

Anna Kirveslahti, Tatu Viitasaari, Kaarina Kekäläinen,
Varpu Yli-Antola, Johann Hawel, Riitta Miettinen, Hanna-Kaisa Koponen



HAKKUUTÄHTEEN JA HAKKEEN UUDET KÄYTTÖKOHTEET



Centria. Raportteja ja selvityksiä, 37

Anna Kirveslahti, Tatu Viitasaari, Kaarina Kekäläinen, Varpu Yli-Antola, Johann Hawel,
Riitta Miettinen, Hanna-Kaisa Koponen

HAKKUUTÄHTEEN JA HAKKEEN UUDET KÄYTTÖKOHTEET

Centria-ammattikorkeakoulu 2019

JULKAISIJA:

Centria-ammattikorkeakoulu
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

JAKELU:

Centria kirjasto- ja tietopalvelu
kirjasto.kokkola@centria.fi, p. 040 808 5102

Taitto: Centria-ammattikorkeakoulun markkinointi- ja viestintäpalvelut
Kannen kuva: Adobe Stock -kuvapalvelu

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 37
ISBN 978-952-7173-44-2 (PDF)
ISSN 2342-933X

SISÄLLYS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. JOHDANTO | 4 |
| 2. HAKKEEN SAATAVUUS | 5 |
| 2.1 Keski-Pohjanmaan metsävarat | 5 |
| 2.2 Raaka-aineen hankinta | 6 |
| 3. HAKKEEN JA HAKKUUTÄHTEEN KÄSITTELYMENETELMÄT | 8 |
| 3.1 Raaka-aineen esijalostus | 8 |
| 3.2 Hakettaminen | 8 |
| 4. VEDENPUHDISTUS JA VESIENSUOJELU | 10 |
| 4.1 Luonnonvedet | 10 |
| 4.2 Salaojissa | 11 |
| 4.3 Yhdyskuntajätevesien käsittelyssä | 12 |
| 5. RAKENTAMISESSA | 13 |
| 5.1 Betonin ja laastin runkoaineena | 13 |
| 5.2 Pihalaatat | 13 |
| 5.3 Äänieristeet ja meluvallit | 13 |
| 6. KUIVIKE, KOMPOSTI JA LANNOITEKÄYTTÖ | 15 |
| 6.1 Kuivikekäyttö | 15 |
| 6.2 Kompostikäyttö | 16 |
| 7. ALUSTA/MAAPERÄN VAHVENNUSAINENA | 19 |
| 7.1 Liukkauden torjunnassa | 19 |
| 7.2 Kenttämateriaalina | 19 |
| 7.3 Katemateriaalina puutarhassa ja viherrakentamisessa | 20 |
| 8. ASKARTELUSSA | 22 |
| 9. MUUT KÄYTTÖKOHTEET | 23 |
| 10. HAKKUUTÄHTEIDEN SOVELTUVUUSTESTAUS | 24 |
| 10.1 Hakkeen värjääminen | 24 |
| 10.2 Vedensuodatus | 26 |
| 10.2.1 Laboratoriomittakaavan vedensuodatuskokeet | 26 |
| 10.2.2 Kenttäkokeet | 31 |
| 10.3 Varastointiolosuhteiden vaikutukset neulasten kemiallisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin | 35 |
| 10.4 Kompostointikokeet | 38 |
| 11. KIITOKSET | 42 |

LÄHTEET

1. JOHDANTO

Nykyaikaisessa metsätaloudessa metsistä korjataan pääasiassa ainespuuta (tukki- ja kuitupuuta) ja energiapuuta. Valtaosa metsätalouden tuloista muodostuu ainespuun korjuusta. Puuraaka-aineen jatkojalostus tapahtuu yleensä muiden kuin metsänomistajien toimesta.

Päätihakkuissa syntyy huomattava määrä hakkuutähdettä (kuten oksat ja latvustot), jota voitaisiin jatkojalostaa ja hyödyntää nykyistä paljon monipuolisemmin. Samoin runkopuusta valmistettua haketta on mahdollista käyttää nykyistä enemmän jatkojalostuksen raaka-aineena. Nykytilanteessa hyötykäyttöön tulevasta hakkuutähteestä ja hakkeesta suurin osa poltetaan energiaksi. Hakkuutähteen myynnin huono kannattavuus on osaltaan hillinnyt niiden käyttöä, sillä raaka-aineen tienvarsihintaa on tällä hetkellä alle puolet metsäteollisuuden käyttämästä kuitupuun hinnasta.

Maaseudulle soveltuvia puun ensiasteen jatkojalostusmuotoja ovat perinteisesti olleet lähinnä sirkkelisahaus, polttopuiden ja hakkeen tuotanto sekä viime vuosina myös lämpöyrittäjäyys, joka on jo hieman pidemmälle menevää puuraaka-aineen hyödyntämiseen perustuvaa maaseutuyrittäjäyttä. Tarve uusille puun jatkojalostukseen perustuville maaseutuelinkeinoille ja tuotteille on kuitenkin suuri, jotta maaseudulle voitaisiin luoda uusia paikalliseen raaka-aineeseen perustuvia työpaikkoja. Tässä raportissa on esitelty mahdollisia hakkuutähteen ja hakkeen käyttökohteita.

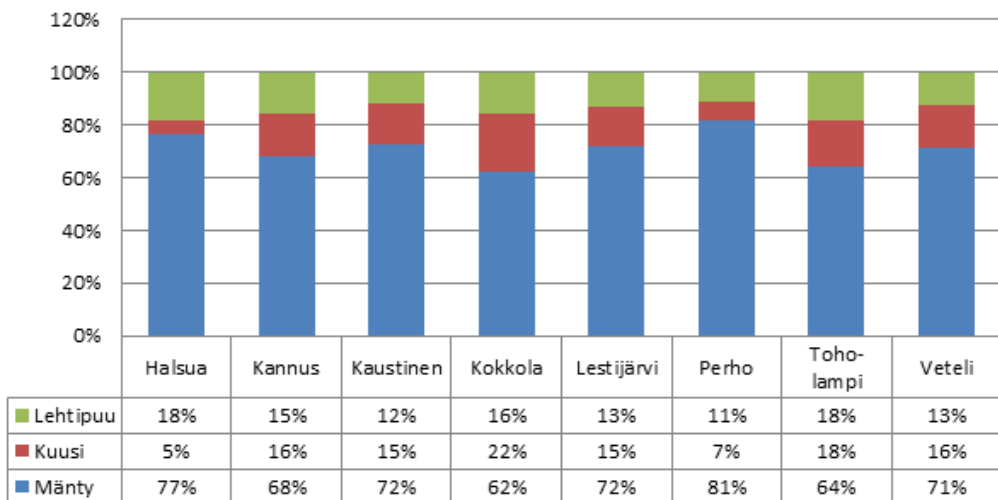
Raportti on kirjoitettu osana EU:n Maaseuturahaston tukemaa, Centria-ammattikorkeakoulun ja Suomen metsäkeskuksen toteuttamaa *Hakkeen ja hakkuutähteen uudet käyttökohteet* -hanketta. Hankkeessa hakkeelle ja hakkuutähteille pyrittiin löytämään uusia käyttökohteita, sekä edistämään tietoisuutta niihin liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista.

2. HAKKEEN SAATAVUUS

2.1 Keski-Pohjanmaan metsävarat

Keski-Pohjanmaalla kasvaa yksityismetsissä kaikkiaan noin 30,2 miljoonaa m³ puuta, [1] ja kun mukaan otetaan muut omistajat kuten metsähallitus, määrä on 38 miljoonaa m³. [2] Yleisin puulaji on mänty. Vuotuiset hakkuut ovat noin miljoonan kuution suuruiset. Lehtipuusto koostuu pääsääntöisesti sekapuuna kasvavasta hieskoivusta, joka on pääasiallisesti kuitu- tai energiapuukokoluokkaa. Leppää ja haapaa kasvaa sekapuustona koko alueella. Haapaa on keskimäärin noin prosentti ja leppää 0,25 %. Vaihtelu on kuitenkin kuvioittain ja tiloittain suurta, sillä esimerkiksi hoidetuissa taimikoissa leppä- ja haapakasvustot on poistettu perkauksen yhteydessä. Itse haapa- ja leppämetsiä on todella vähän. Kunnittain katsottuna merkittävin ero on kuusen määrässä, jota ei ole Halsualla kuin viisi ja Perhossa seitsemän prosenttia.

Latvusmassaa ja oksia kerätään pääsääntöisesti kuusivaltaisilta päätehakkuilta. Harvennushakkuilta sen kerääminen ei ole nykykalustolla yleensä taloudellisesti järkevää. Latvusmassan korjuussa on lisäksi huomioitava keruukohde, sillä korjuuta ei suositella karuille kohteille.



Kuvaaja 1. Keski-Pohjanmaan yksityismetsien puulajijakauma koko puustosta

Keski-Pohjanmaalla latvusmassaa olisi vuosittain saatavilla Suomen metsäkeskuksen hakkuusuositusten mukaan 160 000 m³, mutta metsien käyttöaste, taloudellisesti kannattavien kohteiden ja maanomistajien myyntihalukkuus laskevat saatavan raaka-aineen määrää huomattavasti. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että Keski-Pohjanmaan alueella on hyvin saatavilla pääpuulajeihin perustuvia raaka-aineita. Haapaa saadaan sekapuuna vaihtelevia määriä, mutta sen hankinta pienessä ja keskisuuressa mittakaavassa kuitenkin onnistuu. Lepän ja raidan saatavuus on heikkoa ja epätasaista. Pienien leppäerien hankkiminen on kuitenkin mahdollista.

Metsäraaka-aineen käytöstä ja saatavuudesta on olemassa paljon julkista tietoa. Tietoa tuottavat pääasiassa Luonnonvarakeskus ja Suomen metsäkeskus. Molemmat toimijat kehittävät jatkuvasti uusia sovelluksia, joista tietoa on saatavilla.

Suomen metsäkeskuksen verkkosivuilta www.metsakeskus.fi löytyy tarkat kuntakohtaiset tilastot hakkuumahdollisuuksista puutavaralajeittain kuntatasolla jaoteltuna, hakkuuaikomustilastoa ynnä muuta tietoa.

Metsänomistajilla on mahdollisuus päästä katsomaan maksutta oman metsätilansa metsävaratietoja www.metsään.fi palvelussa. Metsävaratietojen avoimuutta on lisätty 1.3.2018 alkaen. Jatkossa metsävaratietoja (pois lukien omistajatietoja) näkevät muutkin kuin maanomistaja. Tässä palvelussa on myös mahdollista luovuttaa tietoja toimijoiden käyttöön. [Metsään.fi](http://www.metsään.fi) palveluun on mahdollista rekisteröityä myös toimijaksi, jos toiminnan katsotaan olevan ammatti- maista. Tarkempaa tietoa ja uusia sovelluksia kannattaa etsiä Metsäkeskuksen verkkosivuilta ja [metsään.fi](http://www.metsään.fi) palvelusta.

Luonnonvarakeskuksen kartta-aineistoja voi selata osoitteessa www.paikkatietoikkuna.fi ja aineistoa voi ladata osoitteesta <http://kartta.luke.fi/>. Täältä saa tietoa esimerkiksi kuusen latvusmassojen määrästä tietyllä maantieteellisellä sijainnilla. Uutena palveluna on avautunut myös LUKEn ylläpitämä biomassa-atlas <https://biomassa-atlas.luke.fi/>. Palvelussa on mahdollista tehdä alueellisia rajauksia, joiden sisältä saadaan tieto raaka-ainejakeiden saatavuudesta.

2.2 Raaka-aineen hankinta

Perinteisellä omatoimisella korjuulla metsänomistaja hakkaa itse puut ja kuljettaa ne joko itse tai urakoitsijan toimesta käyttöpaikalle tai tienvarsivarastoon. Tämä korjuumuoto mahdollistaa raaka-aineen valikoinnin jo hakkuun yhteydessä. Hakkuut kannattaa keskittää etenkin nuorten metsien hoitokohteille, jolloin myös metsänhoito nostaa työn arvoa. Sopiville hakkuukohteille on myös mahdollista saada tukea Kestävän metsätalouden rahoituksesta (Kemera), mutta tuen ehdot ja hakeminen kannattaa varmistaa ensin Metsäkeskuksesta (www.metsakeskus.fi). Omatoiminen korjuu ei mahdollista suuria volyymeja, mutta tarkkaan valittavien raaka-aineiden suhteen se on toimiva menetelmä. Se sopii esimerkiksi sisustukseen, taiteeseen ja käsitöihin tarvittavien oksien ja materiaalien keräämiseen. Esimerkiksi nuoren metsän hoitokohteelta kerätään rankoja, jotka veistetään aidanseipäiksi ja myydään eteenpäin.

Oksien, erikoispuiden ja muiden keruuluvallisten tuotteiden hankinta vaatii aina maanomistajan suostumuksen.

Metsäraaka-aineiden ostaminen jalostuspaikalle on yleensä paras vaihtoehto silloin kun halutaan keskittyä itse tuotteeseen. Metsäraaka-aineita voidaan ostaa useassa muodossa riippuen niiden jatkojalostuksesta. Rankapuuta, kokopuuta, hakkuutähteitä ja haketta eri muodoissa on mahdollista hankkia paikallisilta toimijoilta. Tällaisia toimijoita ovat esimerkiksi metsänhoitoyhdistykset, metsäpalveluyrittäjät, haketoimittajat sekä metsänomistajat.

Taulukossa 1 on esimerkkejä erilaisten palvelujen ja raaka-aineiden hinnoittelusta, hinnat ovat suuntaa-antavia.

| Taulukko 1. Esimerkkejä metsä raaka-aineiden ja palveluiden hinnoista (Keski-Pohjanmaa) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Urakointihintoja | |
| Haketus (mobiili) | 3,5 -4,5 € i-m ³ (hakemäärä 100 i-m ³ haketta) |
| Peräkärnyvetoinen hakkuri vuokraus | 50 - 60 € vrk (hakemäärä muutamia kymmeniä m ³ / vrk) ei järeälle puulle |
| Traktori + metsäperävaunu | 50-60 € / h |
| Puutavara-auto | 100-120 € / h |
| Metsätraktori päätehakkuu (ajo + kuljetus) | 8-10 € / m ³ |
| Metsätraktori harvennus (ajo + kuljetus) | 65-85 €/h |
| Harvesteri | 75-85 €/h (4 -8 m ³ / ha) harvennus |
| Metsuri | 25-35 €/h |
| Raaka-aineen hinnat (tienvarsihinta, mitä metsänomistajalle maksetaan valmiiksi tienvarteen korjatusta raaka-aineesta) | |
| Koivukuitu | 27-32 € / m ³ |
| Mäntykuitu | 27-32 € / m ³ |
| Kuusikuitu | 28-33 € / m ³ |
| Rankapuu | 20-25 € / m ³ |
| Kokopuu | 16-21 € / m ³ |
| Latvusmassa (hakkuualalle ostettuna) | 90-110 €/ha (n 75m ³) |
| Raaka-aine käyttöpaikalle tuotuna | |
| Hake käyttöpaikalle tuotuna | 20-26 € i-m ³ (erän koko ja laatu vaikuttavat) |

3. HAKKEEN JA HAKKUUTÄHTEEN KÄSITTELYMENETELMÄT

3.1 Raaka-aineen esijalostus

Perinteisessä energiapuun korjuussa kaikki energiapuu on lajiteltu yhdeksi jakeeksi. Erottamalla korjuussa puulajit toisistaan mahdollistetaan korkeamman jalostusarvon tuotteiden valmistaminen. Esimerkiksi leppä, josta valmistetaan erilaisia savustustuotteita. Raaka-aineen esijalostaminen voi olla yksinkertaisimmallaan vain tietyn puulajin tai jakeen erottelua. Toimintamenettely ei ole uusi metsätaloudessa, sillä yhdeltä työmaalta saatetaan nykyisinkin korjata yli kymmentä eri tuotetta, joilla on eri vaatimukset ja käyttöpaikat.

Puun kuivatuksella voidaan vaikuttaa huomattavasti puun ominaisuuksiin. Esimerkiksi kuivatamalla latvusmassaa palstakasoilla kesän yli puun kosteus laskee yli 50 prosentista alle 30 prosenttiin. [3] Puun luonnonkuivatuksen onnistuminen vaihtelee vuosittain ja kosteusprosentti on yleisesti ottaen 25-35 % kesän yli tapahtuneen kuivatuksen jälkeen. Haluttaessa tasalaa- tuista ja tietyn kosteuden omaavaa haketta on keinokuivaus hyvä vaihtoehto. Metsäkeskus on julkaissut aiheesta oppaat Laatuhakkeen tuotanto -opas ja Puupolttoaineen kuivuriopas, jotka löytyvät myös sähköisessä muodossa Metsäkeskuksen verkkosivuilta www.metsakeskus.fi. [4] [5]

Oikeaoppisessa hakkutähteen korjuussa hakkutähteen annetaan kuivua palstalla niin kauan, että neulaset varisevat korjuussa irti. Tällä menetelmällä voidaan kerätä myös kuivia neulasia asettamalla oksien alle esimerkiksi pressu. Tuoreiden neulasten ja lehtien keruu ja irrottaminen vaativat erillistä tekniikkaa. Neulasten keruussa on kuitenkin varmistettava, että kasvupaikan ravinnetasapaino on kunnossa.

Erikoistuotteita valmistettaessa on syytä optimoida korjuuketju aina vastaamaan haluttua raaka-ainetta.

3.2. Hakettaminen

Haketuskalusto voidaan jakaa kolmeen luokkaan haketustavan mukaan: laikkahakkuri, rumpuhakkuri ja kartioruuvihakkuri. Hakkeen laatuun ja tasaisuuteen voidaan vaikuttaa huomattavasti hakkurikaluston valinnalla ja niihin asennettavien seulojen koolla. Hakkeen kokoa voidaan säädellä vaihtamalla seulan kokoa (yleisiä seulankokoja 30 x 30 mm, 40 x 60 mm tai 80 x 150 mm). Pientä palakokoa tavoitellessa ongelmaksi muodostuu yleensä hakkeen jauhautuminen liian hienoksi. Puupolttoaineiden laatuohjeesta [6] (VTT-M-07608-13) selviävät tarkemmat energiapuun laatuvaatimukset.

Rumpuhakkuri on pääasiallinen haketustapa toimittaessa isossa kokoluokassa. Hakkurit ovat joko traktorivetoisia tai kuorma-autoon integroituja. Näillä hakkureilla tuotos on noin 150 i-m³. Rumpuhakkuri soveltuu hyvin myös hakkutähneiden haketukseen. Näitä koneita käytetään vain ammattimaisessa urakoinnissa.



Rumpuhakkuri

Laikkahakkuri on kaikkein yleisin hakkurityyppi. Koneiden koko ja tuotos vaihtelevat suuresti kokoluokan muuttuessa. Laikkahakkurilla voidaan hakettaa myös hakkuutähdettä, mutta tällöin hake on yleensä heikkolaatuista ja hakkurin syöttäminen on ongelmallista. Tehokkailla laikkahakkureilla pystytään kuitenkin toteuttamaan erittäin hyvin myös ammattimaista haketusta. Kun taas pienimmät ns. isäntälinjan koneet soveltuvat esim. maatilan omaan käyttöön.



