

# MTT RAPORTTI 161

## Kierrätysmateriaalien hyödyntäminen viherrakentamisen kasvualustoissa ja rakenteissa

Eeva-Maria Tuhkanen, Sirkka Juhanoja ja Tapio Salo



---

**Kierrätysmateriaalien hyödyntäminen  
viherrakentamisen kasvualustoissa  
ja rakenteissa**

---

**Eeva-Maria Tuhkanen, Sirkka Juhanoja ja Tapio Salo**

ISBN: 978-952-487-550-9

ISSN: 1798-6419

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-550-9>

<http://www.mtt.fi/mtraportti/pdf/mtraportti161.pdf>

Selvityksen tilaaja: Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Eeva-Maria Tuhkanen, Sirkka Juhanoja ja Tapio Salo

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2014

Kannen kuva: MTT Arkisto/S. Juhanoja: Viheralueen rakentamista Yltöisten puistossa, Piikkiö, Kaarina, 2010.

---

# Kierrätysmateriaalien hyödyntäminen viherrakentamisen kasvualustoissa ja rakenteissa

---

**Eeva-Maria Tuhkanen<sup>1</sup>, Sirkka Juhanoja<sup>1</sup> ja Tapio Salo<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Kasvintuotanto, Puutarhatutkimus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö. eeva-maria.tuhkanen@mtt.fi, sirkka.juhanoja@mtt.fi

<sup>2)</sup> MTT, Kasvintuotanto, Maaperä ja kasvinravitseminen, 31600 Jokioinen. tapio.salo@mtt.fi

## Tiivistelmä

Tässä selvityksessä kartoitetaan jättemateriaalien käyttökohteita viherrakentamisen kasvualustoissa ja rakenteissa, selvitetään jättemateriaaleista saatuja käyttökokemuksia maa- ja viherrakentamisessa sekä kartoitetaan tietotarpeita, joita jättemateriaalien tuotteistamiseen kasvualustoina tarvitaan. Tavoitteena on edistää jättemateriaalien paikallista, ympäristöystävällistä ja taloudellista uusiokäyttöä ja korvata tarkoitusta varten tuotettuja, kaivettuja tai louhittuja materiaaleja jättemateriaaleilla.

Puhdistamoliete- ja biojätekomposti ovat hyviä raaka-aineita viherrakentamisen kasvualustoihin. Hyvän kompostin ominaisuudet ovat lähellä täysin maatuneen turpeen ominaisuuksia, ja komposti sisältää yleensä runsaasti ravinteita. Komposteilla voitaneenkin jatkossa yhä enemmän korvata turpeen ja epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä kasvualustoissa.

Yhdyskuntajätteen poltossa syntyvää pohjakuonaa ja -tuhkaa käytetään useissa Euroopan maissa maa- ja tierakentamiseen. Pohjakuonan käyttöä paikallisessa maarakentamisessa on mahdollista ja luultavasti tarkoituksenmukaista lisätä. Prosessoidut pohjakuonat saattavat fysikaalisten ominaisuuksien puolesta soveltua korvaamaan hiekkaa, soraa ja murskettua viher- ja maarakentamisessa. Kuonan käyttöön kasvualustojen aineksena kaivataan tietoa sopivista seossuhteista ja vaikutuksesta pH:hon sekä soveltuvuudesta kasveille.

Jättemaiden soveltuvuuden kasvualustan raaka-aineeksi ratkaisee raekokojakauma ja aineksen tasalaatuisuus. Kierrätettävät maa-ainekset ovat useimmiten runsaasti savesta sisältäviä, jolloin niiden käyttökelpoisuus sellaisenaan kasvualustan raaka-aineeksi on huono. Vähemmän savesta sisältäviä, puhtaita ja tasalaatuisia jättemaita voidaan helpommin hyödyntää kasvualustoissa.

Betonimurske soveltuu maarakentamisessa hyvin luonnonkiven korvaajaksi, sillä betonimurskeella saadaan parempia kantavuuksia ja se on kevyempää kuin luonnonkivi. Betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa on mahdollista lisätä. Betonimurskeella voitaneen korvata luonnonkiveä ja muita epäorgaanisia materiaaleja (leca-sora, laavakivi, liuskekivi) myös viherrakentamisen sovelluksissa. Selvitettävä on kuitenkin betonimurskeen vaikutus kasvualustan pH:hon, happamoittavat seosaineet ja -suhteet sekä raekokojakauma eri käyttötarkoituksiin (esim. kantavat kasvualustat, viherkatot).

Tiilimurske on huokoista ja kevyttä suhteessa moniin muihin epäorgaanisiin materiaaleihin. Sen vedenpidätyskyky on hyvä ja pH usein emäksinen, joten näiltä ominaisuuksiltaan tiilimurske on hyvin lupaava materiaali viherrakentamisen kasvualustoihin.

Kierrätyslasista kuumentamalla valmistettu kevyt kiviaines, vaahtolasi, saattaa soveltua korvaamaan kasvualustojen epäorgaanisia aineksia, kuten murskettua, laavakiveä ja leca-soraa, keventäjänä ja vedenläpäisyn parantajana.

Turpeen korvaavaksi orgaaniseksi ainekseksi tutkitaan rahkasammalta ja biohiiltä. Uusien, ympäristövaikutuksiltaan edullisempien seosaineiden käyttö kierrätyskasvualustojen osana vaatii tuotekehittelyä ja sopivien seosten testaamista. Kierrätysmateriaaleja viherrakentamisen kasvualustoiksi käytettäessä on selvitettävä mm. sopivat orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen suhteet eri käyttötarkoituksiin, epäorgaanisen aineksen sopiva raekokojakauma, alkaalisten ainesten (betonimurske, kuona) vaikutus kasvualustan pH:hon eri seossuhteissa ja pH:n taasaamiseen sopivat seosaineet.

## Avainsanat:

*betoni, betonimurske, biohiili, biojäte, hulevesien hallinta, jätemaa, jätteenpoltto, kantava kasvualusta, kasvualusta, kierrätys, kivennäisaines, komposti, kuona, lasi, liikenneympäristö, orgaaninen aines, puhdistamoliete, rahkasammal, rakennusjäte, terminen käsittely, tienvarsien viheralue, tiili, tuhka, uusiokäyttö, vaahtolasi, viherrakentaminen, viherrakentamisen kasvit, viherkatto, yhdyskuntajäte*

---

# Sisällysluettelo

---

1 Johdanto.....	5
1.1 Selvitystyön tausta ja tavoitteet.....	5
1.1.1 Jätehuoltosektorin haasteet.....	5
1.1.2 HSY:n toimintaympäristö ja muutokset pääkaupunkiseudun jätehuollossa.....	5
2 Hyödynnettävät jättemateriaalit.....	7
2.1 HSY:n Ämmässuon jätteenlajittelukeskuksen lajitteet ja arvioidut määrät.....	7
2.1.1 Orgaaniset raaka-aineet: biojätekomposti, puhdistamolietekomposti.....	7
2.1.2 Yhdyskuntajätteenpolton kuona.....	7
2.1.3 Kivennäismaa-ainekset: puhdas maa-aines, muita aineksia sisältävä maa-aines, ns. Helsinki-moreeni....	7
2.1.4 Mineraaliset rakennusjätteet: betoni, tiilet, asfaltti.....	7
2.1.5 Muut jättemateriaalit.....	8
2.2 Jättemateriaalien käsittelymahdollisuudet Ämmässuolla.....	8
3 Viherrakentamisen kasvualustojen ominaisuudet.....	9
3.1 Tavanomaiset kasvualusta-ainekset.....	9
3.2 Nurmikot.....	10
3.3 Puistoistutukset, vaateliat puut ja pensaat.....	10
3.4 Liikenneympäristön viheralueet.....	10
3.5 Viherkatot ja kansirakentaminen.....	10
3.5.1 Viherkaton kasvualustan ominaisuuksia.....	11
3.6 Kantavat kasvualustat.....	13
3.6.1 Saksa.....	14
3.6.2 Tanska.....	14
3.6.3 Yhdysvallat.....	14
3.6.4 Suomessa tehty tutkimus.....	14
3.7 Hulevesien hallinta-, viivyty- ja pidätysalueet.....	15
3.8 Viherrakentamisessa käytettävien kasvien pH-vaatimuksista.....	16
4 Jättemateriaalien käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa.....	18
4.1 Orgaaniset raaka-aineet: biojätekomposti, puhdistamolietekomposti.....	18
4.2 Jätteenpolton pohjakuona.....	19
4.2.1 Jätteenpolton kuonien ja tuhkien lajikkeet.....	19
4.2.2 Pohjakuonan ominaisuudet.....	20
4.2.3 Pohjakuonan käyttömahdollisuudet.....	20
4.2.4 Kuonajalosteen nykykäyttö maarakentamisessa.....	21
4.2.5 Pohjakuona viherrakentamisen kasvualustoissa.....	22
4.2.6 Tuhkan muut käyttömahdollisuudet.....	22
4.3 Maa-ainekset: puhdas maa-aines, muita aineksia sisältävä maa-aines, ns. Helsinki-moreeni.....	22
4.4 Mineraaliset rakennusjätteet: betoni, tiilet.....	23
4.4.1 Betonimurske.....	23
4.4.2 Tiilimurske.....	24
4.5 Muut jättemateriaalit.....	25
4.5.1 Lasivilla.....	25
4.5.2 Kierrätyslasista valmistettu vaahtolasi.....	25
4.6 Uudet seosmateriaalit.....	26
4.6.1 Turpeen korvaaminen tulevaisuudessa.....	26
4.6.2 Biohiili.....	26
4.7 Lainsäädännön ohjeet jättemateriaalien käyttöön kasvualustoina.....	26
5 Ehdotukset pilottikäyttökokeiksi.....	28
5.1 Puistoistutus (perennat, pensaat, puut).....	28
5.2 Hulevesien hallinta/kosteikko.....	28
5.3 Rinnealue.....	28
5.4 Paahteinen alue.....	28
5.5 Lehtomainen alue.....	29
5.6 Viherkatto.....	29
6 Johtopäätökset.....	30
7 Kirjallisuus.....	32

---

# 1 Johdanto

---

## 1.1 Selvitystyön tausta ja tavoitteet

### 1.1.1 Jätehuoltosektorin haasteet

Jättemateriaalien hyötykäytön tehostaminen on lähitulevaisuuden haaste, johon velvoittaa lainsäädäntö ja kestävä kehityksen tavoite. Valtakunnallisen jätesuunnitelman toisen väliarvioinnin mukaan Suomen kokonaisjättemäärä jatkaa kasvuaan (Häkkinen ja muut 2014).

Jättemäärästä suurin osa, noin 90 %, on peräisin kaivannaistuotannosta, tehdasteollisuudesta ja rakentamisesta. Suurimmat hyödyntämättä jäävät jättemassat ovat mineraalijätteitä; sivukivi- ja maa-ainesta. Jätteiden käytön lisääminen maarakentamisessa onkin yksi valtakunnallisen jätesuunnitelman sekä jätepolitiikan keskeinen tavoite (Häkkinen ja muut 2014). Vuodelle 2016 asetettu tavoite on korvata luonnonSORAA ja kalliomursketta teollisuuden ja kaivannaistuotannon jätteillä 5 %. Tämän saavuttaminen näyttää vaikealta ja tarvitaankin lisätoimia jätteen käytön lisäämiseen maarakentamisessa (Häkkinen ja muut 2014).

Yhdyskuntajätteen energiahöydyntäminen on lisääntynyt merkittävästi uusien jätteenpolttolaitosten rakentamisen myötä, ja tavoite 30 % yhdyskuntajätteen energiana hyödyntämisestä on saavutettu (Häkkinen ja muut 2014). Jätteenpoltoissa syntyy kuonaa ja tuhkaa, jotka läjitettyinä, ilman hyötykäyttöä kuormittavat kaatopaikkoja. Näille on löydettävä uusiokäyttöä.

Yhdyskuntajätteen kierrätyksessä tavoite on 50 % vuoteen 2016 mennessä. Kierrätystavoitteesta 20 % tulisi saavuttaa biojätteen kompostoinnilla tai mädätyksellä.

Eri materiaalien kierrätyksen lisääminen on jätehuoltosektorin lisäksi monen toimijan haaste. Tarvitaan käyttökohteita ja tuotteistamista, jotka lisäävät jättemateriaalien uusiokäyttöä. Käyttökelpoisten uusiomateriaalien tuottamiseen tarvitaan myös erotteluteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaamman ja puhtaamman materiaalisäannon. Tämän lisäksi on tunnettava eri tarkoituksiin tarvittavien materiaalien vaatimukset.

Tässä selvitystyössä kartoitetaan jättemateriaalien käyttömahdollisuuksia viherrakentamisen kasvualustoissa ja rakenteissa. Muita olemassa olevia tai mahdollisia käyttötarkoituksia esitetään myös tarpeen mukaan. Selvitystyö koskee seuraavia HSY:n Ämmässuon jätteenkäsittelykeskukseen saapuvia materiaaleja: betoni- ja tiilimurske, erilaiset maa-ainekset, jätteenpolton kuona ja kattilatuhka sekä orgaaniset raaka-aineet, kuten kompostoitu biojäte, kompostoitu puutarhajäte ja yhdyskuntajätevesilietteen mädätysjäännös kompostoituna. Vaaralliset jätteet, pilaantuneet tai haitta-aineita raja-arvot ylittäviä määriä sisältävät materiaalit eivät kuulu selvityksen piiriin.

Selvityksen tavoitteena on tunnistaa jättemateriaalien tarkoituksenmukaiset käyttökohteet viherrakentamisessa, näihin kohteisiin soveltuvat materiaalien koostumukset ja seokset, kartoittaa nykyisiä käyttötapoja myös muissa vastaavissa ilmasto-oloissa sekä tehdä ehdotuksia tuotteistamiseksi. Selvitystyön tavoitteet ovat lainsäädännön ja ympäristöpoliittisten tavoitteiden kanssa yhteneviä: pyritään saattamaan jättemateriaaleja hyötykäyttöön ja vähentämään luonnonvarojen käyttöä. Jätteiden hyötykäytössä ja tuotteistamisessa on varmistettava, ettei hyödyntämisestä aiheudu vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle eikä maaperän tai pohjaveden pilaantumisen vaaraa. Hanke liittyy pääkaupunkiseudun jätehuollon ja HSY:n Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen toiminnan muutoksiin, jonka seurauksena useille materiaaleille on löydettävä uudenlaista käyttöä. Tavoitteena on jättemateriaalien paikallinen, ympäristöystävällinen ja taloudellinen uusiokäyttö.

### 1.1.2 HSY:n toimintaympäristö ja muutokset pääkaupunkiseudun jätehuollossa

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY on kuntayhtymä, joka tuottaa vesihuollon ja jätehuollon palveluja sekä tietoa pääkaupunkiseudusta ja ympäristöstä. HSY aloitti toimintansa 1.1.2010. Kuntayhtymässä yhdistyvät Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan vesilaitokset sekä YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan jätehuolto sekä seutu- ja ympäristötieto. HSY toimii yli miljoonan asukkaan seudulla

laadukkaan talousveden toimittajana, jätevesien puhdistajana sekä jätteiden keruun ja käsittelyn järjestäjänä.

Länsi-Espoossa sijaitsevan HSY:n Ämmässuon jätteenlajittelukeskuksen tärkeimmät tehtävät ovat nykyhetken saakka olleet sekajätteen kaatopaikkasijoitus, biojätteen kompostointi, rakenteissa ja kaatopaikan peittokerroksissa käytettävien maa-ainesten vastaanotto ja käsittely hyödynnettäväksi, kaatopaikkakaasun hyödyntäminen ja pienten jäte-erien vastaanotto. Lisäksi alueella on käynnistetty pilaantuneiden maiden käsittelytoimintaa sekä sekajätteen paalausta polttoa varten.

Pääkaupunkiseudun jätteenkäsittelyssä on tapahtumassa kuitenkin muutoksia, joiden vaikutuksesta Ämmässuolle tulevia materiaalivirtoja on ohjattava uudelleenlaiseen käyttöön.

Tärkeimmät odotettavissa olevat muutokset ovat sekajätteen käsittelyn siirtyminen Vantaan Energian jätteenpolttolaitokseen vuonna 2014 ja orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto vuonna 2016. Tämän jälkeen kaatopaikalle sijoitetaan ainoastaan epäorgaanista jätettä, jolloin maamassojen käyttötarve kaatopaikan rakenne- ja peittomateriaaleina vähenee huomattavasti ja näitä maamassoja on ohjattava muuhun käyttöön.

Uutena käsiteltävänä materiaalina tulevat Vantaan jätteenpolttolaitoksen kuonat ja tuhkat. Haitta-aineita sisältävät jaokkeet loppusijoitetaan Ämmässuolle, mutta hyödynnettäville jaokkeille etsitään käyttökohteita.

Näiden muutosten seurauksena jätemateriaaleille etsitään paikallisia, ympäristöystävällisiä ja jätelain hengen mukaisia hyödyntämismahdollisuuksia. Ämmässuon alue tarjoaa hyvät mahdollisuudet yritysyrityshöön ja uusille toiminnolle, sillä alue on energiaomavarainen ja logistiset yhteydet ovat hyvät. Viherrakentaminen tarjoaa potentiaalisen käyttömahdollisuuden maamassoille, betoni- ja tiilimurskeelle ym. materiaaleille, mutta tarvitaan tietoa materiaalien sopivista käyttömuodoista ja seoksista, soveltuvuudesta erityyppisiin viherrakentamisen kohteisiin ja kasvillisuudelle, turvallisuudesta ja tuotteistamismahdollisuuksista.

---

## 2 Hyödynnettävät jätemateriaalit

---

### 2.1 HSY:n Ämmässuon jätteenlajittelukeskuksen lajitteet ja arvioidut määrät

#### 2.1.1 Orgaaniset raaka-aineet: biojättekomposti, puhdistamolietekomposti

Arviot Ämmässuolle tulevista määristä (t/a) toiminnan muutosten jälkeen.

- Biojäte 50 000-54 000 t, kompostoidaan kompostointilaitoksessa, jatkossa osa kompostiin, osa mädätykseen
- Puutarhajäte 6000-8000 t, kompostoidaan
- Puujäte 15 000-20 000 t
- Kannot ja risut, n. 10 000 t
- Mädätetty yhdyskuntajätevesiliete 10 000-20 000 t, kompostoidaan biojätteen kanssa
- Komposti. Oma multatuotanto vuodesta 2015 alkaen, n. 15 000 t

Ämmässuon alueella toimiva Kekkilä Oy hyödyntää vielä vuoden 2014 ajan kompostit omassa mullantuotannossaan, mutta tämän jälkeen mullantuotanto siirtyy HSY:n ohjaukseen joko omana toimintana tai yhteistyössä yritysten kanssa. Suomenojalta alkaa puhdistamolietteen tuonti Ämmässuolle jossakin vaiheessa, jolloin mädätettyä puhdistamolietettä tulee käyttöön enemmän.

