64). Häiriintymisherkkyys (s_t) on häiriintymättömän maan suljetun leikkauslujuuden (s_u) suhde häirityn maan suljettuun leikkauslujuuteen (s_{uh}) (Ronkainen 2012, 45).

$$S_t = \frac{s_u}{s_{uh}} \quad (5)$$

Suljettu leikkauslujuus voidaan yksinkertaistaa yleiseksi kuormituskestävyydeksi (Liikennevirasto 2018, 7.) Hienorakeinen maa heikkenee häiriintymisestä. (Tielaitos 1993, 19). Esimerkiksi saven häiriintyminen rikkoo savikiteiden välisiä liitoksia (Ronkainen 2012, 17). Häiriintymisherkkyys yhdistää taulukoita 3 ja 4, koska konsistenssiluku kuvaa häirityn maan ominaisuuksia ja koska häiriintymisherkkyiden yhtälö sisältää suljetun leikkauslujuuden.

Taulukon 3 luokittelu perustuu eroihin suljetussa leikkauslujuudessa. Leikkauslujuuden luokkia on nimetty muun muassa käsittein ”pehmeä” ja ”kova”. Tämä on ymmärrettävää, koska suljettu leikkauslujuus on yleinen kuormituskestävyys. Käytetyt adjektiivit kuvaavat tätä.

Käsitteitä pehmeä ja kova käytetään konsistenssiluokituksessa, koska hienorakeiset maalajit ovat koheesiomaita. Koheesiomaiden leikkauslujuus muodostuu kiinnevoimista hiukasten välillä. Koheesio on kosteuspitoisuus- ja rakeisuussidonnainen ilmiö. (Rantamäki ym. 2008, 123-124.) Konsistenssiluokituksen ja suljetun leikkauslujuuden käsitteellinen vastaavuus perustuu siihen, koheesio muodostaa maan leikkauslujuuden.

Ylijäämämaa

Maaperää leikataan, jotta siihen voidaan rakentaa. Jos leikattua maaperää ei voida käyttää aineksena, jolla rakennetaan, niin rakennustoiminta muodostaa niin sanottua ylijäämämaata. Koheesiomaa on Suomen yleisin ylijäämämaa. (Kautto & Lepola 2005, 3.) Pääkaupunkiseudulla rakennustoiminnan vuosittain muodostaman ylijäämämaan massa on keskimäärin 4 miljoonaa tonnia koostuen lähinnä savesta (Vaara 2011, 4). Saven tyypillinen koheellisesti määritelty tilavuuspaino on 15 kN/m³ (Salonen ym. 2002 93), joten vuosittain pääkaupunkiseudulla muodostuvan, kokonaan saveksi tulkitun ylijäämämaan tilavuus on

noin 2,6 miljoonaa kuutiometriä. Vaaran (2011, 4) mukaan koko Suomessa muodostuu vuosittain 20-30 miljoonaa tonnia ylijäämämaata. Kaupungistuminen on lisännyt ylijäämämaan määrää ja sen sijoittaminen on ollut ongelma 1970-luvulta asti (Mäkinen 1974, 1-2). Ylijäämämaa sijoitetaan maanvastaanottoalueille, joita on Vaaran (2011, 4) mukaan liian vähän ja ne sijaitsevat kaukana muodostumiskohtaistaan.

Mainitsin huokosvedenpaineen silttimoreenin leikkauslujuuden yhteydessä. Seuraavaksi käsittelen ylijäämämaan ominaisuuksia, joista hyödyntämiskelvottomuus aiheutuu. On yleistä, että kuivakuorisavien optimivesipitoisuus on pienempi kuin niissä vallitseva kosteuspitoisuus. Tiivistäminen kasvattaa huokosvedenpainetta, koska vesi ei poistu maasta. Kun optimivesipitoisuuden ylittämä vesipitoisuus kasvaa, suhteellinen, saavutettavissa oleva tiiviys vähenee. Korkeasti vesipitoinen savi on mahdollista tiivistää suhteelliseen tiiviyteen välille 70-90%. Matalasta suhteellisesta tiiviydestä seuraa jälkipainumia. (Liikennevirasto 2010, 45.) Kuormitus poistaa rakeiden välistä vettä, jolloin maakerros tiivistyy. Tätä hidasta ja pysyvää muodonmuutosta kutsutaan konsolidaatiopainumaksi. (Jääskeläinen 2011, 120-121.) Kuivuessaan maan olomuoto muuttuu kiinteäksi. Kuivumiskutistumassa veden pintajännitys lähentää mineraalirakeita, jolloin maa painuu kuormitusta vastaavaan tiiviyteen. Laihan saven kuivumiskutistuma on 5-7 %, lihavalla savella se on 7-14 %. (Salonen ym. 2002, 96, 109). Koheesiomaan ominaisuudet eivät vastaa rakennekerroksissa käytettäville kiviaineksille asetettuja vaatimuksia, joita käsittelen pääluvussa 3.

2.1.2 Karkearakeiset maalajit

Kuten hienorakeiset niin myös karkerakeiset maalajiesiintymät ovat vesivirran muodostamia, mutta toisin kuin hienorakeisissa maalajeissa karkearakeiset maalajiesiintymät vastaavat pääsääntöisesti jäätikköjokimuodostumien sijoja – ei Itämeren altaan senhetkisiä rantoja. Harju on mannerjään railossa tai tunnelissa voimakkaan virran kasaama sora ja karkea kivi -esiintymä. Jäätikön eteen kerrostuneita harjuja on Suomessa muun muassa Salpausselät, Sisä-Suomen, Pielisjärven ja Koitereen reunamuodostumat. Deltat sen sijaan koostuvat harjuja hienorakeisemmasta lajittuneesta sorasta ja hiekasta. Deltatasanteita on muodostunut laakeille alueille jäätikköjokien suille jokivirtauksen seisahduskohtiin. Kuten hienorakeisia maalajeja myös karkearakeisia muodostumia on myös jääkauden jälkeisiltä ajoilta. Hiekkaiset ja soraiset kankaat ovat muodostuneet kun aallokko on edelleen huuhtonut jääjokien tuomia esiintymiä. (Korhonen & Gardemeister 1971, 34-40; Geologia.fi)

Karkearakeisten maalajien ominaisuuksista

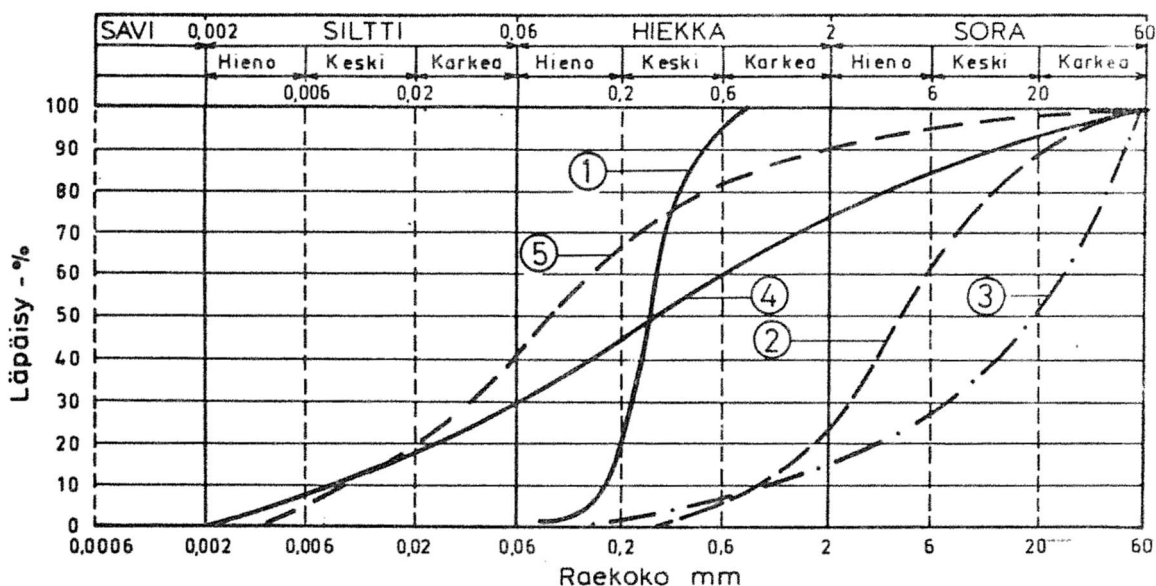
Karkearakeisten maalajien maalajiryhmän maalajien sisältämä hienoainespitoisuus on alle 50 prosenttia. Maalajiryhmä sisältää kaksi maalajia, jotka ovat hiekka ja sora. Hiekan rakeiden läpimitta sijoittuu välille 0,06-2 mm. Hiekan hienoaines- ja sorapitoisuus on alle 50 painoprosenttia. Hiekka jakautuu kolmeksi alalajitteeksi, jotka ovat hienohiekka, keskihiekka ja karkeahiekka. Soran rakeiden läpimitta on 2-60 mm. Soran hienoainespitoisuus on alle 5 painoprosenttia ja sorapitoisuus on enemmän kuin 50 painoprosenttia. Sora jakautuu kolmeksi alalajitteeksi, jotka ovat hienosora, keskisora ja karkeasora. (Korhonen ym. 1974, 9-11; Rantamäki ym. 1997, 58-59.) Savipitoisuus on saven määritelmän peruste, mutta d_{50} -menetelmä nimeää siltin, sekä karkeakareiset maalajit. Hiekka määritellään hienoaines- ja sorapitoisuuksien enimmäisosuuksilla, toisin sanoen sillä, mitä se ei ole. Sora määritellään vähimmäispitoisuutena soraa ja enimmäispitoisuutena hienoainesta. Toisin kuin hienorakeisissa maalajissa, humuspitoisuus ei vaikuta karkearakeisten maalajien nimityksiin.