Pienhakkureita

Ruuvihakkuri on suhteellisen edullinen ja toimii hyvin myös pintalautoilla ym., Ruuvihakkuri ei sovellu hakkuutähteille.

Hakkureiden hinnat vaihtelevat suuresti kokoluokan mukaan. Hintaan vaikuttaa huomattavasti tarvitaanko hakkurin mukana oma energialähde tai voidaanko hyödyntää esim. traktorin ulosottoa. Pienen kokoluokan hakkureita on mahdollista myös vuokrata. Ennen hakkuri-investointia on kuitenkin syytä laskea hakkurin käyttöstetta ja verrata hintatasoa siihen, että palvelu ostettaisiin urakoitsijalta tai koko raaka-aineen toimitusketju ulkoistettaisiin.

4. VEDENPUHDISTUS JA VESIENSUOJELU

Suomessa on raportoitu muutamista tutkimuksista, joissa hakkeen avulla on koitettu ennaltaehkäistä luonnonvesien rehevöitymistä. [7] [8] [9] [10] Irlannissa [11] ja Yhdysvalloissa [12] myös elintarvikkeiden käsittelyssä muodostuvien yhdyskuntajätevesien käsittelyyn on kehitetty menetelmiä, jotka hyödyntävät haketta rasvan ja ravinteiden poistossa. Salaojissa on perimätiedon mukaan käytetty vanhastaan haketta/risuja soran sijasta. [13] [14] [15]

4.1 Luonnonvedet

Luonnonvesissä yleisin malli on hakepaaleista tai -säkeistä koostetut hakesuodattimet. [7] [8] Säkit tai paalit asetellaan ojaan tai puroon padon tapaan, siten, että kaikki vesi virtaa hakkeen läpi. [9] Varsinaisen suodatuksen lisäksi hakesuodatin hidastaa veden virtausta, jolloin vesistöissä kulkeutuva kiintoainetas laskeutuu uoman pohjalle tai jää hakkeeseen kiinni. [7] [10] Parhaimmillaan on havaittu jopa 49 % keskimääräisiä kiintoaine-, 24 % fosfori- ja 10 % typpi-reduktioita. [7] Tutkimustulokset ovat kuitenkin vaihtelevia, toisinaan hyötyä ei ole havaittu lainkaan. [7] [10] Veden virtausolosuhteet on usein puutteellisesti ilmoitettu, mikä heikentää tulosten vertailukelpoisuutta ja toistettavuutta. [7] Suomen ympäristökeskus spekuloi hakepatojen mahdollisesti puhdistavan vettä myös edullisen mikrobitoiminnan myötä. Hakepadossa kasvamaan alkavat homeet, sienet ja bakteerit saattavat kuluttaa veden ravinteita edullisella tavalla. Aiheesta on käynnissä laajamittaiset kokeet. [16]

Ympäristölaissa on määritelty, että vesiensuojelussa tulisi käyttää aina parasta käyttökelpoista tekniikkaa. [17] Uudet vaihtoehtoiset tekniikat tulee todeta kohteeseen entisiä paremmiksi, ennen kuin niitä voidaan vesitalousluvan varaisissa kohteissa hyödyntää.

Teoriassa pienellä hakkeen palakoolla ja paksulla suodattimella vesi saadaan tehokkaammin puhdistettua, mutta käytännössä liian pieni palakoko ja liian paksu suodatin aiheuttavat tulvariskejä ja ohivirtauksia. Hakesuodattimien on todettu toimivan parhaiten hitaissa ja tasaisissa virtauksissa. Puhdistusta voidaan tehostaa lisäämällä hakesuodattimia sarjoittain. [7] Suodattimen suunnittelussa pitää huomioida luonnolliset veden virtausvaihtelut ja suodattimen sijoituspaikan maaperän rakenne. [8] [10] Paras sijoituskohta suodattimille on kovan maaperän alueella. Pehmeällä maaperällä ja savimailla vesi saattaa erodoita maaperää ja muodostaa ohivirtauskohtia suodattimen reuna-alueiden viereen, ellei erodoitumista onnistuta estämään huolellisesti suunnitelluilla tukirakenteilla ja vedenpaineen hallinnalla. [7] Käytettyjä hakesuodattimia voi jatkokäyttää esimerkiksi puutarhan kattamiseen tai lannoitteena.

Suodattimien tyyppiä ja fosforinsidontakykyä on pyritty tehostamaan lisäämällä vedenpuhdistuskemikaaleja hakesuodattimien sekaan. Lantto et al. kokeilivat CaCO_3 :a ja $\text{Ca}(\text{OH})_2$:a säkkeinä hakesuodattimien seassa. [7] Tuloksissa ei nähty selkeää eroa, sillä oliko kemikaaleja lisätty hakesuodattimien sekaan vai ei. Vaikka CaCO_3 :a lisättiin suodattimen sekaan enimmillään 54 l kerralla, mahdolliset vaikutukset fosforireduktioon hukkivat muun hajonnan sekaan.

Lantto et al. tutkivat hakesuodattimia useassa eri ojassa 15 kk ajan. [7] Suodattimia vaihdettiin muutaman kuukauden välein. Pisimmillään vaihtoväli oli noin 8 kk. Osassa tapauksista saatiin hyviä suodatustuloksia vielä jopa 6 kk suodattimen vaihdon jälkeen. Huomionarvoista on kuitenkin suodatustulosten suuri hajonta. Samaisessa tutkimuksessa Lantto et al. vertailivat myös havu- ja lehtipuusta tehtyä sekahaketta ja koivuhaketta keskenään. Ainoastaan sekahakkeella onnistuttiin hyviin suodatustuloksiin, mutta hakkeita testattiin keskenään eri olosuhteissa. [7] Selvittämättä jäi, oliko syy hakkeen laadussa vai muissa tekijöissä.

4.2. Salaojissa

Salaojan tehtävänä on suodattaa pihoilte ja pelloille kertyvää vettä ja johdattaa vesi kokoojaojaan, salaojakaiivoon tai viemäriin. [14] [18] Salaojitus voidaan tehdä monella tapaa. Yleisimmin pellolle asennetaan putkia, jotka voidaan esipäälystää veden putkelle pääsyn edesauttamiseksi. [14] [13] Varsinaisen salaojan ympärille, voidaan vielä tarvittaessa lisätä putken ympäryksainetta, joka suodattaa vettä ja johdattaa vettä putkelle. [14] Salaoja voidaan tehdä myös yksinkertaisemmin ilman putkituksia pelkällä täyteaineella. [13] Putketon ojitus voi tulla kyseeseen, mikäli halutaan tehdä täydennysojituksia, salaojilla on kiire tai ne halutaan tehdä itse. [13]



Salaoja

Hyvä täyte- ja ympäryksmateriaali pidättää veden mukana heikosti kulkeutuvan kiintoaineen salaojan ulkopuolella, mutta ei tukkeudu helposti, vaan vesi läpäisee sen hyvin. [14] Täyteaineen tai putken ympäryksaineen valinnassa on hyvä ottaa huomioon ojitettavan maan ominaisuudet. Hieta- ja hiesumailla salaojan/ympäryksmateriaalin suodatusominaisuudet ovat vedenkuljetusominaisuuksia tärkeämpiä, kun taas savimailla vedenkulkeutumisen edistäminen on tärkeämpää. [14] Yleisimpiä täyte- ja ympäryksaineita ovat salaojasora, hake, sekä teolliset salaojaputkien esipäälystykset. [13] [15] [14]

Haketta voidaan käyttää salaojituksessa, joko putken ympäryksaineena, esipäälystysaineena tai suoraa täyteaineena veden ohjaamiseen kokoojaojaan putkettomassa ojituksessa. [13] Joissakin tapauksissa hakkeen tai sahanpurun käyttö on koettu salaojasoraa paremmaksi vaihtoehdoksi, sillä ne ehkäisevät ruostetukoksia ja johdattavat vettä hyvin. [19] Ruostetukosten yleisyys riippuu maaperän ja pohjaveden rautapitoisuudesta, sekä maan pH-tasapainosta. [14] Normaaleilla viljelymailla rautasaostumia alkaa usein esiintyä, kun rautaa on 5 mg/l, kun taas happamilla sulfaattimailla, esimerkiksi turvetuotannon ojituksissa, rautaa voi olla jopa kymmenkertainen määrä ilman ilmenneitä ongelmia. [14] Hake on suoto-ojituksessa mahdollisesti yleisimmin käytetty materiaali. [14] Suoto-oja on vedensiirtymistä varsinaiseen salaojaan parantava lisäsalaoja.

Salaojiin suositellaan käytettäväksi vain lähes kuoretonta havupuuhaketta, jolla on tasalaatuinen karkea palakoko. [20] Myös lehtipuuhaketta on tutkittu salaojissa. [18] Sen on todettu johdattavan vettä hyvin ja tehostavan hajottajien toimintaa maassa, mikä lisää maan vedenläpäisykykyä merkittävästi, sillä hajottajat kuohkeuttavat maata ja lisäävät ojitukselle hyödyllisiä huokosia. [18] Havupuuhake on kuitenkin suositellumpi vaihtoehto, sillä se maatuu lehtipuuhaketta hitaammin. [15] [20]

4.3. Yhdyskuntajätevesien käsittelyssä

Irlannissa Ruane et al. onnistuivat puhdistamaan hakesuodattimilla maitotilojen jätevesistä jopa 99 % kiintoaineesta, 89 % typestä ja vähentämään likaveden kemiallista hapenkulutusta 97 %. [11] Heidän hakesuodattimensa olivat pystymallisia 0,5 m, 1 m ja 1,5 m korkeita patsaita joihin laskettiin suodatettavaa nestettä päivittäin 28 l/m². Ne pysyivät päivittäisessä suodatuksessa toimintakykyisinä yli 4 kuukautta ilman huoltoa. [11] Pystymallisissa patsaissa ei veden hidastaminen ole merkittävimpänä mekanismina kiintoaineen poistossa. Patsaan korkeudella ei havaittu olevan vaikutusta ravinteiden pidätyskyvyssä. Vaikutus saattaa näkyä vasta ohuempia hakekerroksia käytettäessä.

Yhdysvalloissa armeija on kehittänyt hakkeeseen perustuvan menetelmän poistaa rasvaa ravitsemusyksikön jätevedestä. [12] Rasva "imeytetään" hakkeeseen ruuvisekoittimessa. Vesi päästetään lopuksi valuttamalla pois. [12]

5. RAKENTAMISESSA

5.1 Betonin ja laastin runkoaineena

Hakkeen [21], puujätteen [22, 23, 24] ja sahanpurun [25] käyttöä erilaisissa betoni- [26] ja laastituotteissa [23] on tutkittu paljon. Betonin runkoaineena olevaa kiviainesta puuraaka-aineella korvaamalla saadaan hyvin ääntä [25] [26] ja lämpöä [23] [24, 27] eristäviä kevytbetonituotteita [23], joilla on tavallista betonia pienempi lämpölaajenemiskerroin. [24] Kiviaineen korvaaminen puulla on myös kustannustehokas vaihtoehto. [21] [26] Suomessa kaupallisena tuotteena on saatavilla Puukivi –pihalaattoja, joiden valmistuksessa 25 % normaalista betonin kiviainemäärästä on korvattu kierrätyspuulla. [28] Vastaavanlaisia kevytbetonituotteita on saatavilla myös esimerkiksi Ranskassa [29] ja Kanadassa, [30] jossa niitä käytetään mm. esivalettuina eristeharkkoina myös talon rakennusmateriaalina. Tuotesuunnittelun ongelmana on toisinaan valmistettujen betonituotteiden lujuus [23] [24, 21] ja betonimassan työstettävyys [21] sekä alttius sienitartunnalle [26]. Puumassan veden absorptio [26, 31] ja sementin normaaleja kovertumisreaktioita estävät puun uuteaineet ja sokerit on yhdistetty ilmenneisiin ongelmiin. [23, 31] [26]

Erilaisilla lisäaineilla ja puunpinnan käsittelyillä on pyritty puuseosteisten betonimassojen sekoitettavuuden parantamiseen [24] ja puumassan veden absorptioon vähentämiseen [23, 25, 29]. Sekoitettavuuden parantamisen ja veden imukyvyn vähentämisen lisäksi puuseosteisten betonituotteiden lujuutta [26, 29], palonestoa [25, 29] ja käsiteltävyyttä [26] voidaan parantaa puun mineralisoinnilla.

Mineralisoinnissa puun solukkoon kertyy mineraaleja. [25, 23] Mineraalit saadaan solukkoon esimerkiksi liottamalla puuta mineraalipitoisessa liuoksessa. [23, 23] Mineralisointia voi tehostaa puun märkäjauhatuksella mineraalien kanssa. [25] Mineralisointi lisää puun kovuutta ja sään kestoja, mutta tekee siitä hauraampaa. Mineralisoidusta puusta valmistettujen puu-betoni -komposiittien lujuus liittyy sementin hydrataatioprosesseja häiritsevien puun sokereiden vaikutusten ehkäisyyn. [26]

Muun muassa alumiinisulfaattia [26], basalttia [25], natriumsilikaatteja [26], $MgCl_2$, [25] $NaOH$:a, [23] $Ca(OH)_2$:a [23] on käytetty mineralisoinneissa. Basalttimineralisoinnilla puun veden absorptiviteettiä saadaan vähennettyä puoleen. [25]

5.2. Pihalaatat

Erilaisissa pihalaatoissa ja puutarhakoristekivetyksissä on puulla korvattu betonin runkoaineena yleisesti käytettyä kivimurskaa. [28] Kevyttiilissä mainostetaan olevan jopa 25 % kierrätyspuuta. [28] Ainakin osassa tuotteita puuainesta on mineralisoitu alumiinisulfaatilla sään keston ja ominaisuuksien parantamiseksi. Tiilet kestävät esimerkiksi pihajäätöjen henkilöliikenteen. [28]

5.3. Äänieristeet ja meluvallit

Mineralisoidun hakkeen ja betonin seoksesta valmistetaan meluvallia ja äänieristeitä. Ranskalainen Agresta mainostaa hakkeesta ja betonista valmistettuja meluvallia ääntä absorboivina, tulen kestävinä, korrodoitumattomina, viisikertaa perinteisiä meluvallia kevyempinä ja kestävyydeltään standardien mukaisina. [32] Agrestan tuotteissa on jopa 95 % haketta kui-

vumisen jälkeen. [32] Italiassa FIP industries tuottaa myös puukuituja sisältävää kevytbetonia. [33] Yritys myy myös muita äänieristeratkaisuja, mutta markkinoi puukuitusekoitteista betonia äänieristyksen kannalta parhaimpana tuotteenaan. [33]

Myös neulasia voidaan käyttää äänieristeinä. Virolainen Okka valmistaa ääntä eristäviä akustiikka- ja sisustuslevyjä männyn neulasista. [34]

6. KUIVIKE, KOMPOSTI JA LANNOITEKÄYTTÖ

6.1. Kuivikekäyttö

Kuivattuja hakkuutähteitä voidaan käyttää kuivikkeina ulkokuuseissa tai eläinten lannan käsittelyssä. Hake, kutterin- ja sahanpuru ovat yleisimpiä hakkuutähteistä valmistettavia kuivike tyyppejä.

Hyvä kuivike sitoo hajua ja imee kosteutta. [35] Eläimestä ja olosuhteista riippuen myös kuivikkeen lämmittävyys, pehmeys ja paikallaan pysyvyys ovat tärkeitä tekijöitä. [35] Joillakin eläimillä on luonteenomaisia taipumuksia, jotka voivat vaikuttaa kuivikevalintaan. [35] Jotkin kuivikkeet pölyävät herkästi ja heikentävät siten ilmanlaatua. [35] Myös eläinten määrä, lannanpoistomenetelmä, kuivikkeen hinta, saatavuus, ja loppusijoitus- tai hyötykäyttömahdollisuudet vaikuttavat kuivikevalintaan. [35, 36, 37]

Hakkeen, kutteripurun ja sahanpurun etuja kuivikkeena on niiden luonnostaan matala pH, joka hidastaa bakteerikasvuston lisääntymistä. [38] Oikean kokoiseksi silputtuna ne ovat mukavia, pölyttömämpiä kuin moni muu kuivike ja imevät hyvin kosteutta, sekä pitävät eläimet kuivina ja puhtaina. [38] Vaalea kuivike tuo myös valoisuuden tuntua mahdollisesti muuten synkäksi koettuun talliin. [35] Haittapuolena hakkeen, kutterin- ja sahanpurun käytössä on niiden suhteellisen hidas kompostoitavuus ja niiden mahdollisesti sisältämät bakteerit (sahanpuru). [35] Puruissa on suuri ominaispinta-ala, mikä altistaa bakteerikasvuston muodostumiselle, mikäli pH pääsee nousemaan. [38] Myös purun kosteuspitoisuus vaikuttaa bakteeripitoisuuteen. [35, 38] Toisaalta suuren ominaispinta-alan vuoksi purut myös maantuvat suurempikokoista haketta helpommin. [39] Hakkeessa bakteeri kasvustoa on usein pinta-alan vuoksi vähemmän kuin puruissa. [39] Enimmäkseen on katsottu, että puupohjaisissa kuivikkeissa esiintyvistä bakteereista huomionarvoisia on lähinnä utaretulehduksia aiheuttavat klebsiella -bakteerit, joiden vuoksi sahanpurua ei suositella lypsykarjatilojen käyttöön. [35]

Norjalaisen [40] ja Iso-Britannialaisen [37] tutkimuksen mukaan lampaat suosivat hakekuiviketta olkien sijaan, vaikka oljet ovatkin monesti yleisemmin käytettyjä. [38, 37, 40] Haketta on tutkittu myös patjakuivituksessa, mutta sen maatumisen hitaus aiheuttaa, sen ettei lämpöä muodostu yhtä paljoa, kuin esimerkiksi olkia käytettäessä. [40] Haketta patjakuivikkeena testanneet lampaat eivät myöskään pysyneet aivan yhtä puhtaina kuin olkia käyttäneet verrokkit. [40] Hake todettiin kuitenkin tyydyttävästi toimivaksi ratkaisuksi myös patjakuivikkeena. [40] Espanjalaisessa tutkimuksessa sahanpuru sai parhaan kokonaisarvosanan toimivuustestauksessa, kun verrattiin olki-, riisin kuori- ja selluloosakuivikkeita odottavien lampaiden kuivikkeina. [38] Testissä huomioitiin lampaiden puhtaana pysyminen, kuivikkeen loppukosteus, kompaktius ja paakkuuntuminen, sekä homogeenisyys. [38] Parhaat pisteytykset sahanpuru sai kuivana pysymisestä, homogeenisyydestä, paakkuuntumattomuudesta ja lampaiden puhtaana pysymisestä. [38] Lisäksi tutkimuksessa todettiin, että sahanpuru sitoi testin kuivikkeista toiseksi parhaiten ammoniakkia ja sen bakteeripitoisuus oli testin lopussa samalla tasolla muiden tukittujen kuivikkeiden kanssa. [38] Käyttäytymistieteellinen tarkastelu osoitti, että sahanpuru oli testi materiaaleista toiseksi miellyttävin lampaiden mielestä, heti olkikuivikkeen jälkeen. [38]