Vanhan kaatopaikan maisemointiin tarvitaan vielä Ämmässuolla jonkin verran kompostimultia.

#### 2.1.2 Yhdyskuntajätteenpolton kuona

Ämmässuon jätteenlajittelukeskukseen tuodaan yhdyskuntajätteen polton kuonaa Vantaan Energian jätteenpolttolaitoksen käynnistyttyä vuonna 2014.

- Arvioitu määrä 50 000 t

Hyödyntäminen vaatii esikäsittelyn (ikäännyttäminen, seulonta ja erottelu metallien poistamiseksi), joka on suunniteltu hankittavaksi ostopalveluna. Prosessointi vähentää hyödynnettävän kuonan määrää.

#### 2.1.3 Kivennäismaa-ainekset: puhdas maa-aines, muita aineksia sisältävä maa-aines, ns. Helsinki-moreeni

- Jätettä sisältävät maa-ainekset, esim. täyttömaat 10 000-40 000 t
- Hyödynnettävä puhdas maa-aines 50 000-80 000 t
- Pilaantuneet maat 10 000-25 000 t
- Voimakkaasti pilaantuneet maat-tuhansia tonneja (käsittelyhalli öljyisille maille, nykyisin käsittelykapasiteettia runsaasti myös muualla)

Maa-aineksia on aiemmin tarvittu kaatopaikan peittämiseen ja maisemointiin. Yhdyskuntajätteen läjityksen vähentyessä maamassoja kaatopaikalla tarvitaan huomattavasti aiempaa vähemmän.

#### 2.1.4 Mineraaliset rakennusjätteet: betoni, tiilet, asfaltti

- Asfaltti 50 000-70 000 t
- Betonijäte 50 000-70 000 t
- Tiilet 7 000-8 000 t
- Epäpuhdas betonijäte Sorttiasemilta-muutamia tuhansia tonneja



Asfaltti on hyödynnetty Ämmässuon alueella uusioasfaltin tekoon. Betoni- ja tiilijätteille on löydettävä uusiokäyttöä.

### **2.1.5 Muut jätemateriaalit**

Muut raaka-aineet ja poistovirrat HSY:n alueella:

- kierrätyslasi
- kivivilla
- lasivilla
- puupohjaiset tuhkat

## **2.2 Jättemateriaalien käsittelymahdollisuudet Ämmässuolla**

Rakennusjätteet ja maa-ainekset käsitellään ennen hyödyntämistä käsittelyalueella. Jätteet seulotaan erilleen hyödynnettävistä maa-aineksista ja betoni murskataan. Sorttiasemille tuleva puu murskataan. Voimakkaasti pilaantuneita, lähinnä öljyhiilivetyjä sisältäviä maita käsitellään erillisessä käsittelyhallissa.

Hyödyntämistä ajatellen esim. betoni on mahdollista murskata erilaisiin käyttötarkoituksiin sopiviin rae-kokoihin.

Jätteenpolton kuonaa voidaan käsitellä metallien poistamiseksi ja fysikaalisten ominaisuuksien parantamiseksi, esim. haitallisten aineiden liukoisuuden vähentämiseksi. Käsittelymenetelmiä ovat varastointi eli ikäännyttäminen, pesu- ja uuttotekniikat, mekaaninen erottelu ja seulonta.

Kuona voidaan lajitella eri fraktioihin, esim. 0-2, 2-5, 5-8, 8-15 ja >15 mm. Lajittelu voidaan tehdä tarpeen mukaan.

---

## 3 Viherrakentamisen kasvualustojen ominaisuudet

---

Kasvualustan tulee olla käyttötarkoitukseen sopiva, kaupankäynnissä sovittujen tavoitteiden mukainen sekä lannoitevalmistelain ja alan suositusten mukainen.

Käyttötarkoitukseen soveltuvuuteen vaadittavat ominaisuudet määräytyvät viheralueen käyttötarkoituksen ja sinne istutettavan kasvillisuuden mukaan. Tässä kappaleessa esitellään erityyppisten viheralueiden ja viherrakenteiden kasvualustavaatimuksia.

Kasvualustan seosaineet vaikuttavat kasvualustan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Fysikaalisella laadulla tarkoitetaan kasvualustan rakenteellista laatua, jonka ominaisuuksia ovat mm. raekokojaukauma, ominaispinta-ala, veden adsorptio, vesipitoisuus, eloperäisen aineksen pitoisuus (humus) ja tilavuuspaino. Nämä vaikuttavat esim. kasvualustan tiivistymiseen ja vedenpidätys- ja läpäisykykyyn. Kasvualustan kemiallisella laadulla tarkoitetaan kasvualustan ravinnepitoisuuksia, pH- ja johtolukuarvoja sekä haitallisten aineiden pitoisuuksia. Kasvualustan tuoteselosteessa esitetyt arvot kertovat tuotantohetken laadun, sillä esim. typpi muuttaa helposti olosuhteiden vaikutuksesta kemiallista muotoaan ja samalla tuotteen typpipitoisuus ja johtoluku muuttuvat.

Biologisella laadulla tarkoitetaan kasvualustan eloperäiseen ainekseen liittyviä tekijöitä, kuten mikrobiologisten eliöiden esiintymistä (sis. mm. mykorritsat), aktiivisuutta ja elinmahdollisuuksia sekä niiden toiminnan vaikutusta kasvualustassa esim. ravinteiden ja hiilen kiertoon, kasvitautilien esiintymiseen. Biologiset tekijät vaikuttavat suuresti kasvien kasvuun ja kasvualustan toimivuuteen myös eliörikkaiden ylläpitäjänä. Kasvualustan biologiseen laatuun on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota, mutta laatu-kriteereitä ei tässä asiassa vielä ole.

### 3.1 Tavanomaiset kasvualusta-aineokset

Kasvualustojen raaka-aineina käytetään erilaisia kivennäis- ja eloperäisiä aineksia. Kivennäisaines eli epäorgaaninen materiaali muodostaa kasvualustan kantavan massan ja säätelee etenkin fysikaalisia ominaisuuksia, kuten veden liikkeitä ja kasvualustan kantavuusominaisuuksia. Kivennäisaineksen raekokojaukauma vaikuttaa kasvualustan huokostilavuuteen ja vedenläpäisykykyyn. Kivennäisaineksia ovat mm. moreenit, hiekat, hiesu ja savet. Suurin osa viherrakentamisen kasvualustoihin käytettävästä kivennäisaineksestä on peräisin hiekkaharjuista.

Eloperäisen aineksen laadulla, maatumisasteella ja määrällä on kasvualustassa suuri vaikutus kasvualustan kemialliselle ja biologiselle laadulle, mutta myös fysikaaliselle, esim. painumiselle ja tiivistymiselle. Käytetyimpiä eloperäisiä aineksia ovat olleet peltomulta ja metsämulta, turve ja kompostit. Viherympäristöliiton kasvualustatyöryhmä on antanut suosituksia eloperäisen aineksen käyttömääristä (Sirviö 2004). Laatusuosituksissa on kuitenkin puutteita ja niitä tulisi kehittää eri tarkoituksiin sopiviksi, samoin kuin nopeita ja edullisia eloperäisen aineksen laadun mittaustapoja (Sirviö 2004).

Muita kasvualustoissa käytettyjä aineksia ovat teollisesti valmistetut perliitti ja leca-sora. Molempia käytetään lisäämään kasvualustan ilmapitoisuutta ja parantamaan veden liikkumista maassa ja helpottamaan kasvien vedensaintia. Perliitti on vulkaanista alkuperää olevaa kiviainesta, jota on paisutettu uunissa kuumentamalla. Raekooltaan se vastaa hiekkaa. Leca-sora on savesta kuumentamalla valmistettua, kevyttä ja huokoista materiaalia. Sekä perliitin että leca-soran valmistus vie paljon energiaa, joten niiden korvaajiksi kaivataan energiaystävällisempiä materiaaleja, joiden raaka-ainetta saadaan läheltä.

Viherrakentamiseen käytettävistä kasvualustojen määristä ei ole olemassa tarkkoja arvioita. Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa Envirogreen-hankkeessa (Kangas & Salo 2011) arvioitiin Helsingin kaupungin alueella käytettävän lietepohjaisia 30 000 m<sup>3</sup> ja turvepohjaisia kasvualustoja 125 000 m<sup>3</sup> vuonna 2007. Rakennettava tai uusittava pinta-ala oli hankkeen arviossa Helsingin kaupungin alueella noin 100 hehtaaria. Tarvittavat kasvualustojen määrät ovat tämän jälkeen nousset ja kasvavat jatkuvasti.

## 3.2 Nurmikot

Nurmikot, joiden ei tarvitse kestää voimakasta kulutusta, voivat sisältää melko runsaasti eloperäistä ainesta (10-16 %). Eloperäinen aines tasaa ja ylläpitää ravinteiden saatavuutta kasvualustasta sekä pidättää vettä kasvien käyttöön kuivina kausina. Kasvualustan on kuitenkin läpäistävä kohtuullisen hyvin vettä, jotta voimakkaiden sateiden jälkeen ei tapahdu lätäkköjen muodostumista. Saveksen ja hiesun yhteenlasketun osuuden tulisi olla 15-25 % hyvän vedenpidätyskyvyn ja toisaalta vedenläpäisykyvyn takaamiseksi.

Vaativan nurmikkokasvualustan on kestettävä ihmisten liikkumisen aiheuttamaa kuormitusta ja tallaamista. Kasvualusta säilyttää paremmin fysikaalisen rakenteensa, kun sen kivennäismaan osuutta lisätään ja eloperäisen aineksen osuutta pienennetään. Kaikkein vaateliaimpina kasvualustoina pidetään urheilunurmikoita ja golfviheriöitä, joilla hieno hiekka on vallitseva kivennäismaalajite. Vaateliailla nurmikoilla eloperäisen aineksen määrä on alle 10 % ja urheilunurmikoilla sekä golfviheriöillä alle 2 %. Jotta urheilunurmikoiden vedenläpäisevyys olisi erittäin nopea, savespitoisuus on alle 2 %.

## 3.3 Puistoistutukset, vaateliaat puut ja pensaat

Puistoistutusten kasvualustat olisi suotavaa valmistaa istutusten kasvuvaatimusten mukaisesti. Rehevän kasvupaikan vaativien puiden ja pensaiden kasvualustoissa eloperäisen aineksen määrä voi olla jo selvästi yli 10 %. Vaatimattomille istutuksille kuten esimerkiksi havupuille vähennetään eloperäisen aineksen määrää 10 %:n alapuolelle. Pääravinteiden taso ja pH säädetään myös istutuksen kasvuvaatimuksien mukaan. Kasvualustoissa on oltava riittävän suuri ja kestävä huokostilavuus, jotta maa ei tiivisty liikaa pensaiden ja etenkin puiden pitkän elinkaaren aikana. Saveksen määrä onkin pidettävä kohtuullisen alhaisena ja hiekan osuus korkeana.

## 3.4 Liikenneympäristön viheralueet

Liikenneympäristöjen viheralueilla, kuten teiden keskikaistoilla, tienvarsilla ja meluvalleilla, tarvittavien maamassojen ja kasvualustojen käyttömäärät ovat suuret. Suuri osa markkinoilla liikkuvista kasvualustoista käytetään maisemointitarkoituksiin taajama-alueiden ulkopuolella. Näissä kohteissa tarvitaan pintakerrosten hyvää vedenläpäisevyyttä ja eroosionkestoa.

Liikenneviraston viheralueiden pinta-ala on noin 200-300 km<sup>2</sup>. Näillä alueilla hyödynnetään ensisijaisesti paikalla olevia maa-aineksia, mutta ne eivät aina riitä kattamaan tarvetta. Nämä kohteet tarjoavat laajan ja monipuolisen kierrätysmateriaalien käyttömahdollisuuden.

UUMA- ja UUMA2-ohjelmissa (<http://www.uuma2.fi/>) edistetään uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa usean toimijan yhteistyönä.

Liikenneviraston ohjeistuksessa on esitetty tienpenkereiden materiaalien vaatimukset (Liikennevirasto 2010). Betonituoteteollisuuden tai purkutyömaiden jätebetonista tehtyä betonimursketta on käytetty teiden, katujen ja kenttien jakavassa ja kantavassa kerroksessa Suomessa vuodesta 1994 saakka (Tielaitos 2000). Rakennetuissa kohteissa mitatut kantavuudet ovat ylittäneet tavanomaisilla kiviainesrakenteilla saavutettavat kantavuudet ja kokemukset ovat olleet hyviä.

Tienpientareiden luiskissa ja muilla kaltevilla alueilla vaaditaan pintakerrosten hyvää eroosionkestoa. Tutkimusten mukaan kasvualustan on hyvä olla erittäin humuspitoinen, jolloin valumat luiskissa jäävät vähäisemmiksi kuin enemmän kivennäisaineksia sisältävällä alustalla (Jurmo 2013).

Tasaisemmilla liikenneympäristön viheralueilla, esim. keskikaistat, katujen varren tasaiset alustat, kaivataan hyvän läpäisykyvyn omaavaa kasvualustaa, jottei vesi kerääntä lätäköiksi.

## 3.5 Viherkatot ja kansirakentaminen

Viherkattojen käyttö nykyaikaisessa rakentamisessa on vähitellen tullut yleiseen tietoisuuteen Saksasta 70-luvulta lähtien (Vaarsalo 2011). Monissa maissa ja kaupungeissa (mm. Saksa, Japani, Washington, Chicago, Toronto) viherkattojen rakentamista edistetään verohelpotuksin ja investointituin tai jopa viherkatetta edellyttävien säädöksiin. Itävallassa Linzin kaupunki on tukenut viherkattorakentamista 1980-luvulta lähtien (Lizin viherkattojen menestystarina: <http://www.green-roof.group.shef.ac.uk/pdf/edmu>).

Sveitsissä Zürichissa viherkatto on säädösten mukaan rakennettava kaikille tasakatoille, jotka eivät ole terassikäytössä, mikäli se on teknisesti ja taloudellisesti kohtuullinen toteuttaa. Säädökset edellyttävät myös viranomaisneuvontaa ja -valvontaa suunnitelmavaiheessa, ja käytännössä viherkatto uusille tasakatoille toteutuu lähes aina.

Suomessa viherkattomateriaalien tuonti ja tuotanto on lisääntynyt kovasti vajaan kymmenen vuoden sisällä. Kokemuksia ja tutkimustietoa viherkatoilla Suomen olosuhteisiin sopivista kasvualustoista ja kasvilla-jeista on kuitenkin vielä vähän. Suomessa ei myöskään vielä tuoteta paljoa katoille sopivaa kasvualustaa ja kasvillisuutta. Kotimaista tutkimusta ja tuotekehitystä kaivataan siis ripeästi. Viherkattojen tutkimus on käynnistynyt mm. Helsingin yliopistolla ja MTT:lla (Tiilikkala, Tuhkanen ja Uusitalo 2013).

Viherkatot tarjoavat erilaisia ekosysteemipalveluita eli ympäristöhyötyjä. Viherkattojen käyttöä perustellaankin monin edullisin vaikutuksin, kuten tulvahuippujen tasaamisella, lämpöeristyksen parantamisella ja lämpösaarekkeiden vähentämisellä, pölyn ja ilmansaasteiden sitomisella, melun vaimentamisella, katon käyttöänsä pidentämisellä, kiinteistön 'vihreä imagon' ja arvon nousulla, kaupunkiluonnon monimuotoisuuden lisäämisellä, hiilen sidonnalla ja ilmastomuutoksen torjunnalla sekä viihtyvyyden lisäämisellä (American Society of Landscape Architects, Mentens ja muut 2006, Nurmi ja muut 2013, Vaarsalo 2011).

Kasvillisuus suojaa kattorakenteita haitalliselta uv-säteilyltä ja lämpövaihteluilta, jolloin katon käyttöikä pidentyy. Viherkatto toimii myös rakennuksen lämmönsäätelijänä, sillä kasvipeite viilentää kesällä ja talvella toimii lämpöeristeenä. Viherkaton käyttö saattaa siis säästää energiaa myös viilennyksestä ja lämmityksestä, ja lämpösaarekkeiden muodostuminen kaupunkiympäristöön lientyy. Kasvillisuuskerros kasvualustoineen sitoo vettä, ja näin tasaa ja vähentää hulevesien virtauksia ja tulvahuippuja. Kaupunkiluonnon monipuolistuminen parantaa asukkaiden viihtyvyyttä sekä sosiaalista ja psyykkistä hyvinvointia, millä saattaa olla merkitystä terveydenhuollon kulujen vähentäjänä (Nurmi ja muut 2013).

Läpäisemättömän pinta-alan, esim. rakennusten ja asfaltin osuuden kasvu kaupunkien pinta-alasta on johtanut hulevesien tuomiin ongelmiin erityisesti rankkasateiden yhteydessä, kuten eroosioon, tierakenteiden rikkoutumiseen, veden tulvimiseen rakennuksiin, jätevedenpuhdistamoiden kuormittumiseen tai mikäli hulevedet johdetaan puhdistamattomina vesistöön, vesistöjen ravinnekuormituksen lisääntymiseen. Viherkatot toimivat vettä sitovina ja tulvahuippuja tasoittavina tekijöinä erityisesti alueilla, joilla on pääasiassa vettä läpäisemättömiä pintoja. Viherkaton kasvualustasta saattaa kuitenkin aluksi huuhtoutua ravinteita. Tarkkaa käsitystä ei ole siitä, miten pitkään ja kuinka paljon ravinteita huuhtoutuu, ja milloin kasvillisuus on riittävän kehittynyt sitoakseen tehokkaasti ravinteita.

Viherkattojen teknisiin kerroksiin on olemassa valmiita ratkaisuja, jotka takaavat turvallisen rakentamisen vedeneristyksen kannalta. Viherkaton rakenne muodostuu useasta kerroksesta.

