

---

# KANTAVAT KASVUALUSTAT

Käyttö-, vertailu- ja mittaus selvitys Vantaan kaupungin rakennuskohteessa



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Maisemasuunnittelun koulutusohjelma

Lepaa, kevät 2016

Jasmiina Eklund

---

Hämeen ammattikorkeakoulu, Lepaa  
Maisemasuunnittelu  
Viherrakentaminen

---

<b>Tekijä</b>	Jasmiina Eklund	<b>Vuosi</b> 2016
<b>Työn nimi</b>	Kantavat kasvualustat. Käyttö-, vertailu- ja mittaus selvitys Vantaan kaupungin rakennuskohteessa	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia itse kerrostamalla ja kastelemalla tehdyn kantavan kasvualustan sekä Kekkilän tarjoaman valmiin kantavan kasvualustamassan käyttöominaisuuksia, resursseja, kustannuksia, lopputuloksia sekä näiden kantavuuksia ja tiivistymistä Vantaan kaupungin maa- ja viherrakennuskohteessa. Työn tavoitteena oli selvittää, saadaanko niistä teknisiltä ominaisuuksilta vaaditun laisia ja kumpi vaihtoehdoista olisi parempi ja kustannustehokkaampi käytettäväksi. Oleellisena osana opinnäytetyötä oli toteutettu myös kantavien kasvualustojen kantavuus- ja tiiveysmittaukset Loadman-kevyellä pudotuspainolaitteella.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Vantaan kaupungin katutekniikan yksikkö. Työ on soveltava tutkimus, jossa vertaillaan kahden eri rakentamismenetelmän teknistä soveltuvuutta ja resurssikäytön tehokkuutta. Vertailumenetelmänä on käytetty teknisen soveltuvuuden suhteen kantavuus- ja tiiveysmittauksia Loadman-pudotuspainolaitteella ja resurssien osalta ajankäyttö ja kustannusvertailu suhteutettuna rakennettuun pinta-alaan. Työn teoreettisen osan tavoitteena oli selvittää kantavien kasvualustojen koostumusta, rakennetta, keskeisiä ominaisuuksia sekä rakentamista. Käytännön tutkimus toteutettiin syksyllä 2015 Vantaan Kivistössä, Vanhan Nurmijärventielle, Tikkurilantien ja Sarvivälkkeentien välisellä tieosuudella.

Tutkimuksessa selvisi, että kokonaistaloudelliselta kannalta, kustannukset ja aika huomioiden, valmismassa on edullisempi vaihtoehto. Tulokset kuitenkin osoittivat myös sen, että valmismassan tekniset ominaisuudet eivät täyttäneet laatuluokitusten mukaisia vaatimuksia melkein lainkaan, johon saattoivat vaikuttaa myös kerrospaksuus ja tiivistyskone. Nykyisillä menetelmillä itse kerrostaen ja kastelemalla toteutettu kantava kasvualusta oli ajallisesti kuin rahallisesti kalliimpi, mutta suurimmassa osassa mittauspisteistä täyttyi vähintään 2 laatuluokan vaatimukset.

**Avainsanat** Kantava kasvualusta, katupuu, kantavuus, tiiveys, kustannustehokkuus

**Sivut** 37 s. + liitteet 19 s.

<b>Author</b>	Jasmiina Eklund	<b>Year</b> 2016
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Structural Soils. Use, Comparison and Measurement Report in a Construction Area in Vantaa	

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine use features, resource costs, bearing capacities and compactness between self-layered and watered structural soil and Kekkilä's ready-to-use structural soil mass at the construction site built for Vantaa city. The aim of this work was to find out whether required technical qualities are met with these methods and which of these two options would be better and most cost-effective to use in future. The essential part of this thesis was also bearing capacity and compactness measurements with the portable Loadman light falling weight deflectometer.

The commissioner of this thesis was the street technology unit in the city of Vantaa. This work is an applied research which compares the applicability and resource-use efficiency of two different construction methods. The used reference methods for technical applicability were bearing capacity and compactness measurements with the Loadman falling weight deflectometer. For resource-usage the method was the direct use of time and the comparison of costs in relation to the built surface area. The aim of the theoretical part of the work was to clarify composition, structure, essential features and construction methods of structural soils. Practical research was carried out in the autumn 2015 in Vantaa, Kivistö district.

It can be concluded that based on the overall resource-usage, costs and time having being considered, ready-to-use structural soil mass is a cheaper method. However results also show that technical qualities of ready-to-use structural soil did not fulfill almost any of the classification requirements which may also be affected by layer thickness and a compactor. From existing methods, self-layered and watered structural soil was timely and economically more resource-consuming. Nevertheless, the requirements of at least the second quality class were fulfilled in most of the measuring points and is therefore more recommended method.

**Keywords** Structural soil, street tree, bearing capacity, compactness, cost-effectiveness

**Pages** 37 p. + appendices 19 p.

## KÄSITTEET

Katupuu	Katupuu on kaavoitetulla katualueella kasvava puu. Katupuut jaetaan pinnoitetuilla alueilla kasvaviin sekä ei-pinnoitetuilla kasvaviin puihin.
Kantava kasvualusta	(structural soil, load bearing soil) Kantava kasvualusta on katupuille tarkoitettu erikoiskasvualusta, joka koostuu kivi-murskan/kivilouhoksen ja kivennäispitoisen kasvualustan seos. Se toimii kadun kantavana rakenteena sekä katupuiden kasvialustana estäen routimista ja maan painumista sekä antaa puulle tiivistymättömän kasvutilan.
Kasvualusta	Kasvualusta on keinotekoisesti valmistettu tuote, joka valmistetaan koneellisesti epäorgaanista ja orgaanisesta materiaalia annostellen halutuissa suhteissa. Usein kasvialustaseos myös kalkitaan ja lannoitetaan.
Kasvialustan huokoisuus	Kasvialustan huokoisuus tarkoittaa erilaisten ja erikokoisten maarakeiden väliin jäävää tilaa. Kasvialustan huokoisuus vaikuttaa sen ilmavuuteen sekä veden käyttäytymiseen siinä. Esimerkiksi, mitä karkeampi kasvialusta-aines on, sitä suurempia huokosia maapartikkelien väliin jää.
Maan tiivistyminen	Maan tiivistymistä tapahtuu silloin, kun maahan kohdistuneen raskaan kuormituksen ja pintapaineen ylittäessä maan kantavuuden maa painuu ja maakerrokset tiivistyvät. Tiivistyessään maa-ainekset, ja pienet partikkelit puristuvat yhteen tukkien pienet huokostilat aiheuttaen mururakenteen rikkoutumisen ja maan makrohuokosten tilavuuden pienenemisen heikentäen näin hapen diffuusiota ja orgaanisten ainesten liikettä maassa.
Kantavuus- ja tiiveysmittaus	Rakennetun maaperän tiiveyttä ja kantavuutta voidaan mitata erilaisin laittein ja kokein paikan päällä tai laboratorioissa. Mittausvälineinä voidaan käyttää muun muassa pudotuspainolaitetta, levykuormituslaitetta, radimetrisiä tiiveysmittalaitteita, hiekka- ja vesivolymetrejä sekä proctor-koetta. Kantavuus ilmoitetaan yleisesti MN/m <sup>2</sup> tai MPa/m <sup>2</sup> ja tiiveys ilmoitetaan tiiveysprosentteina.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	VANTAAN KAUPUNGIN KUNTATEKNIIKAN KESKUS .....	2
3	KANTAVAT KASVUALUSTAT .....	3
3.1	Kasvualustan ominaisuudet.....	3
3.1.1	Kasvualustan ainesosat .....	4
3.1.2	Raaka-aineet .....	5
3.1.3	Kalkki ja lannoitteet .....	6
3.1.4	Kasvualustojen keskeiset ominaisuudet .....	6
3.1.5	Kasvualustan tiiveys .....	7
3.2	Kantavan aineksen ominaisuudet .....	7
3.3	Kantavan kasvualustan keskeiset ominaisuudet.....	8
3.3.1	Tiiveys ja huokoisuus .....	9
3.3.2	Kantavuus .....	10
3.4	Rakenne.....	12
3.5	Kantavan kasvualustan rakentaminen .....	15
3.5.1	Massan levitys, kastelu ja tiivistäminen .....	15
3.5.2	Putkien asentaminen.....	16
3.5.3	Eri toteutustapoja.....	16
3.6	Laatuvaatimukset .....	17
4	TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO.....	17
4.1	LOADMAN-pudotuspainolaite.....	18
4.2	Kantavuus- ja tiiveysmittaukset .....	20
4.3	Kustannusvertailu ja ajankäyttö .....	20
5	RAKENNUSKOHTEEN TOTEUTTAMINEN .....	21
5.1	Valmismassalla rakentaminen.....	22
5.1.1	Mitoitus ja perustustyöt .....	22
5.1.2	Kasvualustamassan levitys ja tiivistys.....	23
5.1.3	Mittaukset .....	24
5.2	Kantavan kasvualustan rakentaminen kerrostaen ja kastelemalla.....	25
5.2.1	Mitoitus ja perustustyöt .....	25
5.2.2	Kasvualustamassan levitys, kastelu ja tiivistys .....	25
5.2.3	Mittaukset .....	27
6	TUTKIMUSTULOKSET JA ANALYSOINTI .....	27
6.1	Käyttöominaisuudet .....	27
6.2	Asennusaika .....	28
6.3	Kustannukset .....	30
6.4	LOADMAN-mittaukset .....	31
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET .....	34
	LÄHTEET .....	36

---

LIITTEET .....

- Liite 1 Luonnonkivien ominaisuuksia
- Liite 2 Kasvualustan suositeltavat ravinnepitoisuudet
- Liite 3 Kekkilän Kantava Kasvualusta PLUS -tuoteseloste
- Liite 4 Kantavuusvaatimukset katuluokittain
- Liite 5 Tiivistyskoneiden ohjeelliset jyräskertamäärät
- Liite 6 Rakennuskohteen suunnitelmapiirros ja koealueet 1) ja 2)
- Liite 7 Loadman-kevyen pudotuspainolaitteen mittaustulokset

## 1 JOHDANTO

Kaupungit kasvavat jatkuvalla tahdilla ja vievät tilaa yhä enemmän viheralueilta ja katuistutuksilta. Kaupungeissa katupuiden kasvuolosuhteet ja ympäristö ovat hyvin stressaavat, haasteelliset ja täysin keinotekoiset. Tavallisimmin katuympäristössä puun kasvutila on infrastruktuurin, kuten rakennusten ja huonosti ilmaa, vettä ja ravinteita läpäisevien kantavien rakenteiden ja pinnoitteiden (asfaltti, laatoitukset, erilaiset kiveykset) rajoittama. Kasvutilaa on vähän ja maan rakenne hyvin tiivistynyttä. Huonojen elinolojen takia katupuut kärsivät, näyttävät huonovointisilta ja sairastuvat herkästi, jolloin ne eivät täytä enää tehtävänsä merkittävänä vihreyden ja viihtyvyyden tuojina kaupunkikuvassa. Uuden taimen istuttaminen ja suoja- ja kastelulaitteiden asentaminen kuolleen katupuun tilalle on hyvin kallista ja huonosti menestyvät puut ja niille tehtävät mahdolliset maanparannustimet tuovat kasvavia hoitokustannuksia.

Viimeisen 20 vuoden aikana on alettu entistä enemmän kiinnittämään erityistä huomiota katupuiden hyvinvointiin, kasvualustaan ja riittävään juuriston kasvutilaan. Tarkoitukseen on kehitetty erityisiä kantavia kasvualustoja. Kantavissa kasvualustamassoissa kantavuuden tuo kivimurska tai järeä lohkottu kiviseos normaalin katurakenteen tapaan, joka takaa kantavan rungon ja katupinnoitteen tasaisuuden. Kivien väliin jäävään tilaan sekoitetaan hienojakoisempaa kasvualustaseosta, mikä puolestaan takaa puulle sen tarvitseman kasvutilan, eikä tiivistyminen aiheuta vaurioita.

Opinnäytetyön aiheena ja tavoitteena on selvittää itse kerrostamalla ja kastelemalla tehdyn kantavan kasvualustan sekä Kekkilän tarjoaman valmiin kantavan kasvualustamassan käyttöominaisuuksia, kustannuksia, lopputuloksia sekä näiden kantavuutta ja tiivistymistä Vantaan kaupungin maa- ja viherrakennuskohteessa. Työn tilaaja haluaa tietää kannattaako kantava kasvualusta tehdä itse kerrostaen kivimurskeesta ja kasvualustaseoksesta tiivistämällä ja saadaanko siitä rakenteelta ja tiiveydeltä vaaditun laista vai onko tarkoitukseen kehitetty valmis kantava kasvualustamassa parempi ja kustannustehokkaampi vaihtoehto. Lisäksi työssä haluttiin selvittää Loadman -kevyen pudotuspainolaitteen käyttöä yleisesti ja kantavuuksien itsemittaamisen mahdollisuutta jatkossa.

## 2 VANTAAN KAUPUNGIN KUNTATEKNIIKAN KESKUS

Vantaan kaupunki on merkittävä alueellinen lähes 12 000 työntekijän työllistävä organisaatio ja se jakautuu viiteen toimialaan: kaupunginjohtajan toimiala, maankäytön, rakentamisen ja ympäristön toimiala, sosiaali- ja terveydenhuollon toimiala, sivistystoimen toimiala sekä konserni- ja asukaspalveluiden toimiala. (Vantaan organisaatio n.d.)

Maankäytön, rakentamisen ja ympäristön toimialan tehtävinä on kokonaisvaltainen kaupunkirakenteen ja ympäristön sekä liikenteen ja yhdyskuntatekniikan kehittäminen, hallinta ja hoito sekä myös muun muassa strategisten tavoitteiden mukainen ympäristöterveydenhuollon kehittäminen ja toteuttaminen. Toimialaan kuuluvat kaupunkisuunnittelu, kuntatekniikan keskus, tilakeskus, rakennusvalvonta, talous- ja hallintopalvelut, ympäristökeskus, yrityspalvelut ja Vantaan asuntomessut 2015. (Vantaan organisaatio n.d.)

Kuntatekniikan keskus vastaa kaupungin julkisesta kaupunkitilasta eli katujen ja viheralueiden suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta. Sen tehtävinä on suunnitella tai suunnitteluttaa investoinnit, laatia vuotuiset rakentamishjelmat sekä valmistella maankäytön maankäyttösopimuksia. Investoinnit ja ylläpitotyöt toteutetaan itse tai ne teetetään ulkopuolisilla palveluntuottajilla. Se vastaa myös liikennesuunnittelusta, sen toimivaltaan kuuluvista joukkoliikenteen asioista sekä lakisääteisistä kiinteistöinsinöörin tehtävistä. Maa- ja viherrakentaminen kuuluvat katutekniikan yksikön toimenkuviin. (Vantaa kuntatekniikan keskus n.d.)



### 3 KANTAVAT KASVUALUSTAT

Kantavia kasvualustoja alettiin kehittämään noin 25 vuotta sitten Hollannissa ja sittemmin periaate on levinnyt muualle Eurooppaan. Sen tarkoitus on laajentaa juuristotilaa pinnoitetuilla alueilla ja toimia samanaikaisesti niin puun kasvualustana kuin kadun sitomattomana rakennekerroksena. Kantavaa kasvualustaa vaativia paikkoja ovat esimerkiksi piha-, katu- ja torialueet, joihin on tarkoitus istuttaa puita, mutta pinnoite on asfalttia, luonnonkiveystä tai betonikiveystä. Kantavalta kasvualustalta vaaditaan kantavuutta ja routimattomuutta. Sen tulee kantaa maanpäälliset kovat pinnoitteet, estää maanliikkeitä sekä taata riittävän ilmava huokostilavuus antaakseen puille riittävästi tilaa, ilmaa ja vettä kasvaa. Kantava kasvualusta mahdollistaa, ettei katupuille tarvitse enää varata erikseen muusta katurakenteesta erotettua suurta istutuskaistaa. (Krook, Peurasuo & Heini 2005, 8-10.)

Maittain kasvualustojen koostumukset vaihtelevat suuresti, koska eri leveysasteilla sijaitsevilla mailla on erilaiset puustot, ilmastot sekä kallio- ja maaperät. Tästä syystä myös Suomessa on tutkittu omaan ilmastoomme ja maaperäämme sopivia vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Vaikka kokemukset kantavista kasvualustoista ovat vielä vähäisiä, on puiden juurten havaittu menestyvän paremmin kantavissa kasvualustoissa, kuin tiivistyneissä vertailukohteissa, joissa ei ollut käytetty suurempaan kasvutilaan mahdollistavaa kiviainesta. Juurten kokonaispituuden on osoitettu olevan suurempi ja juurten kasvaneen syvemmälle maahan ehkäisten näin ympäröivien rakennekerrosten kohoilua ja pinnoitevaurioita. (Krook ym. 2005, 8-9.) Käytettävien materiaalien koostumus määritellään tavallisesti suunnitelma-asiakirjoissa kantavuus- ja routivuusvaatimusten sekä puulajin ja muiden kasvuolosuhteiden mukaan (InfraRYL 2010, 447).

#### 3.1 Kasvualustan ominaisuudet

Kantavissa kasvualustoissa hienomman maa-aineksen osuus tiivistetystä tilavuudesta on n. 25 - 30 %. Käytettävät materiaalit tulisi määritellä jokaisen rakennuskohteen kantavuus- ja routivuusvaatimusten sekä puulajien vaatimien pääravinteiden, pH-arvon ja muiden kasvuolosuhteiden mukaan. (InfraRYL 2010, 447.) Eri maissa on kokeiltu ja testattu erilaisia kasvualustaseoksia erilaisilla suhteilla. Taulukossa 1 on esimerkkejä eri maiden kasvualustakoostumuksista ja niiden prosentuaalisista osuuksista kantavissa kasvualustoissa.

Taulukko 1. Esimerkkejä eri maiden kasvualusta-aineksista (Krook ym. 2009, 11).

	Hollanti	Saksa	Tanska	USA	Suomi (Viikki)
<b>Kasvu- alusta- aines %</b>	5 %	yläosa 40 %, alaosa 10 %	n. 17 %	n. 17 %	30, 35 (tilavuus- %)
<b>Koostumus</b>	Orgaanista aineesta (4-5 paino- %), savea (2-4 paino- %)	Yläosa: komposti + bentoniitti, alaosa: perliitti + komposti, betoniitti ja lannoitteita	"multaa" (=topsoil)	USDA:n mukaiset ainekset: soraa 5%, hiekkaa 25-30%, hiesua 20-40% ja savea 20-35%. Orgaanista aiesta 2-5%	karkea ja hieno hieta, maatonut saraturve, savi, sora, hiekka, lehtikompositia, kuoriketta, "Metsäpirtin nurmikomulta" (=kompostoitu jätevesiliete, puunkuori ja saraturveseos) juurikkaiden "pesusavea"

### 3.1.1 Kasvualustan ainesosat

Lainsäädännöllisesti kasvualustoilla tarkoitetaan kasvien kasvatukseen tarkoitettuja nestemäisiä tai teknisesti käsiteltyjä kiinteitä lannoitevalmisteita, joihin on voitu lisätä myös muita lannoitevalmisteita (Lannoitevalmistelaki 539/2006 1:4.1,6§). Viherrakentamisessa kasvualusta tarkoittaa niitä kasvillisuusalueen maakerroksia, joihin kasvien juuret kiinnittyvät ja joissa ne kasvavat (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT '11 2011, 46). Vastaavasti kansankielisesti puhutaan usein esimerkiksi vain mullasta, mutta viherrakentamisessa yleisesti käytetyt kasvualustaseokset voivat erota siitä merkittävästi. Kasvualusta voidaan rakentaa parantamalla paikalla olevia maa-aineksia, mutta teollisesti valmistetut kasvualustaseokset ovat nykyisin tyypillisiä. Kasvualustaseokset valmistetaan niiden omilla tuotantopaikoilla ja kuljetetaan käyttökohteisiin suursäkeissä tai kuormina, useimmiten seullottuina. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 70.) Tässä työssä kasvualustaa tarkastellaan nimenomaisesti viherrakentamisen ja kantavien kasvualustojen kontekstista. Viherrakentamisessa voidaan kasvualusta valmistaa käyttötarpeen mukaan käyttämällä tarkoitukseen parhaiten kulloinkin soveltuvia seosaineita ja -suhteita. Runkoaineksena käytetään kivennäisainesta, johon sekoitetaan mahdollisimman pitkälle maatonutta eloperäistä ainesta sekä tarpeen mukaan lannoitteita ja kalkitusaineita. Kulloisenkin yhdistelmän määrittää käyttökohte ja -tarve. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 11, 72-73.)