Kuivikkeena käytetystä hakkeesta, kutterinpurusta tai sahanpurusta voidaan edelleen valmistaa biohiiltä [41] tai biokaasua [41] tai se voidaan kompostoida tai mädättää, jolloin sitä voidaan käyttää lannoitteena. [36] 15.11.2018 alkaen lantaa kuivikkeineen voi polttaa pienpoltto-

laitoksissa (alle 50 MW) energian tuottamiseksi. [42] Poltossa on suositeltavaa seostaa lantaa puupohjaisen aineksen kanssa ja käyttää runsaasti kuivitettua lantaa. [43] Poltosta tai kaasutuksesta jäljelle jäävää tuhkaa voidaan yleensä käyttää edelleen lannoitteena. [41] Fortumin HorsePower tarjoaa palveluna puupohjaisella kuivikkeella kuivitetun hevosenlannan noutoa Etelä-Suomen alueelta, samalla kyydillä toimitetaan tallille uudet kuivikkeet. [44]

6.2. Kompostikäyttö

Kompostoitumisella tarkoitetaan orgaanisen aineksen hajoamista matalassa lämpötilassa aerobisissa oloissa mikrobien tai hajottajaeliöiden toiminnan seurauksena. [45, 15] Kompostoinnin seurauksena muodostuu humusta. [15] Mikrobien ja hajottajaeliöiden toiminta on tehokkaimmillaan tietyissä olosuhteissa. Jotta kompostoitumista tapahtuisi, pitää olosuhteiden olla sopivat kosteuden, lämpötilan ja pH:n osalta, lisäksi kompostoituvan materiaalin tulisi sisältää hiiltä ja tyypeä sopivassa suhteessa ja kompostoituvassa materiaalissa olevien hajottajien pitäisi saada riittävästi happea. [15, 46] Kompostoitumisen seurauksena muodostuu mm. hiilidioksidia ja ammoniakkia. [45] Mikrobitoiminnan myötä muodostuu myös kosteutta ja lämpöä, mikä on havaittavissa erityisesti suurissa kompostoitavissa keoissa. [46] Kompostoinnilla voidaan tuhota patogeeneja [47, 46] ja siemeniä [47] esimerkiksi lannasta. [15] Patogeenit kuolevat osittain korkean lämpötilan, mikrobien elintila kilpailun ja joidenkin mikrobien tuottamien antibioottisten aineiden seurauksena. [45, 46]

Kompostoitumisprosessi jaetaan usein toisiaan seuraaviin vaiheisiin, joilla kuvataan kompostoitumisen edistymistä. [15, 46]

Mesofilinen vaihe on nimetty mesofiilisten mikro-organismien mukaan, jotka ovat kompostoitumisen alussa kaikista hajottajista aktiivisimpia. [45, 46] Mesofiilisen hajoamisen seurauksena muodostuva lämpö voi aiheuttaa kompostoitumisen etenemisen termofiiliseen vaiheeseen, jossa korkeammassa lämpötilassa elävät hajottajat aktivoituvat. [45, 46] Noin 45-70 ° C -asteisen kompostin sanotaan olevan termofiilisessä vaiheessa. Kun korkeassa lämpötilassa aktiiviset bakteerit ovat hajottaneet kaikki suurienergiset komponentit alkaa lämpötila kompostissa laskea ja mesofiiliset bakteerit alkavat jälleen aktivoitua. [45, 46] Tätä vaihetta kutsutaan stabiloitumisvaiheeksi. [46] Stabiloitumisvaihetta seuraa kompostin jälkikypsytysvaihe, jossa mikrobit muuttavat aiemmin muodostunutta ammoniumtyyppiä nitraateiksi. [47] Jälkikypsytysvaihe on tärkeä kompostille, mikäli lopputuotetta aiotaan käyttää lannoitteena, sillä nitraattityppi säilyy kompostoidussa materiaalissa ammoniumtyyppiä paremmin ja on kasveille helpommin prosessoitavassa muodossa. [47]



Komposteja

Mesofiliset mikro-organismit ovat yleensä aktiivisimmillaan 20–35 °C lämpötilassa. [47] Kun ympäristön lämpötila on tällä välillä ja kompostin muut olosuhteet kunnossa, komposti tuottaa itse riittävästi lämpöä, jotta termofiiliseen vaiheeseen päästään [45] ja luovuttaa termofiilisen vaiheen jälkeen lämpöä niin, että stabiloitumisvaihe voi alkaa. Monessa kaupallisessa kompostissa on lämpötilan säätelymahdollisuus, mikä mahdollistaa kompostoinnin myös kylmissä olosuhteissa. Liian korkeassa lämpötilassa hajottajat kuolevat ja typpi yhdisteet haihtuvat [45, 46]. Termofiilisen vaiheen lämmön nousu toisaalta tuhoaa patogeeneja, mutta mikäli lämpötila nousee liikaa liian pitkäksi aikaa, ammoniakkinä oleva typpi haihtuu herkästi pois ja typen nitrifikaatio hidastuu. [15, 45, 47, 46]

Neutraali tai lievästi emäksinen pH on edullisin typen nitrifikaation kannalta. [45, 47, 46] Kompostin pH muuttuu kompostoinnin yhteydessä. [46] Mesofiilisessa ja termofiilisessä vaiheessa muodostuu paljon ammoniumioneja, jotka nostavat pH:ta. [45, 47, 46] Termofiilisessä vaiheessa osa ammoniakista haihtuu kaasuna ja ammoniakkinen haihtuminen tehostuu entisestään, mikäli pH pääsee nousemaan liian korkeaksi tässä vaiheessa. [47] Tietyt materiaalit voivat puskuroida pH muutoksia, jolloin voidaan välttää typen menetystä termofiilisessä vaiheessa ja luoda optimaaliset olosuhteet nitrifikoitumiselle pidemmällä aikavälillä. [47, 48, 49, 50]

Kompostin optimaalinen kosteus riippuu kompostoitavasta materiaalista, mutta on usein 40–70 %. [47, 15, 46] Liian kostea komposti tiivistyy niin, että riittävä hapen kulkeutuminen kompostiin estyy. [15, 45] Tällöin hapettomissa oloissa vallitsevat anaerobiset reaktiot alkavat, kuten nitraatin denitrifikaatio kaasumaiseksi alkuaintypeksi. [45, 47, 50] Liika kosteus voi myös lisätä ravinteiden huuhtoutumista pois kompostista, mikäli komposti ei ole suljettu. [15] Toisaalta hajottajat tarvitsevat kosteutta elääkseen, eivätkä viihdy ihan kuivissa ympäristöissä. [45] Kompostoitumisen edetessä hajottavat tuottavat jonkin verran kosteutta, mutta kompostista riippuen muodostuva kosteus saattaa haihtua. [47, 46]

Idealisesti kompostoitavassa materiaalissa olisi hiiltä ja typpiä 25:1–35:1 suhteessa toisiinsa. [15, 45, 46] Suhdeluku vaikuttaa typen metaboliaan kompostissa. [45, 47, 46] Liika ammoniakki kompostissa hidastaa typpiä nitrifikoivien organismien toimintaa. [47, 46] Ammoniakkaa tai ammoniumioneja voi olla kompostissa alun perinkin liikaa, mutta myös liian suuri typen määrä suhteessa hiilen määrään kiihdyttää juuri ammoniakkaa vapauttavien mikro-organismien toimintaa nitrifikoivien organismien kustannuksella. [47, 49] Jopa 70 % kompostin alun perin sisältämästä typestä saattaa haihtua ilmaan ammoniakkinä jo ennen kompostin kypsyysvaihetta. [47, 48, 49] Vaikka liika typen määrä on haitallista kompostin toiminnalle, typpiä kuitenkin tarvitaan kompostoitumisessa. [47] Liian pieni tai liian suurimäärä typpiä tyrehtyttää kompostin toiminnan ja molemmissa tapauksissa lopputuloksena on typen suhteen ravinneköyhää materiaalia. [47, 46, 49] Sopiva hiili-typpisuhde riippuu lähtömateriaalien mikro-organismissäilytyksestä [47] ja pH:sta [47], siitä missä vaiheessa kompostoitumateriaali halutaan käyttöön [51] ja miten helposti hajoavia yhdisteitä lähtömateriaaleissa on [47, 48] ja miten paljon aikaa kompostoinnille on [45], sekä mitä ominaisuuksia kompostoidulta materiaalilta odotetaan. [51] Liian suuri kompostin typpipitoisuus aiheuttaa myös hajuhaittoja. [46]

Typen on todettu säilyvän paremmin vermikomposteissa, joissa lierot toimivat pääasiallisina hajottajina, kuin tavanomaisessa kompostissa. [47] Vermikomposteissa typen nitrifikaatio on aktiivisempaa kuin pelkkiin mikro-organismeihin perustuvissa komposteissa. [47] Osasyys on ajateltu lierojen parantavan kompostin ilmanvaihtoa ja siten parantavan hapenottokykyä. [47] Samasta syystä kompostoitavan materiaalin pieni palakoko ei välttämättä takaa hyvää kompostoitavuutta, mikäli kompostista tulee liian tiivis estäen hapen kulkua kompostissa. [15]

Suuremmat palat, voivat jättää enemmän ilmaa väleihinsä, mutta toisaalta hajoavat hitaammin. [47] Komposteihin voidaan myös rakentaa tuuletus aukkoja ja kalliimmissa malleissa voi tukea kompostin ilmanvaihtoa niin sanotulla pakotetulla ilmanvaihdolla. [46] Ilmavuuden merkitys korostuu suurissa komposteissa, joissa hapen matka kompostin ulkopuolelta keskiosaan on pitkä. Lisäksi suurissa komposteissa painovoima tiivistää kompostin alinta kerrosta pientä kompostia enemmän. Ilmastusta voidaan parantaa myös kompostin säännöllisellä kääntämisellä tai lisäämällä kompostiin esimerkiksi haketta. [46]

Harva materiaali sisältää typpeä ja hiiltä ideaalissa suhteessa toisiinsa, ja useimmiten kompostoidaankin seoksia, joista osassa materiaalia on paljon hiiltä suhteessa typpeen ja osassa suhteessa ideaaliin paljon typpeä suhteessa hiilen määrään. [15, 50] Mikäli hakkuutähteitä ja hakkeita halutaan kompostoida, kannattaa niihin seostaa jotakin typpipitoista materiaalia, kuten lantaa, vihreitä kasveja tai ruuantähteitä. Osviittaa siitä minkälaisilla seossuhteilla kompostointia kannattaa kokeilla saa seostettavista materiaaleista määritetyistä hiili:typpi –suhdeluista. [15] Kirjallisuuden mukaan hakkeen hiili:typpi –suhde on noin 400:1 ja esimerkiksi lehmänlannan noin 16:1–23:1 [49, 15]. Eniten typpeä on lietelannassa ja vähiten kuivalannassa. [15] Lukuja katsomalla vaikuttaa siltä, ettei haketta tarvitsisi lisätä kovin paljoa lehmänlantaan hyvän kompostoitavuuden saavuttamiseksi. Suhdeluvut ovat kuitenkin massasuhteita, joten tilavuuksina 1:1 sekoitus lantaa ja haketta voi olla tapauskohtaisesti varsin hyvä arvio. Arvion osuvuuteen vaikuttaa mm. lannan ja hakkeen kosteus, ikä ja tyyppi. Myös lantaan mahdollisesti lisätyn kuivikkeen vaikutus on hyvä huomioida. [15]

Haketta [46] tai sahanpurua [48] lisäämällä esimerkiksi ruuantähteisiin [50] tai lantaan, voidaan lisätä kompostin kosteuden imukykyä ja parantaa hiili:typpi –suhdetta. [46] Hake myös lisää kompostin ilmavuutta. [15, 46]

7. ALUSTA/MAAPERÄN VAHVENNUSAINEENA

7.1 Liukkauden torjunnassa

Haketta ja sahanpurua voidaan käyttää jäisten pihojen ja kevyen liikenteen väylien liukkauden torjunnassa. [52] Liukkauden torjuntaan käytetty hake ei pölyä keväisin, toisin kuin yleensä liukkauden torjunnassa käytetty hiekoitus. [52] Hakkeen käytöllä voisi olla siis merkittäviä kansanterveydellisiä vaikutuksia. Lisäksi hake on pehmeää eikä rasita sepelin tavoin lemmikkien tassuja tai puhko pyöränkumeja. [52, 53] Lumien sulettua hake pitää sepeliä paremmin paljaalla asfaltilla ja on helpommin kerättävissä tieltä. [52] Käytetty hake voidaan keräyksen jälkeen polttaa tai kompostoida. [52, 54] Joissakin kohteissa voidaan tiettyjä tuotteita käyttäessä hake myös jättää maahan maatumaan. [52, 54]

Sveitsissä kehitettyä Stop Gliss bio hakepohjaista liukkaudentorjuntatuotetta on kokeiltu Oulussa kevyen liikenteen väylillä. [52] Sveitsissä tuotetta käytetään tietyissä kaupungeissa yleisesti kevyen liikenteen väylillä ja piha-alueilla. [53] Stop Gliss Bio on MgCl impregoitua haketta. [53] MgCl impregoitua hake toimii erityisesti pakkassäällä, mutta lämpimämmillä keleillä hakkeella oli taipumusta kulkeutua pois paikaltaan ja kellua jäänpinnalle muodostuneen vesikerroksen päällä. [52] Toisaalta vastaavat olosuhteet ovat haasteelliset myös hiekoitusta käytettäessä. Oulussa tehdyn tutkimuksen mukaan haketta tulisi levittää suunnilleen yhtä usein kuin sepeliäkin. [52] Sveitsistä ostetun tuotteen hinta oli jopa kahdeksankertainen tavalliseen hiekoitukseen verrattuna. [52] Suomessa tuotettu vastaava tuote olisi todennäköisesti halvempaa.

7.2. Kenttämateriaalina

Haketta voidaan käyttää erilaisten urheilu- ja leikkikenttien [55], sekä eläinten ulkoilutarhojen pohjamateriaalina [56] [57, 58]. Alustana hake suojaa maaperää eroosiolta ja pehmentää iskuja, joustavuutensa takia haketta voidaan käyttää myös leikkikenttien turvakatteena. [55] Pururoilla puru tai hake suojaa alueen puiden ja muun kasvillisuuden pintajuuristoa jatkuvilta iskuilta. Maatuessaan hakkeet ja hakkuutähteet parantavat myös maaperän ravinteisuutta ja kuohkeuttavat pintamaata, estäen maan pintakerroksen tiivistymistä. Tiivistyneessä maassa vesi ei pääse normaalilla tavalla imeytymään ja kaasujen kierto häiriintyy, jolloin maasta tulee myös viljelykelvoton ja liettyvä. [59] Myös ravinnehuuhtoumat ovat tiivistyneessä maassa suuremmat kuin tiivistymättömässä. [59]

Haketta käytetään eläinten jaloittelutarhojen pohjamateriaalina. [57] [56, 58] Hakkeen on tarkoitus vähentää ravinnepestöjä pidättämällä kiintoainetta, sekä helpottamalla tarhan siivousta ja pitämällä tarha kuivana. [58, 60] Tarhoissa



Hakepururata UNESCO:n maailmanperintöalueella Vaasan Svedjehamnissa

hake toimii kuivikkeen tapaan niin sanottuna vaihtopohjana. [56, 58] Hake vaihdetaan säännöllisesti ja voidaan käytön jälkeen kompostoida ja käyttää lannoituksessa. [56, 58] Muita yleisiä vaihtopohja vaihtoehtoja ovat hiekka, puunkuorike ja sora. [56, 58] Hake ja kuori ovat hyviä pohjavaihtoehtoja, sillä ne vaimentavat kavioiden iskuja, eivätkä kuluta tai vaurioita eläinten kavioita tai sorkkia kuten karkea sorapohja. [57] Hiekkapohjissa ongelmaksi voi tulla eläinten hiekan syönti. [57] Erityisesti hevostarhoissa sahanpuru ja pienipalainen hake ovat suuripalaisempia hakkeita suosittumia pohjamateriaaleja, sillä hevosenomistajat monesti siivoavat tarhansa koneettomasti. Pieni palakoko helpottaa käsin siivousta.

EquineLife -hankkeessa on testattu hakkeen käyttöä hevostarhanpohjana hyvin tuloksin. [57] Tarha pysyi puhtaana ja kuivana ainakin kahdenvuoden seuranta-ajan verran. [57] MTT on selvittänyt lehmien kuoriketarhojen toimivuutta. [56] Kuoriketarhat perustettiin salaojitetulle maalle sorakerroksen päälle levittämällä noin 25-30 cm kuusenkuoriketta. [56] Tarha kesti ilman säännöllisiä huoltotoimenpiteitä hyvänä noin vuoden, jonka jälkeen kuorike vaihdettiin kokonaan. [56] Käytetty kuorikemassa oli hienontunut siinä määrin, että se voitiin ajaa suoraa pellolle. [56] Epäsäännöllisenä huoltotoimenpiteenä tarhan pintaa äestettiin, jotta pintakuorike ja lanta sekoittuisi tasaisesti koko kuorikemassaan. [56] Tarhan hinnaksi laskettiin 8,3 €/m². [56]

Leikkikentillä haketta voidaan käyttää turvakatteena. [55] Leikkikentille on määritelty pohjamateriaalin turvallisuuden takia tarkat kriteerit. Turvakatteena käytettävän hakkeen tulee täyttää leikkikenttä pinnoitteita koskeva turvastandardi, lisäksi on olemassa useampia muita testejä, joilla turvakatteen turvallisuus määritellään. Kekkilä myy turvakatteena kotimaista 5 – 30 mm lehtipuuhaketta. [55]

7.3. Katemateriaalina puutarhassa ja viherrakentamisessa

Katteita käytetään viherrakentamisessa paitsi esteettisistä syistä, myös tasaamaan viherialueiden maaperän kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa, estämään rikkakasvien kasvua ja parantamaan kasvualustan ravinnepitoisuutta ja kuohkeutta, sekä estämään maan eroosiota. [61, 62] Edellä mainituista syistä katteet sopivat hyvin myös puu- ja taimitarhoihin. [62]

Hake ja puun kuori ovat yleisiä orgaanisia katemateriaaleja. Muita katevaihtoehtoja ovat esimerkiksi erilaiset kateharsot ja kalvot, sekä kivet ja sora. Kuori ja hakekatteet parhaimmillaan estävät muita katemateriaaleja tehokkaammin rikkakasvien kasvun, luovat hyvät olosuhteet pieneliöstölle, joka kuohkeuttaa maata ja lisäävät kasvualustan ravinteikkuutta hajotessaan. Toisaalta hakkeen ja kuorikatteen hajoaminen kuluttaa typpeä. Mikäli typpeä on riittävästi saatavilla, muuttuu se kuitenkin hajoamisprosessissa kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Kuori- ja hakekatteen kanssa onkin hyvä käyttää normaalia typpipitoisempaa lannoitetta, mikäli niiden toivotaan toimivan myös maanparannusaineena. Kuorikate arvioitiin katemateriaaliverailussa yhdeksi kustannustehokkaimmista katemateriaaleista materiaalin hinnan ja levitettävyyden osalta. Kuorikatteet myös ehkäisivät rikkakasvien kasvua paremmin kuin muut saman hintaluokan katteista. Vertailussa oli männyn ja kuusen kuorikatetta, järviruokosilppua, kaa-kaokatetta ja erilaisia katekankaita. [62]

Lehtipuuhake soveltuu useimpien kasvien juurille paremmin kuin havupuuhake, sillä havupuuhakkeet laskevat maaperän pH -arvoa. Lisäksi havupuuhakkeesta saattaa liueta terpeenejä, jotka ehkäisevät joidenkin kasvien kasvua. Jotkin kasvit, kuten alppiruusut, hortensiat ja erilaiset havukasvit kuitenkin viihtyvät paremmin happamissa maissa ja niiden kattamiseen ha-

vupuuhake soveltuu hyvin. Myös neulasia ja havunoksia käytetään katteina. Erityisen suosittuja havukatteen ovat hautausmailla ja kosteiden metsäpolkujen parannuksessa, ne soveltuvat myös happamien kasvualustojen kasveille. Kuorikatteen maatuovat noin kahdessa vuodessa, niiden tuoreudesta ja käyttöolosuhteista riippuen.