Kasvillisuuden ja kasvualustan alla on suodatinkangas, joka pitää kasvualustan paikoillaan ja päästää veden lävitseen. Suodatinkankaan alla on salaojakerros, joka ohjaa veden kulkua. Salaojakerroksena käytetään esim. polypropeenimattoa, jonka kuopat toimivat myös veden varastona. Salaojakerroksen alla on mekaaninen suojakerros, joka estää vettä eristävän kerroksen rikkoutumisen. Katon käyttökelpoisuuden kannalta suuri merkitys on vettä eristävän kerroksen pitävyydellä. Vesieristeeseen sisällytetään myös juurisuoja.

Esimerkkejä eri tuottajien viherkattoratkaisuista:

<http://zincosuomi.fi/>

<http://www.envire.fi/tuotteet/veg-tech-viherkatot.html>

Valmistajat eivät kuitenkaan ilmoita kasvualustojen tarkempia koostumuksia.

### 3.5.1 Viherkaton kasvualustan ominaisuuksia

Keski-Euroopassa käytössä oleva luokittelu jakaa viherkatot kolmeen päätyyppiin: ekstensiivinen, intensiivinen ja kattopuutarha. Luokittelu perustuu kasvualustan paksuuteen, joka määrittää katoilla käytettävät kasvillisuustyypit ja hoitotarpeen.

Ekstensiivisten eli hoitovapaiden kattojen kasvualustan paksuus on tyypillisesti 50-150 mm, ja niitä voidaan perustaa laajoina pintoina tasakattojen lisäksi myös kalteville katoille. Hoitovapailla katoilla käytettävät kasvilajit ovat tyypillisesti kuivuutta kestäviä ja vähän biomassaa tuottavia (esim. maksaruohot, ketokasvit, heinälajit, perennat), jolloin kariketta ei jouduta poistamaan katolta. Kasvualustan ollessa ohut

rakenne jää kevyeksi (60-200 kg m<sup>-2</sup>), joten viherkattomateriaali voidaan asentaa jo olemassa olevalle katolle. Vähän hoitoa vaativia viherkattoja saatetaan joutua kuivina jaksoina kastelemaan.

Intensiivisen viherkaton kasvualusta on paksumpi (120-250 mm) ja sen orgaanisen aineksen osuus on suurempi kuin ekstensiivisillä katoilla. Kasvilajisto on monipuolisempi (myös pensaita) ja hoidoltaan vaativampi. Kattopuutarha (kasvualustan paksuus jopa 2 m) sisältää usein erityyppisiä kasvillisuuselementtejä (istutuslaatikot, vähän hoitoa vaativa matala kasvillisuus, syvempää kasvualustaa vaativille oma alue) ja oleskelualueita. Kasvilajit ovat tavanomaisia puutarhalajeja puuvartisia kasveja myöten ja vaativat sen mukaisen hoidon (Piironen 2011).

Kaupunkien tiivistyessä kansirakentaminen yleistyy viherrakenteiden toteutuksessa. Maanalaisten rakenteiden, kuten esim. parkkihallien, päälle luodaan viheralue. Kansirakentamisessa kasvualustan paksuus ja laatu vaihtelee ohuen ekstensiivisen viherkaton tyyppisestä paksumpaan, pensaille vaadittavaan kasvualustaan.

Viherkaton kasvualusta ei saa olla liian hienojakoinen, sillä silloin se tukkii vettä imevän ja johdattavan salaojakerroksen rakenteet ja huonontaa katon vesitaloutta. Kasvualusta ei saa myöskään painua tai kutistua. Nykyisissä ekstensiivisten viherkattojen kasvualustoissa pyritään hyvin pieneen orgaanisen aineksen pitoisuuteen (5-25 %). Intensiivisillä viherkatoilla ja kattopuutarhoissa orgaanisen aineksen osuus voi olla suurempi.

Kasvialustan orgaanisina aineksina on käytetty mm. kompostia, turvetta, kaarnaa ja kookoskuitua (Ampim ja muut 2010, Veuro ja muut 2012).

Epäorgaanisina aineksina on käytetty mm. hiekkaa, kevytsoraa, liuskekiveä, kalkkikiveä, laavakiveä, tiilimursketta, muoviva ja savea (Ampim ja muut 2010, Veuro ja muut 2012).

Täyte- ja sideaineena, jonka tehtävänä on keventää kasvualustaa, estää hienojakoisemman orgaanisen aineksen tiivistyminen ja kaltevilla katolla sitoa kasvualusta paikoilleen on käytetty kivivillaa, lasivillaa, nylonverkkoa ja turpeesta ja keino- tai kierrätyskuiduista valmistettua kuitulevyä. Tällaisten kerrosten tehtävänä on myös sitoa vettä varsinaisen, ohuen kasvialustakerroksen alla.

Kaupallisten viherkattoratkaisujen kasvialustaseoksista ei juuri ole tarkempaa tietoa saatavilla. Tutkimuskirjallisuudesta sen sijaan löytyy esimerkkejä testatuista seoksista. Kierrätysmateriaaleja on testattu viherkaton kasvialustan osana laatikko/astiakokeissa ulkona tai kasvihuoneessa.

Englannissa tehdyissä tutkimuksissa on testattu kierrätysmateriaaleja ekstensiivisten viherkattojen ohuessa kasvialustassa (Mickovski ja muut 2013, Molineux ja muut 2009).

Rakennusten purkujätettä (65 % weight calcareous, 35 % siliceous) murskattuna <5 mm raekokoon sekoitettiin savimaahan (loam) ja kompostiin suhteessa 20:65:15 (Mickovski ja muut 2013). 75 mm:n paksuiseen kasvialustaan istutettiin koekasveiksi maksaruohoa (*Sedum lydium*) ja ruohosekoitusta. Kasvialustan havaittiin toimivan hyvin kasvien kasvun kannalta ja sadesimulaatioissa eroosionkesto oli hyvä. Kasvialustan pH:ta tutkimuksessa ei raportoitu, mutta valuvesien pH oli melko korkea (noin 7,5-8) (Mickovski ja muut 2013).

Punaista tiilimursketta on yleisesti käytetty viherkattojen kasvialustassa mm. UK:ssa ja Saksassa. Englannissa tehdyssä kasvihuonekokeessa yleisesti saatavilla olevaa tiilimursketta käytettiin verranteena (Molineux ja muut 2009). Kierrätysmateriaaleina käytettiin jätevesilietettä, ylijäämäsavea, lentotuhkaa, kierrätyspaperista valmistettua tuhkaa ja kalkkikiveä (carbonated limestone) kivilouhoksesta.

Jätevesilietteen, saven ja ja lentotuhkan seoksesta oli valmistettu kevyitä pellettejä ('clay' pellets), samoin paperituhkasta. Kalkkikivi oli karbonoitu jäte-CO<sub>2</sub>:lla rakenteen parantamiseksi ja pH:n alentamiseksi (carbon8, kaupallinen tuote, Chatman, Kent). Orgaanisena seoksena käytettiin havupuunkuorikekompostin ja saven sekoitusta (50:50), ja tätä seosta oli kasvialustasta 15 % tai 25 %, jolloin orgaanisen aineksen todelliseksi pitoisuudeksi tuli 7,5 % tai 12,5 % (Molineux ja muut 2009).

Kaikkien materiaalien pH oli hyvin korkea: clay pellets 8.5, paperituhkapelletit 9.3, punainen tiilimurske 9.7 ja carbon8 11.8. Orgaanisen seoksen lisääminen alensi kaikkien seosten pH:ta, mutta ei samalla tavoin. Tutkimuksessa todettiin, että orgaanisen aineksen ja kierrätysmateriaalin määräsuhteista ja pH:n alentamisesta sopivaksi tarvitaan lisää testausta.

Suomessa HY:n tutkimuksissa testataan betonimurske:kompostimulta:kuorike -seosta (75:20:5 ja 55:40:5) viherkaton kasvialustassa laatikkokokeena. Tutkimuksessa seurataan kasvien menestymisen

lisäksi hulevesien määrää ja laatua. Alustavien tulosten mukaan kasvualustan pH oli hyvin korkea ja kuoriketta tai muuta happamoittavaa ainesosaa tarvitaan (Sami Konsti ja Kirsi Kuoppamäki, Viherkattoseminaari, osa III, ViherTek 14.11.2013, Helsinki).

Kierrätysmateriaaleja kasvualustaan sovellettaessa on selvitettävä materiaalien soveltuvuus kasvien kasvulle, vedenpidätys- ja läpäisevyysominaisuudet, eroosionkesto ja kasvualustan paikallaan pysyvyys.

Kierrätysmateriaaleista viherkaton ainesosiksi soveltuvat tiilimurske, betonimurske, vaahtolasi ja kompostimulta. Ainesosien sopivat sekoitussuhteet erityyppisille katoille on kuitenkin testattava. Betonimurskeen kohdalla ratkaistavia asioita ovat, kuinka korkeaksi kasvualustan pH nousee, pH:n pysyvyys, ja millä seosaineilla pH voidaan laskea sopivaksi. Myös kuonan ja tuhkan käyttöä kasvualustassa olisi syytä testata.

Viherkattojen kasvualustoista saatavat kokemukset ovat sovellettavissa myös maanpinnalle. Ekstensiivisille viherkatoille kehitettyjä ohuita kasvualustoja voitaisiin hyvin käyttää kohteissa, joissa tarvitaan kuivuutta ja paahdetta sietävää, matalaa maanpeittokasvillisuutta, kasvualustan hyvää paikallaan pysyvyyttä ja joissa ei vaadita jatkuvaa kulutuksenkestävyyttä. Viherkattojen kasvualustan on myös kestävä eroosiota, joten tällaiset kasvualustat voisivat soveltua myös luiskiin ja muille liikennealueille.

Viherkattojen rakennuttajille viherkaton ympäristölliset arvot ovat merkityksellisiä. Viherkaton halutaan tarjoavan ekosysteemipalveluita rakennuksen omistajalle, mutta myös lähiseudun muille käyttäjille ja lähiympäristölle. Tällä hetkellä Suomessa viherkattojen kasvualustoiksi ei ole kovin suurta valikoimaa tarjolla, eikä ainuttakaan pääasiassa kierrätysmateriaaleista valmistettua vaihtoehtoa. Viherkaton kasvualustamateriaaleihin tullaan lähitulevaisuudessa kiinnittämään entistä suurempi huomio ja niiltä vaaditaan ympäristöystävällisyyttä. Katon ekologisuuden lisäämiseksi paljon valmistusenergiaa vaativat materiaalit (kevytsora eli lecasora, kivi- ja lasivilla, muovit) ja kaukaa kuljetetut luonnonmateriaalit (laavakivi, liuskekivi, kookoskuitu) kaipaavat paikallisesti tuotettuja, kierrätysmateriaaleista valmistettuja vaihtoehtoja.

### 3.6 Kantavat kasvualustat

Kantavilla kasvualustoilla tarkoitetaan katu ympäristöön istutettaville puille tarkoitettua kasvualustaa, joka on samanaikaisesti puun kasvualusta ja kadun sitomaton rakennekerros. Kantavuutta edellytetään varsinaisen katualueen lisäksi puistokäytäviltä, peli- ja leikkikentiltä ja pelastusväyliltä. Näissä kantavuuden vaatimus ei ole yhtä suuri kuin katualueella. Pelikentillä pinnan tasaisuuden vaatimuksen vuoksi kantavuutta lisäävät, karkeat kerrokset on sijoitettava pintakerrosta syvemmälle.

Kivetyille alueille istutettavien puiden määrä kasvaa, ja tällä hetkellä se on jo valtakunnallisesti ainakin 700-800 puuta vuodessa. Kun yhden suuren puun tarvitsema kasvualustatila on 15-20 m<sup>3</sup> ja pienempien puiden vähintään 6 m<sup>3</sup>, vuosittain tarvittava kasvualustamäärä on suuri.

Kantavaa kasvualustaa käytettäessä katupuille ei tarvitse varata erikseen istutuskaisia tai muuta katurakenteesta erotettua tilaa, vaan puiden juurten käytössä on laaja tila ja runsaasti kasvualustaa.

Ensimmäiset kantavat kasvualustat kehitettiin Hollannissa 1990-luvulla. Eri maissa käytössä olevat kantavat kasvualustat vaihtelevat koostumukseltaan, koska ilmasto-olosuhteet, käytettävissä oleva kallio- ja maaperä sekä puulajisto vaihtelevat. Kokemukset kantavista kasvualustoista ovat toistaiseksi melko lyhyeltä ajanjaksolta, mutta on jo havaittu, että kantavissa kasvualustoissa puiden juuret kasvavat paremmin, pidemmiksi ja syvemmälle kuin tiivistyneellä nurmialueella. Kantavan kasvualustan on myös todettu vähentävän ympäröivien rakennekerrosten kohoilua ja pinnoitevaurioita, sillä syvemmällä kasvavien juurien yläpuolelle kohdistama voima jakaantuu laajemmalle pinta-alalle (Krook ja muut 2005; Sirviö 2004).

Kantava kasvualusta koostuu tukirakenteena, runkona toimivasta kiviaineksesta ja kiviaineksen seassa olevasta maa-aineksesta, joka toimii puiden kasvualustana. Halkaisijaltaan suurehkon, lohkaraisen kiviaineksen tehtävänä on estää maan painuminen ja täyttää ajoneuvoliikenteen asettamat kantavuusvaatimukset. Samalla kiviaineksen väleihin jää tilaa juurten kasvulle.

Eri maissa on kokeiltu erilaisia kantavan kasvualustan kiviaineksen ja kasvualustan seoksia. Ensimmäiset kokeilut olivat Hollannissa, jossa kiviaineksen osuus oli yli 90 % ja se oli hiekkaa, raekoko 0,2-0,5 mm. Kasvualustan osuus oli 5 %, siitä suurin osa orgaanista ainesta ja pieni osa savea. Tästä kehittäminen on johdettu erilaisiin versioihin. Ruotsissa ja Norjassa tehdyistä kokeiluista on niukasti saatavana julkaistua tietoa, mutta kokeiluista on saatu kuitenkin myönteisiä tuloksia (Krook ja muut 2005). Ruotsissa on mm.

kokeiltu kiviaineksen raekokoa 80-120 mm, ja aineksena leca-lohkareita. Norjassa kiviaineksen raekokoa 300-400 mm on kokeiltu.

Lämpötilat, roudan esiintyminen, sademäärät ja luontaiset maaperäominaisuudet vaikuttavat rakenneaineiden liukoisuuteen, rapautumiseen ja muihin ominaisuuksiin. Vastaavan ilmaston alueelta saatuja kokemuksia on luotettavinta käyttää vaihtoehtoisia seoksia Suomeen suunniteltaessa.

Seuraavassa esitellään tarkemmin Saksan, Tanskan ja Yhdysvaltojen kokeiluja, joista on saatavana julkaistua tietoa.

### 3.6.1 Saksa

Saksassa kantavasta kasvualustasta käytetään nimitystä 'juuristotilan laajentaminen' (Wurzelraumerweiterung). Siellä on kokeiltu erilaisia ratkaisuja erityisesti Osnabrückin kaupungissa. Siellä rakennettiin kantava kasvualusta kaksikerroksiseksi siten, että alaosien kantava rakenne on karkeampaa kuin ylempien osien. Kivilajeina käytettiin hiekkaa (raekoko 0-3 mm) ja laavakiveä (raekoko 8-16 mm). Yläosan pakkaus kasvualustasta oli noin puolet, ja siinä kiviaineksen osuus oli 60 %, alaosassa 90 %. Kasvualustaineksen osuus oli yläosassa 40 % ja alaosassa noin 10 %.

### 3.6.2 Tanska

Tanskassa kiviaineksen osuus on ollut kokeiluissa noin 83 paino-%. Kiviaineksena on kokeiltu kiveä, kivimursketta, Leca-betonilohkareita, murskattua laavakiveä, murskattua tiiltä, hiekkaseosta ja graniittia. Kasvualusta-aineksen osuus on ollut noin 17 %, ja siitä on käytetty nimitystä 'multa' (topsoil). Kaikki kiviainesvaihtoehdot toimivat, mutta niiden välillä ilmeni eroja. Eri materiaaleja vertailevassa tutkimuksessa puiden todettiin kasvavan heikoimmin Leca-betonirunkoisessa kasvualustassa ja hiekkaseoksessa. Leca-betoniyhdistelmä nosti liikaa pH:ta ja hiekkaseos aiheutti ylimääräistä salaojitustarvetta ja painumista. Laavakivi- ja tiilimurskeseoksissa kasvu oli yhtä hyvää kuin kiviseoksissa, mutta näissä ilmeni liiallista rapautumista. Etenkin laavakivi murskautui liian hienoksi jo rakennusvaiheessa.

Tanskalaisten tutkimusten mukaan kulmikas kiviaines, jonka raekoko on 63-150 mm, antaa parhaan tuloksen. Myös kivi- ja kasvualusta-aineksen oikea sekoitussuhde on tärkeä. Sekoitussuhde 5:1 (painon mukaan) (kiviaines:kasvualusta) on todettu toimivaksi, kuitenkin niin, että suhteen on parempi olla lähellä arvoa 6:1 kuin arvoa 4:1. Jos kiviaineksen määrä on pienempi, kivet menettävät kosketuksen toisiinsa, ja silloin on vaarana kasvualustan tiivistyminen. Kasvualustaa on kivien joukkoon lisättävä vähemmän kuin kivien väliin jää tyhjää tilaa, jolloin juurilla on kasvitilaa. Kantavassa kasvualustaa käytettäessä ei ole todettu routavaurioita kiveyksissä eikä kantavuusongelmia (Kristoffersen 1999, 1998)

### 3.6.3 Yhdysvallat

Yhdysvalloissa kantavassa kasvualustassa on kiviaineksen osuus ollut noin 83 paino-% ja raekoko 12,7-38,1 mm (0,5-1,5 tuumaa). Kiviaineksena on käytetty murskattua kalkkikiveä, soraa ja "saviliusketta" (a heat expanded slate). Kasvualustan osuus on ollut noin 17 %, ja siinä on ollut hiekkaa, hiesua ja savea suunnilleen yksi neljäsosa kutakin, loput soraa ja orgaanista ainesta.

Yhdysvaltalaisien tutkimusten mukaan kivilaadulla ja kivien muodolla on merkitystä toimivan kantavan kasvualustan rakentamisessa. Kivi- ja kasvualusta-aineksen suhde on todettu tärkeäksi. Kiviaineksena Yhdysvalloissa on päädytty käyttämään tasakokoista, halkaisijaltaan 15-35 mm olevaa murskattua kiveä tai soraa 80 paino-%. Kasvualustaksi suositellaan savimaata tai hiekansekaista savea (suomalaisittain hiuemaata, eli valtaosin savea ja hiesua, jonkin verran hietaa) noin 20 paino-%. Lisäksi seokseen lisätään 0,03 % hydrogeeliä (a potassium propeonate-propenamamide copolymer). Hydrogeeli estää kivi- ja kasvualusta-aineksen erottumisen toisistaan kasvualustan varastoinnin, kuormauksen ja asennuksen aikana. Kokonaisuus säilyy kosteana (Grabosky & Bassuk 1995, 1996).