### 3.1.2 Raaka-aineet

Eloperäiset ainekset, kivennäisainekset ja erilaiset teollisesti valmistetut tuotteet toimivat viherrakentamisessa käytettävien kasvualustojen raaka-aineina (Viheralueiden kasvualustat 2009, 72-73). Eloperäinen aines lisää kasvualustan kykyä pidättää vettä ja ravinteita sekä toimii kasvuravinteiden lähteenä. Hyvin maaton turve tai komposti korvaa siltin tarpeen vedenpidätyksessä sekä lisää kasvualustan kantavuutta. Turpeen tulisi olla tummaa, ts. pitkälle maatonut, jotta maatumisen aiheuttamalta painumiselta vältytään. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 74-76; Soini 2009, 157.) Myös kompostoinnissa tulee suosia pitkälle maatonutta ainetta paitsi tiivistymisen, myös hygienian vuoksi. Niiden pH-arvo on tyypillisesti neutraali tai lievästi emäksinen, kun taas turve on hapan. Kompostin tasalaatuisuudesta ei kuitenkaan ole aina takeita, jolloin siinä saattaa aiheutua vielä maatumista, taudinaiheuttajia, raskasmetalleja tai liiallista ravinnepitoisuutta. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 77.)

Kivennäisainekset ovat raekooltaan pääosaksi hiekkaa tai hietaa ja siinä tulee olla myös tarpeeksi hienoainesta (Soini 2009, 158). Kivennäisaineksen silttipitoisuus ja raekokojakauma määrittävät kasvualustan tiivistymistä, vesitaloutta, kantavuutta ja ravinteiden pidätyskykyä. Kivennäislajitteista karkein on sora ja hienorakenteisin on saves. Erikokoista raetta sisältävät kivennäisaineet tiivistyvät paremmin, kun taas samaa raekokoa oleva aines läpäisee hyvin ja tiivistyy huonommin. Siltin suurempi määrä kasvattaa kasvualustan veden- ja ravinteiden pidätyskykyä. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 72-73.)

Peltoilta oli 80-luvulle asti yleisin viherrakentamisen kasvualusta (Tuhkanen, Juhanaja & Salo 2014, 18). Se on tyypillinen alhaisen vaatimustason materiaali ja soveltuu siten esimerkiksi tiealueiden maisemointiin. Peltoillan ongelmia ovat kivennäismaan ja eloperäisen aineksen osuuden vaihtelevuus sekä sen mahdollisesti sisältämät rikkakasvit. Mikäli tasalaatuisuudesta ja rikkakasvittomuudesta voidaan kuitenkin olla varmoja, ei peltoillan käytölle ole rajoitteita ja se soveltuu useisiin vaativiinkin kohteisiin. Hyödyntäminen edellyttää kuitenkin maa-aineksen tutkimusta ja rikkakasvien hävittämistä esimerkiksi kesannoimalla. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 80-81.)

Kierrätysmateriaalit ovat lisääntyneet nopeaan tahtiin etenkin ammattimaisesti toteutetuissa viherrakentamisen kasvualustoissa. Kierrätysmateriaaliksi voidaan kutsua laajaa kirjoa eri materiaaleja rakentamisen ylijäämämaista, puhdistamolietteiin ja teollisuus- tai yhdyskuntajätteestä teollisesti valmistettuihin aineksiin. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 73.) MTT:n raportissa (2014) Tuhkanen ym. jaottelevat viherrakentamisessa käytettävät jättemateriaalit seuraaviin luokkiin:

- Organiset aineet: biojätekomposti, puhdistamolietekomposti
- Jätteenpolton pohjakuona
- Maa-ainekset: puhdas, muita aineksia sisältävä ja Helsinki-moreeni
- Mineraaliset rakennusjätteet: betoni, tiilet
- Muut jättemateriaalit: lasivilla, vaahtolasi
- Uudet seosmateriaalit: rahkasammal, biohiili

### 3.1.3 Kalkki ja lannoitteet

Kalkitsemisella pyritään nostamaan kasvualustan happamuus- eli pH-arvoa. Viherrakentamisessa käytettäviä kasvualustojen kalkitusaineita ovat jauhettu kalkkikivi, dolomiitti, tuhkat, terästeollisuuden masuunikuona ja metsäteollisuuden meesakalkki. Kalkkikivijauhe ja dolomiittikalkki ovat niistä yleisimmät. Kalkitsemalla nousee myös kasvualustan kalsium- ja magnesiumpitoisuudet, sekä joillain kalkitusaineilla, kuten tuhkillä, myös muut ravinnepitoisuudet. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 86-87.)

Lannoitteilla lisätään kasvualustojen mikrobi- ja ravinnepitoisuuksia. Helposti huuhtoutuvat ravinteet vaikuttavat nopeasti ja ovat heti kasvien käytettävissä. Ne ovat yleensä vesiliukoisessa muodossa. Hitaammin liukenevat orgaaniset lannoitteet vapauttavat ravinteet mikrobitoiminnan seurauksena. Hidasliukoiset mineraalilannoitteet, kuten apatiitti ja biotiitti, vapauttavat ravinteita rapautumalla. Hallitusti liukenevat lannoitteet vapauttavat ravinteita lannoiterakeiden kuoreen syntyvien puoliläpäisevien halkeamien kautta. Käyttämällä kompostejä tai lietettä lannoittamiseen erillistä kalkitsemista tai lannoitusta ei aina tarvita. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 83-85.)

### 3.1.4 Kasvualustojen keskeiset ominaisuudet

Kasvualusta valitaan käyttötarkoituksen perusteella ja sopivuutta sekä laatua voidaan arvioida keskeisimpien mitattavien ominaisuuksien avulla. Sen tulee täyttää kaupankäynnissä sovittujen tavoitteiden, lannoitevalmistelain ja yleisten alan suositusten mukaiset tarpeet. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 70-71.) Yleisesti ottaen kasvualustan valintaan vaikuttavat ominaisuudet voidaan jaotella seuraavasti

- Fysikaalisiin
- Kemiallisiin
- Biologisiin

Fysikaalinen laatu tarkoittaa kasvualustan rakenteellista laatua. Sen ominaisuuksia ovat esimerkiksi raekokojakauma, ominaispinta-ala, vesipitoisuus, veden absorptio, humuksen eli eloperäisen aineksen pitoisuus ja tilavuuspaino. Nämä ominaisuudet vaikuttavat konkreettisesti kasvualustan tiivistymiseen sekä vedenpidätys- ja läpäisykykyyn. Kemiallisella laadulla tarkoitetaan kasvualustan ravinnepitoisuuksia, happamuutta, johtolukuarvoja sekä haitallisten aineiden pitoisuuksia. On yleistä, että nämä arvot muuttuvat ajan kuluessa, joten tuotantohetkellä mitatut luvut eivät välttämättä edusta enää todellisia arvoja käyttöhetkellä. Esimerkiksi typpi muuttaa helposti kemiallista muotoaan, jolloin kasvualustan typpipitoisuus ja johtoluku saattavat muuttua. (Tuhkanen ym. 2014, 9.)

Yhä enemmän huomiota saava ominaisuus, biologinen laatu, tarkoittaa kasvualustan eloperäiseen ainekseen liittyviä tekijöitä. Tällaisia ovat mikrobiologisten eliöiden esiintyminen, aktiivisuus, elinmahdollisuudet sekä eliöiden toiminnan vaikutus kasvualustassa. Toiminnan vaikutus voi kohdistua ravinteiden ja hiilen kiertoon tai kasvitautien esiintymiseen. Biologisilla tekijöillä on suuri vaikutus kasvien kasvuun ja kasvualustan toimivuuteen

eliörikkauden ylläpitäjänä. Koska biologisiin tekijöihin kasvualustassa ei ole aiemmin kohdistunut suurta kiinnostusta viherrakentamisessa, niille ei ole vielä luotu virallisia laatukriteereitä. (Tuhkanen ym. 2014, 9.)

### 3.1.5 Kasvualustan tiiveys

Viherrakentamisessa kasvualustan huokostilavuuden tulisi säilyä mahdollisimman pitkään. Huokostilavuuden pienetessä kasvualusta tiivistyy, painuu ja tilavuuspaino kasvaa. Tiivistyneessä kasvualustassa puun juuriston kasvu heikkenee, se alkaa kärsimään hapenpuutteesta ja vedenläpäisykyky heikkenee oleellisesti. Kasvualusta pysyy keväällä myös pidempään kylmänä ja juuristo pyrkii kasvamaan lähelle maanpintaa. Nämä tekijät heikentävät puun kokonaiskasvua ja elintoimintoja. Viheralueilla ja varsinkin kantavissa kasvualustoissa kasvualustan ominaisuuksia ei voida parantaa joka-vuotisilla maanmuokkauksilla, joten on kiinnitettävä huomiota huokostilavuuden säilyvyyteen. Viheralueita rakennettaessa on vältettävä nopeasti maatuvia aineksia, kuten vaaleaa maatumatonta turvetta tai raakakompositia, sellaisenaan ja maan haitallista tiivistymistä. (Soini 2009, 155.)

Kasvualustan tiheyttä ja samalla sen tiiveyttä ilmaistaan tilavuuspainolla. Kasvualustan ihanteellinen tilavuuspaino on keskimäärin 0,7-1,2 kg/l, mikä tilavuusprosenttina vastaa noin 87 %. Tavallisimmin kasvualustan tilavuuspainon ylittäessä 1,6 kg/l tiheyden, alkaa puiden ja kasvien juuriston kasvu ja toiminta heikentyä. Tilavuuspainon ylittäessä 1,8-2,0 kg/l muodostaa kasvualusta kasvien juurille mekaanisen esteen ja juuriston kasvu voi loppua lähes kokonaan tai kokonaan heikentäen näin puun kasvua ja terveyttä. Kasvualustan ollessa taas tilavuuspainoltaan liian alhainen, maan kantavuus on heikko ja se tiivistyy herkästi. Kantavan kasvualustan hyvä tilavuuspaino on noin 1,4 kg/l. (Soini 2009, 155.)

### 3.2 Kantavan aineksen ominaisuudet

Kantava aines on kantavan kasvualustan kantava tukirakenne. Kantavana aineksena on eri maissa käytetty ja kokeiltu useita eri materiaaleja ja aines-suhteita. Kantavuuden takaaviksi oleellisiksi tekijöiksi on yhteisesti havaittu aineksen kivilaatu, kovuus, muoto sekä rapautumattomuus. Luonnonkivien ominaisuuksista on tarkemmin selitetty liitteessä 1. (Krook ym. 2005, 10.)

Alun perin kantavaa kasvualustaa kehitettäessä Hollannissa, kantavana kasvualustana käytettiin hiekan ja kasvualustan seosta. Pian kuitenkin siirryttiin kokeilemaan karkeampaa kiviainesta lisäämään kantavuutta. Esimerkiksi Tanskassa on päädytty erilaisten kokeilujen jälkeen käyttämään graniittikiviä ja murskattuja graniittikiviä, koska graniitti todettiin kovaksi, se ei rapautunut ja sitä oli helposti ja edullisesti saatavilla. Yhdysvalloissa ollaan myös tarkkoja kivilaadusta, kivien muodosta sekä kulmikkuudesta. Huomattiin myös, että murskattua kiviainesta käytettäessä saavutettiin suurempi tyhjätilavuus kuin luonnonkiviainesta käytettäessä. (Krook ym. 2005, 11-14.) Taulukossa 2 on esitetty eri maiden kiviaineksen osuutta kantavassa kasvualustassa, kiviainesten raekokojakaumaa sekä käytettyjä kivilajeja.

Taulukko 2. Esimerkkejä eri maissa käytetyistä kantavista aineksista (Krook ym. 2005, 11).

	Hollanti	Ruotsi	Saksa	Tanska	USA	Suomi (Viikki)
<b>Kantava rakenne (kiviaines %)</b>	yli 90 %	-	yläosa 60 % (n. puolet kasvualustan paksuudesta), alaosa 90 %	n. 83 (paino- %)	n. 83 (paino- %)	65, 70 (tilavuus- %)
<b>Raekoko (mm)</b>	0,2-0,5	80-120	laavakivi 8-16, hiekka 0-3	80-150, 32-80, 32-45, 32-45, 25-50, 0,2-0,5	12,7-38,1 (= 0,5-1,5 tuumaa)	32-64, 30-120, 64-150
<b>Kivilajit</b>	hiekkä	leca-lohkareet	laavakivi ja hiekka	Kokeiltu: kivi, kivimurske, leca-lohkareet, murskattu laavakivi, murskattu tiili, hiekkaseos. Nykyään yleisimmin graniitti	Murskattu kalkkikivi, sora, "saviliuske" (= a heat expanded slate)	Murske (granodiidiitti, graniitti, kiillegneissi) graniitti, migmatiitti

Tutkimusten mukaan puiden kasvu laavakivi- ja tiilimurskaseoksissa oli ollut myös hyvää tai ainakin yhtä hyvää kuin kiviseoksissakin. Näiden ongelmiksi huomattiin liiallinen rapautuvuus ja murskaantuminen liian hienorakenteiseksi jo asennus- ja tiivistysvaiheessa. Huonoimmat tulokset on saatu hiekkaseoksessa ja Leca-sora -pohjaisessa kasvualustassa. Hiekkaseoksen havaittiin aiheuttavan liikaa painumisongelmia, sekä ylimääräistä salaojitusarvetta kun taas Leca-sora -pohjaisessa kasvualustassa kasvualustan pH-arvo kohosi liikaa Leca-soran sisältämän betonin takia. Suuristakin eroavaisuuksista huolimatta, on erilaisten vaihtoehtojen välillä oltu tyytyväisiä puiden kasvuun. (Krook ym. 2005, 13.)

### 3.3 Kantavan kasvualustan keskeiset ominaisuudet

Kantavan kasvualustan vähimmäiskasvualustapaksuudeksi pidetään riittävänä yhtä metriä ja leveytenä 3 m, kun huolehditaan, että kokonaiskasvualustatilavuudeksi pienillä puilla tulee 6-15 m<sup>3</sup> ja isoilla puilla 15-25 m<sup>3</sup> sekä juuriston hapensaanti on varmistettu (Krook ym. 2005, 8). Aikaisemmin paljon käytettyjen istutuslaatikoiden käytöstä on luovuttu päällystettävillä alueilla, koska istutuslaatikon kasvutilavuus ei ole ollut riittävä täysikasvuisen puun tarpeisiin (Soini 2009, 173). Taulukossa 3 on esitetty eri puutyypin vaatimat vähimmäiskasvualustapaksuudet ja -tilavuudet tiivistyksen jälkeen.

Taulukko 3. Puutyypin tiivistetyt vähimmäiskasvualustapaksuudet- ja tilavuudet. (InfraRYL 2010, 440).

Kasvillisuustyypit	Kasvialustakerrosten paksuus tiivistettynä, mm		Kasvialustan tilavuus, m <sup>3</sup>	Yksittäispuun istutuskupan mitat, mm
Istutusalue	Perusmaa	Vettä pidättävä kerros (karkeilla alustoilla)		
Pienet puistopuut	600	100...200	1,5 *	1500 x 1500*
Suuret puistopuut	800	100...200	3,2*	2000 x 2000*
Katupuut**	800	100...200	7,2*	3000 x 3000*
Pienet puut rajoitetussa kasvialustassa	1000		15	
Suuret puut rajoitetussa kasvialustassa	1000		25	

\* Kasvialusta on yhteydessä muun kasvillisuuden kasvialustaan, jonka vähimmäispaksuus on 400mm. Tällöin pienillä puilla on käytössä kasvialustaa kokonaisuudessa 15m<sup>3</sup> ja suurilla puilla 25m<sup>3</sup>.

\*\* Välikaistoilla rakennetaan kaistan levyinen koko kaistan pituudelta jatkuva kasvialusta.

Katualueita suunniteltaessa tulisi katupuiden ja kantavien kasvialustojen vaatimat alueet huomioida ja pitää erillään kartoitetuista vesihuolto- ja kaapeliverkostoista. Johtojen kunnossapitosyistä joudutaan johtoja kaivamaan esiin ja tällöin saatetaan vahingoittaa myös puiden juuria. (Krook ym. 2005, 9.)

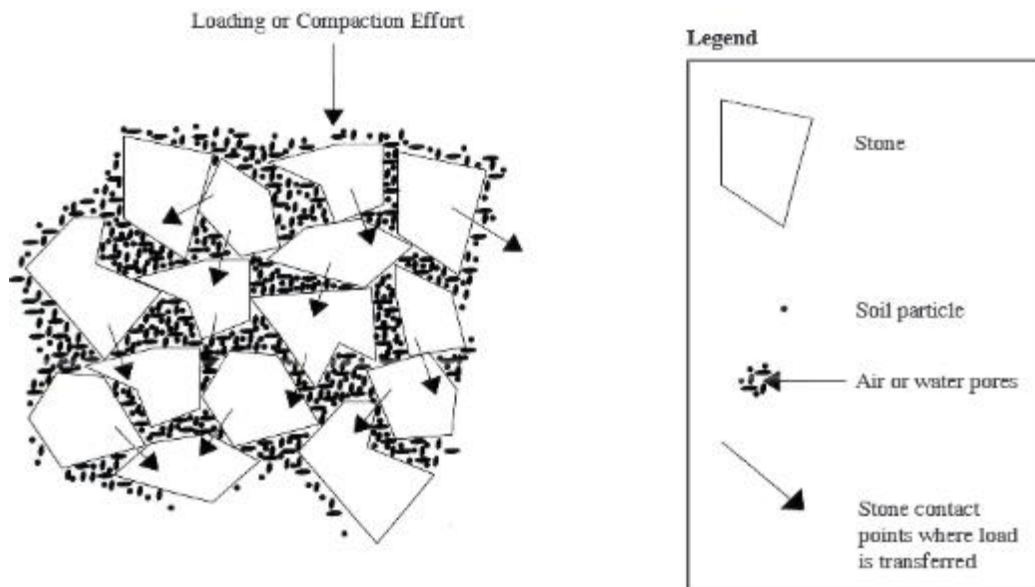
### 3.3.1 Tiiveys ja huokoisuus

Liian tiivistyneessä kasvialustassa juurten hapensaanti ja tunkeutuminen kasvialustaan vaikeutuu. Kasvialustan tiivistyminen riippuu suuresti kasvialustan raekokojakaumasta, rakeiden muodosta ja kivennäismaa-aineksen ja eloperäisen aineksen suhteesta. Huolellisella kasvialustan valmistuksella ja kasvialusta valinalla on suuri merkitys tiivistymisen ehkäisyssä. Liiallista tiivistymistä voidaan ennalta ehkäistä myös kasvialustarakenteilla, liikenteen vähentämisellä sekä sadetuksen määrällä. Kasvillisuuden kannalta selviä ongelmia on rakentamisen aikainen kasvialustojen tiivistävä raskas liikenne sekä kasvialustojen levityksen yhteydessä tapahtuva tiivistyminen. Myös liika vesi kasvialustassa heikentää juuristoa ja edistää liikkumisesta aiheutuvaa tiivistysvaikutusta.