Hake yhdistelmäkatteena katekankaan kanssa mansikkamaalla

katteille viherrakentamisen yleisessä työselostuksessa. Lisäksi viherympäristöliitto on linjannut suosituksensa katteiden laatuvaatimuksiksi. Asetuksissa linjataan mm. kuinka monta rikkakasvin siementä saa olla katelitraa kohden.

Katteet jaetaan määräysten mukaan erilaisiin laatu luokkiin käyttötarkoituksen perusteella. Koristekate on katteista hienojakoisinta ja sen ulkonäölle on tiukimmat kriteerit. Sen tulee olla siistiä ja tasakoosteista, sillä sitä käytetään erityisesti paikoissa, joissa katseluetäisyys jää lyhyeksi. Maisemointikate on puolestaan karkeinta katemateriaalia, joka soveltuu tienpien-tareille. Erikoiskatteen luokitellaan kaikki erikoisemmat katelajit, joita ei voida vastaavalla kokoluokituksella luokitella. Maisemointi-, puisto- ja koristekatteen tulee olla vähintään 90 % samaa materiaalia, esimerkiksi haketta tai kuorta. Kuitenkin esimerkiksi taimikasvatuksessa tai yksityishenkilöiden käytössä ulkonäkö ja kokokriteerit eivät rajaa käyttöä.

Forsassa on selvitetty infrarakentamisen jätteenä muodostuvan kantojätteen ja hakkeen mahdollista kierrätystä viherrakentamisessa katteena. [61] Kenttäkokeita kantojätehakkeen toimivuudesta maisemointikatteenä on suunniteltu, mutta julkisuuteen ei kirjoitushetkellä ole tullut vielä tuloksia. [61] Toistaiseksi kantojäte ja muu infrarakentamisen jäte on hävitetty polttamalla. [61]

Suomessa haketta on käytetty melko vähän katteena. Osasyys on ehdotettu hakkeen vaaleaa väriä. Suomen olosuhteissa on lämpötilan säätelyn kannalta yleensä edullisempaa käyttää tummempia katemateriaaleja, jotka voivat varastoida auringonlämpöä päivällä ja vapauttaa sitä maaperään illan viiletessä. Näin kasvukautta saadaan pidennettyä syksyyn. Lämmönsäätelyominaisuuksien ja visuaalisuuden vuoksi haketta voidaan myös värjätä.

Katetta ei saa levittää liikaa, sillä liian paksu kerros hidastaa maan lämpenemistä keväällä ja estää tehokkaan kosteuden ja kaasujen vaihdon kasvualustan ja ilman kesken. Mikäli kate estää liikaa ilmanvaihtoa juuristo pyrkii yleensä nousemaan lähemmäksi pintaa, mikä altistaa juuret suuremmille lämpötilaeroille ja eroosiolle.

Myytävien katteiden laatu kriteerit on määriteltänyt maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista ja lannoitevalmistelaisissa, sekä viherrakentamisessa käytetyille

8. ASKARTELUSSA

Männyn- ja kuusenkäypjä, sammalta, naavaa ja jäkälää sekä havuja, risuja ja puunlehtiä; kaikista näistä saa tehtyä kauniita koristeita sekä ulko- että sisätiloihin. Hakkuutähteet ja muut metsän materiaalit tarjoavat ympäristöystävällisen ja näyttävän vaihtoehdon askartelussa käytettävälle muovipohjaisille materiaaleille. Kaupungistumisen myötä maailmassa on yhä enemmän ihmisiä, joille risut, havut ja neulaset sekä muut metsästä saatavat askartelumateriaalit ovat ulottumattomissa. Risuja ja havuja myydään toreilla Suomessakin, ja ne ovat haluttua tavaraa. Käsityötrendi on ollut kasvava ilmiö esimerkiksi Yhdysvaltojen suurimmissa kaupungeissa [63] ja Iso-Britanniassa, mikä puoltaisi myös suomalaisten askartelumateriaalien vientimahdollisuuksia, mikäli materiaalit saadaan kuivattua tai muuten säilytettävä matkan ajan.

Askartelussa materiaalin visuaalisuus ja muovattavuus ovat tärkeitä ominaisuuksia. Väriin, koivuuden, joustavuuden ja muodon säilymisen kannalta olennaista on materiaalin tuoreus ja/tai säilytystapa. Risuaskartelussa käytettävien risujen ja havujen on oltava pääasiassa tuoreita, sen sijaan kävyt käytetään kuivattuina, etteivät ne homehdu.



Luonnonmateriaaleista valmistettuja kransseja

9. MUUT KÄYTTÖKOHEET

Hakkeet ja hakkuutähteet toimivat hyvinä eristeinä, minkä vuoksi niitä käytetään mm. erilaisten jäävarastojen suojaamiseen. Esimerkiksi tukkien ja kuitupuun säilyvyyttä parannetaan kylmävarastoimalla niitä lumi- tai jääkerroksen alla kesän läpi. Tukki-jäävaraston suojaamiseen hakkeet, sahanpuru, kuori ja hakkuutähteet sopivat erityisen hyvin, sillä niiden saatavuus on yleensä varaston lähellä hyvä. Metsätehon tutkimuksen mukaan purulla ja kuorella säilötyt jäävarastot säilyvät paremmin kuin koivukuitupuulla tai foliopatjalla peitetyt varastot. [64] Minnesotassa vastaavaa menetelmää käytetään paperitehtaalla, jossa jää luodaan keinotekoisesti lumitykin avulla. [65] Kylmävarastoja voidaan kuitenkin tehdä myös luonnonlumesta. Kylmävarastointi säilyttää puun vaalean värin ja rakenteen alkutalvesta loppukesään ja ehkäisee lahojen muodostumista. Se on varmin säilytysmenetelmä, jolla puun laatu saadaan ylläpidettyä. [66]. Alpeilla sahanpurua ja haketta käytetään ”lumen viljelyyn”. Keväällä rinteet peitetään sahapurulla, hakkeella tai muilla eristeillä, jotta lunta säästyisi seuraavaan talveen ja laskettelu-kausi voitaisiin aloittaa mahdollisimman aikaisin. [67]

Hakkuutähteistä voidaan valmistaa myös erilaisia ruoka-aineita. Havunneulaset sisältävät runsaasti proteiineja, eteerisiä öljyjä ja vahoja. Kuusenkerkkää on perinteisesti käytetty mausteena ja lääkeaineena. [68] Kuusenkerkät sisältävät paljon C-vitamiinia, antioksidanteja ja erilaisia eteerisiä öljyjä.

Koivunlehdistä valmistetaan vihtojen lisäksi maaleja, tisleitä ja kosmetiikkatuotteita. Niitä myydään myös elintarvikkeena, esimerkiksi salaattiin ja teen haudutukseen. [68]

Puumassasta saadaan eroteltua perinteisen hemiselluloosan, ligniinin ja selluloosan lisäksi myös useita uuteaineita, kuten tanniineja, stilbenejä, flavonoideja, terpeenejä ja lignaaneja. Uuteaineilla on lukuisia erilaisia käyttökohteita. Niitä käytetään lääkeaineena, ravintolisinä, kosmeettisina aineina, puunsuoja-aineina ja lahonestäjinä. [69] Uuteaineista pyritään lisäksi valmistamaan useita korkeamman jalostusasteen tuotteita, joissa hyödynnetään myös niiden fysikaalisia ominaisuuksia. Esimerkiksi tanniineista kehitetään eristevaahoja ja adhesiiveja. [70] Uuteaineita esiintyy erityisen paljon puun oksakohdissa, jotka ovat esimerkiksi paperinvalmistukselle huonoa materiaalia. [69]

10. HAKKUUTÄHTEIDEN SOVELTUVUUSTESTAUS

10.1. Hakkeen värjääminen

Hakkeen värjäämistä testattiin viidellä erilaisella väripigmentillä, jotka tilattiin ekologisia maa- leja myyvän Suomen Luonnonmaalit Oy:n verkkokaupasta. Väripigmenttien haluttiin olevan myrkyttömiä ja haitattomia, sillä puutarha-/ viherrakentamiskäytössä värjätty hake joutuu sääolosuhteiden armoille ja siitä liukenee pigmenttiä väkisinkin ympäristöön. Kokeissa käytetyt pigmentit olivat punamulta, keltamulta, oksidimusta, oksidivihreä ja ultramariininsininen. Värjäyskokeet toteutettiin isossa kattilassa lämmittäen vettä ja pigmenttiä noin 80 asteeseen, lisäten värjättävä hake ja muutaman kerran sekoittaen annettiin olla hakkeen väriliuoksessa puoli tuntia. Tämän jälkeen hakkeet nostettiin kuivumaan, osa kuivattiin huoneenlämmössä ja osa laitettiin lämpökaappiin kuivumaan. Tällä haluttiin testata, onko kuivausolosuhteilla vaikutusta värin kiinnipysymiseen. Kuvassa on esitetty värjättyjä hakkeita.



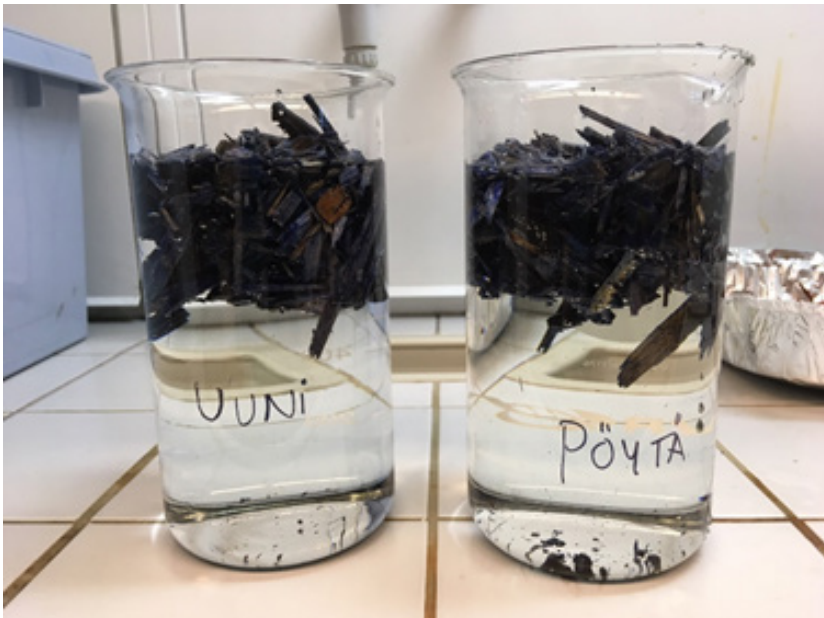
Värjättyjä hakkeita

Punamulta ja keltamulta tarttuivat hakkeeseen ilman mitään lisäaineita, muiden pigmenttien kanssa värjäysliuokseen lisättiin vernissaa värin tarttumisen parantamiseksi. Kuvassa Värjättyjä hakkeita olevat sininen ja vihreä on värjätty ilman vernissaa. Kuvasta on nähtävissä pigmentin epätasainen tarttuminen. Ilman vernissaa pigmentti myös irtosi huomattavasti helpommin hakkeesta kuin vernissan kanssa. Neljän litran kattilassa suoritettuihin kokeisiin käytettiin 100 g pigmenttiä ja tällä määrällä värjättiin 9 litraa haketta kolmessa eri erässä. Mikäli värjäys suoritetaan isommassa astiassa, esimerkiksi saunapadassa, saadaan värjäyksen hyötysuhdetta parannettua edelleen. Väripigmenttien hinnat vaihtelivat pigmentistä riippuen 5 €/kg-12€/kg. Suurempia eriä tilattaessa myös hinnat halpenevat.

Kuvissa on esitetty värjätylle hakkeelle suoritettujen liuotuskokeiden tuloksia. Liuotus-kokeiden tarkoituksena oli tarkastella, onko kuivausolosuhteilla vaikutusta väripigmentin kiinnipysymiseen. Liuotuskokeissa havaittiin, että kaupallisesti saatavilla olevasta hakkeesta irtosi huomattavasti enemmän väriä kuin itse värjättyistä. Itse värjättyissä hakkeissa havaittiin pigmentti-kohtaisia eroja värin pysyvyydessä pöydällä kuivattaessa tai uunissa kuivattaessa. Käytännössä uunikuivaus nostaa valmistuskustannuksia, niin huoneenlämmössä tai ulkona kuivaus on riittävän tehokas kuivausmenetelmä.



Värjätyin hakkeen liuotuskokeet, vasemmanpuoleinen on kaupallisesti saatavilla oleva, punamullalla värjätty hake, oikeanpuoleiset ovat itsevärjättyjä hakkeita.



Vernissan lisäys värjäysliuokseen paransi värin pysymistä hakkeessa liuotuskokeiden aikana. Vernissa myös tummensi saavutettavaa värisävyä.

Hakkeiden värjäyskokeet osoittivat, että värjääminen onnistuu varsin yksinkertaisilla järjestelyillä ja on keino nostaa hakkeen jalostusastetta ja siten saada siitä parempi hinta.

10.2. Vedensuodatus

Hakesuodattimien toimintaa tutkittiin ensin laboratoriomittakaavassa ja sitten kentällä oikeassa ojassa. Vedenpuhdistustehon mittareina käytettiin molemmissa tutkimuksissa veden pH –arvoa, johtokykyä, kemiallista hapenkulutusta, kiintoainepitoisuutta, fosforipitoisuutta ja sameutta. Tuloksia voidaan verrata paitsi suodattamattomaan veteen myös normaaleihin vesistöjen arvoihin Suomessa.

Veden sameus mitattiin nefelometrisellä sameusmittarilla, joka mittaa veden sameuden 90° ja 180° kulmasta valon sironnan perusteella. Tyypillisen kirkasvetisen järveden sameus on Suomessa noin 1-5 NTU, mutta kirkasvetisenkin järven pohjalla voi olla 5-10 NTU. Jokivesien sameus saattaa olla jopa 100 NTU, ojavesien oletettavasti ojasta riippuen enemmänkin. [71]

Suomen sisävesien pH on usein lievästi hapanta (6,5–6,8). Vesistöjen rehevöityminen, humus- ja kiintoaine yleensä happamoittaa vettä, mutta esimerkiksi sinilevä kukinnat nostavat pH –arvoa. Suomen vesieläimistö on sopeutunut elämään vesissä joiden pH –arvo on 6–8. Kun pH –arvo laskee alle 6:n alkaa elinolosuhteet olla liian happamat simpukoille, kotiloille ja ravuille. Särki ja lohikalat alkavat kärsiä pH:ssa 5,5 ja alle. Ojavesien pH on usein muita sisävesiä happamampaa runsaan humus ja kiintoainepitoisuuden vuoksi. [71, 72]

Veden johtokyky, tai sähkönjohtavuus kertoo veteen liuenneiden suolojen määrästä. Suomen sisävesissä suolapitoisuus on yleensä matala (50–100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Lähialueen peltolannoitus saattaa kuitenkin lisätä veden suolapitoisuutta. Myös runsas kiintoaineen määrä voi lisätä sähkönjohtavuutta, sillä kiintoaineen hajotessa veteen vapautuu usein suoloja. Jokivesien sähkönjohtavuus on usein 100–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. [71]

Kemiallinen hapenkulutus kuvaa sitä kuinka paljon happea näytteessä oleva orgaaninen aines kuluttaa hajotessaan määrättyissä olosuhteissa. Se on verrannollinen näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa, muttei kuvaa määrää suoraan. Tässä tutkimuksessa on mitattu kemiallista hapenkulutusta permanganaatti hapetuksella, joka antaa usein pienempiä tuloksia kuin yleisesti nykyisin käytetty kromaatti menetelmä. WHO:n suositusarvo juomaveden kemiallisen hapenkulutuksen määräksi on noin 10 mg/kg. Lääkintöhallituksen suositus hyvän talousveden arvoksi on alle 3,0 mg/l, mutta yksityistalouksille suositusarvo on kuitenkin alle 5,1 mg/l. Luonnonvesissä arvot 4–10 mg/l lasketaan vähähumuksisiksi ja 10–20 mg/l keskiumuksisiksi. Yli 20 mg/l arvot lasketaan runsashumuksisiksi. Valuma-alueilla ja muilla runsashumuksisilla alueilla, kuten suoalueiden läheisyydessä COD –arvot ovat usein korkeampia. [71] [72]

Veden kiintoainepitoisuus on järvien tyypillisesti kirkasvetisissä pintavesissä alle 3 mg/l ja pohjavesissä hieman enemmän. Kiintoaineen määrä vesistöissä johtuu pääosin levistä, jätevesikuormituksesta tai maan eroosiosta. Virtaavissa vesissä ja savimailla maan eroosio on merkittävä tekijä. Levän aiheuttamaa kiintoainetta esiintyy lähinnä kesäaikaan erityisesti avovesillä. [71] On todettu, että kiintoaineen pysyessä alle 25 mg/l ei kalastolle aiheudu siitä haittaa. [72]

Fosforipitoisuutta pidetään tärkeänä tekijänä vesistöjen rehevöitymisessä. Fosforia irtoaa vesistöön fosforipitoisista mineraaleista. Sitä kulkeutuu myös lannoituksen vaikutuksesta ja jätevesipäästöistä, veden eliöstö voi myös tihentää vesistön ravinnekiertoa. Erittäin rehevänä vesistöä pidetään, mikäli sen fosforipitoisuus on yli 0,1 mg/l, tavoite arvon ollessa alle 0,015 mg/l.