### 3.6.4 Suomessa tehty tutkimus

Helsingin ylopiston ja Helsingin kaupungin rakennusviraston yhteisessä hankkeessa on selvitetty Viikin alueella kolmen erilaisen kantavan kasvualustan ominaisuuksia ja katupuiden menestymistä niissä.

Kasvualusta 1 sisältää 65 % kiviainesta koko kasvualustatilavuudesta. Kivenä on mursketta, jonka koko on 32-64 mm, ja joka koostuu granodioritista ja graniitista (75 %) sekä kiillegneisistä tai vastaavasta

(25 %). Kasvualusta-aineksena on karkeaa ja hienoa hietaa, maatonutta saraturvetta ja savea. Kasvualusta-ainesta on 35 %.

Kasvualusta 2 sisältää 70 % kiviainesta, joka on graniittia ja migmatiittia, raekooltaan 30-120 mm. Kasvualusta-ainesta on 30 % ja se on Metsäpirtin nurmikkomultaa.

Kasvualusta 3 sisältää 70 % kiviainesta, joka on graniittia, raekooltaan 64-150 mm. Kasvualusta-ainesta on 30 %, ja siinä on 65 % hiekkaa, 20 % juurikkaiden pesusavea ja loput soraa, lehtikompostia ja kuoriketta.

Tyhjätilojen osuutta rakenteen kokonaistilavuudesta testattiin kolmella eri raekoolla: 32-64 mm, 32-150 mm ja 64 - 150 mm. Tyhjätilaa muodostui kaikilla 40-45 %, mutta raekoko 64-150 mm antoi suurimmat tyhjätilat. Tämä oli juurten kasvun kannalta edullisin raekoko. Kiviaineksen tulee lisäksi olla mahdollisimman samankokoista, murskattua (Krook ja muut 2005). Eri raekoolla rakennuttujen kantavien kasvualustojen kantavuudet olivat hyvät, ja testatun raekoon 64-150 mm kasvualusta ei routinut.

Saatujen tulosten perusteella Suomeen suositellaan kantavaa kasvualustaa, joka rakennetaan tilavuussuhteessa kahdesta osasta kiviä ja yhdestä osasta kasvualusta-ainesta. Kiviaines on kovaa, esimerkiksi graniittia raekooltaan 60-120 mm tai 60-150 mm. Kivien väleihin tulevaan kasvualustaan suositellaan 30 tilavuus-% orgaanista ainesta ja 70 tilavuus-% kivennäisainesta. Orgaanisessa aineksessa tulee olla pitkälle maatuneita aineksia ja esimerkiksi noin 5 % maatumatonta lehtikompostia tai puun kuoriketta. Kiviaineksen väliin jäävästä tilasta suositellaan täytettäväksi vain noin 95 %, jotta väliin jää ilmatilaa ja tilaa juurten kasvuille.

### 3.7 Hulevesien hallinta-, viivytytys- ja pidätysalueet

Suomessa tuli vuonna 2010 voimaan laki, joka velvoittaa kunnat tekemään hulevesien hallintasuunnitelmat (Vuori 2012). Myös Vesihuoltolaki ja EU:n vesipuitedirektiivi asettavat kaupunkien ja kuntien hulevesihuollolle haasteita. Hulevesijärjestelmissä käytettävien rakenneaineiden tarve tulee lähivuosina kasvamaan merkittävästi. Hulevesirakenteiden kasvualustoista on toistaiseksi vähän kokemusperäistä ja tutkittua tietoa pohjoisilta alueilta.

Hulevesien hallinnassa tavoitteena on, että hulevedet käsitellään ensisijaisesti syntypaikassaan. Hulevesien hallintaan tarvitaan erilaisia järjestelmiä, joissa yhdistetään perinteisiä sadevesiviemärintijärjestelmiä ja luonnonmukaisia hulevesien hallintakeinoja toimivaksi kokonaisuudeksi (Hakala 2012a,b).

Hulevesien hallintamenetelmiä ovat hulevesien vähentäminen, käsittely, viivyttäminen ja johtaminen. Lämpäisevien pintojen lisääminen ja uusien lämpäisevien pinta-materiaalien kehittäminen ovat tärkeitä hulevesien määrän vähentämisessä. Tavoitteena on, että mahdollisuuksien mukaan syntyneet hulevedet imeytetään pohjavedeksi.

Vain puhtaita hulevesiä voidaan imeyttää pohjavedeksi, eikä pohjavesialueiden maakerroksissa, joiden läpi imeyttäminen tapahtuu, saa olla haitta-aineita. Hulevesiä voidaan varastoida paikallisesti ja tilapäisesti ja niitä viivytetään ja johdetaan hallitusti (Eskola & Tahvonen 2010; Hakala 2012a).

Luonnollisessa hulevesien hallinnassa järjestelmän toimivuuteen vaikuttaa oleellisesti käytettävän maan aineksen laatu ja rakenne. Kasvillisuudella on keskeinen merkitys hulevesien muodostumisessa, virtaamisen hallinnassa, eroosion torjunnassa ja hulevesien puhdistamisessa.

Imeyttäminen on tehokkain tapa vähentää huleveden kokonaismäärää. Imeyttämisellä vaikutetaan paitsi hulevesien määrään, myös laatuun. Hulevedet puhdistuvat suodattuessaan maakerrosten läpi maaperän kemiallisten, fysikaalisten ja biologisten ominaisuuksien ansiosta. Imeytysmenetelmät myös pidättävät hetkellisesti hulevettä maaperän huokostilavuuteen. Imeyttäminen edellyttää maaperältä vähintään kohtalaista vedenlämpäisevyyttä. Imeytys voi tapahtua imeytyskaivannoissa tai imeytyspainanteissa.

Kaivannot voivat olla joko maanalaisia tai avopintaisia, ja niihin on liitettävä esikäsittely, joka poistaa kiintoaineen. Kaivannot täytetään karkealla kiviaineksella. Kaivantoon ohjattu hulevesi varastoituu täyttemateriaalin huokostilaan ja imeytyy vähitellen maaperään. Kiviaineksen tilalla voidaan käyttää myös muita huokoisia materiaaleja, jotka pystyvät varastoimaan suuremman vesitilavuuden kuin kiviaines. Kiviaineksen huokostilavuus on parhaimmillaan 20-30 % rakenteen kokonaistilavuudesta. Suuria hulevesimääriä käsiteltäessä tarvitaan suurempia huokostilavuuksia, ja usein käytetäänkin kiviaineksen tilalla muovisia hulevesikasetteja, jotka pystyvät varastoimaan vettä yli 90 % kokonaistilavuudestaan (Hule-



vesiopas, Suomen Kuntaliitto 2012). Tiilimurskeen ja tietyntyyppisen betonimurskeen on todettu pidättävän vettä yhdysvaltalaisessa viherkattotutkimuksessa (Ampim ja muut 2010).

Imeytyspainanteet ovat ympäristöään alempana olevia alueita, joihin hulevedet voivat keräytyä lammi-koiksi ja imeytyä ympäröivään maaperään. Imeytyspainanteista käytetään myös nimityksiä biopidätys- tai biosuodatusalue tai sadepuutarha. Biopidätys- ja biosuodatusalueet perustuvat kasvillisuuden käyttöön, ja kasvialustat tulee suunnitella paikallisten olosuhteiden ja kasvillisuuden mukaan. Imeytyspainanteen pinnalla on ohut karike- tai kompostimultakerros tai hake. Sen alapuolella on 50-100 cm paksu kasvu- ja suodatuskerros, jonka maa-aineksen tulee olla sopivasti vettä läpäisevä ja bioaktiivinen, jotta se pidättää epäpuhtauksia. Kerroksen ainesosista vähintään puolet on oltava epäorgaanista.

Biopidätysalueiden imeytyspainanteen alaosan rakenne vaihtelee ympäröivän maaperän ja ympäristöolosuhteiden mukaan. Hyvin läpäisevään maahan rakennettaessa imeytyspainanteen pohjamaata ei tarvitse vaihtaa. Heikosti vettä läpäisevässä maaperässä kasvukerroksen alle on syytä vaihtaa pidätysimeytyskerros karkeasta kiviaineksesta imeytyskaivannon tapaan (Hulevesiopas, Suomen Kuntaliitto 2012).

Hulevesien määrän vähentämiseksi yksi keino on läpäisevien pintojen lisääminen. Sora- ja nurmipinnat ja reikäkivien käyttö lisäävät läpäisevää pinta-alaa. Ruotsissa käytetään kierrätysmateriaalista valmistettua Pelleplattan-pinnoite-elementtiä, jota voidaan käyttää tukirakenteena esimerkiksi sora- tai nurmipinnoitteelle. Myös läpäisevästä asfaltista on saatu hyviä kokemuksia läpäisevän pinnan lisäämisessä (Bonn 2003).

### 3.8 Viherrakentamisessa käytettävien kasvien pH-vaatimuksista

Useimmat viherrakentamisen kasvit viihtyvät kasvialustassa, jonka pH on välillä 5-7. Kasvialustan liukoiset suolat ovat tällöin parhaiten kasvien saatavilla.

Kasvialustan happamuutta vähennetään kalkitsemalla. Kalkitusaineen anioniosa neutraloi happamia H<sup>+</sup>-ioneja. Kalsiumhydroksidia (rakennushienokalkkia) käytettäessä neutralointireaktiossa syntyy vettä ja karbonaatti-ioneja sisältäviä aineita käytettäessä (kalkkikivijauheet, dolomiittikalkit, megnesiumpitoiset kalkkivikijauheet) vettä ja hiilidioksidia.

Kasvialustan pH vaikuttaa useiden ravinteiden saatavuuteen ja haitallisten aineiden liukoisuuteen kasvialustassa. Fosforin ja molybdeenin sitoutuminen ja sitoutumislujuus lisääntyvät happamuuden kasvaessa. Kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia on parhaiten saatavilla, kun pH on yli 6,5.

Tärkeimpiä kalsiumia sisältäviä kivilajeja ovat kalkkikivi ja dolomiitti. Myös fylliitti, kiilleliuske, diabasi, gabro, amfiboliitti ja dioriitti sisältävät kohtalaisesti kalsiumia. Suomen maaperässä kalkkikivi- ja dolomiittiesiintymät ovat pieniä, ja näiden joukossa on usein myös happamia kivilajeja, kuten graniittia, gneissia, rapakiveä ja hiekkakiveä. Laajempia kalkkiperäisiä alueita Suomessa on Ahvenanmaalla, Lohjalla, Paraisilla ja Pohjois- ja Itä-Suomen tietyillä alueilla, kuten Oulangalla, Keminmaalla, Tervolassa ja Kilpisjärvellä.

Kalkkivaikutteisuus tulee ilmi alueen kasvillisuudessa. Näiden alueiden luontainen kasvillisuus on lajistoltaan runsaampaa ja erilaista kuin vallitseva kasvillisuus. Suomen luonnonvaraisesta kasvillisuudesta kalkinsuosijoita ovat pääsääntöisesti lehtoalueiden kasvit sekä kalkkiperäisillä alueilla esiintyvät lajit. Esimerkiksi Enontekiön suurtuntureilla kasvaa 40 putkilokasvilajia, joita ei tavata muualla Suomessa. Meillä kaikkiaan tunturipaljakka-alueella tavattavista 291 lajista 103 lajia suosii karbonaattialustaa (Euro-la ja muut 2004).

Kalkkiperäisten alueiden lisäksi Suomessa tavataan ultraemäksisiä eli ultramaafisia kivilajeja, kuten serpentiiniä. Tällaisia esiintymiä on Pohjois-Karjalassa, Kainuussa, Keski-Lapissa, Enontekiöllä ja Utsjoella sekä Etelä-Suomessa Kiskossa ja Suomusjärvellä. Näiden alueiden usein korkeat kromi-, nikkeli-, rauta- ja megnesiumpitoisuudet ovat useimmille kasveille haitallisia. Alueiden kasvillisuus onkin hyvin omaleimaista, koska lajisto on sopeutunut tällaisiin kivilajeihin. Jotkut lajit pystyvät estämään raskasmetallien kulun juuresta eteenpäin, ja toiset varastoivat raskasmetallit varteen. Serpentiinialustoille sopeutuneista kasveista monet ovat erittäin harvinaisia ja rauhoitettuja (Väre 2008).

Suomen maaperä on yleisesti puutarhakasveille liian hapanta, pH on alle 5, ja pH:n nostaminen kalkituskella on useimmille kasveille välttämätöntä.

Kasvit luokitellaan usein kalsiumin käytön suhteen kalkinkarttajiksi (pH<4,2), neutraaleiksi (pH 4,2-5,5), kalkinsuosijoiksi (pH 5,5-7,0) ja kalkinvaatijoiksi (pH>7,0) (Väre 2008). Toisinaan kalkinsuosijoiksi luetaan jo pH 5:ssä viihtyvät kasvit ja pH 6:sta eteenpäin puhutaan kalkinvaatijoista (Kallio ja Rousi 1980). Lisäksi tiedetään, että moni laji luontaiselta esiintymisalueeltaan pohjoisemmas tai muuten epäsuotuisampiin olosuhteisiin siirrettynä vaatii menestyäkseen kasvualustaan korkeamman pH:n.'

Taulukko 1. Viljavuuspalvelu OY on laatinut kasvualustan rakenne- ja ravinnesuosituksen eri viherrakentamiskasvi-ryhmille. Tässä esitetään vain kasvualustan pH:n (vesiliuoksessa) ja kalsiumin tavoitearvot. Tavoitearvo on lihavoitu.

Kasviryhmä	pH	Ca mg/l
Nurmikot	5,5 < <b>6</b> < 7	1900 < <b>2500</b> < 3800
Vaateliaat puut, pensaat, perennat	5,5 < <b>6</b> < 7	2000 < <b>3000</b> < 4500
Vaatimattomat puut, pensaat, perennat	5 < <b>5,5</b> < 6	750 < <b>1000</b> < 2000
Rajoitetut kasvualustat (ei kattovihreä)	6 < <b>6,5</b> < 7,5	2500 < <b>3500</b> < 5500
Karut alueet, havut ja varvut	4 < <b>5,5</b> < 6	250 < <b>500</b> < 1000
Kuivat niityt	5 < <b>5,5</b> < 6,5	250 < <b>500</b> < 1000
Kotipihat	5,5 < <b>6</b> < 7	1900 < <b>2500</b> < 3800

Viherrakentamisessa käytettävistä kasveista suuri osa menestyy kasvualustassa, jonka pH on 6 tai sitä korkeampi ja useilla viherrakentamisen kasveilla on pH:n suhteen laaja sopeutumisalue. Myös vaateliaiden puulajien kasvualustan pH voi olla yli 7, jopa 8. Varsinaisista kalkinsuosijakasveista lehtoalueiden, kallioiden ja ketojen lajeilla on mahdollisuudet menestyä myös rakennetussa ympäristössä, jossa kasvualustan pH on korkea. Monet näistä lajeista ovat harvinaisia, osa rauhoitettuja. Tuntureilla kasvavat kalkinsuosijakasvit ovat yleensä heikkoja kilpailijoita ja vaativat menestyäkseen juuri tuntureilla vallitsevat olosuhteet. Lisäksi ne ovat harvinaisia, monet rauhoitettuja, jopa uhanalaisia. Ultraemäksiseen kasvualustaan sopeutuneet Suomessa tavattavat lajit ovat erittäin harvinaisia ja rauhoitettuja. Näillä luonnonkasveilla ei ole merkitystä viherrakentamisen kasveina, eikä niitä voida siihen tarkoitukseen lisätä.

---

## 4 Jättemateriaalien käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa

---

Peltomulta oli vielä 1980-luvulle asti pääasiallinen kasvualusta viherrakentamisessa. Peltomullan saannin ongelmat ja laatuvaihtelut ovat johtaneet siihen, että nykyisin kasvualustat valmistetaan käyttötarkoituksen mukaisesti erilaisista lähtömateriaaleista ja kasvualustojen laatua valvotaan lannoitevalmistelainsäädännön (539/2006) ja sen asetusten (24/11 ja 11/12) mukaisesti.

Kasvualustan tulee olla roskatonta ja tasalaatuista. Erilaisissa maisemointikohteissa voidaan sallia pieniä poikkeamia kivisyyden ja muovijätteiden osalta, jos niistä ei ole haittaa kohteen hoidolle tai maisemalle (Sirviö 2004). Kasvualustojen fysikaalisen laadun eli rakenteen tulee olla käyttötarkoitukseensa sopivan. Multavuuden ja kivennäismaan väliset suhteet vaikuttavat kasvien viihtyvyyteen ja toisaalta kasvualustan kantavuuteen. Eloperäisen aineksen pitäisi olla pitkälle maatunutta, jotta sen hajoaminen ei aiheuta kasvualustan kokoon painumista.

Kemiallinen laatu käsittää sekä kasveille hyödylliset ja tarpeelliset ravinteet että myös haitalliset metallit, joiden lannoitevalmistelaisissa määritettyjä raja-arvoja ei saa ylittää. Jättemateriaalien käytössä onkin pidettävä mielessä lannoitevalmistelain määritelmä ”Lannoitevalmisteiden raaka-aineiden tulee olla turvallisia ja sellaisia, että niistä valmistetut lannoitevalmisteet täyttävät niille asetut laatuvaatimukset.” Esimerkiksi tyyppinimellä kompostimulta valmistettava tuote voidaan tehdä kompostista tai käsitellystä puhdistamolietteestä ja kivennäismaasta. Raaka-aineina käytettävien kompostin tai käsitellyn puhdistamolietteen on myös täytettävä lannoitevalmistelain vaatimukset.

### 4.1 Orgaaniset raaka-aineet: biojätekomposti, puhdistamolietekomposti

Hyvin toteutetun kompostoinnin lopputuotteena on pitkälle maatunutta, hygieenistä, eloperäistä ainesta, joka soveltuu kasvualustan raaka-aineeksi tai maanparannusaineeksi. Kompostoinnissa on tärkeää varmistua massan riittävästä ilmansaannista ja kompostoinnin jatkumisesta riittävän pitkään, jottei hajotusprosessi jatku enää istutusalueella. Jälkikypsytysvaiheessa kompostista häviävät fytotoksiset eli kasvien kasvua haittaavat yhdisteet.