Yleensä kasvialustat eivät vaadi tiivistämistä erikseen vaan kasvialustan levityksen ja istutustöiden aikana tapahtuva tiivistyminen riittää. On kuitenkin kasvialustoja, jotka sen sijaan vaativat kunnollista tiivistämistä erikseen. Huolellista tiivistämistä vaativia kohteita ovat golf-kentät, aktiivisessa käytössä olevien urheilunurmet sekä kantavat kasvialustat. (Viheralueiden kasvialustat 2009, 113.)

Tarvittavan tiivistymisen onnistumiseen vaikuttaa kasvualustan koostumus, tiivistykseen käytettävä kalusto sekä kasvualustan kosteuspitoisuus. Tavallisesti käytettävän materiaalin raekokojakauma tulisi olla sekarakeista tai suhteistunutta materiaalia, koska tasarakeisen materiaalin tiivistäminen on vaikeaa. Ylitiivistämistä on varottava, koska rakenteesta saattaa tulla, eloperäistä ainesta käytettäessä, kasvuolosuhteiden kannalta liian tiivistä. Liian löyhäksi jäänyt maa-alue painuu kun taas liian tiiviiksi jyrätty alue aiheuttaa kasvuongelmia. Tiivistystyötä voidaan seurata esimerkiksi vedenläpäisy-mittauksilla ja Loadman-pudotuspainolaitteistolla tehdyillä kantavuusmittauksilla. (Viheralueiden kasvualustat 2009, 113-114.)

Kantava kasvualusta poikkeaa tästä. Tiivistäminen perustuu kasvualustan suurikokoisten kivien tiivistämiseen toisiaan vastaan ja kivien väleihin muodostuviin ilmaviin ja löyhiin huokostiloihin, eikä itse kasvualusta-aineksen tiivistämiseen. Kantavasta kasvualustasta saadaan tiivistämisen jälkeen kantava, mutta ei liian tiivis. Kuvassa 1 on havainnollistettu kivien painuminen ja panon jakautuminen toisiaan vasten jättäen kivien väleihin tilaa kasvualustamassalle, ilmalle, vedelle sekä puun juuristolle.



Kuva 1. Kantavan kasvualustan kivien, maapartikkelien, ilma- ja vesihuokosten sekä kivien painon jakautumisen havainnollistava kuva (Bassuk, N., Grabosky, J. & Trowbridge, P. 2005, 2).

### 3.3.2 Kantavuus

Kantavuuden määrittely on lähtöisin geotekniikasta. Geoteknisesti kantavuus tarkoittaa maapohjan kykyä kestää staattinen kuorma ilman murtumista, toisin sanoen sitä pohjapainetta, jolla saavutetaan riittävä varmuus maapohjan murtumattomuudesta ja painumien pysymisestä annettujen rajojen puitteissa. Geotekninen kantavuus tarkoittaa siten erilaisten rakenteiden mitoituksessa käytettävää lujuusarvoa. (Huhtala 1980, 6; Alkio, Juvankoski, Korkiala-Tanttu, Laaksonen, Laukkanen, Petäjä, Pihlajamäki & Spoof 2001, 2; Piippo, Belt & Ehrola, 1990, 2.)



Rakennusteknisesti kantavuus käsitetään koko rakenteen kykynä vastustaa muodonmuutosta kuormitettaessa rakennetta. Kantavuus ilmaistaan usein tietyn kuorman aiheuttamana taipumana sekä E-moduulina, joka ilmaisee koko rakenteen näennäisen kimmokertoimen. (Huhtala 1980, 6.) Tutkimusten mukaan kestävyys vaikuttaa maksimikuormaa enemmän lähinnä kuormitusten lukumäärä. Siten etenkin tierakenteissa on siirrytty kantavuudesta kestävyys tai kestoajan käsitteeseen. (Piippo ym. 1990, 2.)

Kantavalta kasvualustalta vaaditaan samat kantavuusvaatimukset, kuin muilta ympäröiviltä rakennekerroksilta. Taulukossa 4 on esitetty eri katu-  
luokat sekä niiden asettamat kantavuusvaatimukset. Tarkemmat rakennekerrosten kantavuusvaatimukset katuluokittain löytyvät liitteestä 4.

Taulukko 4. Katuluokat, kantavuusvaatimukset katuluokittain (päällysteen päältä) sekä liikennemäärät (InfraRYL 2010, 526-527).

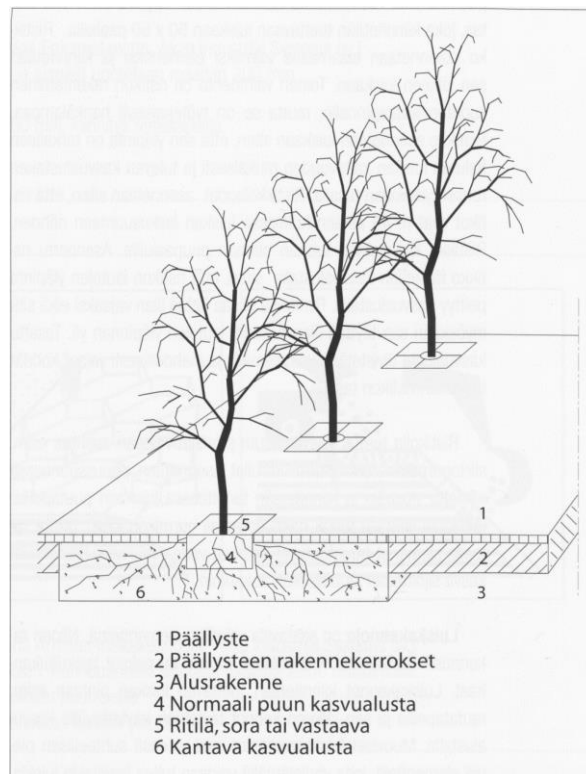
Katu- luokka	Kantavuus- vaatimus, MN/m <sup>2</sup>	Kuvaus	Liikennemäärä, ajoneuv./vrk
1	500	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokastoja 2+2)	> 30 000
2	420	Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	10...30 000
3	350	Pääkatu, kokoojakatu tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (ajokaistoja 1+1)	2 500...10 000
4	250	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	500...2 500
5	200	Pientaloalueen asuntokatu, huoltoliikenteen väylät, henkilöautojen pysäköintialueet	10...500
6	175	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet; ei ajoneuvoliikennettä.	

Odemarkin perinteiseen mitoitusmenetelmään perustuvassa menetelmässä on käytössä kokemusperäiset tavoitekantavuudet, jossa käytetään routa- ja kantavuusmitoitusta. Eri rakennekerrosten määräävänä tekijänä on kantavuusmitoitusta sekä routamitoitus, joka perustuu paikkakunnalla kerran kymmenessä vuodessa ylittyvään arvoon. Lähtökohtana pidetään tavoitekantavuutta, jonka määrää kuormituskertaluku. Se määritetään mitoitusajanjakson, raskaan liikenteen määrän sekä tien leveyden perusteella. Sen heikkoutena pidetään sitä, ettei se huomioi liikennekuormituksen aiheuttamia muodonmuutoksia ja jännityksiä rakenteen eri osissa. Tämän lisäksi menetelmä ei huomioi eri materiaalien väsymiskestävyys eroja ja ominaisuuksien olosuhteiden mukaista vaihtelua. (Tiehallinto 2002, 18.)

### 3.4 Rakenne

Viikissä suoritetun kantavien kasvualustojen koekatuprojektin saatujen tutkimustulosten mukaan kantavan kasvualustan kiviaineksen rakeisuuskäyrän tulee olla jyrkkä. Kiviaineksen tulee olla mahdollisimman samankokoista ja lajittumatonta. Puiden istutuskuopissa käytetään normaalia puiden kasvualustamateriaalia.

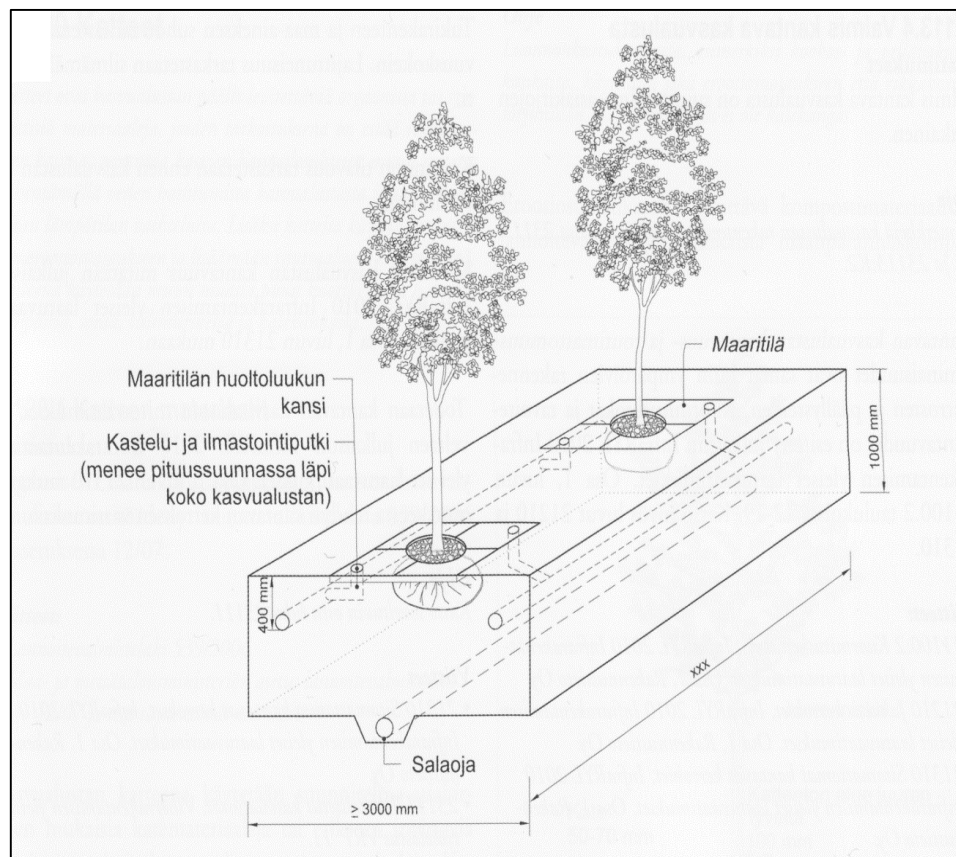
Kuvassa 2 on kantavan kasvualustan havainnemalli. Kuvassa puut on istutettu sidotulla päällysteellä katettuun alueeseen. Puiden tyvialue on jätetty päällystämättä ja täytetty suojaritilällä, soralla, katteella tai vastaavalla. Itsessään puut on istutettu normaaliin kasvualustaan, mutta juurten kasvualusta on oleellisesti laajennettu kantavan kasvualustan avulla päällysteen alla. Kantavalla kasvualustalla on merkittävä tehtävä paitsi kantavana rakenteena, myös puun juuriston, ravinteidenhankinnan ja terveyden kannalta. (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 54.)



Kuva 2. Kantavan kasvualustan havainnemalli (Soini 2009, 173).

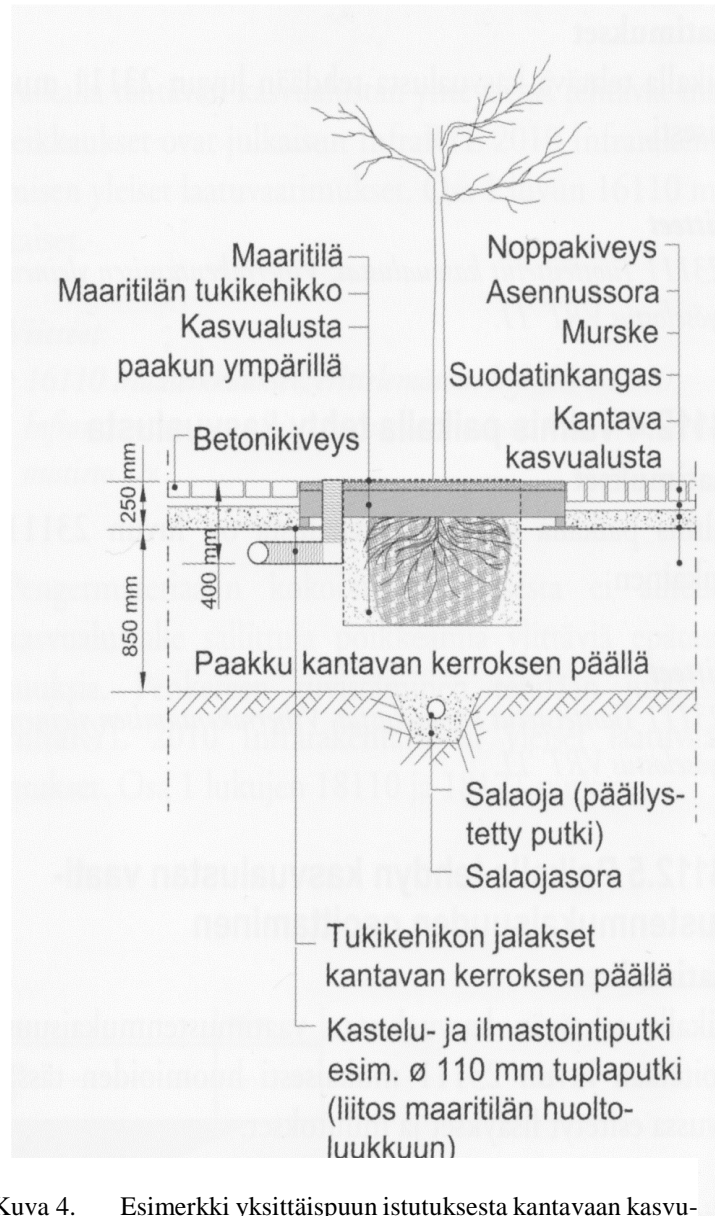
Kantavan kasvualustan tilavuudesta tulisi tiivistyksen jälkeen olla 65-75 % karkeampaa tukirakennetta eli kiviainesta ja 25-30 % hienompaa maa-ainesta. Yleensä käytettävien materiaalien koostumus määritellään kantavuus- ja routivuusvaatimusten sekä puulajin ja muiden kasvuolosuhteiden mukaan suunnitelma-asiakirjoissa. (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 54.)

Kasvualustaan tulee asentaa ilmastointi- ja kastelujärjestelmät, jos päällysrakenne ei läpäise riittävän tehokkaasti vettä, happea ja hiilidioksidia. Kantavien kasvualustojen kastelu- ja ilmastointijärjestelminä voidaan käyttää salaojaputkea joka on 2- tai 3- kerroksista, halkaisijaltaan 110mm:n PEH-putkea. (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 54-55.) Kuvassa 3 on havainnollistettu ilmastointi- ja kasteluputkien kulkeminen kantavassa kasvualustassa. Ilmastointi- ja kasteluputkien on tarkoitus kulkea koko matkalta yhtenäisten kantavien kasvualustojen lävitse sidottujen päällysteiden alla. Kasteluputket nostetaan pintaan puiden maaritilöiden huoltoluukkuihin ja ilmastointiputket kiveykseen asennettaviin PEH-ritiläputkiin.



Kuva 3. Esimerkki puiden yhtenäisestä kantavasta kasvualustasta (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 55).

Kuvassa 4 on tarkempi esimerkki yksittäispuun istutuksesta kantavaan kasvualustaan. Päällysteeseen on jätetty tulevan maaritilän mukainen ja kokoinen aukko, jonka kautta puu saadaan istutettua maahan. Puun kuoppa on täytetty tavallisella kasvialustaseoksella, mutta kuoppa alta ja sivuilta on kantavan kasvialustan tukemaa. Maaritilöissä tavallisimmin, mallista riippumatta, on reikä ilma- ja vesiputkia varten ns. huoltoluukut. Kantavaan kasvialustaan asennetut putket pyritään tähtäämään huoltoluukkuihin maan pinnalle tuotaessa. Kaivannon pohjalle kaivetaan myös uoma salaojitusta varten.



Kuva 4. Esimerkki yksittäispuun istutuksesta kantavaan kasvualustaan (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 54).

### 3.5 Kantavan kasvualustan rakentaminen

Kantavien kasvualustojen on tarkoitus olla useamman puun yhdistävä n. 1 m paksuinen ja 3 m leveä kasvialustapeti, joten kaivanto kaivetaan koko pituudelta ja leveydeltä suunnitelmien mukaisesti. Kasvialustan vähimmäiskoot on lueteltu kohdassa 3.1 Keskeiset ominaisuudet. Kaivannon pohjalle kaivetaan ura salaojitukselle, johon asennetaan salaojaputki ja salaojasora havainnekuvien 3 ja 4 mukaisesti ennen kantavan kasvialustan levitystä. Kaivannon pohja salaojan päältä vuorataan suodatinkankaalla. Kaivantoa kaivettaessa on myös huomioitava työturvallisuus ja jalankulku. Kaivanto luokitellaan syväksi kaivannoksi sen ollessa yli 70 cm syvä ja vaatii työn kestosta riippuen riittävän suojauksen. (Väätänen 2015, 29.)

#### 3.5.1 Massan levitys, kastelu ja tiivistäminen

Rakennettaessa kantavaa kasvialustaa on ennen valmismassan levitystä varmistettava seoksen tasalaatuisuus. Rakennustavasta riippuen, suunnitelmien mukainen kasvialusta levitetään erityisellä huolellisuudella, 30 cm:n kerroksina välillä tiivistäen. Näin voidaan todella varmistaa kasvialustan kantavuus mahdollisesti raskaankin ajoneuvoliikenteen alla. Kantavissa kasvialustoissa erillistä kasvialustan tukemista ei tarvita kadun rakennekerrosten sortumisen estämiseksi, vaan kantava kasvialusta toimii itsessään ympäröivien rakennekerrosten tukijana. (Viheralueiden kasvialustat 2009, 113-114.)

Rakennettaessa kantavaa kasvialustaa, kerrostaen ensin louhe ja tämän jälkeen kasvialustamassa, tulee louhe kerrosten olla myös 30 cm paksuisia. Kasvialustaa levitetään suunnitelmien mukainen määrä louhoksen päälle, joka voidaan tarvittaessa tasoittaa haravoimalla, jolloin kasvialustaseos saadaan veden avulla valutettua louhoksen väleihin helpommin. Vettä on hyvä valuttaa paineella, jolloin se rikkoo ja läpäisee kasvialustan muodostaman pinnan paremmin. Vettä ei tulisi valuttaa liikaa. Jos salaojitus ei pysty ohjaamaan vettä tarpeeksi nopeasti pois, vesi voi muodostaa kaivannosta altaan ja kasvialusta voi lajittua liikaa. Tiivistys voidaan tehdä ennen kasvialustan levitystä pelkästään louhokselle tai kasvialustan levityksen ja kastelun jälkeen ohjeistuksesta ja valitusta rakennustavasta riippuen.

Viikissä tehtyjen tutkimusten mukaan kiviaineksen raekooksi voidaan suositella 64-150 mm. Kiviaineksen väliin jäävää tyhjää tilaa ei tule pyrkiä täyttämään kasvialusta-aineksella kokonaan, vaan enintään 95 % siitä. Kasvialusta-aineksen huokoisuuden suositellaan olevan noin 10 %, jolloin siinä voidaan katsoa olevan riittävästi ilmatilaa juurten kasvu varten. (Krook ym. 2005, 44.)