Jos hiekka sisältää soraa yli 30 painoprosenttia, niin hiekkamaalaji nimetään soraiseksi hiekkaksi. Mikäli soran sisältämä hiekka ylittää 30 painoprosenttia, soramaalaji määritellään hiekkaiseksi soraksi. (Korhonen ym. 1974, 13.) Enimmäisarvo sekä hiekan sorapitoisuudelle että soran hiekkapitoisuudelle määräytyy d_{50} -menetelmästä. Lajittunut kivennäismaalaji ei voi sisältää toista maalajia enemmän kuin puolet. Tarkastelen maalajien luokitusta lisää moreenimaalajit-luvussa.

Karkearakeinen maalaji on niin sanottu irtoraerakenne. Karkearakeisten maalajien leikkaukslujuus muodostuu rakeidenvälisestä kitkasta. Siksi karkearakeiset maalajit ovat kitkamaalajeja. (Jääskeläinen 2011, 47, 101.) Raekokosuhte kuvaava maalajin lajittuneisuutta. Raekokosuhteen perusteella maalajia nimitetään tasarakeiseksi, sekarakeiseksi tai suhteistuneeksi. Raekokosuhte (C_u) on rakeisuuskäyrän raekoon, jonka läpäisy on 60 prosenttia (d_{60}) suhde raekokoon, jonka läpäisy on 10 % (d_{10}). (Tielaitos 1993, 18; Kalliainen ym. 2011, 19-20; Jääskeläinen 2011, 26.)

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (6)$$

Tasarakeisen maalajin raekokosuhte on alle 5, sekarakeisen maalajin raekokosuhte sijoittuu välille 5-15 ja raekokosuhteen ollessa yli 15 maalaji on suhteistunut. Kuvassa ? tasarakeisen hiekan rakeisuuskäyrä on käyrä numero 1. Tasarakeinen sora vastaa käyrä numero 2. Suhteistunut sora on käyrä numero 3. (Isotalo ym. 1982, 38-39.)



Kuva 2. Rakeisuuskäyriä maalajien lajittuneisuudesta. (Isotalo ym. 1982, 39)

Kuva 2 havainnollistaa raekokosuhteen ilmaisemia lajittuneisuuseroja. Kovera rakeisuuskäyrä numero 3 on suhteistunutta soraa. Rakeisuuskäyrä numero 1 on määritelty tasarakaiseksi hiekaksi, koska sen raekokosuhte on alle 5. Seuraavaksi käsittelen, kuinka lajittuneisuus vaikuttaa maan tiivyyteen.

Korhonen ym. (1974, 17) jakaa maalajit kolmeen tiivysluokkaan kuivatilavuuspainon perusteella. Jääskeläisen (2011, 52) mukaan kuivatilavuuspaino ei kuvaa tiivyttyä riittävällä tarkkuudella. Hän perustelee väitteensä sillä, että koska maalajit ovat usein sekarakeisia on niiden kuivatilavuuspainossa laaja vaihtelu. Hänen käyttämä tiiveyden luokittelu perustuu suhteelliseen tiiveyteen. Vertaan Korhosen (1974, 17) ja Jääskeläisen (2011, 52) tiivyyden luokitteluja.

Huokosluku (e) on maan huokostilavuuden (V_h) ja maan huokosettoman tilavuuden, toisin sanoen kivirakeiden tilavuuden (V_s) suhde. (Salonen ym. 2002, 90; Jääskeläinen 2011, 49.)

$$e = \frac{V_h}{V_s} \quad (7)$$

Jääskeläinen (2011, 52) määrittelee suhteellisen tiivyyden (D_r) huokosluvun maksimin (e_{\max}) ja vallitsevan huokosluvun (e_L) erotuksen suhteeksi huokosluvun maksimin ja huokosluvun minimin (e_{\min}) erotukseen.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_L}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (8)$$

Tiiveimmillään maa-aines on, kun vallitseva huokosluku on huokosluvun minimi, jolloin suhteellisen tiiveyden arvo on 1. Jos vallitseva huokosluku on huokosluvun maksimi, niin maa-

aines on löyhimmillään. Suhteellinen tiivys on arvo välillä 1 ja 0. Jääskeläinen (2011, 52) jalostaa kolmijakoisen tiivyyden luokittelun viisijakoiseksi jakamalla tiivyyden suurimman arvon viiteen yhtä suureen luokkaan.

Tiivysluokka	Suhteellinen tiivys (D_r)
Hyvin löyhä	0-15 %
Löyhä	15-35 %
Keskittiivis	35-65 %
Tiivis	65-85 %
Hyvin tiivis	85-100 %

Taulukko 5. Tiivyyden luokittelu suhteellisella tiivydellä. (Jääskeläinen 2011, 52.)

Korhosen ym. (1974, 17) kuivatilavuuspainoperusteisen tiivyyden luokittelun ongelma on Jääskeläisen (2011, 52) mukaan se, että kuivatilavuuspaino riippuu lajittuneisuudesta. Tiivyyden määrittäminen kuivatilavuuspainon perustella edellyttää tietoa maan lajittuneisuudesta.

Maan huokoisuus (n) ilmoitetaan huokostilavuuden (V_h) ja kokonaistilavuuden (V_t) suhteena. (Salonen ym. 2002, 90; Jääskeläinen 2011, 49)

$$n = \frac{V_h}{V_t} \quad (9)$$

Huokosettoman tilavuuden suhde kokonaistilavuuteen, edellyttäen maan kuivuutta, on yhtä kuin luvun 1 ja huokoisuuden erotus. (Jääskeläinen 2011, 49) Erotus on kiviaineksen osuus kokonaistilavuudesta.

$$\frac{V_s}{V_t} = 1 - n \quad (10)$$

Kuivatilavuuspaino (γ_d) on kaavan 10 ja kivirakeiden tilavuuspainon (γ_s) tulo. (Jääskeläinen 2011, 49)

$$\gamma_d = (1 - n)\gamma_s \quad (11)$$

Jääskeläisen käyttämä (2011, 49) kivirakeiden tilavuuspaino on $26,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$. Lajittuneisuus vaikuttaa maan huokoisuuteen. Lajittuneisuusedonoinen huokoisuusvaihtelu esimerkiksi soralla on 0,43-0,14. Tämä huokoisuusvaihtelu aiheuttaa kuivatilavuuspainon vaihtelun välillä

15-22 $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$. Jääskeläisen syy arvostella Korhosen ym. (1974) kuivatilavuuspainoperusteista tiiviysluokittelua on mielestäni perusteltua. Tiiviys ja kuivatilavuuspaino ovat yhteydessä, mutta on epäkäytännöllistä hankkia kuivatilavuuspainon edellyttämä tieto maan lajittuneisuudesta.

2.1.3 Moreenimaalajit

Mannerjään ja kallioperän välissä olevat maalajit sekottuivat ja murskaantuivat jäätikön liikkeessä. Jäätikköeroosio koostuu sekä tästä hankausellisesta abraasiosta että niin sanotusta louhimisilmiöstä, jossa peruskallio halkeaa jään sulamisen ja uudelleenjäätymisen seurauksena. Mannerjäätikön kallioperästä irroittama ja jo sen päällä olleisiin maalajeihin sekoittama maa-aines on moreenia. (Uusinoka 1981, 66-67; Rantamäki ym. 1997, 35.) Moreeni käsittää pintamaalajina 53 prosenttia maamme pinta-alasta. Pintamaalajikerrostumasta riippumatta moreenikerrostuma on usein kallioperän päällä. Moreeni on Suomen yleisin maalaji. Keskimääräinen moreenimuodostumien paksuus Suomessa on 4 metriä. Moreeniharjanteissa ja laaksoissa on paksuimmat moreenikerrostumat. Rannikoalueilla kersopaksuus voi olla alle yksi metri. (Tielaitos 1995, 10; Rantamäki ym. 1997, 35; Salonen ym. 2002, 46.)