Puhdistamoliette- ja biojätekompostit ovat lähtökohtaisesti hyviä raaka-aineita kasvualustoihin. Kompostoinnin myötä materiaali maatuu pitkälle, ja kasvualustassa tapahtuva pintaa laskeva ja rakennetta tiivistävä hajoaminen vähenee. Kompostien hyödyntäminen paikallisessa viherrakentamisessa onnistuu yleensä hyvin (esim. Turunen ym. 2011).

Hyvän kompostin ominaisuudet ovat lähellä täysin maatuneen turpeen ominaisuuksia. Komposteilla voitaneenkin viherrakentamisessa korvata turvetta yhä kasvavissa määrin.

Kompostien käytön etuna suhteessa turpeeseen on turpeen nostoon liittyvien vesistövaikutusten vähentyminen ja epäorgaanisten lannoitteiden tarpeen väheneminen, kun kasvualustassa voidaan hyödyntää kompostin ravinteita (Ruuskanen 2013).

Komposti sisältää yleensä runsaasti ravinteita, kuten typpeä, ja siinä on runsas pieneliöstä ja biologinen aktiivisuus.

Kompostien raaka-aineet (erilliskerätty biojäte, puhdistamoliette, puhdistamolietteen mädätetty massa, puutarhajäte ym.) ovat yleensä laadultaan vaihtelevia, samoin kompostin tukiaineet (puunkuori, hake, turve, olki tms.). Kompostikasvualustojen hyvä tuotteistaminen vaatii jatkuvaa laadunvalvontaa kemiallisin ja fysikaalisin analyysin, jotta voidaan taata sopivat kasvualustaseokset erilaisiin käyttökohteisiin.

Biojätekompostien ravinnepitoisuudet riippuvat käsittelyyn tulevan raaka-aineen pitoisuuksista.

Taulukko 2. Biojätteen, mädätteen ja biojättekompostin ravinnepitoisuudet.

	N g/kg ka.		P g/kg ka.		
	alaraja	yläraja	alaraja	yläraja	
<b>Biojäte</b>	15.5	27.5	1.8	2.0	HSY 2011
<b>Mädäte</b>	19.4	34.4	2.3	2.5	
<b>Komposti</b>	23		5		Gareis, tiedonanto
Oletetaan mädätyksessä kuiva-ainetta kuluvan 20 %.					

Mädätyksen jälkeen erotettavan kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus on noin 17 %. Kompostoinnissa kuiva-ainepitoisuus nousee yli 40 %:n. Mädätyksen tai kompostoinnin jälkeen pH on yleensä 7-8, joten kompostit kohottavat tai ainakin ylläpitävät maan tai kasvualustan pH:ta kasvien kannalta suotuisalla alueella.

Kompostit soveltuvat hyvin myös maatalouteen maanparannusaineiksi (Tontti & Mäkelä-Kurtti 1999, Halinen ym. 2006). Kompostien tuottajan kannalta käyttötarkoitusta ohjaa yleensä kompostien markkinoilla saattamisesta aiheutuvat tuotot ja kustannukset. Viljelijät eivät yleensä ole halukkaita maksamaan komposteista maanparannusaineena, ja osallistuvat kustannuksiin yleensä korkeintaan levittämällä pellolle tuodun kompostin. Viherrakentamisessa kompostin käyttökelpoisuus turpeen korvaajana mahdollistaa jo korvauksen maksamisen kompostin tuottajalle.

## 4.2 Jätteenpolton pohjakuona

Lainsäädännön vaatimukset jätteen kierrättämisestä tai hyödyntämisestä energiaksi sekä vuonna 2016 voimaan tuleva orgaanisen aineksen kaatopaikkakielto johtavat yhdyskuntajätteen polton lisääntymiseen. Yhdyskuntajätteen energiahyödyntäminen on lisääntynyt merkittävästi uusien jätteenpolttolaitosten rakentamisen myötä, ja tavoite 30 % yhdyskuntajätteen energiana hyödyntämisestä on saavutettu (Häkkinen ja muut 2014). Yhdyskuntajätteen termisessä käsittelyssä eli jätteenpoltossa syntyy kuonia ja tuhkia, joiden käsittely vaikuttaa merkittävästi polttolaitoksen käyttökustannuksiin ja jotka läjitettynä, ilman hyötykäyttöä kuormittavat kaatopaikkoja. Näille on löydettävä hyötykäyttöä, joka takaa kuonien ja tuhkien turvallisen sijoittelun.

Tuhkalannoitteena saa käyttää puun, turpeen ja eläinperäisen aineksen poltosta muodostuvaa tuhkaa. Tuhkalannoitteiden on täytettävä lannoitevalmisteille asetetut yleiset ja tyyppinimikohtaiset vaatimukset. Ongelmallisempia ovat yhdyskuntajätteen poltossa syntyvät kuonat ja tuhkat, joiden sisältämät haitta-aineet rajoittavat niiden hyötykäyttöä.

### 4.2.1 Jätteenpolton kuonien ja tuhkien lajikkeet

Tuhkien ja kuonien ominaisuuksiin vaikuttavat polttoaineen koostumus, laatu ja esikäsittely, polttokattilan tyyppi (arinakattila, leijukattila) ja toiminta sekä poltto- ja savukaasujen käsittelyprosessit (Kaartinen ja muut 2007).

Jätteenpolton kiinteinä jätteinä syntyy pohjakuonaa ja -tuhkaa sekä savukaasuista eroteltavat lentotuhka, kaasujen puhdistuksen jäte (air pollution control residue, APC) ja näiden seokset. Energiaa talteen otavassa kattilassa muodostuu lisäksi kattilatuuhkaa. Lisäksi termisessä käsittelyprosessissa muodostuu jäteveden käsittelyjätettä ja prosessin mukaan mm. kalsiumsulfaattia eli kipsiä, vetykloridihappoa sekä natriumkarbonaattia ja -kloridia.

Tuhkia ja kuonia voidaan käsitellä metallien ja haitallisten aineiden poistamiseksi tai fysikaalisten ominaisuuksien parantamiseksi, esim. haitallisten aineiden liukoisuuden vähentämiseksi. Käsittelymenetelmiä ovat varastointi eli ikäännyttäminen, pesu- ja uuttotekniikat, kiinteytys sementillä, kemiallinen stabilointi, terminen käsittely ja mekaaninen erottelu.

Tämä selvitys koskee pääasiassa pohjakuonaa, sekä sivuaa pohja- ja kattilatuhkia:

- Pohjakuona = arinakattiloissa muodostuva raskas tuhka ja palamaton sekä sulanut jäte
- Pohja- ja kattilatuhkat = leijukerroskattiloissa muodostuvat raskaammat tuhkat ja palamattomat materiaalit. Voivat sisältää myös petihiekkaa.

Selvityksen piiriin eivät kuulu:

- Lentotuhka = kattilan jälkeen omana fraktionaan esim. sykloneilla tai sähkösuotimilla erotettava hienojakoinen tuhka (yleensä vaarallista eli ongelmajätettä)
- APC-jäte eli air pollution control residue = savukaasujen puhdistusjäte (yleensä vaarallista eli ongelmajätettä)
- Puolikuivassa ja kuivassa savukaasujen puhdistuksessa syntyvä lentotuhkan ja APC:n seos
- Jäteveden käsittelyjätteet

Näissä tuhka- ja APC-fraktioissa klooripitoisuus on hyvin korkea (15-25 %), samoin monien muiden haitta-aineiden pitoisuus ja liukoisuus.

#### 4.2.2 Pohjakuonan ominaisuudet

Polttoprosessin ensimmäisessä vaiheessa muodostuu pohjakuonaa noin 20-35 % poltettavan jätteen painosta. Pohjakuonan koostumus riippuu polttolaitokseen syötettävän jätteen koostumuksesta, aineiden haihtuvuudesta sekä polttokattilan tyypistä ja toiminnasta.

Pohjakuonasta noin 10 % on magneettisia metalleja, 2,5-3 % ei-magneettisia metalleja (alumiini, kupari ja messinki), 80-85 % kuonaa ja palamatonta epäorgaanista ainesta (lasia, keramiikkaa, kiviainesta) ja 1-3 % palamatonta orgaanista ainesta (Kaartinen ja muut 2010).

Pohjakuona jäädytetään välittömästi polttoprosessin jälkeen sammutusaltaissa, minkä seurauksena yhdyskuntajätteen polttolaitoksissa syntyvän tuoreen pohjakuonan vesipitoisuus on tyypillisesti 15-25 % (Kaartinen ja muut 2010). Nopean jäädyttämisen vuoksi kuonasta muodostuu osin lasimainen materiaali. Pohjakuona on hyvin huokoista, kevyttä aggregaattimateriaalia, jolla on erittäin suuri ominaispinta-ala. Pohjakuonan partikkelien raekokojakauma on laajalla alueella. Yleisesti pohjakuonan massasta 40 % voi olla raekooltaan alle 2 mm ja 80 % raekooltaan alle 10 mm.

Pohjakuonan kemialliset ominaisuudet on esitetty tarkemmin ks. Kaartinen ja muut 2007, taulukko 4. ja Kaartinen ja muut 2010, taulukko 2. sekä tekniset ominaisuudet Kaartinen ja muut 2010 taulukko 3.

Jätteenpoltoasetuksen (362/2003) mukaan jätteenpolttolaitoksessa on saavutettava sellainen polttotaso, että kuonassa ja pohjatuhkassa olevan orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) on alle 3 % tai niiden hehkutushäviö (LOI) alle 5 % aineen kuivapainosta.

Kriittiset haitta-aineet arinapolton pohjakuonassa ovat lyijy, sinkki, kromi, kupari ja antimoni.

Arinapolton pohjakuona vaatii fysikaalisen esikäsittelyn, jossa pohjakuonasta erotellaan magneettisten metallien lisäksi hienoaines ja ehkä myös ei-magneettiset metallit. Pohjakuona tarvitsee usein myös väli-varastoinnin eli ikäännyttämisen sellaisenaan tai tehostetusti sekä seulontaan yhdistetyn pesun.

Euroopassa pohjatuhkaa ja -kuonaa käsitellään yleensä tavanomaisena jätteenä.

Kuonan ominaisuuksia on vaikea selvittää polttoainetietojen perusteella, sillä jättepolttoaineet ovat hyvin vaihtelevalaatuisia ja polttolaitokset yksilöllisiä. Tietyn laitoksen kuonan yleisominaisuuksien selvittäminen vaatii pitkäaikaisia seurantajaksoja sekä polttoaineen että kuonan ominaisuuksista.

VTT:n selvityksessä on määritetty eri jättemateriaaleista, eri tyyppisissä polttolaitoksissa sekä eri kaasunpuhdistusmenetelmien tuotoksina syntyneiden jätteenpolton kuonien ja tuhkien ominaisuuksia (Kaartinen ja muut 2007). Selvityksessä on tutkittu myös eri käsittelytekniikoiden vaikutusta kuonien ja tuhkien laatuun.

#### 4.2.3 Pohjakuonan käyttömahdollisuudet

VTT selvitti yhdyskuntajätteen poltossa syntyvän pohjakuonan jalostusta maanrakentamisen uusiomateriaaliksi (Kaartinen ja muut 2010). Hankkeessa selvitettiin pohjakuonan prosessoinnin mahdollisuuksia parantaa maanrakentamishyötykäytön edellytyksiä. Tulosten perusteella pohjakuonan käsittelyllä saadaan

talteen arvometalleja ja tuotetaan maanrakentamiseen soveltuvia materiaali-jakeita. Samalla jalostusprosessilla ei kuitenkaan saada kuonasta metalleja hyvin talteen ja valmisteta hyvää maanrakentamiseen soveltuvaa jaetta, vaan jalostusprosessi tulee suunnitella ja optimoida erikseen kumpaakin tarkoitusta varten (Kaartinen ja muut 2010).

Sellaisenaan, ilman käsittelyä yhdyskuntajätteen polton pohjakuona ei sovellu käyttöön. Kuonille ja tuhille voidaan tehdä seuraavia käsittelyitä (Kaartinen ja muut 2007):

- varastointi eli ikäännyttäminen, jolloin materiaali reagoi ilman ja veden kanssa ja hydratoitumis- ja karbonoitumisreaktioiden seurauksena liukoisuusominaisuudet paranevat. Varastointi parantaa myös teknisiä ominaisuuksia.
- pesu- ja uuttotekniikat, jolloin helposti liukenevat aineet, kuten kloridit, liukenevat pesuveteen. Laskemalla pH:ta hapolla voidaan myös huuhtoa metalleja pois kiinteästä faasista.
- kiinteytys sementillä, jolloin erityisesti raskasmetallien liikkuvuus pienenee.
- kemiallinen stabilointi, jolla haitta-aineita muutetaan vähemmän liukoiseen, liikkuvaan tai myrkyttömämpään muotoon kemiallisten lisäaineiden avulla.
- terminen käsittely, jolla materiaalin tilavuutta ja haitta-aineiden liukoisuutta vähennetään.
- mekaaninen erottelu, jolla magneettiset ja ei-magneettiset metallit ja hienoaines voidaan poistaa materiaalikierätyksen tehostamiseksi ja lopputuotteen liukoisuusominaisuuksien parantamiseksi.

Prosessoitujen eurooppalaisten pohjakuonien ja -tuhkien ja luonnonkiviainesten fysikaalisten ominaisuuksien vertailu osoittaa, että pohjakuona saattaa sopia korvaamaan hiekkaa, soraa ja murskettua viher- ja maarakentamisessa (Kaartinen ja muut 2010, alkup. Laine-Ylijoki ja muut 2005).

Teknisten ominaisuuksien puolesta pohjakuonaa voidaan käyttää:

- maarakenteiden alusrakenteet ja -täytöt
- kuona-aggregaatti routasuojausmateriaaliksi maarakentamiseen
- päällysrakenteet: pysäköintipaikat, kevyen liikenteen väylät ja ulkoilutiet, urheilukentät, pelikentät, muut liikuntapaikat, varastokentät
- meluvallit
- tukimuurien taustatäytöt
- putkikanaalien alusrakenteet ja -täytöt

#### 4.2.4 Kuonajalosteen nykykäyttö maarakentamisessa

Pohjakuonaa käytetään useissa Euroopan maissa tie- ja katurakenteissa, meluvalleissa sekä muissa maarakenteissa (Kaartinen ja muut 2010).

Ruotsissa pohjakuonan käyttömäärät ovat olleet 650 000 tonnia vuodessa. Kuonan pääkäyttökohde ovat siellä kaatopaikkojen peittorakenteet, huoltotiet, valli- ja eristysrakenteet. Kaatopaikkojen ulkopuolinen käyttö (paikoitusalueet ja teollisuusalueiden pohjarakenteet) on ollut vähäistä, eikä ole virallista ohjeistusta ja standardeja (Kaartinen ja muut 2010).

Belgiassa pohjakuonaa käytetään kaatopaikkarakenteiden lisäksi teollisuusalueilla ja yksityisten teiden ja paikoitusalueiden täyttöön. Teiden pohjarakenteisiin on olemassa ohjeistus. Pohjakuonasta valmistetaan myös sementtiaggregaattia ja päällyskiviä. Käyttömäärät ovat olleet noin 410 000 t/a.

Pohjakuonan suurimmat hyödyntäjämaat Euroopassa ovat olleet Alankomaat (1,32 milj. t/a), Ranska (3 milj. t/a) ja Saksa (3,5 milj. t/a). Kaatopaikkakäytön lisäksi näissä maissa on pohjakuonaa käytetty mm. tien pengerrakenteisiin, päällystettyjen alueiden (esim. parkkialueet) pohjarakenteisiin, moottoriteiden melusteisiin, teollisuusalueiden täyttöihin ja pohjarakenteisiin, viemärintien pohja- ja alusrakenteisiin sekä sementti ja asfalttiaggregaattien valmistukseen. Alankomaissa ja Saksassa on ohjeistusta pohjakuonan käyttöön teollisuus- ja tiealueilla, esim. Alankomaissa pohjakuonalla ei saa olla yhteyttä pohjaveteen.

Suomessa pohjakuonaa ja lentotuhkaa on käytetty koeluontoisesti meluvalleissa Liikenneviraston hankkeissa. Tavoitteena on korvata luonnonkiviaineksia näillä jätemateriaaleilla. Lentotuhkaa tai pohjakuonaa laitetaan meluvallin ydinosaan. Niiden alle laitetaan suodatinkangas tai muovi. Päälle levitetään moreenia 40 cm ja kasvukerrokseksi 10 cm multaa.

Haitta-aineiden kokonaispitoisuudet verrattuna valtioneuvoston maarakentamisasetuksen peitetyille rakenteille asetettuihin raja-arvoihin ylittivät monen aineen kohdalla. Mutta koska liukoisuusarvot alittivat

selvästi vaarallisen jätteen raja-arvot, lentotuhkat ja pohjakuona voitiin luokitella tavanomaiseksi jätteeksi.

Valtatie 7 varteen välillä Karhula-Rantahaka syksyllä 2011 rakennetun meluvallin seuranta on osoittanut, että pohjakuona soveltuu käytettäväksi meluvallin rakentamiseen teknisten ominaisuuksiensa puolesta. Meluvallin purkuputkesta kerättyjen vesinäytteiden analyysi osoitti, että joidenkin haitta-aineiden (kloridi, sulfaatti, fluoridi, sähkönjohtokyky) pitoisuudet ylittivät talousveden laatuvaatimukset. Kuivatusvesien purkuun käytetyn laskuojan pintavesinäytteissä ei kuitenkaan havaittu kohonneita haitta-ainepitoisuuksia.

Pitkäaikaisseuranta kuonien ympäristövaikutuksista Suomessa kuitenkin puuttuu. Vuonna 2013 annetussa päätöksessä (Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen päätös ympäristövaikutusten arviointimenettelyn soveltamistarpeesta. 4.7.2013. Dnro KASELY/18/07.04/2014 [www.ymparisto.fi/download/noname/%7B81A87A6E-23F2.../76618](http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B81A87A6E-23F2.../76618)) lupaviranomainen edellyttää valtatie 7 varteen rakennettavien uusien meluvallien kohdalla purkuputkien vesien, purkuojien vesien ja purkuojien sedimenttien haitta-aineiden pitoisuuksien tarkkailua.