Vesistön rautapitoisuus on pienimmillään kirkkaissa karuissa vesissä, noin 0,05–0,2 mg/l. [71] Humusvesissä ja suovesissä rautaa on huomattavasti enemmän, jopa 2 mg/l. [71] [72] Erittäin

sameissa jokivesissä rautaa voi olla jopa 3–6 mg/l. [71] Vaikka rautapitoisuus korreloi usein veden humuspitoisuuden, kiintoaineen ja sameuden kanssa, on rauta jossain määrin myös hyödyllistä, sillä se sitoo vesistön fosforia ja tyypeä sedimenttiin, jolloin vesistön rehevöityminen hidastuu. Vapaa veteen liuennut ferrorauta (Fe²⁺), jota esiintyy hapettomissa vesissä, on kuitenkin vesieliöille vaarallista. [73]

Esitetyt ohjearvot ovat enimmäkseen järvien ja jokien arvoja. Pienissä ojissa vedenlaatu voi olla huomattavasti heikompi ilman merkittäviä eliöstöhaittoja. Ojaveden laatuun vaikuttaa erityisen paljon sademäärät ja lämpötila, sillä kuivilla kausilla epäpuhtaudet konsentroituvat ja pohja vaikuttaa enemmän veden kokonaislaatuun.

10.2.1. Laboratoriomittakaavan vedensuodatuskokeet

Hakesuodattimien vedenpuhdistuskykyä tutkittiin laboratoriomittakaavassa suodattamalla likaista ojavettä 6,6 cm paksun hakepatsaan läpi. Alkuperäisen ja suodatetun likaveden pH, johtokyky, kemiallinen hapenkulutus, kiintoainepitoisuus, fosforipitoisuus ja sameus analysoitiin vedenpuhdistustehon selvittämiseksi. Lisäksi suodatetusta ja alkuperäisestä likavedestä analysoitiin rauta- ja kalsiumpitoisuudet, jotta osassa kokeita käytetyn rautasulfaatin ja kalsiumkarbonaatin mahdollisesta huuhtoutumisesta saataisiin lisätietoa. Suodatetusta likavedestä kerättiin näytefraktioita, joita toisiinsa vertaamalla saadaan käsitystä hakesuodattimen käyttöajasta ja vedenpuhtauden muutoksista suhteessa siihen miten pitkään suodatin on ollut käytössä.

Kokeissa vertailtiin kokopuuhakkeen, metsäntähdehakkeen ja sahanpurun toimivuutta hakesuodattimina. Lisäksi tutkittiin palakoon ja lisäaineiden vaikutusta hakesuodatinten vedenpuhdistustehoon. Kokeet suoritettiin taulukon 2 mukaisella testimatriisilla, jonka rivien 4, 6 ja 7 tuloksia vertaamalla voidaan arvioida sahanpurun, metsäntähdehakkeen ja kokopuuhakkeen välisiä eroja suodatustuloksissa. Matriisin neljän ensimmäisen rivin tuloksista saadaan lineaarikombinaatiolla eroteltua kokopuuhakkeen palakoon ja käytettyjen lisäaineiden vaikutusten suuruudet suodatustulokseen. Näin voidaan arvioida, mitkä tekijät ovat merkittäviä minkäkin ulostulon suhteen ja miten hakesuodattimista saadaan tehokkaimpia. Rivejä 6 ja 5 vertaamalla voidaan vahvistaa kalsiumkarbonaatti lisäyksen vaikutus. Kokeita ei suoritettu rivien mukaisessa järjestyksessä. Testeissä palakokoa muutettiin noin 2-4 cm (taulukossa +) mitasta silppuroimalla 10 mm (taulukossa -) palakokoon. Osa kokeista tehtiin ilman kalsiumkarbonaattia tai rautasulfaattia (taulukossa -). Osassa kokeita haketta mineralisoitiin ennen suodatuksia (taulukossa +) 1,5 M kalsiumkarbonaatissa 42 h, 0,5 M rauta(III)sulfaatissa 42 h tai kalsiumkarbonaatin (1,5 M) ja rautasulfaatin (0,5 M) seoksessa 42 h. Mineralisoinnissa noin 800 ml haketta sekoitettiin 1 l mineralisointi liuosta.

Taulukko 2. Laboratoriomittakaavan hakesuodatin kokeet

| hake | palakoko | CaCO ₃ | Fe ³⁺ |
|-------------------|----------|-------------------|------------------|
| 1 Kokopuu | - | + | - |
| 2 Kokopuu | + | + | + |
| 3 Kokopuu | - | - | + |
| 4 Kokopuu | + | - | - |
| 5 Sahanpuru | | + | - |
| 6 Sahanpuru | | - | - |
| 7 Metsäntähdehake | | - | - |

Suodatettava vesi oli lähtöisin koemetsäojitusalueelta Kiimakorvelta, Kokkolasta. Vesi haettiin ojasta syyskuun loppupuolella. Taulukossa 3 on esitetty suodattamattoman ojaveden analyysitulokset.

Taulukko 3. Alkuperäisen ojaveden laatu

| sameus (NTU) | pH | johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | COD (mg/l) | kiintoaine (mg/l) | P (mg/kg) | Ca (mg/kg) | Fe (mg/kg) |
|-----------------|-------------|------------------------------------------|---------------|----------------------|-------------|---------------|-------------|
| 3.1 ± 0.5 | 4.85 ± 0.07 | 42 ± 3 | 95 ± 12 | 13 ± 2 | 0.06 ± 0,03 | 1.195 ± 0,003 | 1.33 ± 0.06 |

Tutkittavan ojaveden sameus on normaalin järveden luokkaa. Veden pH –arvo on melko hapan, mikä on tyypillistä metsäalueen ojalle. Ojaveden kemiallinen hapenkulutus ja rautapitoisuus viittaavat runsaaseen humuksen määrään ja fosforipitoisuuden perusteella se luokiteltiin reheväksi. Kiintoainepitoisuus on melko matala pieneksi metsäojaksi ja veden johtavuus on alhainen.

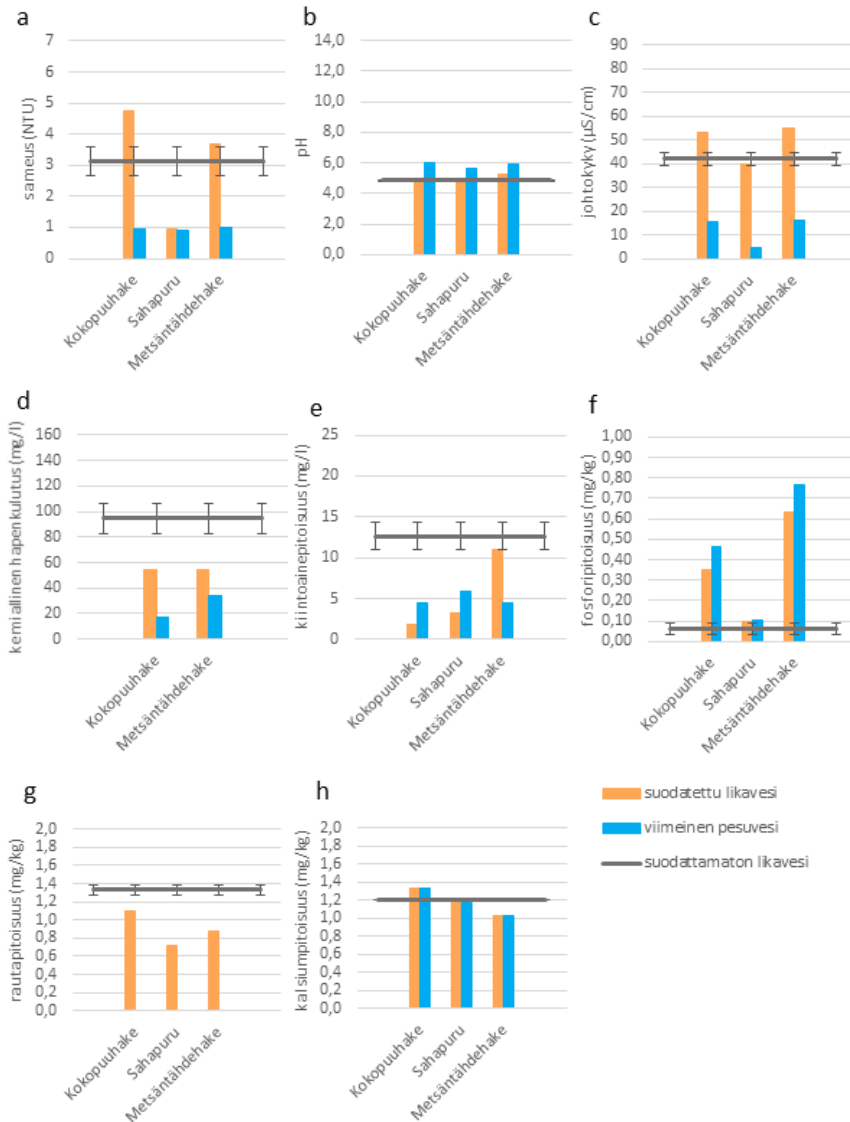
Kokeiden alussa suodatettu vesi oli suodattamatonta vettä likaisempaa monen mittarin suhteen. Vesi huuhtoi hakkeesta fosforia ja kiintoainetta ja suodatus teki vedestä sameampaa ja aavistuksen happamampaa. Käyttöolosuhteissa hakepatojen läpi saattaa virrata satoja litroja vettä sekunnissa ja niitä voidaan käyttää useita kuukausia. Tällöin mahdollisesti hetkellinen vedenlaadun heikkeneminen ei välttämättä ole este hakepadon käytölle, mikäli sillä saavutettu hyöty arvioidaan kokonaisuudessaan suuremmaksi. Tämän vuoksi selvitettiin, miten pitkään hakkeen veden laatua heikentävä vaikutus kestää. Sillä varsinaisissa kokeissa käytettiin aitoa ojavettä, jonka saatavuus laboratoriossa oli rajallinen, testattiin ionivaihdetun veden suodattamista hakkeen läpi ja tarkkailtiin veden laatua aiemmin suodatetun vesimäärän suhteen. Arvioitiin, että mikäli hakepato toimii, se voitaisiin nähdä aikaisintaan, kun suodatetun iv-veden laatu on suodattamattoman ojaveden laatua parempi. Hakkeen huuhtelua jatkettiin kunnes suodatetun iv-veden sameusarvo alitti tutkittavan ojaveden sameuden. Sameus valittiin sopivaksi mittariksi, sillä sameus on nopea todeta suodatuksen aikana ja sameusarvoissa oli havaittu muutoksia. Eri hakelaadut vaativat erisuuria huuhtelumääriä.

Sahanpurun huuhtomiseen käytettiin 12-13 l iv-vettä 0.8 l sahanpurua kohti. Vastaavaa määrää kokopuuhaketta huuhdottiin 10 litralla vettä ja metsäntähdehaketta 10 litralla.

Ensimmäisessä kokeessa (sahanpurulla) suodatettiin pesun jälkeen 20 l ojavettä. Suodatettu vesikerättiin 0,5 litran erissä ja jokaisen fraktion sameus analysoitiin. Muihin analyyseihin valittiin 8 näytettä, siten, että saatiin käsitys suodattimen toiminnasta alussa, keskivaiheilla ja lopussa. Havaittiin, että suodatetun veden arvot eivät juurikaan riippuneet siitä, oliko suodattimen läpi suodatettu vasta 0,5 litraa vai 19 litraa ojavettä. Sahanpurusuodatin näytti vaikuttavan eniten sameus ja kiintoainemääriin, joten niiden riippuvuutta aiemmin suodatettuun vesimäärään testattiin aikasarja –analyysin avulla. Aikasarjassa havaittiin hyvin lievä negatiivinen korrelaatio, joka viittaa siihen, ettei suodatin ollut vielä kyllästynyt vaan ennemminkin suodatustulokset paranivat, mitä enemmän suodatinta oli käytetty. Sillä tutkimuksissa käytettiin aitoa ojavettä, jonka saatavuus oli laboratoriossa rajoitettu, päädyttiin siihen, ettei suodattimen toiminta-ajan tämän parempi testaaminen laboratoriossa ole mielekäästä. Loput kokeet suoritettiin suodattamalla 2–3 litraa ojavettä suodattimen läpi. Näistä jokaisesta fraktiosta analysoitiin vähintään sameus ja vähintään kolmelle fraktiolle (ensimmäiselle, keskimmaiselle ja viimeiselle) tehtiin kaikki muutkin analyysit.

Kuvaajissa 2 a–h on esitetty kokopuuhake-, sahanpuru- ja metsäntähdehakesuodattimien vaikutusta sameus- (a), pH- (b), johtokyky- (c), kemiallisen hapenkulutuksen (d), kiintoaine- (e), fosfori- (f), rauta- (g) ja kalsiumpitoisuuksien (h) arvoihin.

Kuvaajissa on esitettyä suodatetun ojaveden ja viimeisen pesuvesierän arvot, sekä alkuperäisen, suodattamattoman ojaveden arvot. Mikäli viimeisen pesuvesierän arvot ovat koholla, voidaan epäillä, ettei hakepatsas ollut ehkä riittävästi huuhtoutunut, jotta patsaan vedenpuhdistustehon huippua havaittaisiin tällä mittarilla. Mikäli suodatetun ojaveden arvot (pl. pH –arvot) ovat merkittävästi suodattamattoman ojaveden arvoja matalammat, voidaan päätellä veden puhdistuneen suodattimien vaikutuksesta.



Kuvaaja 2. Haketyypin vaikutukset veden a) sameuteen, b) pH -arvoon, c) johtokykyyn, d) kemialliseen hapenkulutukseen, e) kiintoaineen määrään, f) fosforipitoisuuteen, g) rautapitoisuuteen ja h) kalsiumpitoisuuteen.

Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, ettei hakesuodattimilla ole merkittävää vaikutusta veden pH –arvoon, johtokykyyn, kalsium-, eikä rautapitoisuuteen.

Sahanpuruhakesuodattimen käyttö vähensi sekä veden kiintoainepitoisuutta, että sameutta lähes 70 %. Kokopuuhake ja metsäntähdehakesuodattimet eivät parantaneet sameusarvoa, mutta vähensivät kemiallista hapenkulutusta. Sahanpurun kemiallisen hapen kulutuksen mitaukset epäonnistuivat eikä sahanpurulle siksi ole kemiallisen hapenkulutuksen arvoja määriteltynä. On mahdollista, että myös sahanpurun käyttö suodattimena vähentäisi myös veden kemiallista hapenkulutusta. Myös kokopuuhake vähensi veden kiintoainepitoisuutta, metsäntähdehake ei vaikuttanut kiintoaineen määrään merkittävästi.

Lisäksi sekä kokopuuhake että metsäntähdehake lisäsivät veden fosforipitoisuutta, mikä viittaa siihen, että hakkeesta irtoaa veteen fosforia vielä pitkään sen jälkeen, kun muut vedenpuhdistuksen mittarit ovat jo tasaantuneet. Sama ilmiö on havaittavissa myös pesuvesien fosforipitoisuuksista. Sahanpurusuodatin ei merkittävästi lisännyt veden fosforipitoisuutta esipesun jälkeen. Kaikkien pesuvesien rautapitoisuudet olivat alle määrittärajän, eikä niitä siksi ole esitetty kuvaajassa.

Suodatustulokseen voi vaikuttaa hakkeen palakoko. Esimerkiksi sahanpurun hyvät suodatin-tulokset suhteessa kokopuuhakkeen tuloksiin voi johtua sahanpurun pienestä palakoosta, eikä materiaalista itsestään. Erilaisilla lisäaineilla on puolestaan pyritty fosforireduktion lisäämiseen. Laboratoriokokein selvitettiin, miten hakkeen palakoko ja yleisesti vedenpuhdistuksessa käytetyt rautasulfaatti ja kalsiumkarbonaatti vaikuttavat suodatustulokseen.

Taulukkoon 4 on koottu tehdyt laboratoriokokeet tuloksineen. Taulukossa 4 on esitetty myös lineaarikombinaation ratkaisusta saadut tulokset palakoon, rauta- ja kalsiumlisien vaikutuksesta vedenpuhtauteen kokopuuhakesuodatuksissa. Lineaarikombinaation tuloksissa täytyy ottaa huomioon se, että tekijöiden väliset vuorovaikutukset näkyvät tuloksissa erottamattomina tekijöiden vaikutuksista. Koska esimerkiksi pieni palakoko oli aina yhdistettynä rauta tai kalsiumlisään, saattaa osa palakoon vaikutuksista johtua todellisuudessa mineralisointien vaikutuksesta, mikäli kalsiumkarbonaatti ja rautasulfaatti eivät samassa testissä vaikuta saman vertaa, kuin yhteensä erikseen.

Taulukko 4 Laboriomiittakaavan veden suodatuskokeet

| hake | pala- koko | CaCO ₃ | Fe ³⁺ | sameus (NTU) | pH | johtokyky (µS/cm) | COD (mg/l) | kiinto-aine (mg/l) | P (mg/kg) | Ca (mg/kg) | Fe (mg/kg) |
|---------------|---------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------|----------------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------|---------------|
| Kokopuuhake | - | + | - | 26 | 7.9 | 75 | 29 | 312 | 0.16 | 23.320 | 0.74 |
| Kokopuuhake | + | + | + | 47 | 6.0 | 248 | 57 | 14 | 0.17 | 45.500 | 13.48 |
| Kokopuuhake | - | - | + | 15.9 | 2.8 | 458 | 37 | 26 | 0.12 | 0.917 | 27.00 |
| Kokopuuhake | + | - | - | 4.7 | 5.0 | 53 | 54 | 2 | 0.35 | 1.326 | 1.10 |
| Sahanpuru | | + | - | 2.6 | 8.3 | 82 | 74 | 4 | 0.10 | 16.010 | 0.60 |
| Sahanpuru | | - | - | 1.0 | 4.8 | 40 | | 3 | 0.10 | 1.175 | 0.72 |
| Metsäntähdeh. | | - | - | 3.7 | 5.2 | 55 | 54 | 11 | 0.63 | 1.033 | 0.87 |
| Kokopuuhake | | | palakoko | -19 % | -3 % | 77 % | -40 % | 2100 % | -50 % | -48 % | 90 % |
| | | | CaCO ₃ | 250 % | 80 % | -37 % | -10 % | 1100 % | -30 % | 2968 % | -49.4 % |
| | | | Fe ³⁺ | 105 % | -31 % | 450 % | 10 % | -88 % | -40 % | 88 % | 2100 % |

Odotettavasti hakesuodattimen mineralisointi rautasulfaattilla lisää suodatetun veden raudan määrää huomattavasti. Vastaavasti mineralisointi kalsiumkarbonaatilla lisää suodatetun veden kalsiumin määrää merkittävästi. Lisäksi kalsiumkarbonaatin lisäyksessä havaittiin kiintoaineen määrän kasvua, mikä johtuu osin veteen huuhtoutuvasta kalsiumkarbonaattisakasta. Veteen liuenut kalsiumkarbonaatti myös lisäsi veden sameutta ja nosti pH-arvoa. Huomattavaa on hajonta kiintoainemäärissä kalsiumkarbonaattikokeiden välillä. Pelkällä kalsiumkarbonaatilla käsittely silppuroitu hake lisäsi kiintoaineen määrää huomattavasti enemmän kuin koe, jossa kalsiumkarbonaatti käsittely oli yhdistetty rautasulfaattikäsittelyyn ja suureen palakokoon. Voi olla, ettei kiintoaineen määrän lisääntyminen johdu yksin kalsiumkarbonaatin lisäämisestä. Sahanpuruhakesuodattimilla tehdyissä kokeissa kalsiumkarbonaattilisäys aiheutti vain 30 % kiintoainelisäyksen, kun suodattimien ainoana erona oli kalsiumkarbonaattikäsittely. Kokopuuhakesuodattimessa kalsiumkarbonaatti käsittely vähensi fosforin määrää keskimäärin 30 % ja pienensi veden kemiallista hapenkulutusta noin 10 %. Kokeellisen virheen suuruus on kuitenkin suuri. Sahanpuruhakesuodattimessa kalsiumkarbonaattikäsittely ei vaikuttanut fosforin määrään. Toisaalta sahanpuru ei itsessään lisännyt suodatetun ojaveden fosforipitoisuutta toisin kuin metsäntähdehake ja kokopuuhake. Kokopuuhakkeeseen lisätyt kemikaalit vähensivät fosforin määrää vähemmän kuin itse hakesuodatin lisäsi sitä.