Moreeni on lajittumaton maalaji. Moreeni sisältää eri lajitteita. Moreenimaalajien maalajiryhmä jakautuu d_{50} -menetelmällä kolmeksi moreenimaalajiksi. Silttimoreenin hienoainespitoisuus on enemmän kuin 50 painoprosenttia ja sorapitoisuus on enemmän kuin 5 painoprosenttia. Hiekkamoreeni sisältää 5-50 painoprosenttia hienoainesta ja 5-50 painoprosenttia soraa. Soramoreenin hienoainespitoisuus on enemmän kuin 5 painoprosenttia ja sorapitoisuus on enemmän kuin 50 painoprosenttia. (Korhonen ym. 1974, 11.) Lajitepitoisuusperusteisesti maalaji on moreenia, mikäli se sisältää sekä enemmän kuin 5 prosenttia hienoainesta että enemmän kuin 5 prosenttia soralajitetta (RIL 121-2004, 20).

Jos silttimoreenin hiekkapitoisuus on enemmän kuin 30 prosenttia, niin se saa kuvauksen hiekkainen silttimoreeni. Jos hiekkamoreenin silttipitoisuus on enemmän kuin 30 prosenttia, sitä kuvataan lisänimellä silttinen hiekkamoreeni. Jos sorapitoisuus hiekkamoreenissa ylittää 30 prosenttia, on moreenimaalaji sorainen hiekkamoreeni. Jos soramoreenin hiekkapitoisuus ylittää 30 prosenttia, kutsutaan sitä hiekkaiseksi soramoreeniksi. (Korhonen ym. 1974, 13.)

Moreenimaalajien lajittumattomuus erottaa ne ominaisuuksiltaan lajittuneista maalajeista. Suomessa moreenimaalaji luokitellaan maalajiryhmäksi, mutta eurooppalainen standardi vaatii, että moreenien luokasta luovutaan. (Jääskeläinen 2011, 24.)

Moreenimaalajien ominaisuuksista

Moreenimaalajin hienoainespitoisuus vaikuttaa oleellisesti kantavuuteen ja routivuuteen (Tielaitos 1993b, 11.) Kitka- ja koheesiomaa -jaottelussa moreenimaalajit ovat välimaalajeja. Esimerkiksi soramoreenissa, raekokojakaumaltaan karkeassa moreenimaalajissa, on kitkan osuus leikkauslujuudesta kuitenkin vallitseva. Kitkan ja koheesion osuus hienorakeisen silttimoreenin leikkauslujuudesta on yhteydessä kuormitustilanteen nopeuteen ja huokosvedenpaineeseen. Koheesio korostuu nopeassa huokosvedenpainetta kasvattavassa kuormitustilanteessa. Hitaasti kuormitettaessa silttimoreeni voi käyttäytyä kuin kitkamaa. (Tielaitos 1993c, 19.)

Moreenimaalaji on suhteistunut jos $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 5$. (Tielaitos 1993c, 19, Geomekaniikka I:n 1985 mukaan). Tielaitos (1993c, 19) viittaa teokseen Pohjarakennus (1974), jonka mukaan siitä, että moreenimaalajit ovat suhteistuneita, seuraa niiden tiivistyvyys. Moreenimaalajin tiivistyvyyden katsotaan olevan syy-yhteydessä suhteistuneisuuteen ja siitä seuraavaan korkeaan kuivatilavuuspainoon, johon vedoten moreenimaalajille määritellään tilavuuspainoperusteiset tiiviytsluokat. (Tielaitos 1993c, 19, Pohjarakennuksen 1974 mukaan). Jääskeläinen (2011, 49) arvosteli kuivatilavuuspainoperusteisesti määriteltä tiiviyttä epätarkaksi. Jääskeläinen ei ottanut kantaa moreenimaalajien luokiteltavuuteen, mutta seuraavaksi sovellean hänen kantaansa arvioidakseni moreenimaalajin tilavuuspainoperusteista tiiviytsluokittelua.

Kuivatilavuuspainon määrittämiseksi on tiedettävä maalajin huokoisuus, joka puolestaan riippuu maalajin lajittuneisuudesta. Jos soramaalajin lajittuneisuutta ei voida määritellä niin tarkasti, että sen perusteella voitaisi arvioida soramaalajin tiiviyttä, on menetelmän soveltaminen moreenimaalajiin, jonka lajittuneisuusvaihtelu on suurempi kuin soramaalajilla, perusteetonta. Pohjarakennuksen (1974) tiiviyden luokitteluperusteena käyttämä tilavuuspaino sisältää saman ongelman kuin kuivatilavuuspaino Korhosen ym. (1974) tiiviytsluokittelussa, joka on Jääskeläistä (2011, 49) mukaillen lajittuneisuusasteen määrittämisen vaikeudesta seuraava epätarkkuus sekä tilavuuspaino- että kuivatilavuuspainoperusteisessa tiiviytsluokittelussa.

Kitkamaiden kuivatilavuuspainon ja tiiviytsasteen vastaavuus on Salosen ym. (2002, 93) mukaan täydellinen. Teos määrittelee kuivatilavuuspainolla kolme tiiviytsasteluokkaa neljälle maalajille. Salonen ym. (2002, 93) ovat määritelleet tiiviytsasteluokkia kuivatilavuuspainoperusteisesti. Tiiviytsaste poikkeaa määritelmällisesti suhteellisesta tiiviydestä. Kirjallisuudessa on kaksi erilaista tiiviytsasteen määritelmää.

Jääskeläinen (2011, 53) määrittelee tiiviytsasteen (D) vallitsevan kuivatilavuuspainon (γ_{dL}) ja kuivatilavuuspainon maksimiin ($\gamma_{d_{max}}$) suhteeksi. (Jääskeläinen 2011, 53.)

$$D = \frac{\gamma_{dL}}{\gamma_{dmax}} * 100 \% \quad (12)$$

Kalliaisen ym. (2011,14) määritelmä tiiviysasteelle (D) on vallitsevan kuivairtoteiheyden (ρ_d) ja maksimikuivairtoteiheyden (ρ_{dmax}) suhde.

$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \quad (13)$$

2.2 Maalajeista, joihin rakennetaan -luvun yhteenveto

Käsittelin periaatteita, joilla maaperä luokitellaan kivennäismaalajeiksi. Savi- ja moreenimaalajin nimeäminen eroaa muissa kivennäismaalajeissa sovelletusta d_{50} -menetelmästä. Maalaji on savea, jos sen savilajitepitoisuus ylittää määritellyn vähimmäisosuuden. Moreeni nimetään vastaavaalla periaatteella, mutta kahdella vähimmäispitoisuudella. Maalaji on moreenia, jos ja vain jos sekä sora- että hienoainespitoisuus ylittää määritellyt vähimmäispitoisuudet. Yleinen kivennäismaalajimääritelmä on johtaa maalajin nimi raekoosta, joka vastaa läpäisyprosenttia 50 rakeisuuskäyrällä.

Savikerrostuman ominaisuuksilla on yhteys Itämeren historian vaiheeseen, jona se muodostui. Käsittelin juoksu- ja -kieritysrajoja sekä niistä johtettavaa plastisuuslukua, johon perustuvia plastisuus- ja lihavuusluokitteluja vertasin. Kirjallisuudessa pehmeys määriteltiin joko suljetulla leikkauslujuudella tai konsistenssiluvulla. Arvioin pehmeiden määritelmien yhteismitallisuutta.

Käsittelin lajittuneisuuden ilmaisevaa raekokosuuhdetta sekä sen yhteyttä tiiviyteen. Vertasin kuivatilavuuspainoperusteista tiiviytsluokittelua kuivatilavuuspainoperusteiseen tiiviytsluokitteluun. Arvioin suhteistuneisuuden vaikutusta moreenimaalajien tiiviytsluokitteluun.

3 Kiviaineksista, joilla rakennetaan

3.1 Jalostetut kiviainekset rakennustuotteena

Luonnonesiintymien jalostamaton hiekka ja sora voisi olla se millä rakennetaan, mutta käyttöä rajoittaa varantojen sijainti pohjavesialueilla (Jantunen 2012, 13). Jalostettu kiviaines on murskattua kalliota tai seulottua soraa. Suomessa käytettävästä kiviaineksesta noin 70 prosenttia on jalostettuja kiviaineksia. EU:n tuotestandardit sekä kansalliset määräykset asettavat kiviainekselle käyttökohdesidonnaisia laatuvaatimuksia. (Lonka ym. 2015, 11, 14.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston vuonna 2011 antama rakennustuoteasetus N:o 305/2011 tuli Suomessa voimaan vuonna 2013 ja sen myötä CE-merkinnästä käytettävissä kiviaineksissa tuli pakollista. Euroopan unioni pyrkii sujuvoittamaan jäsenmaiden keskenäistä kauppaa. (Martinkauppi 2012, 14). Maa-aineslaki (MAL 555/1981) säätelee kiviainesten käyttöä uusiutumattomana luonnonvarana. Suomi on kiviainesten osalta omavarainen, mutta vie niitä vuosittain vain 300 000 tonnia. Asukasmäärään ja muihin EU-maihin suhteutettuna Suomi käyttää kiviaineksia todella paljon – 100 miljoonaa tonnia vuodessa. Murskatun, seulotun ja luokitellun kiviaineksen osuus tästä kokonaismäärästä on 70%. Hiekan ja soran käyttö vähenee ja jalostettujen kiviainesten käyttö yleistyy. Suomen suurta kiviainesten kulutusta selittää pohjoisten ilmasto-olojen routa, matala väestötiheys ja laaja tieverkko. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015, 9-12; Lonka ym. 2015, 12.)