Pohjakuonaa markkinoidaan maarakennuksen tarkoituksiin mm. Hyötyvirta-sivuston kautta: <http://www.hyotyvirta.fi/resurssiporssi/view/maanrakennukseen-pohjakuonaa-kouvolassa>

#### **4.2.5 Pohjakuona viherrakentamisen kasvualustoissa**

Viherkattojen kasvualustan fysikaalisia vaatimuksia ajatellen prosessoidulla pohjakuonalla on joitakin hyviä ominaisuuksia, joiden puolesta se saattaa sopia korvaamaan erityisesti kaukaa tuotuja luonnonmateriaaleja (laavakivi, liuskekivi) tai paljon valmistusenergiaa vaativia materiaaleja (leca-sora). Pohjakuonan kiintotiheys on pieni, se ovat hieman kevyempää kuin useimmat luonnonkivet, ja maksimikuivatilavuuspaino vastaa löyhää-keskitiivistä hiekkaa. Tiivistyvyys on kuitenkin hyvä ja vedenpidätyskapasiteetti selvästi suurempi kuin tavallisilla kiviaineksilla.

Betonimurske sekä pohjakuona nostavat kasvualustan pH:ta hyvin korkeaksi. pH:n laskemiseksi kasvualustaan voidaan sekoittaa turvetta tai hapanta kuoriketta (havupuukuorike). Turpeen käytöstä pyritään eroon, joten parempi vaihtoehto tulevaisuudessa lienee kuorike, jota voidaan tuottaa paikallisesti.

#### **4.2.6 Tuhkan muut käyttömahdollisuudet**

Tuhkan avulla on yritetty myös parantaa kompostin ja tuhkan ominaisuuksia lannoituskäytössä. KOM-PORAE-hankkeessa sekoitettiin puhdistettua tuhkaa ja kompostia, ja rakeistettiin saatu seos (Halinen 2005). Seoksen käsiteltävyys parani, mutta liukoisen typen pitoisuudet olivat lannoitekäyttöä ajatellen liian alhaisia (Halinen 2005).

Tuhkien hyödyntäminen vesien puhdistamisessa mainitaan myös usein yhtenä mahdollisena käyttökohteena (Pesonen 2012). Tuhkien käyttökohteet ovat usein hyvin spesifisiä ja suunnattu jätevesien puhdistukseen. Valumavesien puhdistukseen tuhkat ovat kuitenkin yksi tutkituista vaihtoehdoista (Klimeski ja muut 2012).

### **4.3 Maa-ainekset: puhdas maa-aines, muita aineksia sisältävä maa-aines, ns. Helsinki-moreeni**

Suurin osa viherrakentamisen kasvualustoihin käytettävästä kivennäisaineksesta on peräisin hiekkaharjuista. Näitä tarkoitusta varten kaivettujen kivennäismaiden korvaajiksi ylijäämämassat soveltunevat monessa kohteessa.

Kivennäismaan raekokojakauma ratkaisee maa-aineksen käyttökelpoisuuden kasvualustan raaka-aineena. Viherympäristöliitto on laatinut suositukset erilaisiin käyttötarkoituksiin soveltuvien kasvualustojen raekokojakaumista (Sirviö 2004, [http://www.vyl.fi/userData/vyl/pdf/1258565162\\_Kasvualustaarvot.pdf](http://www.vyl.fi/userData/vyl/pdf/1258565162_Kasvualustaarvot.pdf)).

Kasvualustojen suositeltavat savespitoisuudet ovat enimmillään 10-20 %. Hiesun ja saveksen yhteinen pitoisuus voi olla vain vaateliilla puilla ja pensailta 20-40 %. Hieta ja hiekka ovat raekooltaan parhaita maa-aineksia kasvualustoihin.

Kierrätettävät maa-ainekset ovat useimmiten runsaasti savesta sisältäviä, jolloin niiden käyttökelpoisuus sellaisenaan kasvualustan raaka-aineeksi on huono. Kierrätettävien maa-ainesten tuotteistamisessa viher-rakentamisen kasvualustoiksi hankaloittaa myös ainesten vaihteleva laatu.

Maa-ainesten hyödyntämisessä olisi pyrittävä käyttämään mahdollisimman paljon rakennuspaikalla. Tätä varten olisi jo ennen rakentamista selvitettävä poistettavan maa-aineksen laatu ja käyttökelpoisuus, tuleva tarve paikalla ja rakentamisen aikaiset varastointitilat. Paikalla olevat maa-ainekset soveltuvat yleensä nurmikko- ja istutusalueiden pohjaksi tai maisemointikasvualustoihin. Maa-ainesten talteenoton alkaessa olisi siis hyvä olla tiedossa rakennettavan alueen viheralueiden sijoittuminen, laatu ja kasvualustavaati-mukset.

Tiiviin rakentamisen alueella tonttien pieni koko rajoittaa usein maa-ainesten paikallista hyödyntämistä, sillä väliaikaista varastointitilaa ei ole. Tällöin joudutaan viemään maa-ainekset hyödynnettäväksi muual-le tai jätteenlajittelukeskukseen.

Maa-ainesten hyödyntämistä rakennuspaikalla tai muualla helpottaa maamassan keräys ja läjittäminen kerroksittain, esim. ruokamulta, kivennäismaapitoisin aines ja saves. Kukin raaka-ainelaji säilytetään erikseen Viherympäristöliiton ohjeiden mukaan (Sirviö 2004).

Jokaisesta raaka-aine-erästä ja valmiista kasvualustaseoksesta tulisi ottaa näytteet analyysyä varten. Vi-herympäristöliiton ohjeistuksessa neuvotaan näytteenottomenetelmät sekä tarvittavat kemialliset ja fyysi-kaaliset analyysit (Sirviö 2004). Asiakkaan tulee saada jokaisesta kuormasta tuoteseloste. Tuoteselosteen laadintaohjeet löytyvät myös Viherympäristöliiton ohjeistuksesta (Sirviö 2004).

## 4.4 Mineraaliset rakennusjätteet: betoni, tiilet

### 4.4.1 Betonimurske

Betonijätettä syntyy Suomessa vuosittain 700 000 tonnista miljoonaan tonniin (Vakkuri 2011). Suomessa muodostuvasta jätteenbetonista kierrätetään noin 75 % (Gull 2011). Lähes kaikki kierrätetty betonimurske käytetään murskeena maarakentamisessa.

Betonimurske sopii hyvin maanrakennusmateriaaleiksi, sillä se sisältää reagoimatonta sementtiä ja lujit-tuu käytössä. Betonimurskeella saadaan parempia kantavuuksia kuin luonnonkivellä. Betonimursketta tarvitaan kantaviin kerroksiin tämän vuoksi vähemmän kuin luonnonkiveä. Betonimurske on kevyempää kuin luonnonkivi, ja sitä pystytään yleensä murskaamaan lähellä käyttöpaikkaa, joten kuljetuskustannuk-set jäävät pienemmäksi. Betonimurske on tältäkin kannalta luonnonkiven korvaajana maarakentamisessa ympäristöystävällinen vaihtoehto (Vakkuri 2011).

Betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa on mahdollista lisätä, sillä vuonna 2011 betonimurske kattoi vain noin prosentin maarakentamiseen käytetyistä kivimateriaaleista (Vakkuri 2011).

Betonimateriaalien yleisimpiä epäpuhtauksia ovat vesieristeenä käytetyt kivihiilipiki ja PCP sekä lyijy, joita on käytetty vanhoissa elementtisaumoissa (Gull 2011). Haitallisia metalleja voi olla peräisin maa-leista. Raekooltaan alle 150 mm:n raudaton betonimurske luokitellaan maa- ja kiviainekseksi.

Oikealla tavalla käsitelty betonimurske on kuitenkin testeissä todettu ympäristön kannalta turvalliseksi ja teknisiltä ominaisuuksiltaan jopa kalliomursketta paremmaksi (Vakkuri 2011).

Betonimurskeen ympäristökelpoisuudelle on asetettu liukoisuuskokeisiin perustuvat raja-arvot (Kivekäs 1999).

Taulukko 3. Betonimurskeen liukoisuuskokeen raja-arvo.

Haitta-aine	Raja-arvio (mg/kg)
Sulfaatti	750
Kromi	0,5
Kadmium	0,02
Kupari	0,4
Lyijy	1,0



Betonimurske on voimakkaasti alkalinen (pH 11), ja kosteissa olosuhteissa sen on todettu aiheuttavan korroosiota kosketuksissa oleviin alumiini- ja galvanoituihin teräsrakenteisiin (Tielaisto 2000).

HSY:n teettämän betonipitoisen maan seulaylitemurskeen 0-5-30 mm analyysistä ilmeni myös korkea pH 11.

Asetuksen mukaan betonijäte ei saa sisältää ympäristölle tai terveydelle haitallisia aineita, eikä siinä saa olla suuria määriä betoniterästä. Kappaleet saavat olla enintään 150 mm halkaisijaltaan. Tiilijäte ei saa sisältää ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita.

Tienpientareiden luiskissa ja muilla kaltevilla alueilla vaaditaan pintakerrosten hyvää eroosionkestoa. Kierrätysmateriaaleista tienpenkereille soveltuukin betonimurske alempiin rakennekerroksiin ja kompostimullat varsinaiseen kasvualustakerrokseen.

Tasaisemmilla liikenneympäristön viheralueilla, esim. keskikaistat, katujen varren tasaiset alustat, kaivataan hyvän läpäisykyvyn omaavaa kasvualustaa, jottei vesi kerääntynyt lätäköiksi. Kasvualustan vedenläpäisyä voidaan parantaa kivennäisaineilla. Kierrätysmateriaaleista tähän soveltunevat esim. vaahtolasi ja tiilimurske.

Betonimurskeen käyttömahdollisuudet vaatelioiden puiden ja pensaiden kasvualustoissa pH:n nostajana, mukaan lukien kantavat kasvualustat, olisi syytä selvittää. Tietoa tarvitaan kalkitusvaikutuksen kestosta ja pH:n noususta sekä soveltuvista seosaineista ja seossuhteista. Betonimurske vaatii happaman seosaineen, kuten raakaturpeen, puunkuorihakkeen tai sahojen ns. pöydänaluskuorikkeen. Myös rahkasammaleen käyttömahdollisuudet seosaineena olisi selvitettävä. Kulutusta kestävien nurmikoiden kasvualustan pintakerroksen alla omana kerroksena betonimurske voisi toimia, koska nurmikon pH-vaatimus on melko korkea. Pintakerrokseen sekoitettuna betonimurske ei toimi, koska se nousee pintaan.

Betonimurskeen käyttö viherkattojen kasvualustamateriaalin osana on mielenkiintoista, koska murske on pH:ltaan korkea ja ravinneköyhä kasvualusta, jolloin kalkinsuosijakasvit hyötyisivät olosuhteista. Betonimurske on kuitenkin painavaa ja pidättää huonosti kosteutta, joten sitä on käytettävä seoksena muiden materiaalien kanssa.

Betonimurskeen korkeata pH:ta voitaisiin ehkä hyödyntää kohteissa, joissa halutaan nostaa kasvualustan, maan tai valumaveden pH:ta. Maataloudessa on käytetty sammutettua kalkkia savimaiden rakenteen parantamiseen (Joonas 2012). Kalkitusaineen on tässä yhteydessä oltava kuitenkin hienojakeista. Mielenkiintoisempi vaihtoehto voisi löytyä valumavesien käsittelystä, mikäli betonimurske säilyttää kostuessaan vedenläpäisykykynsä. Happamilla sulfaattimailla, joita Suomessa esiintyy länsirannikolla, on kokeiltu kalkkisuodinojia alentamaan valumaveden happamuutta (MMM 2011). Kalkkisuodinojia on tutkittu myös valumaveden fosforin sitomisessa. Menetelmä on kuitenkin molemmissa käyttötarkoituksissa melko kallias, ja sen tehokkuus on vaihdellut huomattavasti. Betonimursketta on tutkittu suodattimena valumavesien fosforin sitomisessa Tanskassa (<http://sciencenordic.com/old-concrete-can-purify-rainwater>). Jätevedenpuhdistuksessa on tutkittu myös kevytbetonijätteen käyttömahdollisuuksia (Renman ja Renman 2012).

#### 4.4.2 Tiilimurske

Tiilimurskeella on todettu vettä pidättävää vaikutusta ja tiilimurskeen käytöstä viherkattojen kasvualustan osana on saatu hyviä kokemuksia (Ampim ja muut 2010). Tiilimurske on huokoista ja kevyttä suhteessa muihin kierrätysmateriaaleihin. Sen vedenpidätyskyky on hyvä ja pH usein emäksinen, joten näiltä ominaisuuksiltaan tiilimurske on hyvin lupaava materiaali viherkattoihin.

Tiilimurskeen käyttöä hulevesien pidätys- ja imeytysalueilla rajoittaa epäpuhtauksien esiintyminen kierrätystiilissä. Imeytyskaivannoissa ja imeytyspainanteiden alaosan rakennekerroksissa tarvitaan huokosellista materiaalia, joka viivyttää ja varastoi vettä maaperään imeytymisen aikana. Imeytyspainanteiden suodatus- ja imeytyskerroksen aineksesta vähintään puolet tulee olla epäorgaanista. Hulevesien käsittelyalueille ei ole tarjolla räätälöityjä kasvualustoja. Mikäli käytettävissä on puhtaita tiilimurskeita, niiden käyttöä osana läpäisevää ja suodattavaa kasvualustaa olisi syytä selvittää. Tietoa tarvitaan murskeen koosta ja kasvualustan seososista ja -suhteista.

## 4.5 Muut jätemateriaalit

### 4.5.1 Lasivilla

Valmistusprosessissa hyödyntämättä jäänyt tai rakentamisen yhteydessä ylijäävä lasivilla päätyy tällä hetkellä kaatopaikoille loppusijoitukseen. Muutamissa hankkeissa on selvitetty tämän kaatopaikoille päätyvän lasivillajakeen hyödyntämistä, mutta tulokset eivät ole olleet lupaavia. Parhaalta on tähän mennessä vaikuttanut lasivillan käyttö maeristeinä, mutta kilpailevat maeristeet ovat rakentajien kannalta edullisempia (Andersson 2013). Lasivillan valmistuksesta jäävää pienikokoista jätettä on testattu MTT:ssä kasvualustan raaka-aineena korvaamaan kivennäismaata. Kasvualustan ominaisuuksiin sopiva osuus lasivillaa ei vaikuttanut haitallisesti, mutta kasvualustan pinnassa näkyvät lasivillan palat olivat esteettinen haitta.

### 4.5.2 Kierrätyslasista valmistettu vaahtolasi

Vaahtolasi on kierrätyslasista sulattamalla valmistettua kevyttä kiviainesta. Kierrätyslasi puhdistetaan teollisesti ja jauhetaan. Valmistusprosessissa raaka-ainemassa, lasijauhe ja vaahtotusaineet (kalsiumsulfaatti tai -karbonaatti, hiilijauhe), kuumennetaan 900 C:een jatkuvatoimisessa tasouunissa, jossa massa paisuu noin viisinkertaiseksi. Paisunut massa jäähdytetään nopeasti, jolloin massa halkeilee murskemäiseksi kappaleiksi.

Valmistusprosessinsa ansiosta vaahtolasissa ei ole orgaanista ainesta ja se on palamatonta. Vaahtolasista ei haihdu tai liukene haitallisia aineita tavanomaisissa käyttökohteissa. Kulkeutumisriskinarvion mukaan siitä ei aiheudu pohjaveden pilaantumiseriskiä (Lindroos 2013).

Vaahtolasia on saatavilla eri kokoisina murskeina (ks. taul. 4.). Vaahtolasi on kevyttä, sen kuiva irtotiheys on 125-250 kg/m<sup>3</sup> lajikkeesta riippuen. Vaahtolasimurskeen tiivistyvyys on 10-25 % riippuen käyttökohteesta, käytetystä tärypainosta ja tiivistysajokerroista.

Vaahtolasia käytetään kevennysmateriaalina, lämmöneristeenä, routasuojauksessa, ala- ja välipohjätäytöissä ja kattorakentamisessa (ks. taul. 4.). Sitä voidaan käyttää myös piharakentamisessa, maanparannusaineena ja hiekoitusmurskeena. Vaahtolasia voidaan työstää sahalla tai puukolla. Pölyävissä työvaiheissa on käytettävä hengityssuojainta ja suojalaseja.

Vaahtolasia voidaan käyttää myös viheralueiden kasvualustassa lajeilla, jotka vaativat läpäisevää kasvualustaa. Se saattaa soveltua kasvualustan keventäjäksi monille kuivan ja paahteisen paikan lajeille, esim. niittykasvillisuus ja kallioketojen lajit.

Vaahtolasi soveltuu myös viherkattojen kasvualustaan kevyeksi epäorgaaniseksi aineeksi. Sillä voidaan korvata ympäristökuormaltaan epäedullisempia aineksia, kuten laavakiveä, perliittiä tai lecasoraa.

Vaahtolasia on käytetty Euroopassa jo vuosia. Suomessa Uusioaines Oy aloitti vaahtolasin valmistuksen vuonna 2011. Tehdas sijaitsee Forssassa Uusioaines Oy:n lasinpuhdistuslaitoksen läheisyydessä. Tuotantokapasiteetti on noin 150 000 kuutiota vuodessa.

Taulukko 4. Vaahtolasin tyypillisiä käyttökohteita ja raekokoja. Lähde: Uusioaines Oy, <http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitTuotteet>

TUOTE	KÄYTTÖKOHDE	Irtotiheys [+/- 15 %]	Lämmönjohtavuus $\lambda$ [W/mK]
FOAMIT 60 (0-60mm)	Piharakenteiden ja putkilinjojen kevenne- ja kuivatusmateriaaliksi ja routaeristeeksi. Tierakentamisessa yleisesti käytetty murske.	210 kg/m <sup>3</sup>	0,1
FOAMIT 30 (20-30mm)	Maanvaraisen ja ryömintätillaisen perustuksen kevennykset ja lämmöneristys.	210 kg/m <sup>3</sup>	0,1
FOAMIT 20 (10-20mm)	Ylä- ja välipohjat ja sekä kattorakenteet. Ohuempien rakenteiden täytöt ja kallistukset. Putkien alkutäytöt. Viherkattorakenteet.	210 kg/m <sup>3</sup>	0,1
FOAMIT 10 (3-10 mm)	Rakenteiden tarkemmat täytöt ja kallistukset. Eri puutarhan käyttökohteet (turpeen/mullan ilmastus). Viherkattorakenteet.	220 kg/m <sup>3</sup>	0,1

## 4.6 Uudet seosmateriaalit

### 4.6.1 Turpeen korvaaminen tulevaisuudessa

Turve on tärkein kasvualustojen raaka-aine Euroopassa. Kasvihuoneviljelyssä taas kivivilla on tärkein kasvualusta. Keski-Euroopassa vaalean rahkaturpeen varat ovat ehtymässä ja turpeen käytölle joissain maissa tehty rajoituksia (mm. UK). Kivivilla on ongelmallinen kierrätettävä, sitä ei voida polttaa eikä kompostoida, mutta sitä voidaan käyttää uudestaan esimerkiksi tienrakennuksessa.