Rautasulfaattilisäyksen aiheuttaman veden johtavuuden kasvu ja samentuminen saattaa selittyä vastaavasti veteen liuenneella rautasulfaattilla. Kuitenkin rautasulfaattilisäys vähensi veden kiintoainepitoisuutta lähes 90 % ja fosforin määrää 40 %. Rautasulfaattilisäyksen haittapuolena veden pH –arvo laskee ja kemiallinen hapenkulutus lisääntyy. Rautasulfaatin aiheuttama pH –arvon lasku on merkittävä erityisesti, jos sitä ei kompensoida esimerkiksi kalsiumkarbonaatti lisäyksellä. Karbonaattia tarvitsisi kuitenkin lisätä huomattava määrä suhteessa rautasulfaatin määrään, jotta veden pH –arvo ei laskisi. Mielekkäämpää olisikin ehkä käyttää pienempää rautasulfaattimäärää. Rautasulfaatti saattaa toimia paremmin saostuskemikaalina vesille, joiden puskurointikyky on parempi.

Yllättäen hakkeen palakoon pienentäminen vaikuttaa lisäävän kiintoaineen määrää yli 20 kertaiteksi. Lisäksi veden johtavuus lisääntyy. Palakokoa pienentämällä saadaan kuitenkin fosforin määrä jopa puoleen siitä, mitä se on suuremmalla palakoolla. Lisäksi veden kemiallinen hapenkulutus (-40 %) ja sameus (-19 %) vähenevät. Näiden mittareiden osalta vaikuttaa siltä, että palakokoa pienentämällä voidaan parantaa vedenlaatua jopa enemmän kuin hakesuodattimen kemiallisin käsittelyin. Vastaavasti käänteisesti, mikäli halutaan pidättää maksimaalinen määrä kiintoainetta, voi olla järkevämpi käyttää suurempaa palakokoa, joskin silloin kemiallinen hapenkulutus ja sameus saattavat kasvaa.

Tuloksissa täytyy ottaa huomioon, se että tekijöiden väliset vuorovaikutukset näkyvät tuloksissa erottamattomina tekijöiden vaikutuksista. Sillä kokeissa pieni palakoko oli aina yhdistettynä mineralisointiin, saattaa osa palakoon vaikutuksista johtua todellisuudessa mineralisointien vuorovaikutuksista. Palakoon vaikutus voidaan varmistaa lisäkokeilla.

10.2.2. Kenttäkokeet

Hakesuodattimien toimintaa tutkittiin kenttäkokeilla Kokkolan Hanhinevan alueella metsäojitusalueen kokooja ojassa 11.6.2018–15.7.2018. Ojaa oli juuri ennen kokeiden aloitusta kaivettu, joten kiintoainetta oli paljon liikkeellä. Ojan virtaama kokeen aikana vaihteli täysin virtauksettomasta 10–30 l/s:ssa.



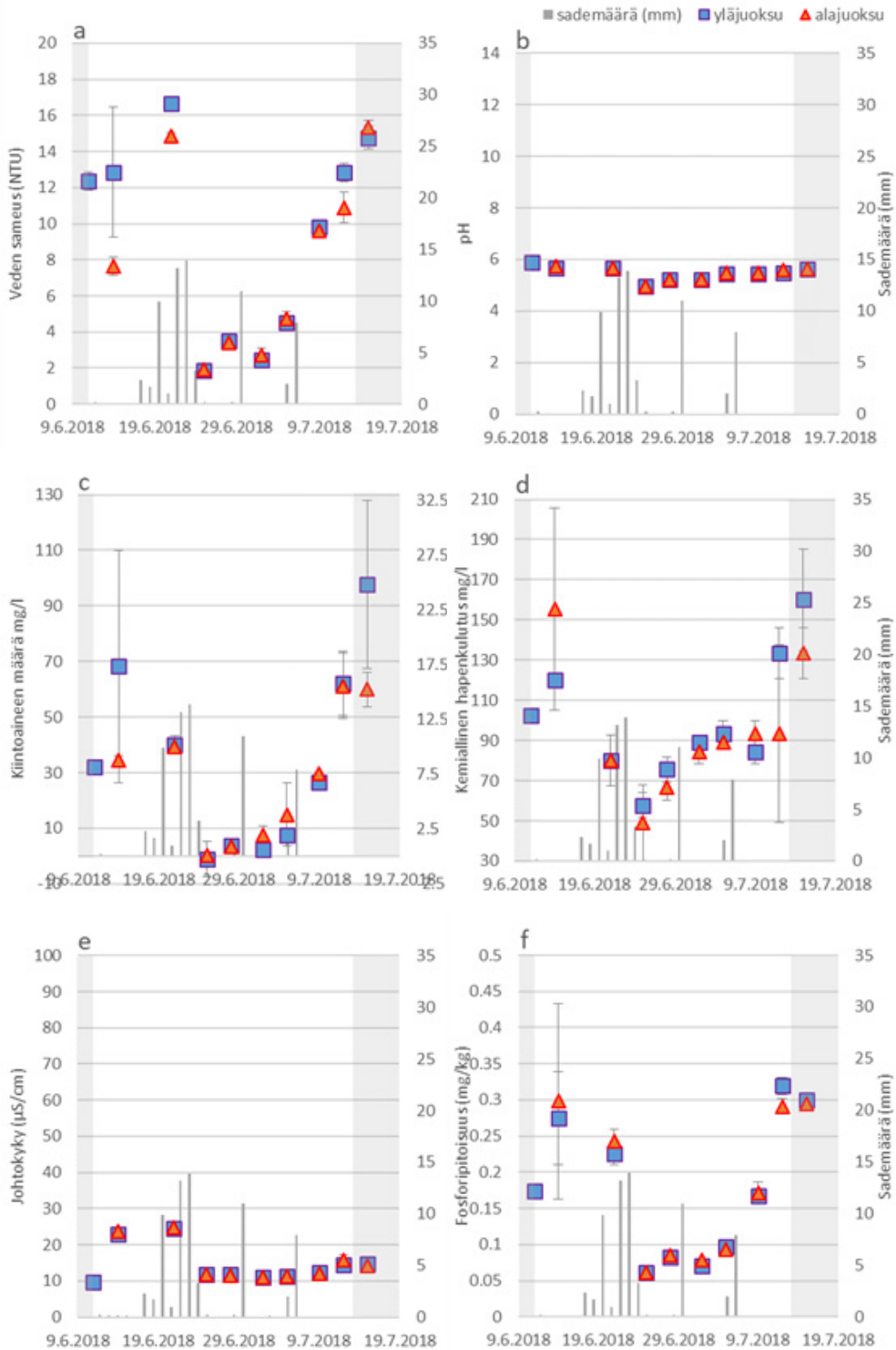
Vedensuodatuskokeet Kokkolan Hanhinevan alueella

Koivusta valmistettua rankahaketta pakattiin 60 l hakesäkkeihin ja säkkejä pinottiin ojaan muutaman säkin rykelmissä. Rykelmät muodostivat yhteensä 5 suodattimen sarjan.

Ojasta otettiin aloitusnäytteet hakesuodattimien rakennuspäivänä (11.6.2018) ja sen jälkeen kahdesti viikossa suodattimista noin metrin päästä yläjuoksulle ja niistä parimetriä alajuoksulle. Siis ennen patoja ja niiden jälkeen. Näytteistä analysoitiin veden pH, johtokyky, kiintoainepitoisuus, kemiallinen hapenkulutus, sameus ja fosforipitoisuus. Yläjuoksun ja alajuoksun näytteiden vedenpuhtauden eroista voidaan päätellä, toimiiko hakesuodatin käytännössä ja minkälaisia vaikutuksia sillä on vedenlaatuun. Suodattimet poistettiin ojasta reilun kuukauden jälkeen 13.7.2018. Poiston jälkeen ojasta otettiin vielä jälkinäytteet, jotta havaittaisiin, heikentykö vedenlaatu suodattimen poiston seurauksena.

Ensimmäisen suodattimen poikkileikkauspinta-ala oli noin 600 cm². Kokeen aikana oli hyvin kuivia kausia, jolloin oja kuivui lähes kokonaan ja virtausnopeus oli olematon, toisaalta välillä hakesuodattimet tulvivat odotettua suuremman sademäärän seurauksena. Aiemmista tutkimuksista oli tiedossa, että virtaaman muutokset voivat vaikuttaa tuloksiin merkittävästi ja siksi virtausnopeuksia ja ensimmäisen suodattimen vedenalaista poikkipinta-alaa, sekä suodattimet ohittavaa vesivirtaa seurattiin tutkimuksen aikana.

Kuvaajiin 3 a–f on koottu ylä- ja alajuoksun näytteiden sameudet, pH –arvot, kiintoainepitoisuudet, kemialliset hapenkulutukset, johtokyvyt ja fosforipitoisuudet kokeen ajalta.



Kuvaaja 3. Sademäärät, sekä ylä- ja alajuoksujen a) sameudet, b) pH -arvot, c) kiintoainemäärät, d) kemiallinen hapenkulutus, e) johtavuudet ja f) fosforipitoisuudet kokeen aikana.

Ojan pH –arvot ja johtokyky pysyivät hyvin samankaltaisina koko kokeen ajan. Ylä- ja alajuok-sujen näytteissä ei havaittu merkityksellisiä eroja näiden mittareiden suhteen. Sameus, kiin-toainepitoisuus, kemiallinen hapenkulutus ja fosforipitoisuus osoittivat enemmän vaihteluita. Näissäkin merkittävää oli erityisesti lähipäivien sademäärän ja virtaaman vaikutus tuloksiin. Kun satoi paljon, ojaan kertyi enemmän vettä ja se alkoi virrata suodattimien yli suodattumatta välissä. Tämä näkyy tuloksissa ylä- ja alajuok-sujen tulosten samankaltaisuutena, sekä alentu-neina pitoisuuksina. Kuivempaan aikaan ojan vesi oli konsentroidumpaa ja tuloksissa oli havait-tavissa enemmän eroja ylä- ja alajuok-sun näytteiden välillä.

Veden sameuden osalta arvot ovat kuivaan aikaan suurempia ylä- kuin alajuoksulla. Sameus-arvoissa havaittiin kuivaan aikaan keskimäärin 25 % lasku yläjuoksulta alajuoksulle. Tästä voi-daan päätellä, että hakesuodattimilla oli todennäköisesti veden sameutta vähentävä vaikutus. Vähemmän selvältä näyttää hakesuodattimen vaikutukset kiintoaineen, kemiallisen hapen-kulutuksen ja fosforin määriin. Suodatin näyttää pidättävän osan kiintoaineesta kuivimpaan aikaan, mutta hajonnat ovat suuria ja kuivaa aikaa oli kokeen aikana liian vähän, että tästä voi-taisiin tehdä johtopäätöksiä. Kemiallisen hapenkulutuksen osalta näyttää siltä, että alussa suo-datin olisi lievästi lisännyt kemiallista hapenkulutusta, mutta myöhemmin hapenkulutus olisi pienentynyt alajuoksua kohden. Hajonnat ovat myös kemiallisessa hapenkulutuksessa suuria suhteessa eroihin ja sateiden aikaan ja hieman jälkeen otetuissa näytteissä eroja ei merkittä-vissä määrin havaita. Fosforin pitoisuudet vaikuttavat riippuvan merkittävästi sademäärästä, mutta ylä- ja alajuok-sun näytteiden välillä ei havaita selviä eroja.

Suodattimien poisto vaikutti nostavan korkeintaan hieman sameuden, kiintoaineen ja kemi-allisen hapenkulutuksen arvoja. Tämä saattoi tosin johtua myös ojan kuivuudesta. Suodatint-en poiston jälkeen sameuden arvot nousivat hieman, mutta ylä- ja alajuok-sun vesi oli virhe-rajoissa yhtä sameaa poiston jälkeen. Tämä viittaa siihen että, ojan kuivuus ei kokeen aikana itsessään lisännyt ylä- ja alajuok-sun sameuseroja, vaan se tehosti suodattimen toimintaa. Sen sijaan kiintoaineen määrässä ja kemiallisen hapenkulutuksen arvoissa nähtiin vielä suodatinten poistonkin jälkeen eroja ylä- ja alajuok-sun välillä. Kyse voi olla mittausepävarmuudesta, sillä kiintoaineen ja kemiallisen hapenkulutuksen arvoissa ei havaittu selkeää trendiä, muuten kuin sademäärän osalta.

Kun verrataan kenttäkokeen tuloksia laboratoriomittakaavan vedensuodatuskokeiden tulok-siin, huomataan, että pH ja johtokyky eivät kummassakaan tapauksessa muuttuneet suodat-timen vuoksi. Laboratoriomittakaavassa kokopuuuhakesuodatin ei parantanut sameusarvoa, mutta vähensi huomattavasti kiintoaineen määrää ja kemiallista hapenkulutusta. Sen sijaan kenttäkokeissa mahdolliset vaikutukset kiintoaineen määrään ja kemialliseen hapenkulutuk-seen jäivät vähäisiksi, mutta sameusarvossa havaittiin parannus. Laboratoriomittakaavassa kokopuuuhakesuodatin lisäsi fosforin määrää, mutta kenttäkokeissa merkittävää muutosta fos-forin määrässä ei havaittu. Osasyynä voi olla kenttäkoeojan veden luonnostaan korkeampi fos-foripitoisuus kuin laboratoriomittakaavan kokeissa käytetyn suodattamattoman veden. Kent-tällä hake myös huuhtoutui runsaamman vesimäärän avulla mahdollisesti nopeammin. Syynä sille, miksi sameusarvoissa nähtiin parannusta kenttäkokeissa, mutta ei laboratoriokeissa, voi olla kenttäkoeveden luonnostaan suuremmassa sameusarvossa. Sameusarvoissa nähtiin kenttäkokeissakin muutosta vain silloin kun sameusarvo oli yläjuoksulla yli 12 NTU. Laboratori-okeissa käytetyn ojaveden sameusarvo oli luonnostaan vain 3.13 NTU.

Lopputuloksena voidaan sanoa, että hakesuodattimien avulla on mahdollista parantaa tietyn-typpisten ojavesien laatua kiintoaineen, kemiallisen hapenkulutuksen ja sameuden osalta,

mutta kaikkien näiden mittareiden osalta ei välttämättä saavuteta merkittäviä hyötyjä. Hake-suodattimet ovat näiden tulosten valossa parhaimmillaan erittäin rehevissä ja melko sameissa vesissä, jolloin ylimääräistä fosforikuormaa ei irtoa hakkeesta ja sameutta saadaan vähennettyä. Lisätutkimuksissa olisi syytä huomioida erityisesti veden virtausolosuhteet niin hyvin, ettei ohi- tai ylivirtauksia pääsisi muodostumaan. Myös kattavampi näyteotanta, ennen suodattimien asennusta ja kokeen aikana lisäksi varmuutta tulosten tulkinnaissa.

10.3. Varastointiolosuhteiden vaikutukset neulasten kemiallisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin

Varastointiolosuhteiden vaikutusta neulasten mekaanisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin tutkittiin erilaisilla altistuskokeilla olosuhdekaapissa. Kokeissa käytettiin kesäkuussa puusta leikattuja männyn ja kuusen oksia. Oksista leikattiin saksilla neulasia pakastimeen, osa oksista pakastettiin neuloineen. Pakastettuja neulasia altistettiin halutuissa olosuhteissa joko oksissa tai niistä irrotettuna, jonka jälkeen ne pakattiin vakuumpusseihin ja säilöttiin pakastimessa ennen testien suorittamista. Altistuskokeissa simuloitiin säilytystä pimeässä kellarissa 3 vrk, pimeässä kaapissa 3 vrk ja ulkona Keski-Suomen kesässä 4 vrk. Olosuhteet ja tehdyt testit on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Neulaskokeiden olosuhteet ja tehdyt testit

| puulaji | säilytys | nimi | UV [MJ/m ²] | lämpötila | kosteus | lujuus | väri | kemialliset |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|-----------|---------|--------|------|-------------|
| mänty | neulainen | tuore | - | - | - | x | x | x |
| mänty | neulainen | ilmassa | - | - | - | x | x | |
| mänty | neulainen | pakastekuivaus | - | - | - | x | x | |
| mänty | neulainen | kaappi | 0 | 22 | 45 | x | x | x |
| mänty | neulainen | kellari | 0 | 10 | 80 | x | x | x |
| mänty | neulainen | UV | 65 | 35-42 | - | x | x | x |
| mänty | oksa | kaappi | 0 | 22 | 45 | x | x | x |
| mänty | oksa | kellari | 0 | 10 | 80 | x | x | x |
| kuusi | neulainen | tuore | - | - | - | | x | x |
| kuusi | neulainen | kaappi | 0 | 22 | 45 | | x | x |
| kuusi | neulainen | kellari | 0 | 10 | 80 | | x | x |
| kuusi | neulainen | UV | 65 | 35-42 | - | | x | x |
| kuusi | oksa | kaappi | 0 | 22 | 45 | | x | x |
| kuusi | oksa | kellari | 0 | 10 | 80 | | x | x |

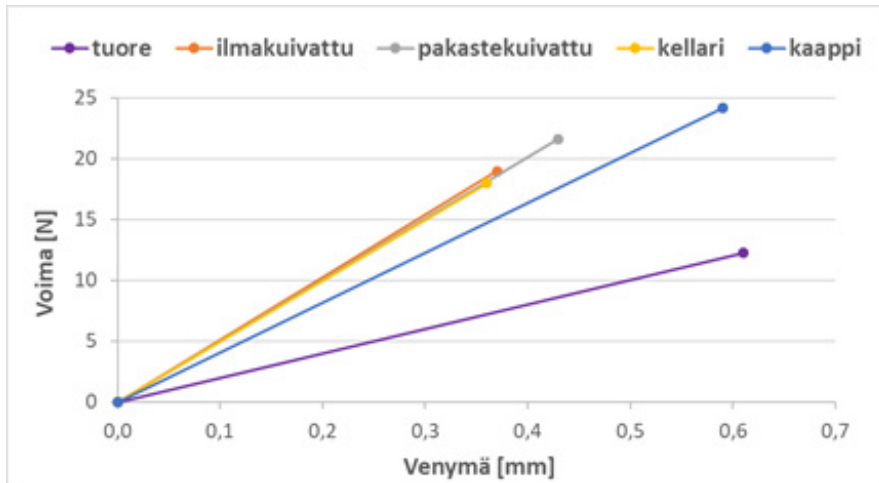
Mekaanisia testejä varten männyn neulaset kiinnitettiin liimalla kankaaseen, jotta vetokokeet saatiin suoritettua onnistuneesti. Liiman annettiin kuivua hallituissa olosuhteissa (kosteus ja lämpötila) ennen vetokokeiden suorittamista. Kullekin koepisteelle tehtiin vähintään 10 onnistunutta vetokoetta. Kuusen neulasille ei voitu suorittaa vetokoetta niiden lyhydestä johtuen. Vetokokeessa neulasta vedetään pitkittäissuunnassa ja mitataan käytettyä voimaa [N], sekä neulasen pituuden muutosta [cm].