3.2 Jalostetut kiviainekset rakennekerroksissa

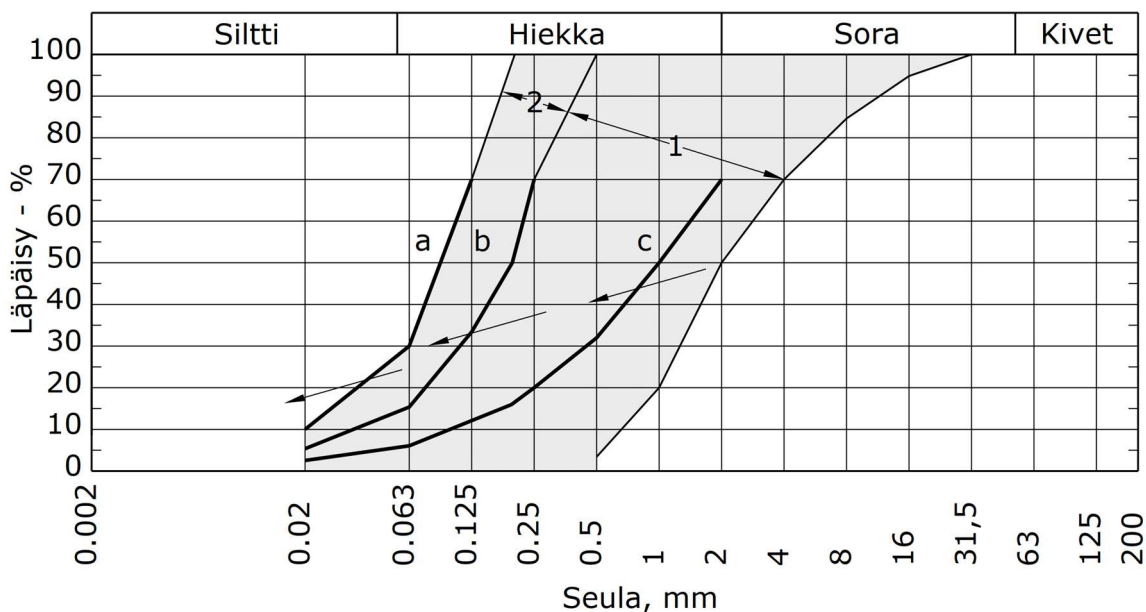
Katu rakennetaan kolmesta sitomattomasta kerroksesta ja päällysteistä, jotka ovat sidottuja kerroksia. Rakenteen kerroksellisuudella saavutetaan vähäisempi routivuus ja rakenteen joustavuus. (Belt ym. 2002, 11.)

Kerroksellinen rakenne. Kuormitus ei kantaudu syvälle. Siellä ei edellytykset samoja kiviaineksen laadulle. Kerroksellisuudella saadaan routimattomampi. Kerroksellinen, joustava päällysrakenne. Ehrola (1996) pitää kerroksellisen rakenteen merkittävimpänä etuna sitä, että alemmat, vähemmän kuormittuvat kerrokset on mahdollista rakentaa heikompileatuisesta kiviaineksesta. (Ehrola 1996, 139.)

3.2.1 Jalostettu kiviaines suodatinkerroksessa

InfraRYL (2010, 297-299) määrittelee, että suodatinkerroksen tarkoitus on estää alus- ja päällysrakenteiden sekoittuminen. Myös routanousun esto on suodatinkerroksen tehtävä.

(Belt ym. 2002, 12). Käsittelen seuraavaksi suodatinkerroksessa käytettäviä jalostettuja kiviaineita ja niiden ominaisuuksien suhdetta kerroksen rakenteelliseen tehtävään.



Kuva 3. Suodatinkerroksen kiviaineksen rakeisuus (Infra RYL 2010, 298)

InfraRYL (2010, 298) jakaa suodatinkerroksessa käytettävän kiviaineksen rakeisuuden kahteen ohjealueeseen. Kiviaineksen, jonka rakeisuuskäyrä ylittää viivan b, käytettävyys riippuu ympäristön kosteusolosuhteista. Kuiva olosuhde mahdollistaa alueen 2 hienorakeisemmän kiviaineksen käytön. (InfraRYL 2010, 298.) Käsittelen seuraavaksi suodatinkerroksessa käytettävän kiviaineksen rakeisuuden riippuvuutta kosteusolosuhteista.

Maa-aineksen kapillaariseen johtokykyyn vaikuttaa sen raekokoon yhteydessä oleva ominaispinta-ala (Salonen ym. 2002, 97). Ominaispinta-ala on massayksikön sisältämien rakeiden pinta-alojen summa. (PANK 2009, 1.) Ominaispinta-ala on kääntäen verrannollinen rakeiden läpimittaan. Taulukko 6 osoittaa raekoon yhteyden rakeen ominaispinta-alaan.

Rakeen läpimitta, mm	ominaispinta-ala, m ² g
1	0,0042
0,1	0,042
0,01	0,42
0,001	4,2

Taulukko 6. raekoon ja ominaispinta-alan suhde (Salonen ym. 2002, 98)

Pohjavedenpinnan ja kapillaarisesti nousseen veden pinnan korkoero on maa-ainekselle ominainen kapillaarinen nousukorkeus. (Salonen ym. 2002, 104.) Maa-aines määritellään routivaksi, jos veden kapillaarinen nousukorkeus siinä on yli metri. Vesi jäätyy routimattomaksikin luokitellussa maassa, mutta ilman, että sillä olisi vaikutusta maan tilavuuteen (Jääskeläinen 2011, 89, 91.) Käsitellen seuraavaksi maalajin routivuuden yhteyttä sen kapillaarisuuteen. Maan pintaa kohottava, maata laajentava routa, niin sanottu kerrosrouta, edellyttää kapillaarivesiyhteyttä maanalaisiin vesiesiintymiin (Jääskeläinen 2011, 89.)

Maalaji	Keskimääräinen raekoko, mm D_{50}	Kapillaarisuus, cm	
		Löyhä	Tiivis
Karkea hiekka	0,6 ... 2,0	3 ... 12	4 ... 15
Hiekka	0,2 ... 0,6	10 ... 35	12 ... 50
Hieno hiekka	0,6 ... 0,2	30 ... 200	40 ... 350
Karkeasiltti	0,02 ... 0,06	150 ... 500	250 ... 800
Siltti	0,02 ... 0,002	400 ... 1000	600 ... 1200
Savi	< 0,002	< 800	< 1000

Taulukko 6. Kapillaarinen nousukorkeus maalajeittain. (Jääskeläinen 2011, 39)

Geotekninen maaluokitus jakaa maalajit routimattomiin ja routiviin. Hiekka määritellään maalajiksi, joka on yleensä routimaton. (Korhonen ym. 1974 19.) On huomionarvoista, että suodatinkerroksessa käytetään maalajia, jonka geotekninen maaluokitus määrittelee yleensä routimattomaksi, vaikka suodatinkerroksen on määrä rajoittaa kapillaarista vedenousua ja päällysrakenteen routivuutta. Lähdekirjallisuus ei perustele, miksi suodatinkerroksessa ei käytetä karkeampaa kiviainesta. Syy, miksi karkeampia ja routimattomia kiviaineksia ei käytetä suodatinkerroksessa, on pohjamaan ja suodatinkerroksen sekoittuminen. InfraRYL (2018, 2) määrittelee sen toiseksi suodatinkerroksen tehtäväksi. Hienorakeinen kiviaines ei sekoitu pohjamaan, mutta on routivampi kuin karkearakeinen kiviaines. Lisäksi pohjamaa ei välttämättä kestäisi karkearakeisen kiviaineksen tiivistämistä. Hienorakeinen kiviaines vähentää pohjamaan kuormitusta suodatinkerrosta tiivistettäessä. Käsitellen aihetta lisää muiden rakennekerroksien yhteydessä.