Turpeen ja kivivillan korvaajaksi etsitään korvaavia kasvualustaraaka-aineita. Kasvihuonekäyttöön kasvualustojen valmistajat kehittävät uusia kasvualustamateriaaleja esimerkiksi polyuretaanista ja kookosrouheesta.

Suomessa MTT, VTT ja Metla kehittävät rahkasammaleesta turpeen korvaajaa kasvualustoissa. Sammalraaka-aineen keräämiseen soveltuvia alueita ovat luontaisesti vanhat ojitetut suoalueet, ns. kitumaat, jotka eivät ole soveltuneet metsänkasvatukseen. Suomessa on tällaisia laajoja ja käsiteltyjä alueita on noin 800 000 hehtaaria. Laskelmien mukaan Suomen kitusoilla on mahdollista tuottaa kasvualustasammalta myös Keski-Euroopan tarpeisiin.

Rahkasammalta nostettaessa kitualueilta kerätään ainoastaan rahkasammalen pintakerros eli noin 20–30 senttimetrin syvyydeltä. Sammal jatkaa käsittelyn jälkeen kasvuaan, ja maiseman ulkonäkö palautuu 3–5 vuoden kuluessa. Rahkasammal uusiutuu luonnossa puustoa nopeammin, ja suolta voidaan korjata rahkasammalsato kerran 30 vuodessa. Nosto voidaan tehdä sekä talvella että kesällä.

MTT:n kasvatuskokeissa sammalkasvualusta on osoittautunut hyväksi kasvien kasvun kannalta ja fyysikaalisilta, kemiallisilta ja biologisilta ominaisuuksiltaan (vesi- ja ilmatilavuus, tautisuppressiivisuus) (Näkilä ja muut 2013, Tahvonen, suullinen tiedonanto huhtikuu 2014).

Viherrakentamisen kasvualustoissa rahkasammal on myös testaamisen arvoinen seosaine.

### 4.6.2 Biohiili

Biohiili on valmistettu kuumentamalla orgaanista ainesta hapettomissa oloisuuksissa korkeassa lämpötilassa (400–500 °C). Biohiilen on todettu pidättävän vettä ja ravinteita, lisäävän maan biologista aktiivisuutta ja vähentävän esim. glyfosaattihuuhtoutumia (Hagner ja muut 2013, Lehmann ja muut 2006, 2007, Milne ja muut 2007, Tiilikkala ja muut 2011c.). Biohiili voisi siis soveltua kierrätysmateriaaleista tehtyihin kasvualustaseoksiin. Esimerkiksi viherkaton kasvualustassa biohiili vähentää hulevesien määrää, parantaa niiden laatua ravinteita pidättämällä ja edistää kasvien kasvua luovuttamalla ravinteita ja vettä kasvien käyttöön.

Lähtömateriaalilla ja käytetyllä tuotantoprosessilla on alustavissa tutkimuksissa havaittu olevan suuri merkitys biohiilen laatuun (Gaskin ja muut 2008). Biohiiltä voidaan periaatteessa valmistaa mistä tahansa orgaanisesta aineksestä, myös orgaanisista jätteistä. Biohiilen vaikutuksia kasvuun ja kasvualustan ominaisuuksiin sekä biohiilen tuotantotekniikoita tutkitaan MTT:n, VTT:n ja HY:n hankkeessa Hidaspyro II (Fagnäs ja muut 2011, 2012, Tiilikkala ja muut 2011). Biohiilen tutkimuksesta toimii eurooppalainen COST-yhteistyöverkosto ([cost.european-biochar.org/en/contact](http://cost.european-biochar.org/en/contact)).

Biohiiltä viherrakentamisen kasvualustassa testataan MTT:n, Liikenneviraston ja Varsinais-Suomen ELY-keskuksen LIIKENNEVIHREÄ-hankkeessa (Tuhkanen ja muut 2013, 2014, Vuori 2014). Koealue sijaitsee moottoritien keskikaistalla Turussa Kupittaaan alueella. Biohiiltä sekoitettiin kierrätyskasvualustaan, joka sisältää kompostoitua jätevedenpuhdistamon lietettä. Koealueella havainnoidaan biohiilellisen kasvualustan vaikutuksia koristepensaiden menestymiseen ja kasvuun.

## 4.7 Lainsäädännön ohjeet jättemateriaalien käyttöön kasvualustoina

Jätelainsäädäntö edellyttää mahdollisuuksien mukaan jättemateriaalien kierrättämistä tai hyödyntämistä energiana. Jätteiden käsittely ja käyttö missään käyttöketjun vaiheessa eivät saa aiheuttaa maaperän tai pohjaveden pilaantumisen vaaraa tai muuten vaarantaa terveyttä ja ympäristöä. Ympäristölainsäädäntö ei aseta velvoitteita materiaalien teknisille ominaisuuksille.

Jätedirektiivin (2008/98/EY) tavoite on vähentää jätteiden syntyä, edistää sen käyttöä materiaalina eli jätteiden kierrätystä ja niiden uudelleen käyttöä. EU:n kaatopaikkadirektiivi (1999/31/EY) estää ja minimoi kaatopaikkojen mahdolliset haitat eli maaperän, vesistöjen ja ilman pilaantumisen sekä metaanipäästöt ja terveyshaitat. Direktiivi säätelee myös kierrätystä ja jätteiden hyödyntämistä ja määrää. Suomessa on EU:n kaatopaikka-direktiivin täytäntöönpano hoidettu valtioneuvoston päätöksellä kaatopaikoista (861/1997).

Jättemateriaalien käytössä maarakentamisessa tulee huomioida jäteasetuksen 12 §, joka edellyttää, että jätteitä maarakentamisessa hyödynnettäessä jätteen käyttö vastaa mahdollisimman tarkasti tarvetta. Tällä pyritään siihen, että hyödyntämiskohteista ei muodostu kaatopaikan korviketta.

Jätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa pyritään edistämään lainsäädännön avulla (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa eli ns. MARA-asetus 591/2006). Jätteen laitospäätöseen tai ammattimaiseen hyötykäyttöön tarvitaan ympäristönsuojelulain (86/2000) 28 §:n mukainen ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristölupaviranomaiselta, jos vuosittain käsiteltävä tai hyödynnettävä määrä on alle 10 000 tonnia, ja aluehallintaviranomaiselta, jos määrä on 10 000 t tai yli. Eräiden jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaista ympäristölupaa tiettyjen edellytysten täytyessä. Asiasta on kuitenkin tehtävä ilmoitus valvontaviranomaiselle.

Suomen lannoitevalmistelain (539/2006) tarkoituksena on edistää hyvälaatuisten, turvallisten ja Suomen oloihin soveltuvien lannoitteiden, kasvualustojen ja maanparannusaineiden tarjontaa. Laki kattaa orgaanisten ja epäorgaanisten lannoitteiden lisäksi lannoitusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet, maanparannusaineet, kalkitusaineet, mikrobivalmisteet ja kasvualustat. Kasvualustalla laissa tarkoitetaan kasvien kasvatukseen tarkoitettuja teknisesti käsiteltyjä kiinteitä tai nestemäisiä aineita, joihin on tai voi olla lisätty muita lannoitevalmisteita.

Lannoitevalmistelain mukaan kasvualustojen on oltava tasalaatuisia, turvallisia ja käyttötarkoitukseensa sopivia. Kasvualustat eivät saa sisältää haitallisia aineita, tuotteita tai eliöitä terveydelle, turvallisuudelle tai ympäristölle vaaraa aiheuttavia määriä.

Lannoitevalmisteista ja niiden valmistuksesta, markkinoille saattamisesta, toimijan velvollisuuksista ja lannoitevalmisteisiin liittyvästä lainsäädännöstä löytyy tietoa Elintarviketurvallisuusviraston Eviran sivuilta:

<http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/>

---

## 5 Ehdotukset pilottikäyttökokeiksi

---

Selvitystyöhön sisältyi ehdotukset pilottikäyttökokeista, joissa testataan kierrätysmateriaalien seossuhteita kasvualustoissa ja soveltuvuutta viherrakentamisen erityyppisiin kohteisiin käytännössä.

Ehdotukset pilottikokeiksi on jaoteltu Ämmässuon alueella olevien pilottikohteille soveltuvien viheraluetyyppien mukaan.

### 5.1 Puistoistutus (perennat, pensaat, puut)

- alueella voidaan testata kasvualustoja vaateliaille viherrakentamisen kasveille eri ryhmistä: perennat, pensaat, puut
- seoksissa epäorgaaniset ainekset: ylijäämämaa ja betonimurske
- orgaaniset ainekset: komposti, pH:ta tasaamassa kuorike, rahkasammal tai pöydänaluskuorike
- kasvualustan alaisissa rakenteissa ylijäämämaan käyttö
- eri kasviryhmien edustajia taimistoilla tuotannossa olevista lajeista, esimerkiksi pikkupuut, havukasvi, lehtipensas, perennoja
- puille kantava kasvualusta, jossa voidaan testata betonimurskeen käyttöä
- testattavat asiat erityisesti: sopivat seossuhteet, kivennäisainesten sopivat raekoot, betonimurskeen vaikutus kasvualustan pH:n

### 5.2 Hulevesien hallinta/kosteikko

- imeytyskaivannot, jotka täytetään karkealla puhtaalla huokoisella materiaalilla. Kaivantoon ohjattu hulevesi varastoituu täytemateriaalin huokostilaan ja imeytyy vähitellen maaperään
- imeytyspainanteen kasvu- ja suodatuskerroksen ainesosista vähintään puolet on oltava epäorgaanista
- imeytyspainanteen alaosan rakenteen pitää olla läpäisevä. Heikosti vettä läpäisevässä maaperässä kasvukerroksen alle on vaihdettava pidätys-imeytyskerros karkeasta kiviaineksestä imeytyskaivannon tapaan.
- testattavat asiat erityisesti: puhtaan tiilimurskeen soveltuvuus, sopiva raekokojakauma, seossuhteet, alentaako betonimurske hulevesien fosforipitoisuuksia

### 5.3 Rinnealue

- alueella voidaan testata jyrkille luiskille ja viherkatoille sopivia kasvualustoja
- kiinnitetään huomio kasvualustan paikallaan pysyvyyteen ja eroosionkestoon ja vedenläpäisevyyteen
- varsinaisen kasvualustakerroksen alla voidaan testata esim. ylijäämämaata ja betonimursketta
- kasvualustassa testattavat epäorgaaniset materiaalit esim.: prosessoitu pohjakuona, tiilimurske, betonimurske, ylijäämämaa, vaahtolasi
- kasvualustassa testattavat orgaaniset materiaalit esim.: kompostimullat, biohiili, rahkasammal
- koekasveina ajoittaista kuivuutta sietäviä lajeja, kuten niittyjen, ketojen ja merenrantojen kasvillisuutta (perennat, heinäkasperit). Kasvillisuus voidaan valita taimistoilla jo tuotannossa olevista. Perustamisessa voidaan käyttää istutusvalmiita perenna- ja koristeheinämattoja, taimia ja/tai siemenkylvöä. Kasvillisuuden valinnassa otetaan huomioon soveltuvuus liikennealueille ja/tai viherkatoille.

### 5.4 Paahteinen alue

- alueella voidaan testata tasaisille liikennealueille, paahteisille viheralueille ja viherkatoille sopivia kasvualustoja

- kiinnitetään huomio kasvualustan pinnan hyvään vedenläpäisevyyteen ja toisaalta kasvualustan kykyyn tasata kosteusolosuhteita (esim. biohiili)
- varsinaisen kasvualustakerroksen alla voidaan testata esim. ylijäämämaata ja betonimursketta
- kasvualustassa testattavat epäorgaaniset materiaalit esim.: prosessoitu pohjakuona, tiilimurske, betonimurske, ylijäämämaa, vaahtolasi
- kasvualustassa testattavat orgaaniset materiaalit esim.: kompostimullat, biohiili, rahkasammal
- koekasveina aurinkoisille ja kuiville kasvupaikoille sopivia lajeja (perennat, heinäkasvit, pensaat). Kasvillisuus voidaan valita taimistoilla jo tuotannossa olevista. Perustamisessa voidaan käyttää istutusvalmiita perenna- ja koristeheinämattoja, taimia ja/tai siemenkylvöä.

## 5.5 Lehtomainen alue

- alueelle voidaan testata rehevien kasvupaikkojen vaateliaille lajeille ja kalkinsuosijoille sopivia kasvualustoja
- seoksia, joissa betonimurske kalkitusaineena
- muita aineksia esim.: komposti, pH:ta tasaamassa kuorike, rahkasammal, turve tai pöydänaluskuorike
- kasveina pikkupuita, pensaita, perennoja, sipulikukkia, kalkinsuosijakasvit

## 5.6 Viherkatto

- Ruskeasannan sorttiaseman viherkatto
- ekstensiivinen, vähän hoitoa vaativa viherkatto, paino 60-200 kg m<sup>-2</sup>
- viherkattojen kasvualustoista imagotuote: kierrätysmateriaaleja, ja seosaineet myös kotimaisia, mahdollisimman ympäristöystävällisiä
- epäorgaanisena aineksena mm. tiilimurske, betonimurske, vaahtolasi, prosessoitu pohjakuona
- pH:n tasaamiseksi havupuukuorike
- orgaanisina seosaineina testataan kompostimultaa, rahkasammalta ja biohiiltä
- tavoitteena toimiva kasvualustaseos ilman turvetta
- mutta turve otetaan kokeisiin verranteeksi (pH, rakenne, kasvien menestyminen)
- katto voidaan jakaa sektoreihin, joista vedet johdetaan sadevesirännejä pitkin erillisiin keräilyastioihin
- näin voidaan seurata hulevesien laatua ja saada tietoa esim. ravinnevalumista ja pH:sta
- kasvillisuus: maksaruohot, keto- ja niittykasvit. Kasvillisuuden valinnassa kiinnitetään huomiota vähähoitoisuuteen ja hyvään visuaaliseen ulkonäköön eri vuodenaikoina.

---

## 6 Johtopäätökset

---

Tämän selvityksen tavoitteena oli tunnistaa jättemateriaalien tarkoituksenmukaiset käyttökohteet viherrakentamisessa, näihin kohteisiin soveltuvat materiaalien koostumukset ja seokset, kartoittaa nykyisiä käytötapoja myös muissa vastaavissa ilmasto-oloissa sekä tehdä ehdotuksia tuotteistamiseksi. Tavoitteena on edistää jättemateriaalien paikallista, ympäristöystävällistä ja taloudellista uusiokäyttöä.

Kirjallisen selvityksen perusteella kierrätysmateriaalien sopivista seossuhteista, raakoosta ja seosaineista viherrakentamisen kasvualustoissa löytyy vain vähän suoraan sovellettavaa tietoa. Kierrätysmateriaaleille löytyy kuitenkin monia käyttökohteita, joissa paikallista käyttöä voitaisiin lisätä ja joissa tarkoitusta varten tuotettuja, kaivettuja tai louhittuja materiaaleja voitaisiin korvata jättemateriaaleilla.

Jättemateriaalien tuotteistaminen kasvualustoiksi vaatii erilaisten seosten sopivuuden testaamista. Viherrakentamisen erilaisten kohteiden ja kasvillisuustyyppien vaatimukset kasvualustojen suhteen eroavat, mikä tuo haastetta kasvualustojen kehitystyöhön, mutta samalla tuo mahdollisuuden monipuolisempaan materiaalien tuotteistamiseen.

Jättemateriaaleja viherrakentamisen kasvualustoiksi hyödynnettäessä on selvittävää mm. sopivat orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen suhteet eri käyttötarkoituksiin, epäorgaanisen aineksen sopiva raekokojakauma, alkaalisten aineiden (betonimurske, kuona ja tuhka) vaikutus kasvualustan pH:hon eri seossuhteissa ja pH:n tasaamiseen sopivat seosaineet. Tuotteistamisessa tarvitaan raaka-aineiden fysikaalisen ja kemiallisen laadun selvittämistä ja laaduntarkkailua. Kasvualustan sopivuus kasvillisuudelle ja kasvualustan toimivuus pidemmällä aikavälillä selviää vain käytännössä testaamalla.

Puhdistamoliete- ja biojätekomposti ovat hyviä raaka-aineita viherrakentamisen kasvualustoihin. Hyvän kompostin ominaisuudet ovat lähellä täysin maatuneen turpeen ominaisuuksia, ja komposti sisältää yleensä runsaasti ravinteita ja siinä on runsas pieneliöstö ja biologinen aktiivisuus. Komposteilla voitaneenkin jatkossa yhä enemmän korvata turpeen ja epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä kasvualustoissa. Kompostien raaka-aineet ovat laadultaan vaihtelevia, minkä vuoksi kompostimultien tuotteistaminen vaatii jatkuvaa laaduntarkkailua.

Yhdyskuntajätteen poltossa syntyvää pohjakuonaa käytetään useissa Euroopan maissa maarakentamiseen, kuten alusrakenteisiin ja -täyttöihin, meluvalleihin, tie- ja katurakenteisiin, teollisuusalueiden pohjarakenteisiin ja kaatopaikkojen peittorakenteisiin. Suomessa pohjakuonaa ja tuhkaa on käytetty meluvalleissa vasta koeluontoisesti. Kuonan käyttöä paikallisessa maarakentamisessa on mahdollista ja luultavasti tarkoituksenmukaista lisätä. Pohjakuonaa vaatii kuitenkin ennen käyttöä käsittelyitä, joilla parannetaan fysikaalista ja kemiallista laatua ja turvallisuutta. Prosessoitu pohjakuona saattaa fysikaalisten ominaisuuksien puolesta soveltua korvaamaan hiekkaa, soraa ja murskettua viher- ja maarakentamisessa. Viherrakentamisen kasvualustoissa pohjakuonaa on testattu hyvin vähän. Kuonan tuotteistamiseksi kaivataan tietoa sopivista seossuhteista ja vaikutuksesta kasvualustan pH:hon sekä soveltuvuudesta kasveille.