Maarakentamisessa tiivistystyö ja sen oikea toteuttaminen ovat ratkaisevan tärkeitä rakennusvaiheita, kun halutaan kantavia ja kestäviä rakennekerroksia. Tiivistykseen vaikuttavat muun muassa tärylevyn tai jyrän paino, jyränsnopeus sekä jyräskerrat. Tiivistystyössä tapahtuneet virheet näkyvät rakenteiden painumisena ja vioittumisena. Tiivistettävien maa-ainesten tilavuuspaino kasvaa huokostilavuuden pienentyessä. Painon ja tiivistyksen

seurauksena ilman täyttämät suuremmat huokokset puristuvat kasaan ja maa-  
rakeet kiilaantuvat lähemmäksi toisiaan. (Soini 2009, 110.) Kantava kasvu-  
alusta poikkeaa tästä siten, että tarkoituksena ei ole puristaa kasvualustan  
huokosia kasaan vaan painaa vain louhoksen kivet tiiviiksi ja kantavaksi  
toisiaan vasten jättäen kivien väliin vaadittua huokostilaa (katso kuva 1).

### 3.5.2 Putkien asentaminen

Kastelu- ja ilmastointiputket asennetaan kuvan 3 mukaisesti kantavaan kasvu-  
alustaan esimerkiksi 110 mm 2- tai 3- kerrospotkella salaojasepeli-kerrok-  
seen. Liitokset maaritilojen huoltoluukkuihin voidaan tehdä soviteosilla  
kuten haara- ja kulmayhteillä. (InfraRYL 2010, 448.) Putkien asentamisesta  
kohdassa 3.2 Rakenne.

### 3.5.3 Eri toteutustapoja

Kasvualustat voidaan toteuttaa muun muassa Tanskan tutkimilla kolmella  
eri tavalla. Tavassa yksi käytetään valmista kantavaa kasvualustaseos, joka  
tuodaan muualta ja asennetaan, tavassa kaksi kasvualusta-ainekset sekoite-  
taan kiviaineksen joukkoon veden avulla asennuksen aikana ja kolmannessa  
tavassa kasvualusta-ainekset kuiva sekoitetaan kivien väleihin asennuksen  
aikana. Täyttö ja tiivistys tapahtuvat kerroksittain. Nykyisin käytetään eni-  
ten menetelmää 1 muun muassa sen nopeuden ja helppouden takia. (Krook  
ym. 2005, 14.)

#### **Tapa 1. Valmis seos**

Valmis kasvualustaseos levitetään hyvän tiiveyden saavuttamiseksi 250-  
300 mm paksuisiksi kerroksiksi kaivantoon ja tiivistetään muiden ympä-  
röivien päällysrakenteiden tiiveyteen (Soini 2009, 173). Kantava kasvualus-  
taseos voidaan sekoittaa itse paikan päällä kauhakuormainta apuna käyttäen  
tai se voidaan tilata ulkopuoliselta palveluntuottajalta valmiiksi sekoitettuna  
ennen sen tuontia ja levitystä kohteessa. Seoksen sekaan suositellaan myös  
veden lisäämistä ”liimaamaan” maaperää ja kiviä yhteen. Tässä asennusta-  
vassa pienemmät kivet ovat parempia sekoittumaan kuin isot kivet. Huo-  
nona puolena valmiin seoksen käytössä on kuitenkin ilmennyt sen liika la-  
jittuminen kuljetus vaiheessa. On myös riski, että kivi- ja kasvualusta-ai-  
nekset erottuvat myös levitysvaiheessa toisistaan. (NUFU Load bearing  
soils 2000.)

#### **Tapa 2. Kantavankasvualustan rakentaminen veden avulla**

Kantava kiviaines levitetään kaivantoon 150-300 mm paksuisiin kerroksiin  
ja tiivistetään huolellisesti, jonka jälkeen kivien päälle levitetään koostu-  
mukseltaan suunnitelman mukainen kasvualustaseos. Tämän jälkeen kasvu-  
alusta valutetaan veden avulla kivien väleihin ja onkaloihin. Etuna tässä  
menetelmässä on, että kasvualusta pysyy tiivistämättömänä kivionteloiden  
välissä. Suuret kivet ovat yleensä sopivimpia tässä asennustavassa. Ongel-  
mana tässä tavassa on, että kasvualusta voi erottua ja lajittua kivikerrok-  
sissa. Tämä ongelma ei kuitenkaan ole koskaan ollut merkittävä Tanskan  
tekemissä tutkimuksissa. (NUFU Load bearing soils 2000.)

### **Tapa 3. Kasvualusta aineksen kuivasekoitus kivien väleihin**

Kantava kiviaines sekoitetaan 150-300 mm paksuisiksi kerroksiksi. Kivien välit ja ontelot täytetään kuivalla kasvialustaseoksella lakaisemalla ja tiivistämiskoneen tärinän avulla. Kivi- kasvualusta aineksen on oltava täysin kuivaa ja käytettävän kiviaineksen koko oltava vähintään 80 mm läpimitaltaan. (NUFU Load bearing soils 2000.)

#### 3.6 Laatuvaatimukset

Ennen kasvialustan levittämistä, vastaanotettu materiaali tulee tarkastaa ja sen tulee vastata suunnitelmia ja vaatimuksia. Maa-aineksen ja tukirakenteen suhde tarkastetaan tilavuuskokein ja lajittuneisuus voidaan arvioida silmä määräisesti. (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 56.)

Kantavia kasvialustoja rakennettaessa tiiveys- ja tasaisuusvaatimukset ovat samat, kuin katurakenteiden kantavilla kerroksilla ja kantavuus- ja routivuusominaisuudet tulee olla samat kuin ympäröivien rakennekerrosten ja päällysteiden (InfraRYL 2010, 447-448). Kantavia kasvialustoja rakennettaessa noudatetaan InfraRYL 2010 kantaville kerroksille asetettuja kuormitusluokkia ja tavoitekantavuuksia. Valmiin kantavan kasvialustan pinnan suurin sallittu korkeuspoikkeama suunnitelma-asiakirjojen mukaisesta korkeudesta on 20 mm ja suunnitelma-asiakirjojen mukainen paksuus saa alitua enintään 20 mm. Kuormitusluokat ja tavoitekantavuudet on esitetty InfraRYL 2010 mukaisissa taulukoissa liitteessä 4. (Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT'11 2011, 56.)

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

Tämä harjoitustyö on metodologisesti soveltava tutkimus. Viitekehyksenä työssä on kahden eri rakennusmenetelmän vertailu, joka perustuu seuraaviin osa-alueisiin:

- Tekninen soveltuvuus
  - Kantavuus
  - Tiiveys
- Resurssikäyttö
  - Ajankäyttö
  - Kustannukset

Työ toteutettiin käytännössä kahden menetelmän soveltamisena oikeaan rakennuskohteeseen Vantaan kaupungin alueella. Teknisen soveltuvuuden arviointiin käytettiin Loadman-painonpudotuslaitetta. Tulokset dokumentoitiin samanaikaisesti työtä suoritettaessa. Kustannukset perustuvat työntekijöiden osalta havainnoituun ajankäyttöön ja laskentatoimesta saatuihin keskimääräisiin työkustannuksiin. Muut kustannukset on määritetty laskutettujen kustannusten perusteella.

#### 4.1 LOADMAN-pudotuspainolaite

Kevyt Loadman-pudotuspainolaite (kuva 5) on tarkoitettu kaikenlaisille rakennustyömaille kantavuusmittauksiin sekä tiivistyksen tarkkailuun sidotuilla ja sitomattomilla kerroksilla. Sitä voidaan käyttää muun muassa kaduilla, teillä, talonrakennustyömailla, kaivannoissa ja urheilukentillä. Laite mahdollistaa kantavuus- ja tiivistysmittauksia sellaisissakin kohteissa, jotka asettavat rajoituksia käytettävän mittauslaitteen koolle. (AL-Engineering Oy 2015.)



Kuva 5. Loadman-pudotuspainolaite.  
(AL-Engineering Oy 2015.)

Loadman-laite itsessään painaa 16 kg ja sen sisäinen pudotuspaino painaa 10 kg. Pienemmän kuormituksen vuoksi vaikutussyvyys on pienempi kuin esimerkiksi levynkuormituslaitteella. (AL-Engineering Oy 2015.) Laitteella mitattaessa syvyysvaikutus riippuu laitteen pohjalevyn halkaisijasta. Laitteen oman pohjan halkaisija on 132 mm ja syvyysvaikutus on noin 0,2 - 0,3 m ja lisälevyn halkaisija on 300 mm (kuva 6) ja syvyysvaikutus on noin 0,4 – 0,6 m. Laitetta voidaan tavallisesti käyttää ilman lisälevyä, jos mitattavan kerroksen kantavuus on yli 25 MPa. (Hakala 2009, 36.)



Kuva 6. 300mm lisälevy.



Laitteella mitataan laitteen sisällä olevan painon pudottamisen aiheuttamaa painaamaa kiihtyvyydestä integroimalla. Painon aiheuttama kuormitus mitataan kiihtyvyyssanturilla ja laite muuttaa kiihtyvyyssarvon taipumaksi. Taipuma-arvon perusteella laitteen prosessori taas laskee E-moduulin. (Hakala 2009, 35.) Loadman-laitetta ei voida käyttää luotettavasti katu-, tie- ym. rakenteiden kokonaiskantavuuksien mittaamiseen, vaan siihen suositellaan käytettäväksi muita raskaita pudotuspainolaitteita tai levykuormituslaitteita (AL-Engineering Oy 2015).

Moduulin arvon laskentakaava:  $E = (1.5pa)/s$

$E$  = jäykkyysmoduuli       $\text{MN/m}^2$

$p$  = kuormitus       $\text{MN/m}^2$

$a$  = kuormituslevyysäde       $\text{mm}$

$s$  = taipuma       $\text{mm}$

Loadman-pudotuspainolaite antaa tutkimusten mukaan sitomattomilla kerroksilla lähes vastaavia tuloksia levykuormituskokeiden kanssa. Luotettavan tuloksen saamiseksi laitteella on tehtävä vähintään 3-5 mittausta samassa pisteessä, koska rakennekerros tiivistyy aina ensimmäisten mittausten aikana. (Hakala 2009, 36.) Parannetun Proctor-kokeen ja kevyen pudotuspainolaitteen tehtyjen kokeiden ohjeellinen vastaavuus pohjalevyn halkaisijan mukaan on esitetty taulukossa 5. (AL-Engineering Oy 2015.)

Taulukko 5. Loadman-tulosten vertailu Troxler / Proctor -tiiveys prosenttiin. (Loadman -käyttöohjeet, 2015.)

Loadman:lla mitattu tiiveyssuhde		Tiiveysprosentti
Pohjalevy 132 mm	Pohjalevy 300 mm	
1.0	1.0	100
2.2	1.6	97
2.5	1.7	95
2.8	1.9	92
2.9	2.0	90
3.0	2.1	87

## 4.2 Kantavuus- ja tiiveysmittaukset

Maanrakentamisessa käytetään yleisesti epäsuoria mittausten menetelmiä, joissa rakenteen tiiveyttä tarkastellaan sen kantavuuden perusteella. Yleensä kivirakenteet ovat tällöin niin suuria, että suorilla menetelmillä ei voida saavuttaa riittävän luotettavia tuloksia. Saavuttaessaan suunnitellun kantavuuden maan rakenteen katsotaan yleensä olevan myös riittävän tiivis. Kantavuusmittauksia voidaan tehdä kenttäolosuhteissa levynkuormituslaitteistolla sekä kevyillä ja raskailla pudotuspainolaitteilla. Suurempiin tarkkuuksiin päästäkseen on mittaukset suoritettava laboratorio-olosuhteissa. (Ehrola 1996, 202-204.) Nykyisin on jossain määrin käytössä myös itsemittaavia jyriä, jolloin mittauksesta saadaan jatkuvaa ja koko alueen kattavaa.

Tiiveysvaatimus kantavilla kasvualustoilla on sama kuin katurakenteiden kantavilla kerroksella ja niiden tulisi olla keskimäärin 97 % ja pienin yksittäinen koetulos 92 %. Tämä tarkoittaa kevyellä Loadman-pudotuspainolaitteella mitattaessa ja 132 mm pohjalevyä käytettäessä, että E2/E1 tulos on 2.2 ja pienin yksittäinen koetulos 2.8. 300 mm pohjalevyä käytettäessä E2/E1 tulos on 1.6 ja pienin sallittu koetulos 1.9. Kantavuusarvojen suhde ( $E_{\max}/E_1$ ) saa olla enintään 1,6 (pohjalevy  $\varnothing$  300 mm), paitsi silloin, kun E1 arvo on jo vähintään 50 % vaaditus 156 kantavuusarvosta. (KT 02, 80.)

Pohjamaan luokitus alueella on E routiva hiekkamoreeni (katso Liite 4/6) ja päällysrakenteen kokonaispaksuus jää alle 0,79 m. Kantavan rakenteen tavoitekantavuus kerrosten päältä on liitteen 4/6 taulukosta pääteltynä 156 MN/m<sup>2</sup>. (InfraRYL 2010, 533.) Kantavan kerroksen pienimmät yksittäiset kantavuusarvot saavat jäädä enintään 30 % näiden tavoitekantavuusarvojen alle. Tällöin minimi kantavuusvaatimus on 109 MN/m<sup>2</sup> (KT 02, 80). Taulukossa 6 on tiiveys- ja kantavuusvaatimukset toteutuskohteen mukaisesti.

Taulukko 6. Toteutuskohteen kantavan kerroksen tiiveys- ja kantavuusvaatimukset

		Laatuluokka	
		1	2
Pienin sallittu yksittäinen tiiveysaste (parannettu Proctor-koee)	%	≥ 97	≥ 92
Pienin sallittu yksittäinen kantavuusarvo	MN/m <sup>2</sup>	≥ 156	≥ 109
Tiiveyssuhde (pudotuspainolaite $\varnothing$ 300 mm)	$E_{\max}/E_1$	≤ 1,6	≤ 1,9

## 4.3 Kustannusvertailu ja ajankäyttö

Kustannusvertailu suoritetaan yksinkertaisella suorien kustannusten kirjausmenetelmällä. Kustannuksissa otetaan huomioon Vantaan kaupungin työntekijöiden määrä ja työskentelyaika, ulkopuolisesta kuorma-autosta aiheutuvat kustannukset, luiskakoneesta aiheutuvat kustannukset sekä käytettävien kantavien kasvualustamateriaalien kustannukset. Epäsuorat kustannukset ovat pääosaksi valitusta rakennustavasta riippumattomat, joten ne on jätetty tässä vertailussa erittelemättä. Ajankäytön seuranta perustui yksinkertaiseen havainnointiin ja sen dokumentointiin.

Aineisto kerättiin rakennuskohteissa mittaamalla. Työhön liittyvät kustannukset perustuvat yksinkertaiseen käytetyn työajan mittaamiseen ja niiden kertomiseen aikamääräisellä kustannuksella. Työkoneisiin liittyvät työt kaupunki ostaa urakoitsijoilta tai ulkoisilta yrityksiltä, joten tuntikustannus on laskutettu tuntiveloitushinta. Viherrakentajat ovat kaupungin työntekijöitä, joiden tuntikustannukseksi on käytetty keskimääräistä tuntikustannusta. Materiaalien käyttö mitattiin rakennuskohteisiin haettaessa. Niiden veloitus perustuu toimitettuihin kuutioihin ja niiden painoon perustuviin tonnihintoihin.

Toteutetut rakennuskohteet eivät olleet samankokoisia. Kustannusvertailun mahdollistamiseksi kokonaishinnan lisäksi on laskettu neliöhinta, joka on saatu jakamalla rakennuskohteen kokonaishinta pinta-alalla.

## 5 RAKENNUSKOHTEN TOTEUTTAMINEN

Rakennuskohteet sijaitsivat Kivistössä, Vanhalla Nurmijärventiellä Tikkurilantie ja Sarvivälkkeentie välisellä tieosuudella. Työt toteutettiin kävelykadun ja ajoradan välisille viherkaistoille puu- sekä pensasistutusten alle. Kantavan kasvualustan päälle ei tullut kiveys- tai asfalttipäällystystä. Tästä syystä tutkittavalle alueelle ei myöskään tullut kastelu- tai ilmastointijärjestelmiä, eikä erillistä salaajitusta. Tutkimuksessa keskitytään valmismassan ja itse kerrostamalla ja kastelemalla toteutettujen kantavien kasvualustojen käyttötapoihin, työaikoihin, kantavuus- ja tiiveys mittauksiin sekä kustannuksiin ja näiden eroavaisuuksiin. Työhön osallistui kaksi Vantaan kaupungin työntekijää ja ulkopuolisilta palveluntarjoajilta pyöräalustainen Gradall-luiskakone ja 4 akselinen sivukaadollinen kuorma-auto. Liitteessä 6 on suunnitelmapiirustus alueesta, johon on osoitettu 1) valmismassalla toteutettu koealue ja sen 10 mittauspistekohtaa ja 2) itse kerrostamalla ja kastelemalla toteutettu kantavan kasvualustan koealue ja sen 4 mittauspistekohtaa. Kussakin mittauspisteessä mittaukset suoritettiin kahteen rakennettuun kerrokseen.



Kuva 7. Rakennuskohde. Kivistö, Vanha Nurmijärventie.

### 5.1 Valmismassalla rakentaminen

Ensimmäinen koeosuus sijaitsi Vanhalla Nurmijärventiellä Tikkurilantie - Sarvivälkkeentie välillä oikealla (Katso liite 6, koealue 1). Tässä koealueessa toteutustapana oli valmiilla kantavalla kasvialustamassalla rakentaminen. Valmismassana käytettiin Kekkilän Kantava Kasvialusta PLUS-valmista kantavaa kasvialustamassaa. Tarkempi tuoteseloste Kekkilän kantavasta kasvialustasta liitteessä 3.

#### 5.1.1 Mitoitus ja perustustyöt

Suunnitelmasta poiketen kasvialustan leveydeksi kaivettiin vain noin 2 m leveä kaivanto. Viherkaistojen kantavien kasvialustojen olisi kuulunut olla suunnitelmien mukaan 3,5 m ja ulottua reunoistaan asfaltin sekä kiveysten alle. Kasvialustaa ei voitu toteuttaa sen vaatimassa leveydessä, koska viereinen asfaltoitu kävely- ja pyörätie oli jo tehty. Myöskään reunaan tulevien kiveysten alle ei kasvialustaa voitu rakentaa, koska tien ja reunakivien tukirakenteita ei voitu rikkoa.

Syvyydeksi tuli noin 0,9-1 m, josta kantavan kasvialustan osuus oli noin 0,6 m ja päälle tulevan mulla osuus noin 0,3-0,4 m. Suunnitelmassa altaiden pituus yhteensä oli noin 90 metriä, mutta kunkin valopylvään kohdalta jätettiin kaivamatta noin 5 metrin matkalta. Kokonais pituudeksi tämän jälkeen jäi noin 80 metriä. Pohjamaa kaivettavalla alueella oli hienoa hiekkamoreenia jonka kantavuusluokitukseksi on InfraRYL 2010 mukaisesti annettu 35-70 MN/m<sup>2</sup>. Altaita kaivettaessa jouduttiin varomaan kaapeliputkia, koska olemassa olevien kaapelilinjojen tarkoista sijainneista ei tiedetty varmasti. Kaivuutyötä hidasti myös viereisten teiden takia valssiyrätyt maakerrokset. Kuvassa 8 on esitetty kaivannon kaivamisen vaihetta.



Kuva 8. Kaivannon kaivuu.