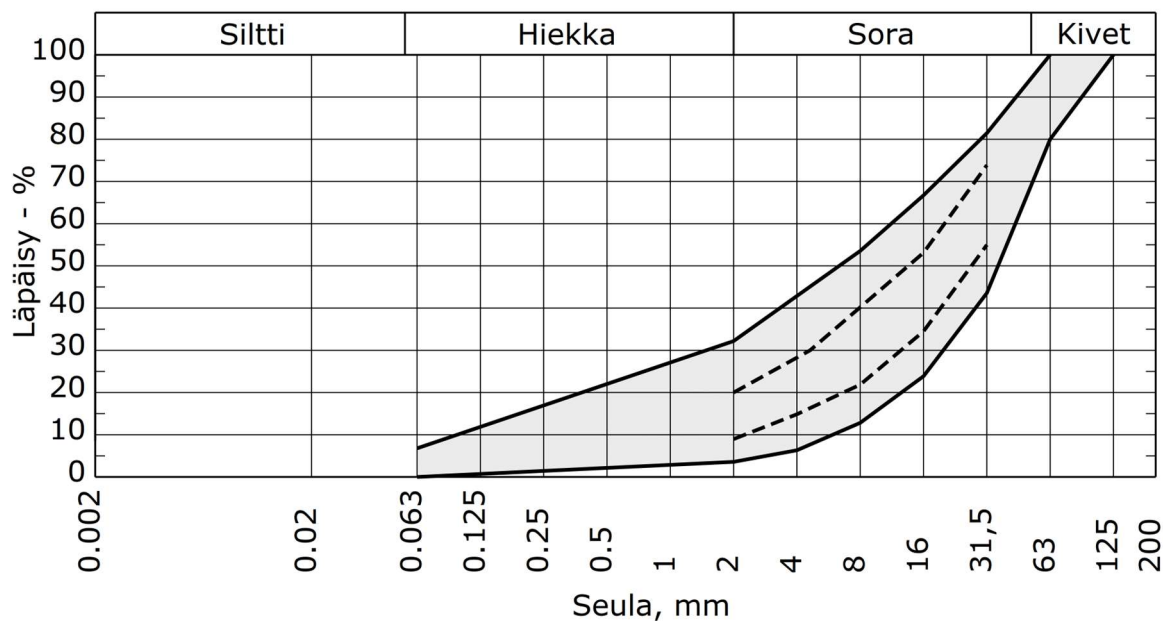
3.2.2 Jalostettu kiviaines jakavassa kerroksessa

Jakavan kerroksen ja myöhemmin käsiteltävän kantavan kerroksen erona ei ole niiden tehtävä. Niin jakava kuin kantavakin kerros jakavat kuormaa pohjamaalle. Suodatinkerroksella on tämän tehtävän lisäksi ominaispiirteitä. Seuraavaksi käsitellään jakavan kerroksen erityisyyttä.

Jakava kerros sijaitsee kantavaa kerrosta syvemmillä, ja siksi jakava kerros kuormittuu kantavaa kerrosta vähemmän (Tie- ja vesirakennushallitus 1953, 22). Tämä liittyy Ehrolan (1996, 138) kerroksellisen rakenteen yhtenä merkittävimmistä eduista mainitsemaan erilaisten kiviainesten käytettävyyteen. Jakava kerros voidaan toteuttaa halvemmilla, helpommin saatavilla ja heikommilla kiviaineksilla kuin kantava kerros. (Tie- ja vesirakennushallitus 1953, 22; Ehrola 1996, 138.)

Standardissa SFS-EN 13285 määriteltyjen rakeisuuksien 0/32, 0/40, 0/45, 0/56, 0/63, 0/80 ja 0/90 käyttö jakavan kerroksen murskeena on mahdollista. (Väylävirasto 2022, 10; InfraRYL 2020, 305). Murskeiden rakeisuus ilmaistaan standardiin SFS-EN 13285 perustuvalla luokittelulla. Jakavassa kerroksessa käytettävien murskeiden on vastattava joko G_p tai G_c -rakeisuusluokkaa (InfraRYL 2020, 305.) Rakeisuusluokkaerojen merkitystä käsitellään myöhemmin tyyppirakeisuuden sallitun vaihteluvälin yhteydessä.

Murskeen tyyppirakeisuus ilmaistaan läpäisyprosentteina tyyppillisistä ohjeseuloista (InfraRYL 2020 306). Tyyppirakeisuus on kiviainekohtaista. InfraRYL:n (2010, 306) vaatimukset jakavassa kerroksessa mahdollisesti käytettävän kalliomurskeen G_p 0/60 tyyppirakeisuudesta, toteutuneesta keskiarvosta ja yksittäistulosten ohjearvoista määritellään taulukossa 7.



Kuva 4. Jakavan kerroksen kalliomurskeen G_p 0/63 vaatimukset tyyppirakeisuudelle / toteutuneelle keskiarvolle sekä yksittäistulosten ohjearvot (InfraRYL 2010, 21210:K4)

Tyyppirakeisuuden sallittu vaihtelu ja keskimääräinen rakeisuus jakavassa kerroksessa käytettäville murskeille ilmaistaan taulukossa 8.

Seula, mm	0/32		0/40		0/45		0/56 ja 0/63		0/80	
	G_p	G_c	G_p	G_c	G_p	G_c	G_p	G_c	G_p	G_c
0,5	–	10...20	–	10...20	–	10...20	–	–	–	–
1	9...20	13...30	9...20	13...30	9...20	13...30	–	10...20	–	10...20
2	14...27	22...36	14...27	22...36	14...27	22...36	9...20	13...30	9...20	13...30
4	21...38	31...49	21...38	31...49	–	–	14...27	22...36	14...27	22...36
5,6	–	–	–	–	21...38	31...49	–	–	–	–
8	33...52	41...64	–	–	–	–	21...38	31...49	–	–
10	–	–	33...52	41...64	–	–	–	–	21...38	31...49
11,2	–	–	–	–	33...52	41...64	–	–	–	–
16	54...72	61...79	–	–	–	–	33...52	41...64	–	–
20	–	–	54...72	61...79	–	–	–	–	33...52	41...64
22,4	–	–	–	–	54...72	61...79	–	–	–	–
31,5	–	–	–	–	–	–	54...72	61...79	–	–
40	–	–	–	–	–	–	–	–	54...72	61...79

Taulukko 8. Jakavassa kerroksessa käytettävien murskeiden tyyppirakeisuuden sallittu vaihteluväli (InfraRYL 2010, 21210:T1)

Merkinnät G_p ja G_c ilmaisevat rakeisuuskäyrän ohjealueen leveyden ja sen muodon. Suomessa käytetty avoin rakeisuuskäyrä G_p eroaa muissa Euroopan maissa käytetystä normaalista rakeisuuskäyrästä G_s . (InfraRYL 2010, 306.)

Yksittäiset rakeisuustulokset sallitaan vaihtelevan murskeilla, joita käytetään jakavassa kerroksessa taulukon 9 mukaisesti.

Seula, mm	0/32		0/40		0/45		0/56 ja 0/63		0/80	
	G _p	G _c	G _p	G _c	G _p	G _c	G _p	G _c	G _p	G _c
0,5	–	5...25	–	5...25	–	5...25	–	–	–	–
1	3...32	8...35	3...32	8...35	3...32	8...35	–	5...25	–	5...25
2	6...42	13...45	6...42	13...45	6...42	13...45	3...32	8...35	3...32	8...35
4	12...53	20...60	12...53	20...60	–	–	6...42	13...45	6...42	13...45
5,6	–	–	–	–	12...53	20...60	–	–	–	–
8	23...66	30...75	–	–	–	–	12...53	20...60	–	–
10	–	–	23...66	30...75	–	–	–	–	12...53	20...60
11,2	–	–	–	–	23...66	30...75	–	–	–	–
16	43...81	50...90	–	–	–	–	23...66	30...75	–	–
20	–	–	43...81	50...90	–	–	–	–	23...66	30...75
22,4	–	–	–	–	43...81	50...90	–	–	–	–
31,5	–	–	–	–	–	–	43...81	50...90	–	–
40	–	–	–	–	–	–	–	–	43...81	50...90

Taulukko 9. Jakavan kerroksen murskeiden yksittäisten rakeisuustulosten sallittu vaihteluväli (InfraRYL 2010, 21210:T2)

Iskunkestävyys määritellään Los Angeles -testiin perustuvalla LA-luokittelulla. Iskunkestävyys on suhteellinen osuus testissä kiviaineksesta hienontuneesta aineksesta. Jos murske hienonee Los Angeles -testissä 50 prosenttia, niin sen luokittelu on LA₅₀. (Väylävirasto 2022, 10)

InfraRYL (2020, 306) mahdollistaa kolme standardoitua tapaa tutkia kiviaineksen jäätymsulamiskestävyys. Vaihtoehdot ovat petrografinen tutkimus, vedenimeytyvyyskoe ja jäädytys-sulatuskestävyyskoe. Käsitellen seuraavaksi menetelmien välisiä yhteyksiä. Kiviaineksen vedenimeytyminen ilmoitetaan standardia SFS-EN 13242 mukailevalla luokittelulla. Lähteen InfraRYL (2010 306) edellyttämä 1 %:n alittava vedenimeytyminen vastaa standardoitua luokkaa WA₂₄1. Vedenimeytyminen ilmaistaan massaprosentteina. Jos murske ei täytä vedenimeytyvyyden vaatimuksia tulee sen rapautumattomuus osoittaa. Rapautumattomuus mitataan jäädytys-sulatuskestävyydestillä. Jakavan kerroksen murskeen rapautumattomuuden on oltava enintään jäädytys-sulatuskestävyysluokkaa F₄. (Väylävirasto 2022, 10). InfraRYL (2020, 306)