Suurimmat hyödyntämättä jäävät jättemassat ovat mineraalijätteitä: maa- ja sivukiviainesta sekä rakennusten purkujätettä. Valtakunnallisen jättesuunnitelman tavoite on lisätä näiden aineiden käyttöä maarakentamisessa ja korvata luonnonsoraa ja kalliomurskettä. Maarakentamisen lisäksi näitä aineksia voitaneen hyödyntää myös viherrakentamisen kasvualustoissa.

Jättemaiden soveltuvuuden kasvualustan raaka-aineeksi ratkaisee raekokojakauma ja aineksen tasalaatuisuus. Kierrätettävät maa-aineokset ovat useimmiten runsaasti savesta sisältäviä, jolloin niiden käyttökelppoisuus sellaisenaan kasvualustan raaka-aineeksi on huono. Vähemmän savesta sisältäviä, puhtaita ja tasalaatuisia jättemaita voidaan helpommin hyödyntää kasvualustojen epäorgaanisena aineksena.

Lähes kaikki Suomessa kierrätetty betonimurske käytetään maanrakennusaineeksi. Betonimurske soveltuu maarakentamisessa hyvin luonnonkiven korvaajaksi, sillä betonimurskeella saadaan parempia kantavuuksia ja se on kevyempää kuin luonnonkivi. Betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa on mahdollista lisätä, sillä vuonna 2011 betonimurske kattoi vain noin prosentin maarakentamiseen käytetyistä kivimateriaaleista Suomessa.

Viherrakentamisessa betonimursketta on koeluontoisesti testattu kantavissa kasvualustoissa ja viherkatoilla. Betonimurskeella voitaneen korvata luonnonkiveä ja muita epäorgaanisia materiaaleja (leca-sora, laavakivi, liuskekivi) myös viherrakentamisen sovelluksissa. Selvitettävä on kuitenkin betonimurskeen vaikutus kasvualustan pH:hon ja sopivat, happamoittavat seosaineet ja -suhteet sekä raekokojakauma eri käyttötarkoituksiin (esim. kantavat kasvialustat, viherkatot). Betonimurskeen korkeata pH:ta voitaisiin ehkä hyödyntää kohteissa, joissa halutaan nostaa kasvialustan, maan tai valumaveden pH:ta.

Tiilimurske on huokoista ja kevyttä suhteessa moniin muihin epäorgaanisiin materiaaleihin. Sen vedenpidätyskyky on hyvä ja pH usein emäksinen, joten näiltä ominaisuuksiltaan tiilimurske on hyvin lupaava materiaali viherrakentamisen kasvualustoihin, kuten viherkattoihin. Puhdasta tiilimursketta olisi syytä kokeilla myös hulevesien pidätys- ja imeytysalueiden rakenteissa, joissa tarvitaan huokosellista materiaalia. Tietoa tarvitaan myös tässä käyttötarkoituksessa sopivista seossuhteista ja murskeen raekokojakaumasta.

Kierrätyslasista kuumentamalla valmistettu kevyt kiviaines, vaahtolasi, saattaa soveltua korvaamaan kasvualustojen epäorgaanisia aineksia, kuten mursketta, laavakiveä ja leca-soraa. Vaahtolasia käytetään jo tierakentamisessa ja rakentamisessa kevennysmateriaalina, lämmöneristeenä ja routasuojauksessa. Viherrakentamisen kasvualustojen keventäjänä ja vedenläpäisyn parantajana siitä kaivataan lisää käyttökokeuksia ja tutkimustietoa.

Turpeen korvaajaksi etsitään korvaavia kasvialustaraaka-aineita, sillä Euroopassa turpeen varat ovat ehtymässä ja turpeen käyttöä rajoitetaan myös ympäristöllisistä syistä. Korvaavia orgaanisia ainesosia kehitetään rahkasammaleesta ja biohiilestä. Tällaisten uusien, vaihtoehtoisten, ympäristövaikutuksiltaan edullisempien seosaineiden käyttö kierrätyskasvialustojen osana vaatii tuotekehittelyä ja sopivien seosten testaamista.

Jätteiden hyötykäytössä on huomioitava vaarattomuuden ja haitattomuuden lisäksi toiminnalla saavutettavat ympäristöhyödyt. Jättemateriaali saattaa soveltua käyttötarkoitukseen huomattavasti paremmin kuin sillä korvattava, tarkoitusta varten tuotettu tai muokattu luonnonmateriaali, mutta olla silti kokonaisvaikutuksiltaan ympäristöystävällisempi. Ympäristövaikutusten arvioinnissa on otettava huomioon materiaalin kestävyys käyttötarkoituksessaan, mahdollinen tiheämpi uusimis- tai korjaustarve, jätteen jalostus- ja hyötykäyttöketjun aikaiset ympäristövaikutukset ja pystytäänkö jättemateriaalin käytöllä vähentämään luonnonmateriaalien käytön ympäristövaikutuksia. Jättemateriaalien tuotteistamisessa viherrakentamisen tarkoituksiin olisi hyötyjä ja haittoja tarkasteltava koko elinkaaren ajalta elinkaarianalyysin avulla (LCA).



---

## 7 Kirjallisuus

---

- Alm, G., Veltman, H. & Segerros, H.E. 1991. Käytännön puutarhuri. Bokförlaget Natur och Kultur. 376 s. ISBN 951-1-12542-7.
- Andersson, M. 2013. Forssan seudun teollisuusritystenjätteet ja niiden hyötykäyttö. Opinnäytetyö. Kestävän kehityksen koulutusohjelma. HAMK. 38 s.
- Anon. 2010. Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 9/2010. Liikennevirasto, Helsinki. 2010.
- Anonyymi. Luettelo eri puutarha- ja huonekasvien pH-vaatimuksista. (saatu Irma Hupilalta).
- Ampim, P.A.Y., Sloan, J.J., Cabrera, R.I., Harp, D.A., Jaber, F.H. 2010. Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. - J. Environ. Hort. 28(4):244-252.
- Bonn, C. 2003. Ekologisk dagvattenhantering I våra nordiska grannländer. Ekologinen huleveden käsittely muissa Pohjoismaissa. Österbottens förbund, Pohjanmaan liitto. Nr 33 S/Nro 33 F: 2003. ISBN 951-592-055-8, ISSN 1238-0822. 56s.
- Eurola, S., Huttunen, S. & Welling, P. 2004. Enontekiön suuruntureiden (68°45'-69°17' N; 20°45'-22°E) paljakan kasvilajistosta. Floristic statistics of the fields of NW Enontekiö, Finnish Lapland (68°45'-69°17' N; 20°45' -22°E). Kilpisjärvi Notes 18(2004): 1-24.
- Eskola, R., Tahvonen, O. 2010. Hulevedet rakennetussa viherympäristössä. HAMKin julkaisuja 7/2010. 150 s. ISBN 978-951-784-522-9. ISSN 1795-4231.
- Fagnäs, L., Kuoppala, E., Ranta, J., Setälä, H., Hagner, M., Tiilikkala, K., Palojärvi, A., Lindqvist, B. 2011. Overall concepts for utilisation of slow pyrolysis product-Hidaspyro II. In: BioRefine Yearbook 2011 / Tuula Mäkinen, Eija Alakangas and Marjo Kauppi (eds). Tekes Review 284/2011: p. 173-175.
- Fagnäs, L., Kuoppala, E., Arpiainen, V., Oasmaa, A., Setälä, H., Hagner, M., Tiilikkala, K., Lindqvist, I., Lindqvist, B. 2011. Development of slow pyrolysis business operations in Finland-Hidaspyro. In: BioRefine Yearbook 2011 / Tuula Mäkinen, Eija Alakangas and Marjo Kauppi (eds). Tekes Review 284/2011: p. 167-172.
- Fagnäs, L., Kuoppala, E., Tiilikkala, K., Oasmaa, A. 2012. Chemical Composition of Birch Wood Slow Pyrolysis Products. Energy & Fuels 26 2: 1275-1283. [doi] [url]
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C. & Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions of biochars for agricultural use. Transactions of the ASABE 51:2061-2069.
- Grabosky, J, Bassuk, N. 1995. A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. Journal of Arboriculture 21(4): 187-201.
- Grabosky, J, Bassuk, N. 1996. Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase street tree rooting volumes. Journal of Arboriculture 22(6): 255-263.
- Gull, M. 2011. Betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu. 109 s.
- Hagner, M., Penttinen, O.-P., Tiilikkala, K., Setälä, H. 2013. The effects of biochar, wood vinegar and plants on glyphosate leaching and degradation. European Journal of Soil Biology 58: 1-7. [doi]
- Hakala, J. 2012a. Luonnonmukainen hulevesien hallinta. Viherympäristö 1/2012: 52-55.
- Hakala, J. 2012b. Käytännön ratkaisuja hulevesien hallintaan. Viherympäristö 1/2012: 56-59.
- Halinen, A. 2005. Kompostin ja tuhkan seoksesta rakeistetaan lannoitetta. Koetoiminta ja käytäntö 62 1(21.3.2005): 12.
- Halinen, A., Palojärvi, A., Karinen, P., Heinonen-Tanski, H., Tontti, T. 2006. Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä-biologiset ja kemialliset vaikutukset. Maa- ja elintarviketalous 81: 105 s.

- HSY. 2011. Pääkaupunkiseudun biojätteen koostumus. HSY julkaisuja. 52 s. ISBN (pdf) 978-952-6604-29-9.
- Hulevesiopus. Suomen Kuntaliitto 2012. 298 s. ISBN 978-952-213-896-5.
- Häkkinen, E., Merilehto, K. ja Salmenperä, H. 2014. Valtakunnallisen jättesuunnitelman seurannan 2. väliraportti . Ympäristöministeriö, Helsinki. Ympäristöministeriön Raportteja 6 | 2014. s. 83. ISBN: 978-952-11-4282-6 (PDF).  
[http://www.ymp.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YMra\\_62013\\_Valtakunnallisen\\_jatesuunnite %2828508 %29](http://www.ymp.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YMra_62013_Valtakunnallisen_jatesuunnite%2828508%29)
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T & Uotila, P. (toim.) 1998. Retkeilykasvio. Luonnontieteellinen keskusmuseo. Kasvimuseo. 656 s. ISBN 951-45-8166-0 (sid.), ISBN 951-45-8167-9 (nid.)
- Joona, J. 2012. Rakennekalkitus parantaa savimaan mururakennetta. Käytännön maamies 10/2012 56-58.
- Jurmo, S. 2013. Eroosioherkkyys kasvualustan valintaperusteena. Ämmässuon kaatopaikan maisemointi. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. HAMK, Lepaa. 53 s.
- Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J. & Wahlström, M. 2007. Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet. Espoo. VTT Tiedotteita . Research Notes 2411. 44 p. + app. 20 p.
- Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Koivuhuhta, A., Korhonen, T., Luukkanen, S., Mörsky, P., Neitola, R., Punkkinen, H. & Wahlström, M. 2010. Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. Espoo. VTT Tiedotteita-Research Notes 2567. 98 s. + liitt. 8 s.
- Kallio, P. & Rousi, A.(toim.) 1980. Kasvien maailma 2. Otavan iso kasvitietosanakirja. ISBN 951-1-05492-9.
- Kangas, A. & Salo, T. 2010. Viherrakentamisen ympäristövaikutukset-Envirogreen. Suomen ympäristökeskus ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 72 s.
- Kivekäs, L. 1999. Betonin Kierrätys, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab. Artikkelin "Betonin ja betonirakenteiden ympäristövaikutukset". [verkkojulkaisu]. [viitattu 23.7.2011] Saatavilla: <http://www.mcit.se/sgy/betoylei.htm>
- Klimeski, A., Chardon, W., Turtola, E., Uusitalo, R. Potential and limitations of phosphate retention media in water protection: A process-based review of laboratory and field-scale tests. *Agricultural and Food Science* 21:206-223.
- Kristoffersen, P. 1998. Design Urban Pavement Sub-bases to Support Trees.-*Journal of Arboriculture* 24(3): 121-126.
- Kristoffersen, P. 1999. Growing Trees in Road Foundation Materials.-*Arboricultural Journal* 23: 57-76.
- Krook, J., Peurasuo, P., Heino, M. 2005. Kantava kasvualusta-katurakenne ja katupuun kasvupaikka. Suomen Kuntatekniikan Yhdistys ry, julkaisu 22. 56 s. ISBN 952-9710-10-0.
- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 11:403-427.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447:143-144.
- Lindroos, N. 2013. Foamit® -vaahtolasi. Kulkeutumisriskin tarkasteluja pohjavesialueilla. Ramboll.  
[http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/foamit/Vaahtolasin %20kulkeutumisriskinarvio %2025 %203 %202013.pdf](http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/foamit/Vaahtolasin%20kulkeutumisriskinarvio%2025%203%202013.pdf)
- Mentens, J., Raes, D. & Hermy, M. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77:217-226.
- Mickovski S.B., Buss, K., McKenzie B.M. & Sökmener, B. 2013. Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. *Ecol Engineering* 61P: 706-714.
- Milne, E., Powlson, S., Cerri, C.E. 2007. Soil carbon stocks at regional scales. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122:1-2.
- MMM. 2011. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. Maa- ja metsätalousministeriö. Ympäristöministeriö. 2011/2. 30 s.
- Molineux, C.J., Fentiman, C.H. & Gange, A.C. 2009. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the UK. *Ecol Engineering* 35:1507-1513.

- Nurmi, V., Vostis, A., Perrels, A. ja Lehvävirta, S. 2013. Viherkattojen kustannushyötyanalyysi Helsingin kaupunkiolosuhteissa. Ilmatieteen laitos, Raportti No. 2013:2, Helsinki.
- Näkkilä, J., Jokinen, K., Särkkä, L., Tahvonen, R., Silvan, N., Silvan, K. 2013. Rahkasammalessa vihannestaimi kasvaa hyvin. Puutarha & kauppa 16 3/2013: 20-21.
- Piironen, M. 2011. kattojen hyödyntäminen kaupunkiviljelyssä. Esimerkkikohteena ravintola Savoy. maisterin opinnäytetyö. Aalto-yliopisto, Muotoilun laitos.  
[http://www.luomus.fi/kasvitiede/tutkimus/viherkatot/kattojenhyodyntaminen\\_minnapiironen.pdf](http://www.luomus.fi/kasvitiede/tutkimus/viherkatot/kattojenhyodyntaminen_minnapiironen.pdf)
- Renman, G., Renman, A. 2012. Sustainable use of crushed autoclaved aerated concrete (CAAC) as a filter medium in wastewater purification. WASCON 2012 Conference proceedings. 7 s.  
[http://www2.lwr.kth.se/personal/personer/renman\\_gunno/Renman\\_&\\_Renman.pdf](http://www2.lwr.kth.se/personal/personer/renman_gunno/Renman_&_Renman.pdf)
- Ruuskanen, T. 2013. Kierrätysmateriaaleja hyödyntävien kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristö- ja yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi. Diplomityö, 124 s.  
[https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/lcainlandscaping/Julkaisut/Tiina %20Ruuskasen %20diplomity %C3 %B6\\_2.pdf](https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/lcainlandscaping/Julkaisut/Tiina%20Ruuskasen%20diplomity%C3%B6_2.pdf)
- Räty, E. 2009. Viheralueiden puut ja pensaas. Puutarhaliiton julkaisu nro 353. Helsinki 224 s. ISSN 0355-080X. ISBN 978-951-8942-82-8.
- Sirviö, J. (toim.) 2004. Viherrakentamisen kasvualustat. Viherympäristöliitto julkaisu 3, Artprint Oy, Helsinki. 172 s.
- Tielaitos. 2000. Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Mitoitus- ja työohjeet, Tielaitoksen Selvityksiä 5/2000.Tiehallinto. Helsinki 2000. 29 s.
- Tiilikkala, K., Fagernäs, L., Setälä, H. 2011. Puuperäisten pyrolyysitervojen ja -tisleiden historia ja kaupallistaminen. In: Luonnontuotealan valtakunnallinen tutkimusseminaari. 5.10.2010 Joensuu, Itä-Suomen yliopisto / Anu Lavola, Riitta Julkunen-Tiitto, Olli Saastamoinen (toim.). Publications of the University of Eastern Finland. Reports in Forestry and Natural Sciences 7/2011: p. 50-53.
- Tiilikkala, K., Tuhkanen, E-M, Uusitalo, M. 2013. Biohiili viherrakentamisen vahvuudeksi. Viherympäristö 21 4: 56-57.
- Tontti, T. & Mäkelä-Kurtto, R. 1999. Biojätekompostit kasvintuotannossa : Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisu. Sarja A 64. 57 s.
- Tuhkanen, EM., Juhanoja, S., Salo, T., Myllymäki, T., Merivirta, R. 2013. LIIKENNEVIHREÄ : Improving the capacity of traffic areas to provide ecosystems services. In: Connecting people and nature-The promise of ecosystem services?, 3.-4.12.2013 Hanasaari, Espoo / Ekosysteemipalvelut ihmisen ja luonnon yhdistäjänä?, Seventh Environment Symposium. Maj ja Tor Nesslingin Säätiö. p. 37.
- Tuhkanen, EM., Juhanoja, S., Salo, T., Myllymäki, T., Merivirta, R. 2014. Uutta liikennevihreää. Hortonomi 1/2014: 21-22.
- Turunen, T., Salo, T., Virkkunen, E., Nikkari, S. & Heikkinen, P. Kompostipiireissä opittua. Eloperäiset jätteet kiertoon -hanke. Kainuun elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskuksen julkaisu. 1/2011. 48 s.
- Vaarsalo, V. 2011. Viherkattorakentaminen. Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta. Opinnäytetyö. 43 s.  
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201103253568>
- Vakkuri, R. 2011. Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti. Betoni 2/2011:46-51.
- Veuro, S., Lehvävirta, S. ja Mesimäki, M. 2012. Viherkattojen elinkaarianalyysi ja kestävätkä rakennetekniset ratkaisut. Esiselvitys. Helsingin yliopisto.  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39203/Esiselvitys\\_viherkattojen\\_LCA.pdf?sequence=2](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39203/Esiselvitys_viherkattojen_LCA.pdf?sequence=2)
- Vuori, E. 2014. Perennoita ja vaahtolasia liikennealueille. Puutarha ja Kauppa 6:15
- Väre, H. 2008. Kun kallioperän kemia määrää. Emäksiset kivilajit kasvualustana. Teoksessa: Piirainen, M. (toim.) 2008. Luonnossa: Kasvit, 2. Weilin ja Göös. 272 s. ISBN 978-951-0-33404-1.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

# MTT RAPORTTI 161

[www.mtt.fi/julkaisut](http://www.mtt.fi/julkaisut)

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