### 5.1.2 Kasvualustamassan levitys ja tiivistys

Kekkilän Kantava Kasvualusta PLUS -kasvualustamassa levitettiin ja tasotettiin koneen avulla n. 0,3 m paksuiseksi matoksi valmiin kaivannon pohjalle (Kuva 9). Kantavan kasvualustaseoksen kantavan aineksen raekoko oli 100-200 mm. Levitettävien kerrosten sekaan ja väliin levitettiin myös pitkäaikaislannoitteita. Maan tiivistys tehtiin 410 kg painavalla tärylevyllä (kuva 10). Tiivistämisessä pyrittiin taulukon 6 (s.21) mukaisiin kantavuus- ja tiiveysvaatimuksiin. Tiivistyskerrat vaihtelivat 3 tiivistyskerrasta aina n. 14 tiivistyskertaan mittauspisteen päältä. Tiivistys pyrittiin tekemään samalla tavalla jokaisessa tiivistettävässä kohteessa, ensin reunat tiivistäen ja tämän jälkeen keskeltä tiivistäen. Tiivistämisen jälkeen otettiin mittaustulokset ja levitettiin toinen 0,3 m paksuinen kerros. Toinen kerros poikkesi ensimmäisestä siinä määrin, että massaa jätettiin levittämättä tulevien puiden paikoille.



Kuva 9. Kantavan kasvualustamassan levitys.



Kuva 10. Tärylevyllä tiivistäminen.

### 5.1.3 Mittaukset

Mittaukset suoritettiin Loadman-pudotuspainolaitteella 300 mm suuruisia lisälevyä käyttäen n. 8 - 9 m välein kumpaankin levitettävään kerrokseen. Mittaus pisteitä oli 10 kummassakin kerroksessa, eli yhteensä 20 mittauspistettä. Toisen kerroksen mittauspisteet pyrittiin pitämään samassa kohtaa ensimmäisen kerroksen vastaavan pisteen kanssa. Tuloksia seuraamalla arvioitiin tarvitaanko ja kokeillaanko lisätiivistyskertoja. Kuvassa 11 on esitetty kantavan kasvualustakerroksen mittausta ja mitattujen tulosten ylös kirjaamista.



Kuva 11. Loadman-kevyt pudotuspainolaite.

### 5.2 Kantavan kasvualustan rakentaminen kerrostaen ja kastelemalla

Toinen koealue sijaitsi Vanhalla Nurmijärventiellä Sarvivälkkeentie - Tikkurilantie välillä oikealla (Katso liite 6, koealue 2). Tässä koealueessa kantava kasvualusta rakennettiin louhe ja kasvualusta erikseen kerrostaen ja valuttamalla kasvualustaseos louhoksen väleihin. Käytännössä se tapahtui seuraavasti: louhoksen levittäminen, kasvualustaseoksen levittäminen, kastelun avulla kasvualustan valuttaminen louhoksen väleihin ja tiivistys. Louhoksena käytettiin Kekkilän Kantava Kasvualusta PLUS -seoksen 100 - 200 mm karkeaa kiviainesta ja kasvualustaseoksena Kekkilän Kantava Kasvualusta PLUS kasvualustaa.

#### 5.2.1 Mitoitus ja perustustyöt

Kantavan kasvualustan leveydeksi olisi kuulunut suunnitelman mukaan tulla 3,5 m, mutta suunnitelmasta poiketen leveydeksi tuli 2,5 m. Kaivettaessa pyrittiin varomaan valopylväiden kaapelilinjaa, joka kulki noin 3-3,5 m leveydessä. Syvyydeksi tuli noin 0,9 m, josta kantavan kasvualustan osuus oli noin 0,6 m ja päälle tulevan kasvualustan osuus noin 0,3-0,4 m. Koealtaan pituus oli noin 18 metriä. Kaivannon leveys merkattiin maahan kaivannon kaivamisen helpottamiseksi. Kaivanto kaivettiin ensin kokonaan auki kaapeliputkia varoen, jonka jälkeen voitiin aloittaa ensimmäisen kantavan kasvualustakerroksen rakentaminen.

#### 5.2.2 Kasvualustamassan levitys, kastelu ja tiivistys

Kekkilän kantavan kasvualustan louhe (100-200 mm) levitettiin ja tasoitettiin koneen avulla n. 0,3 m paksuiseksi kerrokseksi koko matkalle kaivannon pohjalle (kuva 12). Tämän jälkeen levitettiin sopivana kerroksena pelkkää Kekkilän Kantavaa Kasvualusta PLUS -kasvualustaseosta koneen avulla louhoksen päälle (kuva 13). Kasvualusta tasoitettiin haravoimalla, jolloin se oli helpompi valuttaa louhoksen väleihin. Vesitankillinen kuorma-auto oli tilattu toisesta yksiköstä yhdeksi päiväksi kastelua varten. Vettä pyrittiin valuttamaan paineella, jotta vesi rikkoisi kasvualustakerroksen pinnan ja saisi kasvualustaseoksen valumaan louhokseen (kuva 14).

Maan tiivistys tapahtui 410 kg painavalla tärylevyllä. Tiivistyskerrat vaihtelivat 3 tiivistyskerrasta 10 tiivistyskertaan mittauspisteiden päältä. Tiivistys pyrittiin tekemään samalla tavalla jokaisessa tiivistettävässä kohteessa ensin reunat tiivistäen ja tämän jälkeen keskeltä tiivistäen. Kuvassa 15 on kantava kasvualustakerros kasteltuna ja tiivistettynä. Ensimmäisen kerroksen mittauksen jälkeen samat työvaiheet toistaen rakennettiin toinen kerros. Toinen kerros poikkesi ensimmäisestä kerroksesta siten, että massaa jätettiin levittämättä tulevien puiden kohdalle.



Kuva 12. Kantava louhekerros levitettyinä.



Kuva 13. Kasvualustakerros levitettyinä ja tasoitettuna.



Kuva 14. Kasvualustan valuttamista louheen väleihin veden avulla.



Kuva 15. Tiivistetty valmis kantava kasvualustakerros.



### 5.2.3 Mittaukset

Mittaukset suoritettiin Loadman-pudotuspainolaitteella 300 mm suuruista lisälevyä käyttäen n. 4-5 m välein kumpaankin levitettävään kerrokseen. Mittauspisteitä oli 4 kummassakin kerroksessa, eli yhteensä 8. Mittauspudotuksia otettiin jokaisen pisteen kohdalta 6-9 kertaa. Tuloksia seuraamalla pohdittiin tarvitaanko ja kokeillaanko lisätiivistyskertoja. Kuvassa 6 on Loadman-kevyt pudotuspainolaite asetettuna  $\varnothing$  300 mm lisälevylle mittauspisteen kohdalle.



Kuva 16. Loadman-kevyt pudotuspainolaite.

## 6 TUTKIMUSTULOKSET JA ANALYSOINTI

Tutkimuksissa saatiin vertailukelpoista tietoa kantavien kasvialustojen käyttöominaisuuksista, asennusajoista, kustannuksista, kantavuuksista sekä tiiveyksistä. Näiden tulosten pohjalta voidaan arvioida myös kokonaistaloudellisuuksia kahdella eri tapaa toteutettujen kantavien kasvialustojen välillä.

### 6.1 Käyttöominaisuudet

Valmiin kantavan kasvialustamassan käyttö oli nopeaa ja helppoa. Massaa ei tarvinnut kipata varastoon levityksien välissä, eikä tästä syystä työmaalta tarvinnut löytyä erikseen läjityspaikkoja. Sille ei tarvinnut löytyä myöskään sekoituspaikkaa, vaan tuotu massakuorma voitiin levittää suoraan kuormasta kaivantoihin. Käyttöä nopeutti myös veden käytön puuttuminen työvaiheista. Valmista Kekkilän kantavaa kasvialustamassaa käytettäessä seoksen kivi- ja kasvialusta-aines kuitenkin erottuivat toisistaan kuljetuksen ja levityksen yhteydessä ja seoksesta tuli epätasalaatuista. Kasvialustaan muodostui asennusvaiheessa hyvin epätasalaatuisia osuuksia, joissa

osassa oli huomattavasti enemmän pelkkää kiviainesta ja osassa taas pelkästään kivien väleihin tarkoitettua kasvualustaa. Tavallisimmin seos oli silmämääräisen arvion mukaan liian kasvualustapitoista. Kivien väleissä ollut liikaa kasvualusta-ainesta saattoi tiivistyä liikaa tiivistettäessä, mikä tulevaisuudessa voi vaikeuttaa juurten kasvua sekä aiheuttaa routimista. Liika kasvualusta massassa saattaa myös estää kivien painumisen täysin toisinaan vasten tiivistettäessä ja toimia joustavana rakenteena estäen louheen riittävän tiivistymisen, mikä tulevaisuudessa voi aiheuttaa pinnoitteiden elämistä ja painumista.

Kantavan kasvualustan rakentaminen itse kerrostaen ja kastelemalla oli huomattavasti työläämpi, koska työvaiheita oli useampia. Louhos ja kasvualusta tarvitsi hakea erikseen ja kuormille tarvitsi löytyä sijoituspaikat työmaalta. Louhoksen ja kasvualustan levitys erikseen sekä veden valuttaminen veivät myös aikaa suhteessa valmismassan käyttöön. Vesiautoa ei ollut omassa yksikössämme, joten se jouduttiin tilaamaan erikseen. Tämä lisäsi työtä ja toi lisäkustannuksia. Vesiauto oli tilattuna koko päiväksi, mikä suurempien alojen kannalta on hyvä, mutta tämän tutkimuksen koeala oli huomattavan pieni. Vesiautoa tarvittiin ajallisesti vain 20 minuuttia, mutta lasutus tapahtui koko päivältä.

Hankaluutta tuotti louhoksen päälle levitettävän kasvualustaseoksen määrän arviointi. Kasvualustaa piti olla n. 20-30 tilavuus- % suhteessa louheen määrään, mutta sitä ei saanut kuitenkaan olla liian paksua kerrosta, ettei kasvualustan valutus louheenväliin hankaloituisi liikaa. Tässä tutkimuksessa käytettiin tavallista suurempaa louhetta (100-200 mm), kuin vertailtavien eri maiden esimerkkien raekoot olivat (katso taulukko 2). Suuri louhekoko helpotti kasvualustan valutusta, mutta kummassakin toteutustavassa hankaloitti suuresti tiivistystyötä ja tiivistyskonetta oli vaikea hallita. Kone poukkoili huomattavan paljon tiivistyslinjalta toiselle kulmien mitattavien pisteiden päältä ilmoitettuja määriä enemmän tai vähemmän. Tästä johtuen tiivistykerrat tuloksissa on ilmoitettu vain karkeasti.

## 6.2 Asennusaika

Kohdetta rakennettaessa seurattiin siihen osallistuvien resurssien ajankäyttöä. Rakentaminen edellytti kahden työntekijän, kuorma-auton sekä pyöräalustaisen luiskakoneen kokoaikaista osallistumista työhön. Rakennuskohteiden pinta-alat olivat huomattavasti erisuuruiset, joten vertailun helpottamiseksi käytetty aika on muutettu kummassakin toteutustavan aikaseurannassa neliökohtaiseksi. Täysin minuuttitarkkaa ajanseurantaa vaikeutti koeprojektin ulkopuoliset työt, joita tuli koeprojektin välissä. Resurssien ajankäytössä onkin laskettu eri toteutustapoihin kuluneiden työpäivien tuntimäärät. Taulukossa 7 on esitetty valmismassalla toteutetun kantavan kasvualustan työresurssit ja käytetyt ajat.

Taulukko 7. Valmismassalla toteutetun kantavan kasvualustan asennusajat ja laskettu asennusaika neliölle.

Resurssi	Ajankäyttö	Aika/m <sup>2</sup>
Vihertyöntekijä (2hlö)	60h	0,38/m <sup>2</sup>
4 akselinen sivukaatoauto	30h	0,19h/m <sup>2</sup>
Pyöräalustainen Gradall	30h	0,19h/m <sup>2</sup>
Kasteluauto	-	
<b>Pinta-ala</b>		<b>160m<sup>2</sup></b>
<b>Kesto</b>		<b>30h</b>
<b>Kesto/m<sup>2</sup></b>		<b>0,19h/m<sup>2</sup></b>

Valmismassalla toteutettuna tarvitaan aikaa noin neljännes vähemmän suhteessa itse tehtävään. Valmismassalla toteutetun alueen pinta-ala oli lähes kolminkertainen verrattuna itse kerrostamalla ja kastelemalla toteutetussa alueessa, joten käytetty aikaero neliötä kohti saattaa hyvin selittyä suuremman pinta-alan aiheuttamalla tehokkuushyödyllä. Tämän vuoksi merkittävin ero työresurssien tarpeessa johtuu kasteluauton tarpeen puuttumisella työvaiheista.

Taulukossa 8 on esitetty itse kerrostamalla ja kastelemalla tehdyn kantavan kasvualustaan käytetyt työresurssit. Koalue, johon kantava kasvualusta toteutettiin itse kerrostamalla ja kastelemalla, oli pinta-alaltaan huomattavasti pienempi. Yhtä neliötä kohti käytetty vihertyöntekijän aika vaikuttaa melko suurelta ja monissa vaiheissa yksikin työntekijä olisi riittänyt. Esimerkiksi tiivistyksessä, kasvualustan tasoituksessa ja kastelussa olisi riittänyt yksikin työntekijä. Alueen mittaamisessa ja pudotuspainolaitemittauksissa työpari nopeutti työskentelyä, mutta ei ollut pakollinen.

Taulukko 8. Itse kerrostamalla ja kastelemalla toteutetun kantavan kasvualustan asennusajat ja laskettu asennusaika neliölle.

Resurssi	Ajankäyttö	Aika/m <sup>2</sup>
Vihertyöntekijä (2hlö)	24h	0,53h/m <sup>2</sup>
4 akselinen sivukaatoauto	12h	0,27h/m <sup>2</sup>
Pyöräalustainen Gradall	12h	0,27h/m <sup>2</sup>
Kasteluauto	8h	0,18h/m <sup>2</sup>
<b>Pinta-ala</b>		<b>45m<sup>2</sup></b>
<b>Kesto</b>		<b>12h</b>
<b>Kesto/m<sup>2</sup></b>		<b>0,27h/m<sup>2</sup></b>

## 6.3 Kustannukset

Kustannusten vertailuun käytettiin yksinkertaista suorien kustannusten vertailua. Koska rakennuskohteet eivät olleet samankokoisia, on niiden kokonaiskustannuksen lisäksi laskettu myös neliöhinta, joka mahdollistaa paremman vertailtavuuden. Työhön kulunut aika on laskettu 7,5 tuntisten päivien mukaan.

Kustannuksissa ei huomioitu kuljetusmatkoja, koska matka olivat lyhyet. Pitemmillä etäisyyksillä matka hidastaisi työmaata ja toisi suuremman kustannuksen itse kerrostettaessa kantavaa kasvualustaa, koska hakukertoja olisi erikseen louheelle ja kasvualustalle yhden valmismassakuorman sijasta. Kustannuksissa ei ole myöskään huomioitu kastelu- ja ilmastointiputkijärjestelmiä. Kohteeseen ei niitä rakennettu, koska alueen päälle ei tullut sidottua päällystettä. Kantavia kasvualustoja ja niiden kustannuksia suunniteltaessa tulisi kuitenkin ilmastointi- ja kasteluputkien sekä kansistojen tuomat kustannukset huomioida. Valmismassan kustannukset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Valmismassalla toteutetun kantavan kasvualustan kustannukset ja neliöhinta.

<b>Materiaalikustannukset</b>			
Valmismassa	104t	36,56€/t	3 802,24 €
Neliöhinta yhteensä			23,76 €/m <sup>2</sup>
<b>Työkustannukset</b>			
Vihertyöntekijä (2hlö sosiaalikuluneen)	60h	20,00€/h	1 200,00 €
4 akselinen sivukaatoauto	30h	64,00€/h	1 920,00 €
Pyöräalustainen Gradall	30h	86,00€/h	2 580,00 €
Neliöhinta yhteensä			35,63 €/m <sup>2</sup>
<b>Muut kustannukset</b>			
-			
<b>Kustannukset yhteensä</b>			
<b>Kokonaishinta</b>			<b>9 502,24 €</b>
<b>Neliöhinta</b>			<b>59,39 €/m<sup>2</sup></b>

Valmismassan lisäksi toisessa rakennuskohteessa kantava kasvialusta toteutettiin itse kerrostaen valmistettavalla kasvialustalla. Sen kustannukset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Itse kerrostaen ja kastelemalla toteutetun kantavan kasvu-  
alustan kustannukset ja neliöhinta.

<b>Materiaalikustannukset</b>			
Louhe	30t	43,85 €/t	1 315,50 €
Kasvualusta	6t	44,70 €/t	268,20 €
Neliöhinta yhteensä			35,19€/m <sup>2</sup>
<b>Työkustannukset</b>			
Vihertyöntekijä (2hlö sosiaaliku- luineen)	24h	20,00 €/h	480,00 €
4 akselinen sivukaatoauto	12h	64,00 €/h	768,00 €
Pyöräalustainen Gradall	12h	86,00 €/h	1 032,00 €
Neliöhinta yhteensä			50,67/m <sup>2</sup>
<b>Muut kustannukset</b>			
Kasteluauto	7,5h (1pv)	135,5€/pv	135,50 €
			3,01€/m <sup>2</sup>
<b>Kustannukset yhteensä</b>			
<b>Kokonaishinta</b>			<b>3 863,70 €</b>
<b>Neliöhinta</b>			<b>85,86 €/m<sup>2</sup></b>

Kustannustaulukoista nähdään selvästi, että valmismassalla toteutettu kantava kasvualusta on tässä tutkimuksessa käytetyistä menetelmistä kustannusten perusteella edullisempi paitsi kokonaiskustannusten, myös eri kustannusluokkien osalta. Työkustannuksissa toinen vihertyöntekijä oli osin ylimääräinen ennen kaikkea valmismassalla rakennettaessa, mutta kustannustehokkuuden osalta sillä ei ollut suurtakaan merkitystä. Vesiauto ei kustannuksia tarkasteltaessa tuonut suhteellisesti merkittävää kustannusta itse kerrostetun kantavan rakentamisessa.

#### 6.4 LOADMAN-mittaukset

Tässä tutkimuksessa mittauspisteiden kantavuus ylitti 25 MPa, jolloin olisi voitu käyttää laitteen omaa  $\varnothing$  132 mm pohjaa. Mittauskohdissa louhe oli kuitenkin hyvin epätasaista ja liikkuvaa tiivistyksenkin jälkeen seassa olleen kasvualustaseoksen takia, jolloin oli vaikea löytää tasaista paikkaa laitteelle. Pelkän laitteen asettaminen riittävän tukevasti pystysuoraan olisi ollut liian hankalaa ja tästä syystä pudotuspainolaitteella mitattaessa käytettiin  $\varnothing$  300 mm lisälevyä. Mittalaitetta asetettaessa jokaiselle mittauspaikalle pyrittiin siihen, että pohjalevy lepäisi mahdollisimman suurelta pinta-alalta mitattavalla pinnalla. Pohjan koskettaessa vain osalla pinnasta, pintapaine kasvaa mittauksen aikana suuremmaksi kuin vakiopintapaine (Hakala 2009, 36).

Mittaustuloksiin vaikuttivat pienetkin seikat kuten heilahtaminen, laitteen pystysuoruus ja lisälevyn puhtaus irtoaineksesta. Näistä syistä lisälevyä asetettaessa sen suoruus varmistettiin vatupassin avulla, levy puhdistettiin irtoaineksesta, varmistettiin pohjalevyn kosketus lisälevyn kanssa. Laitteen painoa pudotettaessa laitteesta pidettiin hyvin kiinni, jolloin vältyttiin suuremmilta heilahduksilta. Mittauksissa työskenteli joka kerta sama mittaja,

millä haluttiin varmistaa tulosten parempi luotettavuus. Tarkistamalla vatu-passin avulla lisälevyn suoruus ja näin laitteen suoruus, varmistettiin laitteen sisäisen painon liikkuminen pitkin johteita, koska muutoin pudotusvoima olisi pienentynyt vapaaseen pudotukseen verrattuna.