InfraRYL (2020, 306) määrittelee kaksi vaihtoehtoista menetelmää jakavan kerroksen tiivistyksen laadun arvioimiseen. Menetelmien ero on siinä, todennetaanko laatu tiiviyssasteen vai tiiviyssuhteen perustella. Tiiviyssasteena määriteltävä tiiviyys edellyttää kuten opinnäyte-työssä on käsitelty, kuivatiheyden mittausta. Keskimääräisen tiiviyssasteen on oltava vähintään 95 prosenttia. Yksittäinen vähimmäisarvo on 90 prosenttia. Tiiviyssuhdeperusteisesti todennettava tiiviyden laatu mitataan levykuormituslaitteella. Tiiviyssuhde on kahdessa

peräkkäisessä koekuormituksessa mitattujen kantavuusarvojen suhde. (InfraRYL 2010, 309.) Taulukko 9 sisältää jakavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset kerroksen pinnalta levykuormituslaitteella mitattuna.

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 125	≤ 2,2
125...134	≤ 2,3
135...144	≤ 2,4
145...154	≤ 2,5
155...164	≤ 2,6
165...174	≤ 2,7
175...184	≤ 2,8
≥ 185	≤ 2,9

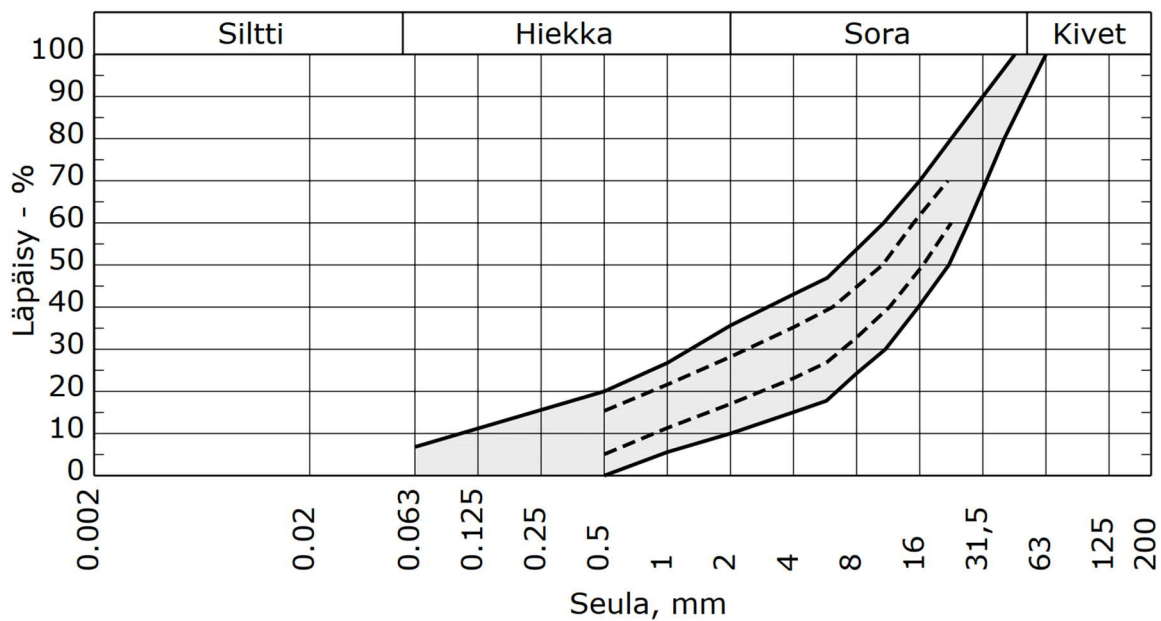
Taulukko 9. Jakavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset levykuormituslaitteella (InfraRYL 2010, 309)

3.2.3 Jalostettu kiviaines kantavassa kerroksessa

Sitomattoman kantavan kerroksen kiviaines on joko sora- tai kalliomurskettä. CE-merkintä osoittaa kiviaineksen jäädytys-sulavuuskestävyyden, rakeiden murtopintaisuuden ja iskunkestävyyden. Kiviaineksen sallittu hienoainespitoisuus ja enimmäisraekoon ylittävien rakeisuuksien hyväksytyt osuus on määritelty. Standardin SFS-EN 13242 kansallinen soveltamisasiakirja esittää vaaditut kiviainesominaisuudet. (InfraRYL 2010, 318.) Käsittelyn seuraavaksi sitomattomassa kantavassa kerroksessa käytettävältä kiviainekselta vaadittuja ominaisuuksia.

Standardissa SFS-EN 13285 määriteltyjen rakeisuuksien 0/32, 0/40, 0/45, 0/56 ja 0/63 käyttö kantavan kerroksen murskeena on mahdollista. Korkein sallittu hienoainespitoisuus riippuu siitä, käytetäänkö kantavassa kerroksessa sora- vai kalliomurskettä. Soramurskeen hienoainespitoisuus saa olla korkeintaan 9 läpäisyprosenttia, kalliomurskeen korkeintaan 7 läpäisyprosenttia. (InfraRYL 2010, 319.)

Ohjealue yksittäisille rakeisuuksille ja tyyppirakeisuudelle murskeella G_0 0/45 on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Esimerkki kantavaan kerrokseen käytettävän murskeen G₀/45 tyyppirakeisuuden ja yksittäisten rakeisuuksien ohjealueesta. (InfraRYL 2010, 21310:K3)

Rakeisuusvaatimukset sisältyvät taulukoihin 10 ja 11.

Seula, mm	Raekoko, mm ja rakeisuusluokka							
	0/32		0/40		0/45		0/56 ja 0/63	
	G ₀	G _A	G ₀	G _A	G ₀	G _A	G ₀	G _A
0,5	5...15	5...15	5...15	5...15	5...15	5...15	–	–
1	11...21	15...30	11...21	15...30	11...21	15...30	5...15	5...15
2	17...28	22...33	17...28	22...33	17...28	22...33	11...21	15...30
4	26...38	30...42	26...38	30...42	–	–	17...28	22...33
5,6	–	–	–	–	26...38	30...42	–	–
8	39...51	43...57	–	–	–	–	26...38	30...42
10	–	–	39...51	43...57	–	–	–	–
11,2	–	–	–	–	39...51	43...57	–	–
16	58...70	63...77	–	–	–	–	39...51	43...57
20	–	–	58...70	63...77	–	–	–	–
22,4	–	–	–	–	58...70	63...77	–	–
31,5	–	–	–	–	–	–	58...70	63...77

Taulukko 10. Kantavan kerroksen murskeiden tyyppirakeisuuden ja rakeisuustulosten keskiarvojen sallittu vaihteluväli (InfraRYL 2010, 21310:T1)

Seula, mm	Raekoko, mm ja rakeisuusluokka							
	0/32		0/40		0/45		0/56 ja /0/63	
	G _O	G _A	G _O	G _A	G _O	G _A	G _O	G _A
0,5	0...20	0...20	0...20	0...20	0...20	0...20	–	–
1	6...26	10...35	6...26	10...35	6...26	10...35	0...20	0...20
2	10...35	15...40	10...35	15...40	10...35	15...40	6...26	10...35
4	18...46	22...50	18...46	22...50	–	–	10...35	15...40
5,6	–	–	–	–	18...46	22...50	–	–
8	31...60	35...65	–	–	–	–	18...46	22...50
10	–	–	31...60	35...65	–	–	–	–
11,2	–	–	–	–	31...60	35...65	–	–
16	50...78	55...85	–	–	–	–	31...60	35...65
20	–	–	50...78	55...85	–	–	–	–
22,4	–	–	–	–	50...78	55...85	–	–
31,5	–	–	–	–	–	–	50...78	55...85

Taulukko 11. Kantavan kerroksen murskeiden yksittäisten rakeisuustulosten sallittu vaihteluväli. (InfraRYL 2010, 21310:T2)

Kantavassa kerroksessa käytettävän kiviaineksen tulee iskunkestävyydeltään täyttää luokan LA₃₀ vaatimustaso. (InfraRYL 2010, 320). Tielaitos (2000) huomasi, että iskunkestävyyden ja kiintotiheyden välillä on suhde. Jos kiintotiheys on enemmän kuin 2,8 g/cm³ niin iskunkestävyys on vähemmän kuin LA₂₅. Iskunkestävyys on kiviaineksilla, joiden kiintotiheys on vähemmän kuin 2,8 g/cm³ kääntäen verrannollinen mineraalikoostumukseen. Tutkimuksessa havaittiin myös, että rauta- ja magnesium -pitoiset mineraalit ovat sitkeitä ja iskunkestäviä. (Tielaitos 2000, 18.) Mineraalikoostumus on Tielaitoksen (1992) mukaan yksi tärkeimmistä kalliomurskeen laatuun vaikuttavista tekijöistä. Mineraalit rikkoutuvat eri kuormituksissa. Esimerkiksi kvartsirakeen rikkova kuormitus on jopa kymmenkertainen verrattuna kiillemineraalin. (Tielaitos 1992, 33, 47.)