Neulasten värinmuutos mitattiin Minolta CR-210 värimittarilla. Väri määritellään kolmiulotteisessa tilassa: X = valkoinen - musta, x = punaisuus - vihreys ja y= keltaisuus - sinisyys. Tuloksista

voidaan myös laskea kokonaisvärinmuutos, johon kaikki edellä olevat arvot vaikuttavat yhtä paljon.

Neulasille tehtiin myös kemialliset analyysit. Niistä määritettiin tuhkapitoisuus, selluloosapitoisuus, hemiselluloosapitoisuus, ligniinipitoisuus, asetoniin liukenevien uuteaineiden määrä, sekä heksaaniin liukenevien uuteaineiden määrä. Ennen kemiallisia analyysyjä neulaset pakastekuivattiin ja jauhettiin alle 1 mm partikkelikokoon.

Kuvaajassa 4 on esitetty männynneulasten voima-venymä pisteet. Voima on se voima, joka tarvittiin katkaisemaan neulanen. Venymä on se mitta, jonka neulanen venyi ennen katkeamista.

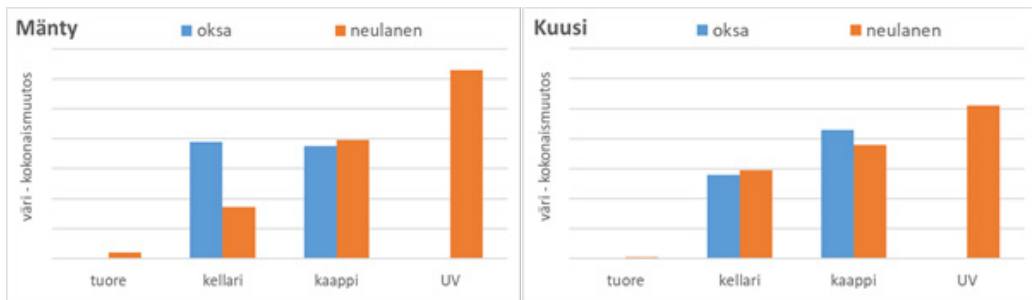


Kuvaaja 4. Männynneulasten voima-venymä pisteet.

Kuvaajasta 4 nähdään, että tuorein neulanen vaatii vähiten voimaa katkaisuun, mutta on myös joustavin, venyen eniten ennen katkeamista.



Valokuva a) männyn ja b) kuusen neulasista altistusten jälkeen. Yläriivi vasemmalta oikealle: Tuore neulanen, kellarissa säilötty neulanen, kellarissa oksassa kiinni säilötty neulanen. Alarivi vasemmalta oikealle: Kaapissa säilötty neulanen, kaapissa oksassa kiinni säilötty neulanen, UV-käsitelty neulanen.



Kuvaaja 5. Varastointiolosuhteiden vaikutus a) männyn ja b) kuusen neulasten kokonaisvärinmuutokseen.

Kuvaajista 5 a ja b nähdään, että UV-valolla oli suurin vaikutus neulasten värinmuutokseen. Väri muuttuu kuitenkin myös UV-valolta suojattuna jo kolmen päivän aikana. Kaikissa tapauksissa värinmuutos oli vaaleammaksi, punaisemmaksi ja keltaisemmaksi.



Valokuva UV-käsitellyistä ja tuoreesta männyn neulasesta jauhamattomana ja jauhettuna.

Neulasten kemiallinen koostumus määritettiin pakastekuivauksen ja jauhatuksen jälkeen. Neulaset sisälsivät noin 70% perusrakennearaineita (selluloosa, hemiselluloosa, ligniini) ja 4-9 % tuhkaa. Lisäksi neulasissa oli 12-22 % asetoniin liukenevia uuteaineita ja 3-15 % heksaaniin uuttuvia uuteaineita. Varastointiolosuhteilla ei ollut vaikutusta perusrakennearaiteiden pitoisuuksiin. Lisäksi vaikuttaa siltä, että säilytysolosuhteet eivät juurikaan vaikuta uuteainepitoisuuksiin. Tämä on yllättävä tulos, sillä aiemmissa kokeissa on nähty, että olosuhteilla on suuri vaikutus esimerkiksi puunkuoren uuteainepitoisuuksiin. Onkin mahdollista, että neulasen vahapinta suojaa uuteaineita haihtumiselta. Puun kuorella vastaavaa pintakerrosta ei ole. Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että oksissa kiinni säilytyillä neulasilla uuteainepitoisuudet säilyivät korkeampina, kuin neulasissa, jotka oli irrotettu oksista ennen säilytystä. Tämä saattaa johtua neulasen leikkauskohdan jäämisestä avoimeksi, mikä saattaa aiheuttaa uuteaineiden runsaampaa haihtumista. Lisätutkimuksia tarvitaan tulosten varmentamiseksi.

10.4. Kompostointikokeet

Erilaisten hakkuutähteiden kompostoitavuutta tutkittiin sellaisenaan ja seostettuna tyypillisen kanssa 1 m³ lehtikomposteissa. Tutkittavat hakkuutähteet olivat, karsittu rankahake, männyn kuori ja metsäntähdehake. Lisäksi testattiin aiemmin vedensuodatuskokeissa ojassa olleen rankahakkeen kompostoitavuutta. Vedensuodatuskokeissa käytettiin kuitenkin vain noin 600 l haketta, joten siitä koottu komposti oli muita pienempi. Kompostien kaupallisena verrokkina tutkittiin komposti- ja huussikuivikkeen kompostoitavuutta. Tyypillisinä käytettiin perunan solunestettä ja lehmänlantaa. Taulukossa 6 on esitetty valmistettujen kompostien koostumus.

Taulukko 6. Kompostien koostumus tilavuusosuuksina

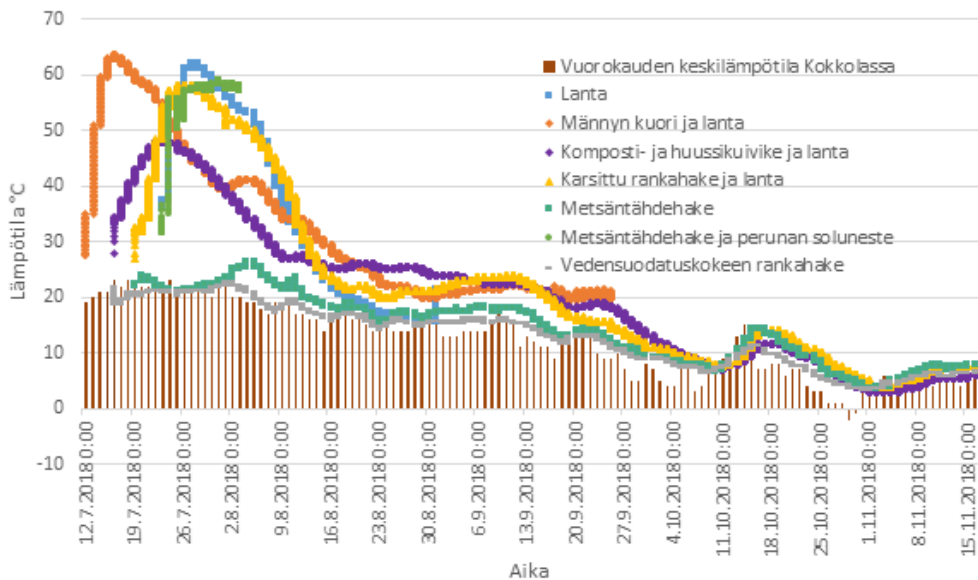
| Komposti | Rankahake | Männyn kuori | Komposti- ja huussikuivike | Metsäntähdehake | Vedensuodatuskokeen rankahake | Lehmänlanta | Perunan soluneste |
|----------|-----------|--------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 1/2 | - | - | - | - | 1/2 | - |
| 2 | - | 1/2 | - | - | - | 1/2 | - |
| 3 | - | - | 1/2 | - | - | 1/2 | - |
| 4 | - | - | - | 5/6 | - | - | 1/6 |
| 5 | - | - | - | 1/1 | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | 1/1 | - | - |
| 7 | - | - | - | - | - | 1/1 | - |

Koesarjassa on kolmenlaisia verrokkikomposteja. Pelkkää lehmänlantaa sisältävää kompostia voidaan pitää vertailukohtana arvioitaessa hakkuutähteen vaikutusta kompostoitumiseen. Komposti- ja huussikuivike-lehmänlanta seos toimii vertailukohtana sille, miten hyvin hakkuutähteet toimivat komposteissa suhteessa kaupalliseen tarkoitukseen suunniteltuun valmistukseen. Pelkästä metsäntähdehakeesta koostuvaa kompostia voidaan pitää verrokkina tyypillisen vaikuttavuutta arvioitaessa.

Kompostien materiaalit saatiin pääosin lahjoituksina tai kuljetuskustannuksia vastaan paikallisilta toimijoilta. Männyn kuori ja komposti- ja huussikuivike ostettiin kaupallisina tuotteina. Lehmänlannassa oli seassa pieniä määriä olkikuiviketta.

Kompostit sijoitettiin aurinkoiselle paikalle ja niiden pinta peitettiin kateharsolla liiallisen veden haihtumisen ehkäisemiseksi. Datan kerääjät nauhoittivat kompostien keskipisteen lämpötila-, kastepiste- ja ilmankosteuslukemia 15 min välein 4 kuukauden ajan kompostien kokoamisesta eteenpäin. Komposteista otettiin näytteet niiden kasaamisen yhteydessä, sekä neljän kuukauden jälkeen kasaamisesta. Neljä kuukautta tekeytyneistä kasoista otettiin näytteet kompostin pinnasta ja keskikohdasta, jotta kompostoitumisen täydellisyyttä voitaisiin arvioida paremmin. Komposteista kerättyjen näytteiden kosteuspitoisuudet määritettiin laboratoriossa standardia SFS-EN-13039 noudattaen.

Kuvaajassa 6 on esitetty kompostien datan kerääjien lämpötiläkäyrät samassa kuvaajassa. Kompostit koottiin hieman eriaikaisesti, mutta datapisteet on valittu kuvaajaan vain siltä ajalta, kun kerääjät olivat kompostissa. Osa datan kerääjistä lopetti datan keräämisen kesken kokeen, luultavasti liiallisen kosteuden päästyä kerääjän sisään. Näin kävi esimerkiksi metsäntähdehakeen ja perunan solunesteen seoksen tapauksessa.



Kuvaaja 6. Kompostien lämpötilakehitys

Kuvaajasta 6 voidaan huomata suurimmanosan komposteista päässeen termofiiliseen vaiheeseen pian kompostin kasaamisen jälkeen. Ainoastaan metsäntähdehake ilman lisäaineita ja vedensuodatuskokeen rankahake eivät lähteneet kompostoitumaan lämpötilamittareiden perusteella, vaan niiden lämpötilat noudattivat pitkälti vallitsevaa ulkolämpötilaa. Taulukossa 7 on esitettyä kompostien termofiilisten vaiheiden kestot ja korkeimmat saavutetut lämpötilat.

Taulukko 7. kompostien termofiiliset vaiheet

| | Termofiilisen vaiheen kesto | Korkein saavutettu lämpötila |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Lanta | 2 vko 0,5 h | 62 |
| Männyn kuori ja lanta | 2 vko 4,5 h | 63,5 |
| Komposti- ja huussikuivike ja lanta | 1 vko 6 h | 48,0 |
| Rankahake ja lanta | 2 vko 2,5 d | 58 |
| Metsäntähdehake | 0 | 26,5 |
| Metsäntähdehake ja perunan soluneste | >1 vko 3,25 d | 59 |
| Vedensuodatuskokeen rankahake | 0 | 23 |

Komposteista pisimpään termofiilisessä vaiheessa pysyi rankahake ja lanta –seos (2 vko 2,5 d). Myös männynkuori-lanta –seos ja pelkkä lanta pysyivät termofiilisessä vaiheessa yli 2 viikkoa, männynkuori-lanta kompostissa oli lisäksi havaittavissa uusi lämmön nousu termofiilisen vaiheen jo päätyttyä, jolloin lämpötila pysytteli 4 päivän ajan reilussa 40 asteessa, sen jo aiemmin tiputtua hieman alle 40 asteen. Lisäksi metsäntähdehake ja perunansoluneste kompostissa tapahtuneen mittarin toimintahäiriön vuoksi ei voida sanoa, miten pitkään komposti oli termofiilisessä vaiheessa, mutta lämpötilakäyrän alun perusteella voidaan arvioida tätä jatkuneen noin kahden viikon ajan, mahdollisesti pitempäänkin. Komposti- ja huussikuivikkeen ja lannan seos oli termofiilisissä lämpötiloissa noin viikon ajan ja saavutti huipussaan 48,5 °C lämpötilan.

Lehmänlannan, männynkuori-lanta, rankahake-lanta ja metsäntähdehake ja perunan soluneste seosten lämpötilakäyttäytymiset olivat hyvin lähellä toisiaan, kaikissa lämpötila nousi noin 60 asteen tuntumaan ja pysyi termofilisessä vaiheessa noin 2 viikkoa.

EU:n sivutuoteasetus suosittelee lannan kompostoinnissa patogeenien tuhoamiseksi lämpötilan nousemista 70 °C lämpötilaan vähintään tunnin ajaksi, mutta vaihtoehtoisesti sallitaan myös, jos lämpötila pysyy yli 55 °C:ssa vähintään kolmenpäivän ajan. Kaikki muut lantaa sisältäneet kompostit paitsi komposti- ja huussikuivikkeen ja lannan seos täyttivät tämän kriteerin.

Datan kerääjät mittasivat myös suhteellista ilmankosteutta, mutta nauhoitetut lukemat olivat jokaisessa kompostissa noin 100 % koko kokeen ajan. Tiedetysti vastaavilla mittareilla on toisinaan taipumusta antaa virheellisiä ilmankosteustuloksia, mikäli kosteus on jossain vaiheessa koetta ylittänyt tietyn pisteen. Mitatut kastepisteet seurasivat pitkälti lämpötilakäyriä ollen usein noin asteen mitattua lämpötilaa korkeammalla.

Taulukossa 8. on esitettyä laboratoriossa mitatut kosteuspitoisuudet komposteista kerätyille näytteille.

Taulukko 8. Kompostien kosteuspitoisuudet kokeen alussa ja 4 kk jälkeen

| | Kosteuspitoisuus alussa (%) | Kosteuspitoisuus 4 kk (%) |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Lanta | 69 | 76 |
| Männyn kuori ja lanta | 68 | 65 |
| Komposti- ja huussikuivike ja lanta | 60 | 71 |
| Rankahake ja lanta | 56 | 69 |
| Metsäntähdehake | | 21 |
| Metsäntähdeh. ja perunan solun. | 56 | 65 |
| Vedensuodatuskokeen rankahake | 60 | 63 |

Kaikkien kompostien kosteuspitoisuudet olivat laboratoriomäärittysten perusteella kokeen aikana noin 60–70 %, paitsi metsäntähdehakkeen, joka oli kokeen alusta loppuun huomattavan kuivaa.

Metsäntähdehaketta ja vedensuodatuskokeen haketta yhdistää se, ettei kumpaankaan seostettu mitään tyypipitoista. Tosin vedensuodatuksessa hakkeeseen on saattanut jäädä tyypipitoista kiintoainetta, mikä saattaisi lisätä hakkeen kompostoitavuutta. Toisaalta huomionarvoista on se, että vedensuodatuskokeesta haketta tuli noin 600 l muiden kompostien 1 m³ tilavuuden sijaan. Kompostin koko on saattanut aiheuttaa sen, että mahdollisen mesofilisen kompostoitumisen tuottama lämpö vapautuu ulkoilmaan ennen kuin komposti itsessään ehtii lämmetä. Myös vedensuodatuskokeen aikaiset mahdolliset mikrobikantojen muutokset voivat olla taustalla. Vedenalaisissa olosuhteissa anaerobiset mikrobit pärjäävät aerobisia mikrobeja paremmin. Metsäntähdehake oli puolestaan huomattavan kuivaa, on mahdollista, että hakkeen kompostoituminen estyi typen puutteen lisäksi kuivuuden takia.

Metsäntähdehakkeen ja perunan solunesteen seos sen sijaan lähti kompostoitumaan nopeasti. Tämä voi johtua, sekä riittävästä kosteudesta, että tyypipitoisuuden lisääntymisestä. Kompostoituminen oli yhtä tehokasta kuin muiden hakkeiden/hakkuutähteiden ja lannan seosten kompostoituminen.

Hakkeen sekoitus lantaan voi olla edullisinta suurissa komposteissa, joissa hake parantaa kompostin ilmapuutusta. Lehmän lannan on todettu kompostoituvan huonosti keskeltä suurissa kasoissa, vaikka kompostoituminen käynnistyisi pinnasta. Syyksi on epäilty sitä, ettei mikrobit saa happea riittävästi kasan keskiosissa. Tässä tutkimuksessa kompostit saattoivat olla liian pieniä tämän vaikutuksen selkeään erottumiseen. Tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että rankahaketta lisäämällä lannan sekaan, saatiin komposti pysymään pisimpään termofiilisessä vaiheessa ja vastaavasti männynkuorta sisältävän kompostin lämpötila kohosi kaikista korkeimmalle. Erot pelkkää lantaa sisältävään kompostiin ovat molemmissa tapauksissa pieniä, mutta suuremmassa kokoluokassa erot saattavat kasvaa merkittäviksi. Kun verrataan kaupallisenä tuotteena kompostikäyttöön kaupattua komposti- ja huussikuivikkeen toimintaa rankahakkeen ja männyn kuoren vaikutuksiin, havaitaan, että hake ja kuori toimivat paremmin lannan kompostoinnissa kuin kaupallinen valmiste. Yksi selitys tähän on palakoon vaikutus. Kaupallinen komposti- ja huussikuivike on hienojakoisempaa kuin kuori ja hake. Kompostia kääntämällä voisi mahdollisesti parantaa ilmastusta, niin, ettei palakoko olisi ongelma.