Mittauspisteitä valmismassalla tehdyllä koealueella oli 10 kummassakin kerroksessa eli 20 mittauspistettä yhteensä. Itsekerrostamalla ja kastelemalla tehdyssä kantavassa oli 4 mittauspistettä kummassakin kerroksessa eli 8 mittauspistettä. Pudotuspainolaitteella suoritettiin 6-9 pudotusta jokaisella mittauspisteellä.

Loadman-kevyen pudotuspainolaitteen mittaustulokset syötettiin manuaalisesti laitteen mukana toimitetulle Excell-ohjelmistolle ja ne löytyvät liitteestä 7. Kantavuusmittaustulokset on esitetty taulukoissa 11 ja 12. Taulukoissa on ilmoitettu vihreällä värillä, jos mittaustulos täyttää vaaditun 1 luokan vaatimukset ja keltaisella täyttäessään 2 luokan vaatimukset. Punaisella värillä on ilmoitettu, jos vaaditut tiiveys- ja kantavuusvaatimukset eivät täyty. Tiivistyskerrat ovat myös merkitty värein, joista näkee millä tiivistykertämäärällä tiiveys- ja kantavuustulokset on saatu 1 tai 2 luokan mukaisiksi. Punainen ilmoittaa jos mittaushetki ei ole vaatimukset täyttävä.

Taulukko 11. Valmismassalla toteutetun kantavan kasvualustan kantavuus- ja tiiveystulokset sekä tiivistyskerrat ensimmäisen ja toisen kerroksen mittauspisteistä.

1. kerros	Kantavuus MN/m <sup>2</sup>	Tiiveys E <sub>max</sub> /E1	Tiivistyskerrat	2. kerros	Kantavuus MN/m <sup>2</sup>	Tiiveys E <sub>max</sub> /E1	Tiivistyskerrat
1.	72	1,31	3	1.	185	1,28	9
1.	224	1,62	6	2.	66	1,69	9
2.	71	1,39	3	2.*	141	1,81	9
2.	128	1,38	5	3.	127	1,63	9
3.	63	1,3	6	4.	127	1,79	11
4.	60	1,54	5	5.	167	1,36	12
4.	63	1,91	7	6.	81	1,47	12
5.	75	1,7	7	7.	91	1,26	13
6.	172	1,67	7	8.	94	1,24	13
6.	122	1,12	9	9.	135	1,75	14
7.	89	1,41	7	10.	130	1,51	15
7.	189	1,43	9				
8.	52	1,41	12				
9.	82	1,46	13				
9.	90	1,8	18				
10.	115	1,35	13				

\*0,5 m pisteen 2. vierestä

Valmismassalla saatiin yksittäisiä laatuluokan 1 mukaisia tuloksia kummasakin kerroksessa. Kantavuus parani suurimmassa osassa mittauksia tiivistykertoja lisäämällä, mutta suurimmassa osassa tuloksia kantavuuksissa jäätettiin kuitenkin huomattavasti alle 2 luokankin vaatimusten. Rakenteesta ei saatu, kuin hyvin lajittuneissa louhepitoisissa kohdissa kantavuuden laatuvaatimukset täyttävää. Liika tiivistäminen löyhensi rakennetta seassa vaikuttaneen kasvualustaseoksen takia, koska tiiveys huononi tiivistykertoja lisättäessä. Kuitenkin tiiveys pysyi 1 laatuluokan vaatimusten mukaisina. Täysin 1 luokan vaatimukset täyttäviin tuloksiin päästiin 6-13 tiivistyskerroilla.

Taulukko 12. Itse kerrostaen ja kastelemalla toteutetun kantavan kasvualustan kantavuus- ja tiiveystulokset sekä tiivistyskerrat ensimmäisen ja toisen kerroksen mittauspisteistä.

1. kerros	Kantavuus MN/m <sup>2</sup>	Tiiveys E <sub>max</sub> /E1	Tiivistyskerrat	2. kerros	Kantavuus MN/m <sup>2</sup>	Tiiveys E <sub>max</sub> /E1	Tiivistyskerrat
1.	93	1,69	4	1.	192	1,6	8
1.	109	1,76	6	2.	222	1,24	6
2.	122	1,69	4	3.	204	1,12	6
2.	81	1,19	8	4.	132	1,5	6
2.*	125	1,37	8	4.	135	1,17	10
3.	135	1,21	4				
3.	106	1,41	8				
4.	127	1,23	4				
4.	109	1,06	8				

Itse kerrostaen toteutetun kantavan kasvualustan tiiveydet täyttivät laatu- luokan 1 vaatimukset lähes kaikissa mittauspisteissä. Kuitenkaan kantavuudet eivät täytä 1 luokan vaatimuksia ensimmäisessä kerroksessa lainkaan, mutta suurin osa niistä täyttää 2 luokan vaatimukset. Toisen kerroksen kantavuuksissa saatiin lähes kaikissa vaatimukset täyttävät tulokset.

Tiiveys oli kummallakin menetelmällä pääsääntöisesti 1 luokan mukaista, mutta valmismassalla rakennettaessa seassa ollut kasvualustaseos vaikutti tiivistymiseen ja kantavuuteen huomattava paljon. Kasvualustaseos vaikuttaa joustavasti louheen välissä ja tiiveystulos saattoi kasvaa eli huonota tiivistykertoja lisäämälläkin. Jatkossa tiivistämiseen tulisi käyttää vaatimusten mukaista tiivistyskoneistoa tai pienempää kerrospaksuutta, jolloin tiivistäminen todennäköisesti onnistuisi vähemmällä tiivistyskerroilla laatuvaatimukset täyttäen. Itse kerrostetulla ja kastelemalla toteutetussa kantavassa kasvualustassa kantavuuksissa päästiin suurimmassa osassa kuitenkin lähimmäs luokitusten mukaisia vaatimuksia,

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Nykyisillä käytössä olevilla rakentamismenetelmillä ei päästä täysin määräysten mukaisiin vaatimuksiin. Kantavien kasvualustojen kantavuuksia ja tiiveyksiä ei voida siten täysin vertailla luotettavasti vaan korkeintaan suuntaa antavasti. Kummassakin menetelmässä olisi pitänyt käyttää ohjeistettua kerrospaksuutta kohti huomattavasti raskaampaa tiivistyskoneistoa, kuin käytössä ollutta 410 kg tärylevyä. 410 kg tärylevy olisi voinut riittää tiivistämään 0,2 m kerrokset 4 ylityskerralla. Suositeltu tiivistyskone 0,3 m kantavan kerroksen tiivistämiseen olisi ollut (Liite 5) tiivistyskoneiden ohjeellisen tiivistys taulukon mukaisesti yli 5 t painoinen täryjyvä 6-9 ylityskertamäärällä. Taulukkoa tulkiten kerrospaksuudella on huomattavan suuri merkitys vaadittuun tiivistyskoneeseen.

Tutkimukset osoittivat, että painonpudotuslaitteen ilmoittamalla tiiveydellä ei pystytä arvioimaan kantavan kasvualustarakenteen huokoisuutta eli juurien tarvitsemaa vesi-, ilma- ja kasvutilaa. Kantavan kasvualustan soveltuvuutta puun hyvinvoinnille ei voitu näillä mittaus- ja tutkimusmenetelmillä todentaa vaan joudutaan luottamaan kirjallisuudessa esitettyihin seossuhteisiin ja niiden arvoihin. Kantavan kasvualustan kantavan kerroksen laitteen ilmoittama tiiveys tuli olla sama kuin muiden katurakenteiden kantavien kerrosten tiiveys, jolloin huomattiin, ettei laite todellisuudessa ottanut millään tavalla kantaa kantavalle kasvualustalle oleelliseen huokostilavuuteen. Se on kuitenkin aivan eri kuin pienemmällä raekoolla rakennetulla kadun kantavalla kerroksella. Tästä johtuen huokostilavuuden mittaamiseen tarvittaisiin erillinen menetelmä. Karkealle louheelle tulisi myös suuren raekoon aiheuttamien mittaushaasteiden vuoksi harkita pudotuspainolaitteen sijasta jotakin muuta kantavuuden ja tiiveyden mittaukseen soveltuvaa menetelmää, kuten levynkuormituslaitetta.

Tutkimustuloksista voidaan tulkita, että kokonaistaloudelliselta kannalta, kustannukset ja aika huomioiden, valmismassa on edullisempi vaihtoehto. Tulokset kuitenkin osoittivat myös sen, että valmismassan tekniset ominaisuudet eivät täyttäneet laatuluokitusten mukaisia vaatimuksia melkein lainkaan, johon saattoivat vaikuttaa myös kerrospaksuus ja tiivistyskone. Nykyisillä menetelmillä itse kerrostaen ja kastelemalla toteutettu kantava kasvualusta oli ajallisesti kuin rahallisesti kalliimpi, mutta suurimmassa osassa mittauspisteistä se kuitenkin täytti vähintään 2 laatuluokan vaatimukset.

Toteutettu tutkimus ei ollut täysin vertailukelpoinen tavanomaisten kantavien kasvualustojen kanssa, koska koealueet eivät tulleet sidottujen päällysteiden alle, eikä tästä syystä rakennettu kantavaan kasvualustaan oleellisesti kuuluvia kastelu- ja ilmastointijärjestelmiä. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella suosittelisin kuitenkin tekemään kantavat kasvualustat itse kerrostaen ja kastelemalla, jolloin kasvualusta louheen välissä ei vaikuttaisi niin suuresti ja saavutettavat tulokset olisivat lähimpänä vaadittuja kantavuuksia. Suosittelen myös toteuttamaan kerrostuksen vain 0,2 m kerroksina, jolloin tässä tutkimuksessa käytetty 410kg tiivistyskone saattaisi riittää tarvittavien kantavuuksien ja tiiveyksien saavuttamiseen. Tässä toteutustavassa muuttaisin tiivistysvaiheen tehtäväksi heti louhekerroksen levityksen jälkeen, niin kuin se monissa ohjeistukissa myös on. Tällöin louheen päälle levitettävä ja valutettava kasvualustaseos ei vaikuttaisi lainkaan tiivistyksen



onnistumiseen ja tiivistys- ja kantavuustulokset olisivat varmempia ja luotettavampia. Valmismassan ja muidenkin ennalta valmiiksi sekoitettujen kantavien kasvualustamassojen louhoksen seassa oleva kasvualusta joustaa louheen pintojen välissä. Se myös tukkii louhoksen huokokset estäen louheiden tiivistymisen täysin toisiaan vasten vaikuttaen rakenteen kantavuuteen ja routimattomuuteen aiheuttaen lisäksi mahdollista sidottujen pinnoitteiden elämistä ja painumista.

Kantavien kasvualustojen vaatimuksissa oli, että kantavuus- ja tiiveysominaisuudet olisivat ympäröivien rakennekerrosten mukaiset. Tavallisimmin ympäröivät rakennekerrokset on kuitenkin valssijyrätty tai jollakin muulla suurella ja painavalla koneella tiivistetty kestävämpään asfaltin päältä kulkevaa kevyttä ja raskasta liikennettä. Tulisiko siis kantavien kasvualustojen louhe tiivistää yhtä raskailla tiivistyskoneilla, jotta voidaan saavuttaa samat vaaditut tiiveys ja kantavuusominaisuudet? Tutkimuksen voisi toteuttaa uudelleen antamaan entistä todellisempaa tutkimustietoa ja -tuloksia siten, että kantava kasvualusta tulisi kokonaan sidottujen päällysteiden alle niin kuin se kuuluisi ja rakennettaisiin oikeaoppisesti salaojat, suodatinkankaat ja ilmastointi- sekä kastelujärjestelmät. Tämän jälkeen puita ja pinnoitteita voisi seurata ja arvioida kuntoa vuosien päästä, jolloin vaikutukset ja muutokset olisi vasta nähtävissä selkeästi.

Vaikka kantavia kasvualustoja on tutkittu ja käytetty yli 20 vuotta, ei siltikään ole olemassa kunnollista yhtenäistä tietoa ja ohjeistusta aiheesta. Aiheesta olisi hienoa saada lisätutkimusta ja oma teos, johon olisi kerätty ja koottu paremmin toistaiseksi hajallaan oleva tieto. Siinä voitaisiin ottaa entistä enemmän kantaa kantavan kasvualustan tiivistykseen ja sen laatuvaatimukset täyttävään toteutukseen, jolloin saataisiin täysin ympäröivien maa- rakenteiden kantavuus-, routivuus- ja tiiveysvaatimusten mukainen lopputulos. Kiinnostavaa olisi myös miettiä sopisivatko kantavat kasvualustat joissakin yhteyksissä ja rakennuskohteissa mahdollisiksi hulevesien kerääjiksi.

## LÄHTEET

AL-Engineering Oy. 2015. Loadman, kannettava pudotuspainolaite. AL-Engineering Oy. Viitattu 23.11.2015. [<http://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html>]

Alkio, R., Juvankoski, M., Korkiala-Tanttu, L., Laaksonen, R., Laukkanen, K., Petäjä, S., Pihlajamäki, J., Spoof, H. 2001. Tien rakennekerrosten materiaalit, Taustatietoa materiaalivalinnoille. Tiehallinnon selvityksiä 66/2001, Helsinki. Tiehallinto. Saatavilla: [<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/materiaalit66-2001.pdf>] Viitattu 20.11.2015.

Bassuk, N., Grabosky, J. & Trowbridge, P. 2005. Using CU-Structural Soil in the Urban Environment. Cornell University, Urban horticulture institute. Viitattu 5.10.2015. [<http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/custruc-turalsoilwebpdf.pdf>]

Ehrola, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Hakala, E-M. Voimalaitostuhkan käyttö kuitulietteen stabiloinnissa Lieves-tuoreen Laajalahden kunnostutöissä. 2009. Ylempi amk-tutkielma. Tampe-reen ammattikorkeakoulu. Saatavilla [[http://publicati-  
ons.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8002/Hakala.Eino-Matti.pdf?se-  
quence=2](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8002/Hakala.Eino-Matti.pdf?sequence=2)]

Huhtala, M. 1980. Palojärven – Olkkalan koetien päällysrakenteen teoreet-tiset laskelmat. VTT, Tie- ja liikennelaboratorio, Tiedonanto 59. Espoo.

InfraRYL, 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa1 Väylät ja alueet. RTS. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Krook, J., Peurasuo, P. & Heini, M. 2005. Kantava kasvualusta – katura-kenne ja katupuun kasvupaikka. Koetoimintaa ja ohjeita. SKTY julkaisu 22. Helsinki: Kalevaprint Oy.

KT 02. 2002. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02. Suomen Kuntaliitto. Helsinki: Kuntatalon paino.

Lannoitevalmistelaki. Lannoitevalmistelain määritelmät nro 539/2006. 29.6.2006. Saatavilla: [<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060539>]

Loadman.käyttöohje. 2015. Loadman Kannettavan pudotuspainolaitteen käyttöohje. AL-Engineering Oy. Saatavilla: [http://www.al-enginee-  
ring.fi/downloads/loadman-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf](http://www.al-engineering.fi/downloads/loadman-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf)

NUFU Load bearing soils. 2000. Urban Forestry in Practice, Load bearing soils for trees in paved areas. National urban forestry unit. Saatavilla: [[http://www.bbcwildlife.org.uk/sites/birmingham.live.wt.preceden-  
thost.co.uk/files/CS%2024%20-%20Load%20Bearing%20Soil.pdf](http://www.bbcwildlife.org.uk/sites/birmingham.live.wt.preceden-thost.co.uk/files/CS%2024%20-%20Load%20Bearing%20Soil.pdf)]

Piippo, H., Belt, J., Ehrola, E. 1990. Tien kantavuuden mittausrakenteet ja eri laitteilla määritetyt kantavuudet. Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorion julkaisuja 8, Oulu.

Soini, T. 2009. Viherrakentajan käsikirja. Tampere: Viherympäristöliitto ry, julkaisu 44.

Tiehallinto. 2002. Stabiilintiohje koekäyttöön. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki. Saatavilla: [<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100009-02.pdf>] Viitattu 20.11.2015.

Tuhkanen, E.-V., Juhanoja, S., Salo, T. 2014. Kierrätysmateriaalien hyödyntäminen viherrakentamisen kasvualustoissa ja rakenteissa. MTT Jokioinen. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. Saatavilla: [<http://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/484572/mttraportti161.pdf?sequence=1>]

Vantaan kuntatekniikan keskus. n.d. Vantaan maankäytön, rakentamisen ja ympäristön toimiala / kuntatekniikan keskus. Helsinki region infoshare. Viitattu. 03.11.2015 [<http://www.hri.fi/en/organization/about/vantaan-maankayton-rakentamisen-ja-ympariston-toimiala-kuntatekniikan-keskus>]

Vantaan Organisaatio. n.d. Organisaatio. Vantaan kaupunki. Viitattu 03.11.2015. [[http://www.vantaa.fi/hallinto\\_ja\\_talous/organisaatio/maankayton\\_rakentamisen\\_ja\\_ympariston\\_toimiala](http://www.vantaa.fi/hallinto_ja_talous/organisaatio/maankayton_rakentamisen_ja_ympariston_toimiala)]

Viheralueiden kasvualustat. 2009. Sirviö, J (toim.). Helsinki: Viherympäristöliitto ry, julkaisu 31.

Viherrakentamisen yleinen työselostus VRT '11. 2011. Tajakka, H (toim.). Helsinki: Viherympäristöliitto ry.

Väätänen, T. 2015. Tilapäisissä liikennejärjestelyissä käytettävien liikenteenohjaus- ja suojalaitteiden nykytila ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Insinööritoimisto Metropolia Ammattikorkeakoulu. Saatavilla [[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91421/Tuomas\\_Vaatanen.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91421/Tuomas_Vaatanen.pdf?sequence=1)]

LIITTEET

Liite 1

Luonnonkivien ominaisuuksia

KIVITYYPPI	Brutto- tiheys kN/m <sup>3</sup>	Huokoisuus til-%	Veden- imukyky p-%	Puristus- lujuus MN/m <sup>2</sup>	Taivutus- vetolujuus MN/m <sup>2</sup>	Kovuus Mohs	Kimmo- moduuli MN/m <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup>	Lämpölaa- jeneminen 1/°C*10 <sup>-6</sup>	Yleisin väri
graniitti	25-28	0,4-1,5	0,1-0,5	150-300	6-25	6	30-60	5-9	pun., harm.
syeniitti	26-29	0,4-0,5	0,1-0,5	140-290	6-22	5-6	40-60	4-8	pun., rusk.
dioriitti	28-30	0,5-0,4	0,1-0,4	170-300	10-23	5-6	110-130	4-7	tum. harm., vaal.harm.
gabro	28-30	0,1-0,4	0,1-0,4	170-300	10-23	5-6	110-130	4-7	musta, tum.harm.
basaltti	29-30	0,2-0,9	0,1-0,3	250-400	15-27	5-6	58-105	8-9	
diabaasi	28-29	0,3-1,1	0,1-0,4	180-280	15-25	5-6	110-130	4-7	
kvartsiitti	26-27	0,4-2,0	0,2-0,5	150-300	13-25	6-7	70-80	5-10	valk., harm.vihr.
hiekkakivi	20-26	0,5-25,0	0,2-9,0	30-180	3-15	5-6	8-20	3-10	valk., beige, kelt., vaal.pun., pun.
tiivis kalk- kikivi	26-28	0,5-2,0	0,2-0,6	80-180	6-15	3	40-70	3-6	beige, vaal.pun., pun., rusk.
travertiini	24-25	5,0-12,0	2,0-5,0	20-60	4-10	3	-	3-7	beige, ruskea
gneissi	26-30	0,4-2,0	0,1-0,6	160-280	8-22	5-6	40-100	5-8	tum.harm., vaal.harm., vaal.pun., pun.
marmori	26-29	0,5-2,0	0,2-0,6	80-160	6-20	3-4	50-80	3-5	vaal.harm.,valk.
liuskeet	25-28	0,5-1,5	0,1-0,5	100-200	8-27	4-6	10-60	2-7	musta, harmaa
vuolukivi	29-30	0,1-0,5	0,1-0,5	20-30	15-18	2-3	30-35	20	tum.harm, vaal.harm.