Kiviaineksien, joilla kantava kerros rakennetaan, muoto-ominaisuuksia arvioidaan standardin SFS-EN 933-3 mukaisesti litteyslukuluokittelulla. Litteysluku ilmaisee litteiden rakeiden osuuden murskeessa. Litteyslukuluokka on enimmäisosuus litteistä murskeen sisältämistä rakeista, esimerkiksi luokka FI₅₀ tarkoittaa, ettei litteiden rakeiden osuus kaikista rakeista ole enemmän kuin 50 prosenttia. Kantavassa kerroksessa sallitaan käytettävän enintään litteyslukuluokan FI₅₀-mursketta. (Väylävirasto 2022, 6; InfraRYL 2010, 320.) Käsittelyn seuraavaksi raemuotoa. Salonen (2002, 68) määrittelee raemuodon akselisuhteilla kolmiulotteisessa karteesisessä koordinaatistossa. Hän kutsuu vaakaja pysty akselin suhdetta litteisyysindeksiksi. Raemuodolla, jota muun muassa litteysluku kuvaa, on Jääskeläisen (2011) mukaan huomattava vaikutus maan leikkauslujuuteen. Rakeen kokoonpuristuvuus, huokoisuus ja raelujuus sekä rakeiden välisten kitkavoimien suuruus seuraa raemuodosta. (Jääskeläinen 2011, 46-47; Salonen 2002, 68.) Rakeen, jonka läpimitta on kaikilla akseleilla sama, muotoa kutsutaan vakioläpimittaiseksi. (Jääskeläinen 2011, 46.) InfraRYL (2010)

vaatii, että rakeiden, jotka määritellään kokonaan pyörityneiksi enimmäisosuus on 30 prosenttia. Vakiomittainen rae voi olla joko pyöreäsärmäinen, teräväsärmäinen tai pyöritynyt. (Jääskeläinen 2011, 46; InfraRYL 2010, 320). Päättelen, että rakeiden pyörityneisyys heikentää leikkauslujuutta, koska InfraRYL määrittelee niiden sallitun enimmäisosuuden. Murtopintaisille rakeille määritelty vaadittu vähimmäisosuus 50 prosenttia, viittaa selvästi murtopintaisuuden verrannollisuuden rakeiden väliseen kitkaan. (InfraRYL 2010, 320). Kantavassa kerroksessa käytettävän soramurskeen sisältämien, muodoltaan pyörityneiden ja murtopintaisten rakeiden suhde muodostaa luokituksen, jonka korkein hyväksytty arvo on $C_{50/30}$. Luokka ilmaisee murtopintaisten rakeiden vähimmäisosuuden 50 prosenttia ja pyörityneiden rakeiden enimmäisosuuden 30 prosenttia. Tietoa kalliomurskeen raemuotoerojen suhteesta ei vaadita. (Väylävirasto 2022 6.) Soramurskeen sisältämän jalostamattoman soramaalajin pyörityneisyys liittyy maaperän geologiseen historiaan, jota opinnäytetyössä käsiteltiin aiemmin.

Tiiviysvaatimukset taulukossa 12.

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 145	≤ 2,0
145...159	≤ 2,1
160...174	≤ 2,2
175...189	≤ 2,3
190...204	≤ 2,4
205...219	≤ 2,5
220...234	≤ 2,6
≥ 235	≤ 2,7

Taulukko 12. Levykuormituslaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset (InfraRYL 2010, 322)

Hienoainespitoisuus ja rakeisuus tutkitaan sitomattomasta kantavasta kerroksesta. Näytteitä otetaan 100 mm:n syvyydestä (InfraRYL 2010, 322-323.) Hienoainespitoisuus on vaikuttaa routimiseen ja veden pidättymiseen rakenteessa. Ne vaikuttavat kuormituskestävyyteen. Tätä laadunvarmistusta ei tehdä jakavalle kerrokselle. (Väylävirasto 2022, 6)

3.3 Kiviaineksista, joilla rakennetaan -luvun yhteenveto

Vertaan yhteenvetona seuraavissa luetteloissa jakavassa ja kantavassa kerroksessa käytettäville kiviaineksille asetettuja laatuvaatimuksia yhteneväisyyksien ja eroavaisuuksien perusteella.

Jakavan ja kantavan kerroksen kiviainesten laatuvaatimuksissa on yhteneväisyyksiä:

- Jäätymis-sulamiskestävyyden arviointimenetelmät ja vaatimustasot eivät poikkea jakavan ja kantavan kerroksen murskeiden välillä.
- Rakennekerrokset eivät eroa asetetuissa sora- ja kalliomurskekohtaissa hienoainespitoisuuksien enimmäisarvoissa.

Jakavan ja kantavan kerroksen kiviainesten laatuvaatimuksissa on eroavaisuuksia:

- Raekokojen 0/80 ja 0/90 murskeiden käyttö on sallittu vain jakavassa kerroksessa.
- Rakennekerrokset poikkeavat kallio- ja soramurskeen rakeisuusluokan vaatimuksissa.
- Vain kantavassa kerroksessa käytettävälle murskeelle ilmoitetaan iskunkestävyysluokka.
- Rakeiden muoto-ominaisuuksia koskevia vaatimuksia litteysluokasta sekä murtopintaisten ja kokonaan pyörityneiden rakeiden sallituista osuuksista esitetään vain kantavan kerroksen murskeille.
- Tiiviyssuhdevaatimus on korkeampi kantavassa kuin jakavassa kerroksessa
- Laadunvarmistus tiivistyksen jälkeisestä hienoainespitoisuudesta ja rakeisuudesta tehdään vain kantavalle kerrokselle.

4 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoitus on kuvata maaperän monipuolisuutta sen sisältämien maalajien ominaisuuseroilla. Syyt jalostamattomien kiviainesten ominaisuuseroihin ja rakennekerroserot käytetyssä kiviaineslaadussa ovat yhteydessä. Peruste määritellä luonnontilainen maalaji routivaksi liittyy routimattomaksi tarkoitettuun rakennekerrokseen valittavaan kiviainekseen. Samat lainalaisuudet koskevat sekä jalostamattomia että jalostettuja kiviaineita. Käsittelin jalostamattomien kivennäismaalajien geoteknisen luokittelun lisäksi myös muita kirjallisuudessa tehtyjä luokitteluja. Arvioin vaihtoehtoisten luokittelujen paremmuutta lähdekirjallisuudessa esitettyjen väitteiden perusteella. Selvitin, vastaavatko rakennekerroksilta odotetut ominaisuudet niissä käytettäväksi määrättyjä kiviaineslaatuja.

Taustoitin alueellamme vallitsevien maaperämuodostelmien yhteyden Veiksel-jääkauteen ja Itämeren kehitysvaiheisiin. Lähdekirjallisuus kuvaa muun muassa, että Litorinakerrostumalla on maaperämme savikerrostumien alhaisin leikkauslujuus ja korkea kosteuspitoisuus. Käsittelin määritelmän vesipitoisuudelle sekä siihen sidonnaiset, hienorakeisten maalajien olomuodot. Esittelin kieritys- ja juoksurajat sekä niiden erotuksen, plastisuusluvun. Vertasin Korhosen ym. (1974) ja Frosteruksen (1924) plastisuuslukuperusteisia luokituksia. Kuvasin hienorakeisten maalajien ominaisuuksia myös Korhosen ym. (1974) ja Jääskeläisen (2011) teoksista puuttuvalla juoksevuusluvulla, jonka avulla maalaji, jonka vesipitoisuus on tiedossa, sijoittuu plastisuusluvun rajaamalle muovailtuvuuden kosteuspitoisuusvaihtelulle. Arvioin Korhosen ym. (1974) ja SFS-käsikirjan (2008) välistä yhteismitallisuutta hyvin pehmeä ja pehmeä -käsitteissä. Lähteet tulkitsevat pehmeiden eri määritelmillä. Korhonen määrittelee pehmeiden suljetun leikkauslujuuden arvon perustella. SFS-käsikirjassa konsistenssiluku on perusta tulkinnalle pehmeystä. Häiriintymisherkkyys liittyy sekä konsistenssilukuun että suljettuun leikkauslujuuteen. Häiriintymisherkkyys on häiriintymättömän maan suljetun leikkauslujuuden suhde häirityn maan suljettuun leikkauslujuuteen. Konsistenssiluku kuvaa häirityn hienojakoisen maalajin muovautuvuutta ja jäykkyyttä. Konsistenssiluku määritellään esittämilläni juoksu-, ja kieritysrajan sekä kosteuspitoisuuden määritelmillä riippumatta kielellisesti ilmaistuista tulkinnoista, jotka voivat olla ongelmallisia. Esimerkiksi nimityksestä pehmeä ei tiedä, tarkoittaako se maalajia, jonka suljetun leikkauslujuuden arvo on 10-25 vai maalajia, jonka konsistenssiluku on 0,25-0,5. Kuitenkin sekä suljetusta leikkauslujuudesta että konsistenssiluvusta voidaan tulkita maalajin pehmeys, koska pehmeys ei ole sidonnainen muihin kirjallisuudessa täsmällisesti määriteltyihin ominaisuuksiin.