Lannan kompostoinnissa oleellista on patogeenien ja mahdollisten siemenien tuhoaminen, mikä pääosin tapahtuu lämmönvaikutuksesta. Joidenkin kompostoitavien materiaalien kohdalla hygienisoinnille tai siementen tuhoamiselle ei ole tarvetta ja tällöin komposti- ja huussikuivike saattaa olla jopa kuorta parempi valinta. Kun termofiilisessä vaiheessa lämpötila pysyy maltillisena, typen haihtuminen ammoniakkina on hitaampaa verrattuna korkeisiin lämpötiloihin.

11. KIITOKSET

Tämä raportti tutkimustuloksineen toteutettiin osana hanketta *Hakkuutähteen ja hakkeen uudet käyttökohteet*. Hanke sai rahoitusta Euroopan Unionin Manner-Suomen maaseudun kehitysohjelmasta Pohjanmaan ELY-keskuksen myöntämänä. Hankkeen projektiryhmä kiittää paikallisia hakkureita ja maanviljelijöitä, Lapuan Perunaa ja Kokkolan energiaa materiaalilähjoituksista, joiden turvin tässä raportissa esitetyt tutkimukset voitiin tehdä. Kokkolan kaupunkia kiitetään hyvästä yhteistyöstä sopivan kenttäkoepaikan löytämiseksi hakesuodatinkokeille, sekä luvasta toteuttaa kokeet kaupungin maalla. Projektiryhmä haluaa kiittää myös Luonnonvarakeskuksen tutkijoita nauhoittavien lämpötila/kosteusmittareiden lainaamisesta hankkeen käyttöön, sekä hankkeen aihealueiden tiimoilta virinneistä keskusteluista.

LÄHTEET

1. "Metsävaratiedot," Metsäkeskus, 2018.
2. "Valtakunnanmetsien inventointi," Luonnonvarakeskus, 2012.
3. A. Lindbland, O. Äijälä ja A. Koistinen, "Energiapuun mittaus," Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja metsäntutkimuslaitos, 2013.
4. T. Lepistö, "Laatuhakkeen tuotanto," Metsäkeskus, 2010.
5. V.-P. Kauppinen, "Puupolttoaineen kuivuriopas," Suomen metsäkeskus, 2014.
6. E. Alakangas ja R. Impola, "Puupolttoaineiden laatuohje - VTT-M-07608-13," VTT, 2014.
7. Lantto, J. ja I. Lindfors, "Joutsijärven ja Tuurujärven vesiensuojelusuunnitelma: Hakesuodatuskoheet," Porin Vesi, Pori, 2005.
8. H. Hiltunen, "Biosuodinmateriaalien soveltuvuus metsäojitusalueiden valumavesien käsittelyssä," MAMK, 2015.
9. K. Kontinen, S. Joensuu ja K. Karosto, "Metsätalouden vesiensuojelun tehostamista biosuodattimilla," Metsänomistajat, p. 26, 2016.
10. H. Soinen, K. Dufva ja K. Kontinen, "Materiaalit ja ympäristöturvallisuus soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä vuosijulkaisu 2015," MAMK, 2015.
11. E. M. Ruane, P. N. C. Murphy, E. Clifford, E. O'Reilly, P. French ja M. Rodgers, "Performance of a wood chip filter to treat dairy soiled water," J. Jenvman, osa/vuosik. 95, p. 49., 2012.
12. J. C. Dalton, "Pilot study using wood chips as an absorbent to treat wastewater from grease trap servicing," Public works technical bulletin, nro 200-1-59, 2008.
13. S. Pentti, "<https://www.urakointiutiset.fi/uutiset/putketonta-salaojaa-ja-maat-sopivasti-viljelykuntoon/>," 28 12 2011. [Online]. [Haettu 2019].
14. R. Peltomaa, "Salaojien kunnossapito-opas," Salaojakeskus Ry, 2000.
15. J. Rajala, "Luonnonmukainen maatalous," Helsingin yliopiston maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus Mikkeli, 2006.
16. "<https://www.metsalehti.fi/uutiset/hakkuutahteet-puhdistamaan-metsatalouden-valumavesia/>," 18 9 2018. [Online]. [Haettu 2018].
17. S. Joensuu, P. Hynninen, K. Heikkinen, T. Tenhola, P. Saari, M. Kauppila, A. Leinonen, H. Ripatti, J. Jämsén, S. Nilsson ja M. Vuollekoski, "Metsätalouden vesiensuojelu -kouluttajan aineisto," Metsätalouden kehittämiskeskus TAPIO, Jyväskylä, 2012.
18. E. Aura, "Salaojien toimivuus savimaassa," Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen, 1990.
19. K. Peteri, "Salaojan ympärysaineen vaikutus raudan saostumisessa," Tielaitos, Kuopio, 1994.

20. P. Vakkilainen, L. Alakukku, J. Koskiaho, M. Mylly, J. Nurminen, M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, M. Puustinen ja H. Äijö, "Pellon vesitalouden optimointi," Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, 2010.
21. B. S. Mohammed, M. Abdullahi ja C. K. Hoong, "Statistical models for concrete containing wood chipping as partial replacement to fine aggregate," *Construction and Building Materials*, osa/vuosik. 55, p. 13, 2014.
22. H. Gil, A. Ortega ja J. Pérez, "Mechanical behavior of mortar reinforced with sawdust waste," tekijä: 3rd International Conference on Natural Fibers: Advanced Materials for a Greener World, ICNF, Braga, 2017.
23. V. Corinadesi, A. Mazzoli ja R. Siddique, "Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste," *Construction & Building Materials*, osa/vuosik. 123, p. 281, 2016.
24. M. Bederina, B. Laidoudi, A. Goullieux, M. M. Khenfer, A. Bali ja M. Quéneudec, "Effect of the treatment of wood shavings on the physico-mechanical characteristics of wood sand concretes," *Construction & Building Materials*, osa/vuosik. 23, nro 3, p. 1311, 2009.
25. A. Ayzenshtad, V. Lesovik, M. Frolova, A. Tutygin ja V. Danilov, "Nanostructured wood mineral composite," tekijä: International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, St. Petersburg, 2015.
26. R. Sudin ja N. Swamy, "Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration," *J Mater Sci*, osa/vuosik. 41, nro 21, p. 6917, 2006.
27. D. Taoukil, A. El boudari, F. Sick, A. Mimet, H. Ezbakhe ja T. Ajzoul, "Moisture content influence on the thermal conductivity and diffusivity of wood-concrete composite," *Construction and Building Materials*, osa/vuosik. 48, p. 104., 2013.
28. L.-K. Simola, "Destaclean Puukivi: Uusi ulottuvuus rakennusjätteen kierrätykseen," *Betoni*, p. 54, 2015.
29. "<http://www.agresta.fr/en/precast-solutions/61-wood-aggregate-for-modular-construction.html>," Agresta technologies. [Online]. [Haettu 2019].
30. C. Magwood, "Building an affordable sustainable home," *Mother Earth News*, p. 24., 10 2016.
31. Y. A. M. Cheumani, M. J. Ndikontar, B. De Jéso ja G. Sèbe, "Probing of wood-cement composites by proton low-field NMR relaxometry," *J Mater Sci.*, osa/vuosik. 46, nro 5, p. 1167, 2011.
32. "<http://www.agresta.fr/en/construction/8-agreslith-c-wood-aggregate-for-lightweight-concrete.html>," Agresta technologies. [Online]. [Haettu 2019].
33. "<https://www.fipindustriale.it/index.php?area=106&menu=96&lingua=1>," FIP-industriale. [Online]. [Haettu 2019].
34. "<https://okka.eu/en/product/acoustic-panel/>," Okka. [Online]. [Haettu 2019].
35. M. Hellstedt, "Näkökohtia lannankäsittelyyn ja kuivitukseen," MTT kotieläintuotannon tutkimus, Forssa, Kasvua hämeeseen -pienryhmätapaaminen, 12.4.2013.

36. M. M. Smith, J. D. Aber ja T. E. Howard, "Case Study: Economic viability of producing animal bedding from low quality and small diameter trees by using a wood shaving machine," *The Professional Animal Scientist*, osa/vuosik. 33, p. 771, 2017.
37. B. T. Wolf, H. R. B. Mollot, M. J. Trayte ja M. T. Rose, "Behaviour of growing lambs housed on straw or woodchip bedding materials and their preference for floor type," *Appl Anim Behav Sci.*, osa/vuosik. 124, nro 1, p. 45, 2010.
38. [D. L. Teixeira, M. Villarroel, María ja G. A., "Assessment of different organic beddings materials for fattening lamb," *Small Ruminant Research*, osa/vuosik. 119, p. 22, 2014.
39. R. L. Wallace, "Bedding choices: Mastitis and Cow Comfort," *Dairy man's Digest*, 2007.
40. I. Hansen, G. H. M. Jørgensen, V. Lind ja C. Uhlig, "Woodchip bedding for sheep in northern Norway," *Acta Agriculturae Scandinavica A Animal Science*, osa/vuosik. 62, nro 2, p. 102, 2012.
41. C. Font-Palma, "Characterization, kinetics and modelling of gasification of poultry manure and litter: An overview," *Energy Conversion and Management*, osa/vuosik. 53, nro 1, p. 92, 2012.
42. Ruokavirasto, "<https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/elaintenpito/kuolleet-elaimet/lan-nan-poltto/>," Ruokavirasto. [Online]. [Haettu 2019].
43. M. Arffman, J. Lehtinen ja S. Arffman, "Hevosenlannanpolton lainsäädännönmuutosten vaikutusarviointi," *Envitecpolis Oy*, 2018.
44. Fortum, "<https://www.fortumhorsepower.com/fi/tarjous/>," Fortum. [Online]. [Haettu 2019].
45. O. J. Sánchez, D. A. Ospina ja S. Montoya, "Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process," *Waste Management*, osa/vuosik. 69, p. 136, 2017.
46. C. O. Onwosi, V. C. Igbokwe, J. N. Odimba, I. E. Eke, M. O. Nwankwoala, I. N. Iroh ja L. I. Ezeogu, "Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects," *J. Jenvman.*, osa/vuosik. 190, p. 140, 2017.
47. R. Càceres, K. Mali`nska ja O. Marfà, "Nitrification within composting: A review," *Waste Management*, osa/vuosik. 72, p. 119, 2018.
48. L. Meng, W. Li, S. Zhang, C. Wu, W. Jiang ja C. Sha, "Effect of different extra carbon sources on nitrogen loss control and the change of bacterial populations in sewage sludge composting," *J.Ecoleng.*, osa/vuosik. 94, p. 238, 2016.
49. B. Nakhshinieiev, C. Perera, M. K. Biddinika, H. B. Gonzales, H. Sumida ja K. Yoshikawa, "Reducing ammonia volatilization during composting of organic waste through addition of hydrothermally treated lignocellulose," *International Biodeterioration & Biodegradation*, osa/vuosik. 96, p. 58, 2014.
50. S. Wang ja Y. Zeng, "Ammonia emission mitigation in food waste composting: A review," *Bioresource Technology*, osa/vuosik. 248, p. 13, 2018.

51. [51] B. B. Al-Bataina, T. M. Young ja E. Ranieri, "Effects of compost age on the release of nutrients," *International Soil and Water Conservation Research*, osa/vuosik. 4, p. 230, 2016.
52. R. T. Salo, "Puulastujen käyttö liukkauden torjunnassa," *Liikennevirasto*, Helsinki, 2015.
53. "<http://www.stopglissbio.com/index.php/en/stopglissbio-en/presentation>," *Stop Gliss Bio*, 2018. [Online]. [Haettu 2019].
54. J.-C. Turtschky ja J. Mucaria, "Method for the preparation of a granulate for the treatment of snow-covered and/or icy surfaces". Patentti US 2010/0227168 A1, 9 2010.
55. M. Kaartokallio, "<https://www.biotalous.fi/turvakate-ekologinen-vaihtoehto-leikkialueille/>," 2017. [Online]. [Haettu 2018].
56. M. Puumala, "Jalottelutarhat - rakenteet ja varusteet," *MTT, Vihti*, 2004.
57. I. Pesonen, H. Virtanen, H. Jansson, S. Hyyppä, S. Särkijärvi, H. Jansson, N. A., H. Takamaa, E. Vehmasto, H. Vihinen, M.-L. Vieraankivi, H. Karjalainen, K. Kivilohkare, C. Rosenberg, M. Rantala ja J. Tanhuanpää, "Hyvinvoiva, turvallinen ja ympäristöystävällinen talli - opas vastuulliseen tallitoimintaan," *Agropolis, Jokioinen*, 2008.
58. Luonnonvarakeskus, "<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Jalottelutarhat/Rakentaminen/Pintamateriaalit>," *MTT*. [Online]. [Haettu 2018].
59. J. Luokkakallio, *Nurmituotanto ja maan tiivistyminen*, Kalajoki: ProAgria Etelä-Pohjanmaa, 2017.
60. H. Virtanen ja I. Pesonen, "Hevostaloutta ympäristöä kunnioittaen," *Maaseudun tiede*, osa/vuosik. 65, nro 2, p. 3, 2008.
61. H. Salovaara, "Puuhakkeen soveltuvuus katteena infra- ja viherrakentamisessa," *HAMK, Forssa*, 2018.
62. T. Leppänen, "Katekoe - viherrakentamisen katemateriaalien asentamisen vertailu," *HAMK, Lepaa*, 2015.
63. P. Öhrnberg, "<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/tee-se-itse-liiketoiminta-kukoistaa-yhdysvalloissa/efab7647-ee3b-339d-9508-c31135f79551>," *Kauppalehti*, 5 7 2016. [Online]. [Haettu 2018].
64. M. Mäkelä, A. Varhimo ja O. Pennanen, "Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi," *Metsäteho Oy, Helsinki*, 2001.
65. "<https://www.duluthnewstribune.com/news/2371644-newpage-buries-logs-wood-chips-and-snow-protect>," *Duluth News Tribune*, 2008. [Online]. [Haettu 2018].
66. J. Lukkari, A. Hyyppölä, M. Kärkkäinen, P. Lipponen, M. Mäkelä, S. Paananen, H. Rumpunen ja O. Thesslund, "Puun laadun säilyttäminen -Opas," *Metsäteho Oy, Helsinki*, 2004.
67. L. Aspden, "<https://www.telegraph.co.uk/travel/ski/news/european-ski-resorts-preserving-vast-amounts-of-snow/>," *Telegraph*, 18 5 2018. [Online]. [Haettu 2019].

68. M. Vaara ja M. Mustonen, "<http://www.uef.fi/-/luonnontuotteista-merkittavia-lisatulo-ja-metsanomistajille-ja-yrityksille>," University of Eastern Finland, 17 8 2017. [Online]. [Haettu 2019].
69. J. Routa, H. Brännström, P. Anttila, M. Mäkinen, J. Jänis ja A. Asikainen, "Wood extractives of Finnish pine, spruce and birch – availability and optimal sources of compounds," Luonnonvarakeskus, Helsinki, 2017.
70. Y. Shirmohammadli, D. Efhamisiji ja A. Pizzi, "Tannins as suitable raw materials for green chemistry: A review," *Industrial Crops & Products*, osa/vuosik. 126, p. 316, 2018.
71. R. Oravainen, "Vesistötulosten tulkinta -Opasvihkonen," Kokemäenjoen vesistön vesiensojelu yhdistys ry (KVVY), Tampere, 1999.
72. "<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8A-7CACB5-3A30-4443-8470-E612AEBCF5FA%7D/91995>," Ympäristöhallinto. [Online]. [Haettu 2018].
73. K. Heikkinen, Raudan ja humuksen esiintymisestä ja vesistövaikutuksista Jäälinjärvenvaluma-alueella, Oulu: Syke, 2012.
74. "www.metsakeskus.fi," [Online].
75. "www.metsaan.fi," [Online].
76. K. A. Otten, C. Brischke ja C. Meyer, "Material moisture content of wood and cement mortars electrical resistance-based measurements in the high ohmic range," *Construction and Building Materials*, osa/vuosik. 153, p. 640, 2017.
77. G. H. D. Tonoli, M. N. Belgacem, J. Bras, M. A. Pereira-da-Silva, F. A. Rocco Lahr ja H. Savastano Jr., "Impact of bleaching pine fibre on the fibre/cement interface," *J Mater Sci*, osa/vuosik. 47, p. 4167, 2012.

HAKKUUTÄHTEEN JA HAKKEEN UUDET KÄYTTÖKOHTEET

Päätehakkuissa syntyy huomattava määrä hakkuutähdettä (kuten oksat ja latvustot), jota voitaisiin jatkojalostaa ja hyödyntää nykyistä paljon monipuolisemmin. Samoin runkopuusta valmistettua haketta on mahdollista käyttää nykyistä enemmän jatkojalostuksen raaka-aineena. Nykytilanteessa hyötykäyttöön tulevasta hakkuutähteestä ja hakkeesta suurin osa poltetaan energiaksi. Hakkuutähteiden myynnin huono kannattavuus on osaltaan hillinnyt niiden käyttöä, sillä raaka-aineen tienvarsihintaa on tällä hetkellä alle puolet metsäteollisuuden käyttämästä kuitupuun hinnasta.

Maaseudulle soveltuvia puun ensiasteen jatkojalostusmuotoja ovat perinteisesti olleet lähinnä sirkkelisahaus, polttopuiden ja hakkeen tuotanto sekä viime vuosina myös lämpöyrittäjäys, joka on jo hieman pidemmälle menevää puuraaka-aineen hyödyntämiseen perustuvaa maaseutuyrittäjäyttä. Tarve uusille puun jatkojalostukseen perustuville maaseutuelinkeinoille ja tuotteille on kuitenkin suuri, jotta maaseudulle voitaisiin luoda uusia paikalliseen raaka-aineeseen perustuvia työpaikkoja. Tässä raportissa on esitelty mahdollisia hakkuutähteen ja hakkeen käyttökohteita.

Raportti on kirjoitettu osana EU:n Maaseuturahaston tukemaa, Centria-ammattikorkeakoulun ja Suomen metsäkeskuksen toteuttamaa Hakkeen ja hakkuutähteen uudet käyttökohteet -hanketta. Hankkeessa hakkeelle ja hakkuutähteille pyrittiin löytämään uusia käyttökohteita, sekä edistämään tietoisuutta niihin liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista.

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 37

ISBN 978-952-7173-44-2 (PDF)

ISSN 2342-933X