(Soini 2009, 27)

	Lyhenne	Yksikkö	Vaateliaat puut, pensaat ja perennat sekä rajoitetut kasvualustat	Vaativattomat puut, pensaat ja perennat
			vähintään <b>optimi</b> enintään	vähintään <b>optimi</b> enintään
Johtoluku <sup>1)</sup>		10 x <b>mS/cm</b>	2 < 4 < 6	1,5 < 2 < 4
pH (H <sub>2</sub> O)			5,5 < 6,5 < 7,5	5 < 5,5 < 6
Tilavuuspaino <sup>2)</sup>		kg/m <sup>3</sup>	640 < 1200 <	760 < 950 <
Orgaaninen aines		paino-%	6 < 12 < 14	8 < 10 < 12
Liukoinen typpi	N	mg/l	15 < 35 < 60	10 < 20 < 30
Kalsium	<b>Ca</b>	mg/l	2000 < 3000 < 5500	750 < 1000 < 2000
Fosfori	P	mg/l	10 < 20 < 30	5 < 10 < 20
Kalium	K	mg/l	150 < 300 < 450	75 < 150 < 250
Magnesium	Mg	mg/l	200 < 350 < 500	50 < 100 < 200
Rikki	S	mg/l	10 < 30 < 200	5 < 20 < 100
Boori	B	mg/l	0,4 < 0,6 < 1,5	0,4 < 0,6 < 1,5
Kupari	<b>Cu</b>	mg/l	2 < 3 < 20	2 < 3 < 20
Mangaani	<b>Mn</b>	pH <b>korj.</b> <sup>4)</sup>	10 < 30 < 500	10 < 30 < 500
Sinkki	<b>Zn</b>	mg/l	2 < 3 < 20	2 < 3 < 20
	Lyhenne	Yksikkö	Vaateliaat puut, pensaat ja perennat sekä rajoitetut kasvualustat	Vaativattomat puut, pensaat ja perennat
			vähintään <b>optimi</b> enintään	vähintään <b>optimi</b> enintään
Fosfori	P	mg/l	3 < 5 < 10	5 < 8 < 12
Kalium	K	mg/l	50 < 100 < 150	50 < 100 < 150
Magnesium	Mg	mg/l	30 < 50 < 100	30 < 50 < 100
Rikki	S	mg/l	5 < 15 < 30	5 < 20 < 100
Boori	B	mg/l	0,2 < 0,3 < 0,6	0,2 < 0,3 < 0,6
Kupari	<b>Cu</b>	mg/l	2 < 3 < 20	2 < 3 < 20
Mangaani	<b>Mn</b>	pH <b>korj.</b> <sup>4)</sup>	10 < 30 < 500	10 < 30 < 500
Sinkki	<b>Zn</b>	mg/l	2 < 3 < 20	2 < 3 < 20

(InfraRYL 2010, 438)

## TUOTESELOSTE



KEKKILÄ

KANTAVA KASVIALUSTA PLUS

Tyyppinimi	Kompostimulta	Erätunniste 514/042/15F
Kauppanimi	Kekkilä Kantava Kasvialusta PLUS Vantaa	
Raaka-aineet	Karkea kiviaines 100–200 mm Hienojakoinen kiviaines Maanparannuskomposti, Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Kulloo (puhdistamoliete, kuituliete, turve) hyväksyntänumero FIC029-03632/2008NA Tumma turve	
Lisäaineet:	Bioapatiitti 21 kg/t Kalkkikivisepeli 0-30 mm 15 kg/t	

**Tuotteen kuvaus:** Kantava kasvialusta PLUS on murskatun kiviaineksen ja kivennäisainespitoisen kompostilannoitetun kasvialustan seos, jossa karkea kiviaines muodostaa kantavan rungon ja varsinainen kasvialusta on murskekivien välissä. Näin juuriston kasvulla pysyy vakiona, eikä liikenteen värinän aiheuttama maan tiivistyminen aiheuta ongelmia. Komposti parantaa tuotteen vedenpidätyskykyä ja antaa pitkäkestoisen lannoitusvaikutuksen.

**Käyttöohje:** Kantavaa kasvialustaa käytetään katujen ja jalkakäytävien välisissä tiloissa. Se soveltuu myös torialueille, kevyen liikenteen väylille sekä pelastustielle. Kasvialusta kestää satunnaisen liikenteen painoa ja värinää, koska karkea murske luo kantavan rungon kasvialustalle. Sitä ei suositella varsinaisen liikennöitävän alueen (kadun) alusrakenteeksi. Tuote on käytettävä mahdollisimman nopeasti toimituksen jälkeen, sillä tuotteen kuivuminen voi hankaloittaa kasvialustan osennusta.

Tuote pummitaan lastausvaiheessa ja toimitetaan irtotavarana siinä tiiveydessä, jossa se lastattaessa on. Tarkista tuote heti sen saapumisen jälkeen. Mahdolliset reklamaatiot on tehtävä heti.

Tuotteen hienojakoinen aineksen ominaisuustiedot (tuotanto- ja myyntitietokellä):

Ominaisuus	Arvo <sup>1</sup>		Yksikkö		Haitallisten aineiden pitoisuus <sup>2</sup>		
	Arvo <sup>1</sup>	Yksikkö	Arvo <sup>1</sup>	Yksikkö	Alkuaine	Arvo	Yksikkö
pH	7				Arseeni (As)	5	mg/kg ka
Johtokyky	40	mS/m			Elohopea (Hg)	0,5	mg/kg ka
Vesiliukainen typpi (N)	60	mg/kg ka	50	mg/l	Kadmium (Cd)	0,5	mg/kg ka
Liukainen fosfori (P) <sup>2</sup>	40	mg/kg ka	30	mg/l	Kromi (Cr)	100	mg/kg ka
Liukainen kalium (K) <sup>2</sup>	300	mg/kg ka	250	mg/l	Kupari (Cu)	50	mg/kg ka
Kosteus	20	%			Lyijy (Pb)	50	mg/kg ka
Orgaaninen aines	8	% ka			Nikkeli (Ni)	50	mg/kg ka
Karkeusaste	16	mm			Sinkki (Zn)	100	mg/kg ka

<sup>1</sup> sallittu vaihtelu lannoitevalmisteasetuksen mukaisesti  
<sup>2</sup> CAT-uutta, SFS-EN 13652

<sup>3</sup> pitoisuudet alittavat lain sallimat ylärajat

Valmistajan lisäinformaatio:	Arvo	Yksikkö
Tilavuuspaino, laboratoriomääritys	1000	g/l
Roskia tms. epäpuhtauksia	< 0,5	% tuorepainosta

Tuote sisältää tuulilevitettäviä rikkakasvinsiemeniä.

**Valmistaja:** Kekkilä Oy, Äyritie 8 D, 01510 Vantaa; 020 790 4040; www.kekkila.fi  
**Valmistuspaikka:** Vantaan multa-asema, Tikkurilantie 163, Vantaa  
**Alkuperämaa:** Suomi

## Liite 02 Katuluokka 1

Liite:T3. Normaali-päälyys rakenne kantavuusvaatimuksen mukaan.

Pohjanmaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,18	AB 0,18	AB 0,18	AB 0,18	AB 0,18
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,20	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
				Tukikerros 0,40	Tukikerros 0,60	Tukikerros 0,80	Tukikerros 1,05
Kokonaispaksuus	0,31	0,31	0,42	0,77	0,97	1,17	1,42

Liite:T4. Kantavuusarvot kerroksittain. Huom! Päälyys rakenteen kokonaispaksuus pohjamaille E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m <sup>2</sup> )	Päälyys rakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m <sup>2</sup>			
		Jakava	Kantava	Ensim. AB	Päälyyste
A (300)	0,31	–	300	368	611
B (200)	0,31	–	231	293	510
C (100)	0,42	–	161	216	510
D (50)	0,77	123	166	220	518
E (20)	0,97	112	156	209	500
	1,07	126	168	224	524
	1,17	136	177	234	542
	1,24	143	184	226	500 <sup>1)</sup>
	1,34	149	189	231	507 <sup>1)</sup>
	1,44	154	195	236	514 <sup>1)</sup>
	1,54	158	197	239	520 <sup>1)</sup>
F (10)	1,64	162	200	242	525 <sup>1)</sup>
	1,17	111	155	209	500
	1,27	129	172	227	529
	1,37	141	182	239	550
	1,44	150	190	232	507 <sup>1)</sup>
	1,54	156	195	238	517 <sup>1)</sup>
	1,64	161	200	242	524 <sup>1)</sup>
G (5)	1,74	165	203	246	530 <sup>1)</sup>
	1,42	111	154	207	500
	1,52	120	163	218	514
	1,62	128	171	226	528
	1,72	135	176	233	540

<sup>1)</sup> Sidotut kerrokset AB 3 x 120 + AB 100 (0,15 + 0,04).

(InfraRYL 2010, 528)

## Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)

## Liite 03 Katuluokka 2

E-SRÄÖHÖNEN AD RYL

Liite:T5. Normaali-päälyysrakenteen kantavuusvaatimuksen mukaan.

Pohjamaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	AB 0,10	AB 0,10	AB 0,15	AB 0,15	AB 0,15	AB 0,15	AB 0,15
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
				Tukikerros 0,30	Tukikerros 0,55	Tukikerros 0,75	Tukikerros 0,95
Kokonaispaksuus	0,29	0,29	0,34	0,64	0,89	1,09	1,29

Liite:T6. Kantavuusarvot kerroksittain. Huomi! Päälyysrakenteen kokonaispaksuus pohjamailla E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m <sup>2</sup> )	Päälyysrakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m <sup>2</sup>			
		Jakava	Kantava	Ensimm. AB	Päälyyste
A (300)	0,29	–	300	349	561
B (200)	0,29	–	230	275	465
C (100)	0,34	–	144	182	422
D (50)	0,64	109	153	191	439
E (20)	0,89	104	147	185	429
	0,99	119	162	202	458
	1,09	131	173	214	478
	1,19	140	181	222	492
	1,29	146	187	229	502
	1,34	152	192	234	511 <sup>1)</sup>
	1,44	156	195	238	517 <sup>1)</sup>
F (10)	1,09	103	147	185	428
	1,19	124	167	207	466
	1,29	139	180	221	490
	1,39	149	189	231	505
	1,49	156	195	237	516
	1,54	162	200	242	520 <sup>1)</sup>
	1,64	166	203	246	525 <sup>1)</sup>
	1,74	169	206	249	530 <sup>1)</sup>
G (5)	1,29	98	142	179	420
	1,39	111	154	193	442
	1,49	120	163	203	460
	1,59	128	171	211	473
	1,69	134	176	217	483
	1,79	140	181	222	492

<sup>1)</sup> Sidotut kerrokset AB 2 x 120 + AB 100 (0,10 + 0,04).

(InfraRYL 2010, 529)



Pääkatu, kokoojakatu tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatoja  
(ajokaistoja 1+1)

### Liite 04 Katuluokka 3

Liite:T7. Normaali-päälysrakenne kantavuusvaatimuksen mukaan.

Pohjamaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,12	AB 0,12
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
			Tukikerros 0,30	Tukikerros 0,50	Tukikerros 0,75	Tukikerros 0,95	
Kokonaispaksuus	0,24	0,24	0,31	0,61	0,81	1,06	1,26

Liite:T8. Kantavuusarvot kerroksittain. Huomi! Päälysrakenteen kokonaispaksuus pohjamaille E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m <sup>2</sup> )	Päälysrakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m <sup>2</sup>			
		Jakava	Kantava	Ensimm. AB	Päälyste
A (300)	0,24	—	300	368	435
B (200)	0,24	—	231	293	353
C (100)	0,31	—	144	196	369
D (50)	0,61	109	153	206	385
E (20)	0,81	93	137	188	358
	0,89	112	156	194	352
	0,99	126	168	208	372
	1,09	136	177	218	387
	1,19	143	184	226 <sup>1)</sup>	397 <sup>1)</sup>
	1,29	149	189	231 <sup>1)</sup>	405 <sup>1)</sup>
	1,39	154	194	236 <sup>1)</sup>	411 <sup>1)</sup>
	1,49	159	197	239 <sup>1)</sup>	416 <sup>1)</sup>
	1,59	163	200	242 <sup>1)</sup>	421 <sup>1)</sup>
F (10)	1,06	99	143	195	368
	1,14	120	164	203 <sup>1)</sup>	365 <sup>1)</sup>
	1,24	135	177	218 <sup>1)</sup>	386 <sup>1)</sup>
	1,34	145	186	228 <sup>1)</sup>	400 <sup>1)</sup>
	1,44	153	193	235 <sup>1)</sup>	410 <sup>1)</sup>
	1,54	159	198	240 <sup>1)</sup>	417 <sup>1)</sup>
	1,64	163	201	244 <sup>1)</sup>	423 <sup>1)</sup>
	1,74	167	204	247 <sup>1)</sup>	427 <sup>1)</sup>
G (5)	1,26	98	142	194	366
	1,34	111	154	193 <sup>1)</sup>	350 <sup>1)</sup>
	1,44	120	163	203 <sup>1)</sup>	365 <sup>1)</sup>
	1,54	128	171	210 <sup>1)</sup>	376 <sup>1)</sup>
	1,64	135	176	217 <sup>1)</sup>	385 <sup>1)</sup>

(InfraRYL 2010, 530)

## Liite 05 Katuluokka 4

Liite:T9. Normaali-päälysrakenne kantavuusvaatimuksen mukaan.

Pohjamaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,05
			Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
				Tukikerros 0,30	Tukikerros 0,55	Tukikerros 0,80	Tukikerros 1,00
Kokonaispaksuus	0,20	0,20	0,24	0,54	0,79	1,04	1,24

Liite:T10. Kantavuusarvot kerroksittain. Huom! Päälysrakenteen kokonaispaksuus pohjamaille E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m <sup>2</sup> )	Päälysrakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m <sup>2</sup>				
		Jakava	Kantava	Ensimm. AB	Päälyste	
A (300)	0,20	–	300	–	350	
B (200)	0,20	–	231	–	275	
C (100)	0,24	–	145	185	250	
D (50)	0,54	109	153	191	256	
E (20)	0,79	104	148	185	250	
	0,89	119	162	202	267	
	0,99	131	173	214	282	
	1,09	140	181	222	292	
	1,19	146	187	229	299	
	1,29	152	192	234	305	
	1,39	156	195	238	310	
	1,49	160	198	241	314	
	F (10)	1,04	111	154	193	258
		1,14	129	171	211	280
1,24		141	182	223	293	
1,34		150	190	232	303	
1,44		156	195	238	310	
1,54		161	200	242	315	
1,64		165	203	246	319	
G (5)	1,74	169	206	249	323	
	1,24	105	148	187	250	
	1,34	116	159	198	264	
	1,44	124	167	207	275	
	1,54	132	174	214	283	
	1,64	137	179	220	289	
	1,74	142	183	225	295	

(InfraRYL 2010, 531)

## Liite 06 Katuluokka 5

Liite:T11. Normaali-päälysrakenne kantavuusvaatimuksen mukaan.

Pohjamaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,05	AB 0,05
			Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
				Tukikerros 0,30	Tukikerros 0,40	Tukikerros 0,65	Tukikerros 0,80
Kokonaispaksuus	0,20	0,20	0,24	0,54	0,64	0,89	1,04

Liite:T12. Kantavuusarvot kerroksittain. Huom! Päälysrakenteen kokonaispaksuus pohjamaille E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m <sup>2</sup> )	Päälysrakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m <sup>2</sup>			
		Jakava	Kantava	Ensimm. AB	Päälyste
A (300)	0,20	–	300	–	350
B (200)	0,20	–	231	–	275
C (100)	0,24	–	144	181	244
D (50)	0,54	109	153	191	256
E (20)	0,64	69	111	145	200
	0,74	93	137	174	235
	0,84	112	156	194	260
	0,90	126	168	–	208
	1,00	136	177	–	218 <sup>1)</sup>
	1,10	143	184	–	226 <sup>1)</sup>
	1,20	149	189	–	231 <sup>1)</sup>
	1,30	154	194	–	236 <sup>1)</sup>
	1,40	158	197	–	239 <sup>1)</sup>
	1,50	162	200	–	242 <sup>1)</sup>
F (10)	0,89	75	118	153	210
	0,99	99	143	181	243
	1,05	121	164	–	203 <sup>1)</sup>
	1,15	135	177	–	218 <sup>1)</sup>
	1,25	146	186	–	228
	1,35	153	193	–	235 <sup>1)</sup>
	1,45	159	198	–	240 <sup>1)</sup>
	1,55	163	201	–	244 <sup>1)</sup>
	1,65	167	204	–	247 <sup>1)</sup>
G (5)	1,04	72	115	149	205
	1,14	91	134	171	232
	1,24	105	148	187	250
	1,30	116	160	–	200 <sup>1)</sup>
	1,40	124	167	–	207 <sup>1)</sup>
	1,50	132	174	–	214 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Sidekerroksen AB-kerros jätetään tekemättä ja kulutuskerros tehdään 0,05 m:n paksuisena.

(InfraRYL 2010, 532)

## Liite 07 Katuluokka 6

Liite:T13. Normaali-päälyysrakenteen kantavuusvaatimuksen mukaan.

Pohjamaan kantavuusluokka	A	B	C	D	E	F	G
	AB 0,03	AB 0,03	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04	AB 0,04
	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,20	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15	Kantava kerros 0,15
				Tukikerros 0,30	Tukikerros 0,60	Tukikerros 0,80	Tukikerros 1,00
Kokonaispaksuus	0,18	0,18	0,24	0,49	0,79	0,99	1,19

Liite:T14. Kantavuusarvot kerroksittain. Huom! Päälyysrakenteen kokonaispaksuus pohjamailla E...G määräytyy kantavuus- ja routamitoituksen perusteella.

Pohjamaa (MN/m <sup>2</sup> )	Päälyysrakenteen kokonaispaksuus, m	Tavoitekantavuus kerrosten päältä, MN/m <sup>2</sup>			
		Jakava	Kantava	Ensim. AB	Päälyyste
A (300)	0,18	–	300	–	320
B (200)	0,18	–	230	–	250
C (100)	0,24	–	161	–	187
D (50)	0,49	109	153	–	178
E (20)	0,79	112	156	–	182
	0,89	126	168	–	195
	0,98	136	177	–	193 <sup>1)</sup>
	1,08	143	184	–	200 <sup>1)</sup>
	1,18	149	189	–	205 <sup>1)</sup>
	1,29	154	194	–	210 <sup>1)</sup>
	1,38	158	197	–	213 <sup>1)</sup>
F (10)	0,99	111	154	–	180
	1,09	129	171	–	198
	1,18	141	182	–	198 <sup>1)</sup>
	1,28	150	190	–	206 <sup>1)</sup>
	1,38	156	195	–	212 <sup>1)</sup>
	1,48	161	200	–	216 <sup>1)</sup>
	1,58	165	203	–	219 <sup>1)</sup>
G (5)	1,19	105	148	–	175
	1,29	116	159	–	185
	1,38	124	167	–	183 <sup>1)</sup>
	1,48	132	174	–	189 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> AB-kerros tehdään 0,03 m:n paksuisena.