Tätä ongelmallisempi on Frosteruksen rinnastamat plastisuusluku ja savipitoisuus. Vertasin Korhosen ym. (1974) ja Frosteruksen (1924) plastisuuslukuperusteisia luokituksia. Plastisuusluku on Korhoselle ym. peruste nimetä maalaji joko vähän, kohtalaisen tai erittäin

plastiseksi. On eri asia luokitella maalajit plastisuusluvun perusteella ja nimetä luokat plastisuusasteen mukaan, kuin määrittää plastisuusluvulla saven lihavuusluokat, joilla kirjallisuudessa vallitseva tulkinnan mukaan kuvataan savilajitepitoisuutta. Jos Frosterus on oikeassa, niin silloin plastisuusluku ja savipitoisuus ovat syy-yhteydessä.

Käsittelin lajittuneisuuden ja kuivatilavuuspainon suhdetta tiiviysluokkaan. Korhosen ym. (1974) kuivatilavuuspainoon verrannollinen tiiviysluokittelu on Jääskeläisen (2011) mukaan ongelmallinen, koska kuivatilavuuspaino on määritelmällisesti riippuvainen huokoisuudesta, jonka vaihtelu on sidonnainen lajittuneisuuteen, jonka arvioimiseen luonnontilaisilta, yleensä sekarakeisilta maalajeilta, liittyy Jääskeläisen mukaan epävarmuutta. Tielaitos (1993c) toisintaa Pohjarakennuksessa (1974) esitettyjä moreenimaalajien tiiviysluokkia, jotka määritellään kuivatilavuuspainolla. Jääskeläinen arvosteli kuivatilavuusperusteista tiiviysluokittelua, koska lajittuneisuussidonnaisesta huokoisuusvaihtelusta seuraavaa vaihtelu kuivatilavuuspainossa. Jääskeläinen ei hyväksy epätarkkuutta, joka seuraa soran lajittuneisuussidonnaisesta huokoisuusvaihtelusta. Soran lajittuneisuusvaihtelu on vähäistä verrattuna moreenin, joka on lajittumaton maalaji. Jääskeläisen kantaa mukaillen, kuivatilavuuspainoperusteinen tiiviysluokittelu soveltuu huonosti moreenimaalajeihin, jotka ovat suhteistuneita.

Rakennekerroksissa käytettävien jalostettujen kiviainesten laadulle on vaatimuksia ominaisuuksissa, jotka eivät sisälly geotekniseen maalajiluokitukseen. Laatuvaatimukset ovat rakennekerroskohtaisia. Kokosin rakennekerroksien kiviaineksien laatuvaatimukset ja vertasin kiviaineksia sekä kerroskohtaisesti että kerrosten välisesti. Jakavan ja kantavan kerroksen murskeiden vaatimuserot mahdollistavat kerroksellisen rakenteen kiviaineksen laatuvahtelun hyödyntämisen. Jakava kerros voidaan tehdä kantavaa kerrosta karkearakeisemmasta kiviaineksesta, eikä siltä edellytetä kantavassa kerroksessa vaadittuja iskunkestävyys-, murtopintaisuus-, litteys-, pyöreys- tai tiiviysuhdeominaisuuksia. Sen sijaan suodatinkerrokselle tarkoitettu ei-kapillaarisuus vastasi huonosti rakennekerroksessa käytettäväksi määrätyn kiviaineksen raekokoa, jonka geotekninen maalajiluokitus määrittelee yleensä routimattomaksi. En löytänyt lähdekirjallisuudesta kantaa tähän ristiriitaan.

Lähteet

Ahokas, J. & Oksanen T. 2015. Maamekaniikka. 2. painos. Helsinki: Maataloustieteiden laitos.

Belt, J., Lämsä, V-P., Savolainen, M. & Ehrola, E. 2002. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Helsinki: Tiehallinto. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139074/4276tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Frosterus, B. 1924. Savien konsistenssiominaisuudet. Geoteknisiä julkaisuja N:o 24. Helsinki: Suomen geologinen komissioni.

InfraRYL. 2015. Rakennusosa- ja hankenimikkeistö. Määrämittausohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Itämeren historia. 2018. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa <https://www.geologia.fi/2018/06/03/itameren-historia/>

Jantunen, J. 2012. Kiviaineshankkeiden ympäristövaikutusten arviointi. Suomen ympäristö 27/2012. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/5add8cd4-fc11-4990-9913-99cc5f4c8d6d/content>

Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus.

Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja, P. 2011. Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2011. Viitattu 21.5.2024. Saatavissa https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2011-10_radan_eristys_web.pdf

Knappett, J. A. & Craig, R. F. 2012. Craig's soil mechanics. 8. painos. New York: Spon Press.

Korhonen, K-H., Gardemeister, R. & Tamminrinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. Geotekniikan laboratorio. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Korhonen, K-H. & Gardemeister, R. 1971. Maalajien kaivuluokitus. Tiedonanto n:o 1. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Liikennevirasto. 2018. Tierakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf

Lonka, H., Loukola-Ruskeeniemi, K., Ehrukainen, E., Gustafsson, J., Honkainen, M., Härmä, P., Jauhiainen, P., Kuula, P., Nenonen, K., Pellinen, T., Rintala, J., Selonen, O., Martikainen, M. & Aalto, M. 2015. Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät.

Martinkauppi K. 2012. Rakennustuoteasetus. Helsinki: Edita.

PANK-2401. 2009. Kiviainekset, ominaispinta-ala, typpiadsorptiomenetelmä. Päällystealan neuvottelukunta. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/400_pank2401_2009.pdf

Pokki, J., Aumo, R., Kananoja, T., Ahtola, T., Hyvärinen, J., Kallio, J., Kinnunen, K., Luodes, H., Sarapää, O., Selonen, O., Tuusjärvi, M., Törmänen, T. & Virtanen, K. 2014. Geologisten luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2012. Tutkimusraportti 210. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1997. Geotekniikka. 16. painos. Helsinki: Otatieto Oy

RIL 121-2004. Pohjarakennusohjeet. 3. painos. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Salonen, V. P., Eronen, M. & Saarnisto, M. 2002 Käytännön maaperägeologia. Turku: Kirja-Aurora.

Tielaitos. 1995. Tieleikkausten pohjatutkimukset. Tielaitoksen selvityksiä 79/1995. Helsinki: Tielaitos. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138694/3886tie.pdf?sequence=1>

Tielaitos. 1993a. Yleiset perusteet. Helsinki: Kehittämiskeskus.

Tielaitos 1993b Moreenin jalostaminen Tielaitoksen selvityksiä 77/1993. Oulu: Geokeskus

Tielaitos 1993c Moreeni ja sen käyttö. Tielaitoksen selvityksiä 20/1993. Oulu: Geokeskus

Tielaitos. 1993d. Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rakennekerroksissa. Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 26/1992. Oulu: Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö.

Tielaitos. 1992. Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rakennekerroksissa. Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 26/1992. Oulu: Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185194/tie5222.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tielaitos. 2000. Los Angeles ja Micro-Deval -kokeiden vertailu. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/2000. Helsinki: Tiehallinto. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/176372/4000255-los_angeles_ja_micro-deval-kokeiden_vert.pdf?sequence=1

Tie- ja vesirakennushallitus. 1953. Tierakennuksen maalajitutkimus N:o 1. Teknillistä kenttähenkilökuntaa varten valittuja kirjoituksia Tvh:n laboratoriotiedotuksista N:o 1-4. Helsinki: Maarakennuslaboratorio.

Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 22.5.2024. Saatavissa <https://tem.fi/documents/1410877/2851374/Kiviaines-+ja+luonnonkiviteollisuuden+kehitysn%C3%A4kym%C3%A4t+2015.pdf/7134fc82-5f2d-4a0e-8621-141ea1fb5045/Kiviaines-+ja+luonnonkiviteollisuuden+kehitysn%C3%A4kym%C3%A4t+2015.pdf>

Uusinokka, R. 1981. Yleinen maaperägeologia. 2. osa. Sedimentit ja sedimentaatioprosessit. Moniste 6. Helsinki: Geologian laitos.