(InfraRYL 2010, 533)

## Tiivistyskoneiden ohjeelliset jyräskertamäärät

Tiivistyskoneiden ohjeelliset ylityskertamäärät eri kerrospaksuuksilla maa-aineksen ollessa lähellä optimivesipitoisuutta.

Jyrätyyppi	Paino, t	Ylityskertojen ohjearvo													
		Suodatin-/eristyskerros		Jakava kerros/välikerros		Kantava kerros		Tien tai kadun alusrakenne H <sup>1</sup> < 30			Tien tai kadun alusrakenne H <sup>1</sup> > 30			Louhe	
Kerrospaksuus enintään, m		0,25	0,5	0,25	0,4	0,2	0,3	0,25	0,5	0,8	0,25	0,5	0,8	0,8	1,0
Täryjyrät <sup>2)</sup>															
-vedettävät	> 5	4	7	5	8	5	9	3	6	11	3	7	13	6 <sup>3)</sup>	7 <sup>3)</sup>
-2 täryvalssia	> 5	3	4	3	5	3	6	2	4	8	2	4	8	-	-
-1 täryvalssi	> 5	4	7	5	8	6	9	3	6	11	3	6	11	5 <sup>4)</sup>	7 <sup>4)</sup>
Kumipyöräjyrät <sup>5)</sup>	> 20 <sup>6)</sup>	6	-	8	-	10	-	6	-	-	6	-	-	-	-
	> 20 <sup>7)</sup>	4	8	6	12	8	12	4	8	14	3	6	11	-	-
Staattiset valssijyrät <sup>8)</sup>	> 10	-	-	-	-	10	-	7	-	-	7	-	-	-	-
Tärylevyt <sup>9)</sup>	> 0,05	6	-	7	-	6	-	5	-	-	6	-	-	-	-
	> 0,1	5	-	6	-	6	-	4	-	-	5	-	-	-	-
	> 0,2	4	-	5	-	5	-	3	-	-	4	-	-	-	-
	> 0,4	3	-	4	-	4	-	3	-	-	3	-	-	-	-

1) H = hienoainespitoisuus (0,063 mm:n seulan läpäisy- %)

2) Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen. Amplitudi aluksi noin 1,5 mm ja viimeiset ylityskerrat < 1 mm, penkereen ja suodattimen jyräysnopeus 1...3 km/h, jakavan ja kantavan 3...6 km/h.

3) Paino vähintään 8t.

4) Paino vähintään 13t.

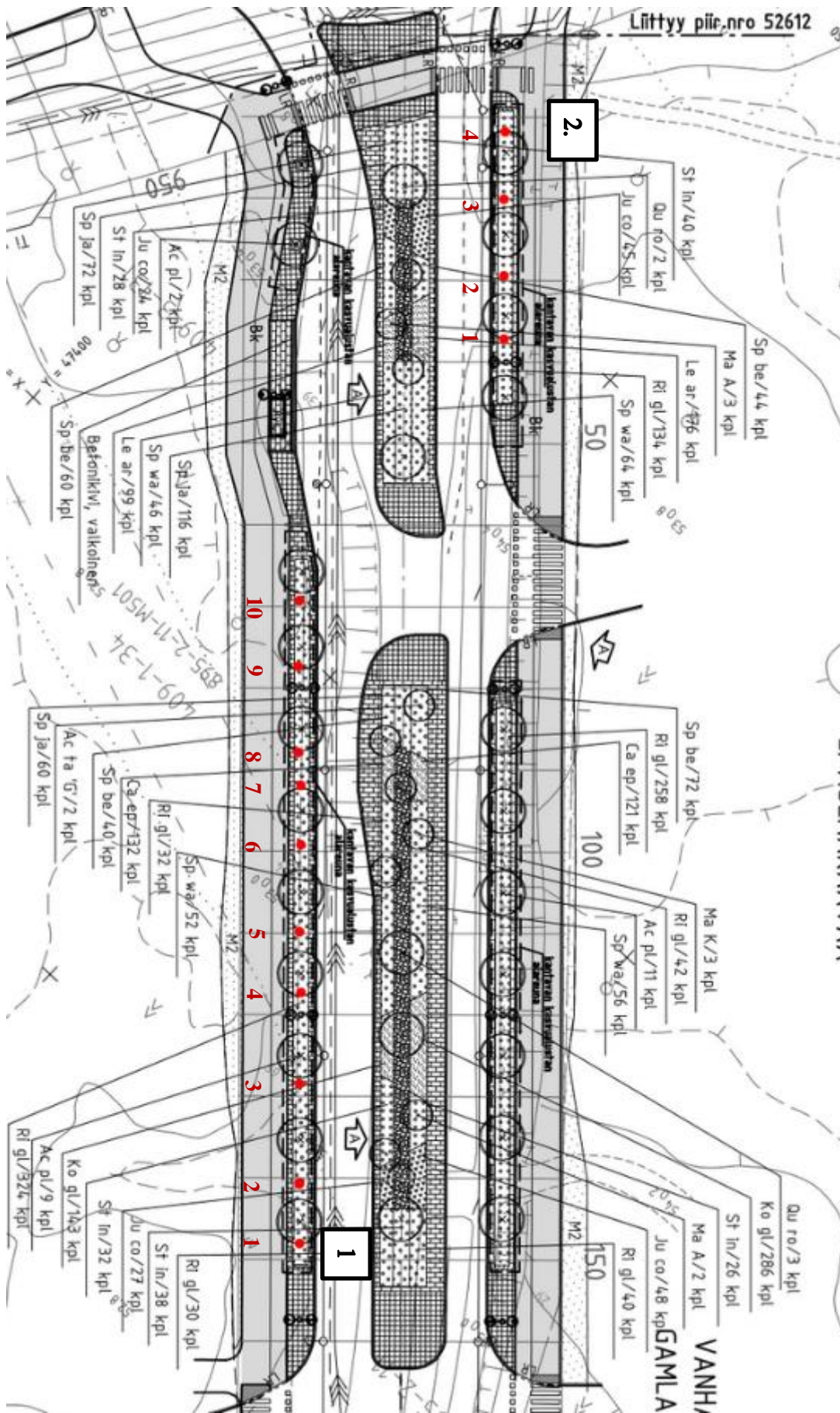
5) Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen, rengaspaine soraisilla maalajeilla 500 kPa ja hiekkaisilla maalajeilla 300 kPa, jyräysnopeus yli 5 km/h.

6) Pyöräpaino > 2 t.

7) Pyöräpaino > 3 t.

8) Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen. Viivakuorma > 5 t/m.

9) Käytetään yleensä ahtaiden alueiden ja kaivantojen täytössä kitkamaalajien tiivistämiseen. Teho riittää yleensä vain ohuen kerroksen (100...250 mm) tiivistämiseen. Parempaahan tiivistystehoon päästään tärylevyllä, joiden pohja on muotoiltu siten, että alkutiivistyksen jälkeen levy tiivistää pienemmällä pinta-alalla ja siten suuremmalla pinta-paineella.



Loadman -kevyen pudotuspainolaitteen mittaustulokset  
(Tiivistyskerrat ja tärytykerrat taulukoissa tarkoittavat samaa asiaa.)

### Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

**Työkohte:** Kivistö, Vanha Nurmijärventie välillä Tikkurilantie - Sarvivälkkeentie

**Pvm:** 13.-19.10.2015

**Mittaaja:** Jasmiina Eklund

**Pohjalevy** 132 mm  300 mm  100

Piste Paalu	1. kerros 1. piste n. 3 tiivistyskertaa (Lajittunutta kiviainesta)		1. kerros 1. piste n. 6 tiivistyskertaa (Lajittunutta kiviainesta)		1. kerros 2. piste n. 3 tiivistyskertaa	
	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1
Pudotus						
1	55		138		51	
2	60	1,09	207	1,5	71	1,39
3	63	1,15	236	1,71	66	1,29
4	68	1,24	211	1,53	75	1,47
5	70	1,27	160	1,16	71	1,39
6	70	1,27	154	1,12	66	1,29
7	72	1,31	220	1,59	68	1,33
8	70	1,27	224	1,62	71	1,39
Tulos	72	1,31	224	1,62	71	1,39

Piste Paalu	1. kerros 2. piste n. 5 tiivistyskertaa		1. kerros 3. piste n. 6 tiivistyskertaa Kasvualusta kerros		1. kerros 4. piste n. 5 tiivistyskertaa	
	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1
Pudotus						
1	93		56		39	
2	94	1,01	60	1,07	47	1,21
3	99	1,06	59	1,05	53	1,36
4	98	1,05	61	1,09	55	1,41
5	104	1,12	63	1,13	57	1,46
6	128	1,38	63	1,13	59	1,51
7	125	1,34	63	1,13	60	1,54
8					60	1,54
Tulos	128	1,38	63	1,13	60	1,54

**Huomautukset** Valmis kantavakasvualustamassa

---



---



---



---



---

## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: Kivistö, Vanha Nurmijärventie välillä Tikkurilantie - SarvivälkkeentiePvm: 13. -23.10.2015Mittaaja: Jasmiina EklundPohjalevy 132 mm  300 mm  100

Piste	<u>1. kerros 4. piste</u>	<u>1. kerros 5. piste</u>	<u>1. kerros 6. piste</u>
Paalu	<u>n. 7 tärytystä</u>	<u>n.7 tärytystä</u>	<u>n. 7 tärytystä</u>

Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1	
1	33				1	44				1	103			
2	51	1,55			2	63	1,43			2	123	1,19		
3	56	1,70			3	72	1,64			3	167	1,62		
4	57	1,73			4	74	1,68			4	159	1,54		
5	59	1,79			5	72	1,64			5	169	1,64		
6	60	1,82			6	73	1,66			6	172	1,67		
7	63	1,91			7	73	1,66			7				
8	61	1,85			8	75	1,70			8				
Tulos	63	1,91			Tulos	75	1,7			Tulos	172	1,67		

Piste	<u>1. kerros 6. piste</u>	<u>1. kerros 7. piste</u>	<u>1. kerros 7. piste</u>
Paalu	<u>n. 9 tärytystä</u>	<u>n. 7 tärytystä</u>	<u>n. 9 tärytystä</u>

Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1	
1	109				1	63				1	132			
2	125	1,15			2	71	1,13			2	139	1,05		
3	110	1,01			3	86	1,37			3	149	1,13		
4	110	1,01			4	87	1,38			4	175	1,33		
5	109	1,00			5	89	1,41			5	182	1,38		
6	104	0,95			6	88	1,40			6	189	1,43		
7	122	1,12			7	89	1,41			7				
8					8					8				
Tulos	122	1,12			Tulos	89	1,41			Tulos	189	1,43		

Huomautukset Valmis kantavakasvualustamassa


---



---



---



---



---



## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: Kivistö, Vanha Nummijärventie välillä Tikkurilantie - Sarvivälkkeentie

Pvm: 13.-23.10.2015

Mittaaja: Jasmiina Eklund

Pohjalevy 132 mm  300 mm  100Piste 1. kerros 8. piste  
Paalu n. 12 tärytystä1. kerros 9. piste  
n. 12 tärytystä1. kerros 9. piste  
n. 18 tärytystä

Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1	
	1	2	1	2		1	2	1	2		1	2	1	2
1	37				1	56				1	50			
2	47	1,27			2	67	1,20			2	63	1,26		
3	49	1,32			3	81	1,45			3	78	1,56		
4	52	1,41			4	75	1,34			4	85	1,70		
5	52	1,41			5	78	1,39			5	88	1,76		
6	51	1,38			6	82	1,46			6	89	1,78		
7	52	1,41			7	77	1,38			7	89	1,78		
8	52	1,41			8	79	1,41			8	90	1,80		
Tulos	52	1,41			Tulos	82	1,46			Tulos	90	1,80		

Piste 1. kerros 10. piste  
Paalu n. 13 tärytystä

Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1		Pudotus	E Mpa		E2/E1	
	1	2	1	2		1	2	1	2		1	2	1	2
1	85				1					1				
2	93	1,09			2					2				
3	88	1,04			3					3				
4	90	1,06			4					4				
5	112	1,32			5					5				
6	115	1,35			6					6				
7	115	1,35			7					7				
8	114	1,34			8					8				
Tulos	115	1,35			Tulos					Tulos				

Huomautukset Valmis kantavakasvualustamassa

---



---



---



---



---

## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte Kivistö, Vanhan Nurmijärventie välillä Tikkurilantie - Sarviväkkeentie

Pvm: 13.-23.10.2015

Mittaaja: Jasmiina Eklund

Pohjalevy 132 mm  300 mm  100

Piste	2. kerros 1. piste		2. kerros 2. piste		2 kerros *2 pisteen vierestä	
	n. 9 tiivistyskertaa		n. 9 tiivistyskertaa		n. 9 tiivistyskertaa	
Paalu	(lajittunutta louhosta)		(kasvualustaa pinnalla)		(louhosta)	
Pudotus	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1
1	145		39		78	
2	102	0,70	56	1,44	88	1,13
3	139	0,96	59	1,51	130	1,67
4	179	1,23	58	1,49	125	1,60
5	233	1,61	64	1,64	94	1,21
6	185	1,28	62	1,59	141	1,81
7			66	1,69		
8			65	1,67		
Tulos	185	1,28	66	1,69	141	1,81

Piste	2. kerros 3. piste		2. kerros 4. piste		2. kerros 5. piste	
	n. 9 tiivistyskertaa		n. 11 tiivistyskertaa		n. 12 tiivistyskertaa	
Paalu	(enemmän louhosta)		(enemmän louhosta)		(hyvin sekoittunut)	
Pudotus	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1	E Mpa	E2/E1
1	78		71		123	
2	84	1,08	92	1,30	164	1,33
3	83	1,06	116	1,63	167	1,36
4	84	1,08	103	1,45	137	1,11
5	92	1,18	127	1,79	161	1,31
6	127	1,63	125	1,76	167	1,36
7	102	1,31				
8						
Tulos	127	1,63	127	1,79	167	1,36

Huomautukset Valmis kantavakasvualustamassa

---



---



---



---



---

## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: Kivistö, Vanha Nurmijärventie välillä Tikkurilantie - SarvivälkkeentiePvm: 13.-23.10.2015Mittaaja: Jasmiina EklundLii Pohjalevy 132 mm  300 mm  100Piste 2.kerros 6. piste  
Paalu n.12 tiivistyskertaa2. kerros 7. piste  
n. 13 tiivistyskertaa2. kerros 8. piste  
n. 13 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	55	
2	62	1,13
3	68	1,24
4	74	1,35
5	75	1,36
6	68	1,24
7	75	1,36
8	81	1,47
Tulos	81	1,47

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	72	
2	70	0,97
3	68	0,94
4	82	1,14
5	87	1,21
6	85	1,18
7	91	1,26
8		
Tulos	91	1,26

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	76	
2	79	1,04
3	82	1,08
4	87	1,14
5	94	1,24
6	90	1,18
7	89	1,17
8		
Tulos	94	1,24

Piste 2. kerros 9.piste  
Paalu n. 14 tiivistyskertaa2. kerros 10. piste  
n. 15 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	77	
2	110	1,43
3	84	1,09
4	78	1,01
5	123	1,60
6	135	1,75
7		
8		
Tulos	135	1,75

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	86	
2	75	0,87
3	76	0,88
4	91	1,06
5	101	1,17
6	130	1,51
7	88	1,02
8		
Tulos	130	1,51

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
Tulos		

Huomautukset

Valmis kantavakasvualustamassa

---



---



---



---

## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte Kivistö, Vanha Nurmijärventie välillä Sarvivälkkeentie - Tikkurilantie

Pvm: 2.-3.11.2015

Mittaaja: Jasmiina Eklund

Pohjalevy 132 mm  300 mm  100Piste 1. kerros 1. piste  
Paalu n. 4 tiivistyskertaa1. kerros 1. piste  
n. 6 tiivistyskertaa1. kerros 2. piste  
n. 4 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	55	
2	69	1,25
3	81	1,47
4	88	1,60
5	89	1,62
6	93	1,69
7	89	1,62
8		
Tulos	93	1,69

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	62	
2	74	1,19
3	78	1,26
4	88	1,42
5	109	1,76
6	97	1,56
7	102	1,65
8		
Tulos	109	1,76

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	72	
2	87	1,21
3	116	1,61
4	79	1,10
5	118	1,64
6	120	1,67
7	122	1,69
8		
Tulos	122	1,69

Piste 1. kerros 2. piste  
Paalu n. 8 tiivistyskertaa1. kerros \*2. piste  
n. 8 tiivistyskertaa1. kerros 3. piste  
n. 4 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	68	
2	65	0,96
3	79	1,16
4	66	0,97
5	81	1,19
6	70	1,03
7	68	1,00
8		
Tulos	81	1,19

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	91	
2	93	1,02
3	89	0,98
4	94	1,03
5	85	0,93
6	110	1,21
7	125	1,37
8		
Tulos	125	1,37

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	112	
2	96	0,86
3	114	1,02
4	125	1,12
5	115	1,03
6	135	1,21
7		
8		
Tulos	135	1,21

\*n. 1m 2. pisteen vieressä

## Huomautukset

Itse kerrostettu ja kasteltu kantava kasvualusta

---



---



---



---

## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: Kivistö, Vanha Nurmijärventie välillä Sarvivälkkeentie - TikkurilantiePvm: 2.-3.11.2015Mittaaja: Jasmiina EklundPohjalevy 132 mm  300 mm  100Piste 1.kerros 3. piste  
Paalu n. 8 tiivistyskertaaPiste 1. kerros 4. piste  
Paalu n. 4 tiivistyskertaaPiste 1. kerros 4. piste  
Paalu n. 8 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	75	
2	95	1,27
3	103	1,37
4	94	1,25
5	105	1,40
6	103	1,37
7	106	1,41
8		
Tulos	106	1,41

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	103	
2	115	1,12
3	119	1,16
4	115	1,12
5	122	1,18
6	127	1,23
7	125	1,21
8		
Tulos	127	1,23

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	103	
2	94	0,91
3	104	1,01
4	93	0,90
5	109	1,06
6	104	1,01
7	106	1,03
8		
Tulos	109	1,06

Piste 2. kerros 1. piste  
Paalu n.8 tiivistyskertaaPiste 2. kerros 2. piste  
Paalu n. 6 tiivistyskertaaPiste 2. kerros 3. piste  
Paalu n. 6 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	120	
2	133	1,11
3	169	1,41
4	164	1,37
5	167	1,39
6	172	1,43
7	192	1,60
8	182	1,52
Tulos	192	1,60

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	179	
2	200	1,12
3	222	1,24
4	197	1,10
5	217	1,21
6	208	1,16
7	222	1,24
8		
Tulos	222	1,24

Pudotus	E Mpa	E2/E1
1	182	
2	196	1,08
3	189	1,04
4	164	0,90
5	167	0,92
6	196	1,08
7	204	1,12
8		
Tulos	204	1,12

Huomautukset

Itse kerrostettu ja kasteltu kantavakasvualusta

---



---



---



---

## Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: Kivistö, Vanha Nurmijärventie välillä Sarvivälkkeentie - TikkurilantiePvm: 2.-3.11.2015Mittaaja: Jasmiina EklundPohjalevy 132 mm  300 mm  100Piste 2. kerros 4. piste2. kerros 4. pistePaalu n. 6 tiivistyskertaan. 10 tiivistyskertaa

Pudotus	E Mpa		E2/E1		E Mpa	E2/E1	
1	88						
2	93	1,06					
3	120	1,36					
4	106	1,20					
5	132	1,50					
6	109	1,24					
7							
8							
Tulos	132	1,50					

Piste

Paalu

Pudotus	E Mpa		E2/E1		E Mpa	E2/E1	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Tulos							

Huomautukset

Itse kerrostettu ja kasteltu kantavakasvualusta


---



---



---



---