

Arto Pylvänäinen

Märkärainausmenetelmä luonnonkuitukomposiitin tuotannossa

Case-tutkimus paperikoneen modifioinnista ”ekotehokkaiden” granulaattien tuotantolinjaksi

Opinnäytetyö

Syksy 2011

Tekniikan yksikkö

Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma, ylempi AMK

Suuntautumisvaihtoehto: Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Arto Pylvänäinen

Työn nimi: Märkärainausmenetelmä luonnonkuitukomposiitin tuotannossa.
Case-tutkimus paperikoneen modifioinnista ”ekotehokkaiden” granulaattien tuotantolinjaksi

Ohjaaja: Pasi Junell

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 72

Liitteiden lukumäärä: 1

Samanaikaisesti kun Euroopan Unioni kannustaa jäsenmaitaan tuottamaan entistä ympäristöystävällisempiä tuotteita, se ohjaa tätä toimintaa lainsäädännön avulla. Tyypiesimerkkinä on muovinvalmistus. EU on painostanut muovinvalmistajia lainsäädäntöään tiukentamalla vähentämään öljypohjaisten materiaalien käyttöä ja osittain korvaamaan ne kierrätetyillä, biopohjaisilla materiaaleilla.

Tutkimuksen kohteena oli märkärainausmekaniikan ekotehokas käyttö muoviteollisuuden raaka-aineena käytettävän luonnonkuitukomposiitin valmistuksessa. Menetelmän kehittämistyössä huomioitiin prosessin ympäristövaikutukset ja tavoiteltiin sekä valmistusprosessin että lopputuotteen, luonnonkuitukomposiitin ekologisuutta. Tutkimuksessa mitattiin valmistusprosessin aiheuttamia ympäristövaikutuksia CO₂-ekvivalenteina kasvihuonepäästöinä. Tapaustutkimus oli osa Sastamalassa toteutettua uuden valmistusteknologian kehittämishanketta, jossa selvitettiin öljystä valmistetun muoviteollisuuden raaka-aineen osittaista korvaamista ekotehokkaamalla luonnonkuidulla.

Tutkimuksessa osittain selluloosaa sisältävän luonnonkuitukomposiitin valmistaminen osoittautui öljystä valmistetun puhtaan muovin tuottamista ekotehokkaammaksi.

Avainsanat: ekotehokkuus, luonnonkuitukomposiitti, muovi, märkärainausmekaniikka, ympäristökuormitus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree in Technology Competence Management

Specialisation: Competence Management

Author: Arto Pylvänäinen

Title of thesis: Wet press method in producing natural-fibre composites – A case study

Supervisor: Pasi Junell

Year: 2015 Number of pages: 72 Number of appendices: 1

Simultaneously when the European Union encourages its member states to produce more eco-friendly products, it guides this process through legislative actions. A case in point is plastic manufacturing. The EU has been putting pressure on the manufacturers of plastic in order to make them reduce their use of oil-based plastic materials and replace these materials partly with recycled, bio-based ones by tightening its legislation.

The study was designed to measure the eco-efficiency of the wet press method when producing natural-fibre composites. The environmental impacts of the process were considered in the development of the method. Again, we aimed at both the ecologically-sound production process and the end-product, namely, the natural-fibre composite.

The environmental impacts of the manufacturing process were determined by using a CO₂-equivalent as a unit when measuring the greenhouse gas emissions. The case study was a part of the wider development project conducted in Sastamala, which focused on the creation of the new manufacturing technologies by replacing partly oil in the plastic industry with more eco-efficient natural-fibre.

As a result of the study the production of natural-fibre composite including cellulose pulp become more eco-efficient than the production of plain, pure plastic from oil.

Keywords: eco-efficiency, environmental loads, natural-fibre composite, plastic, wet mixing/press method

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	2
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Opinnäytetyön taustaa.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja tutkimuskysymykset	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
1.3 Opinnäytetyön rakenne.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
2 TUKIMUKSEN METODOLOGIA	14
3 LUONNONKUITUKOMPOSIITILLA PIENEMPÄÄN YMPÄRIS-	
TÖKUORMITUKSEEN JA PAREMPAAN EKOTEHOKKUUTEEN	18
3.1 Ympäristökuormitus käsitteenä.....	18
3.2 Ekotehokkuus käsitteenä	20
3.3 Muovi + luonnonkuitu = luonnonkuitukomposiitti	23
3.3.1 Muovit	24
3.3.2 Luonnonkuitu	26
3.3.3 Luonnonkuitukomposiitti	27
4 LUONNONKUITUKOMPOSIITIN VALMISTAMINEN	
MÄRKÄRAINAUSMENETELMÄLLÄ	31
4.1 Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön kehittämishanke.....	31
4.1.1 Hankkeen hallinnoija.....	324
4.1.2 Hankkeen yhteistyökumppanit.....	34
4.2 Hankkeella toteutettava luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessi: märkärainaus.....	36
4.2.1 Märkärainausprosessin laitteisto.....	38
4.2.2 Massan valmistus märkärainausprosessissa.....	40
4.2.3 Massan käsittely muoviteollisuuden raaka-aineeksi	42
4.2.4 Märkärainausprosessilla valmistetun luonnonkuitukomposiitin jatkojalos- tus muoviteollisuuden raaka-aineeksi.....	45

5 MÄRKÄRAINAUSMENETELMÄN EKOTEHOKKUUS LUONNONKUITUKOMPOSIITIN VALMISTAMISESSA	47
5.1 Prosessiteollisuuden ympäristökuormitus	47
5.2 Märkärainausprosessin ympäristökuormitus.....	48
5.2.1 Kuljetusten aiheuttamat ympäristökuormitukset.....	49
5.2.2 Sähköenergian kulutuksen aiheuttama ympäristökuormitus.....	49
5.2.3 Ilmaan aiheutuva ympäristökuormitus	51
5.2.4 Veteen aiheutuva ympäristökuormitus.....	51
5.2.5 Prosessin tuottama kiinteä jäte	53
5.3 Märkärainausprosessilla valmistetun luonnonkuitukomposiitin ympäristökuormitukset.....	54
6 TUTKIMUKSEN TAVOITTEENA EKOTEHOKAS PROSESSI - ONNISTUTTIINKO SIINÄ?	57
6.1 Märkärainausprosessin kehittäminen ekotehokkaammaksi.....	58
6.2 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validius.....	59
6.3 Tutkimuksen lopuksi	61
LÄHTEET	63
LIITTEET	69

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Luonnonkuitukomposiitista valmistettu kitara.....	29
Kuva 2. Koepaperikone Ahlstrom Glassfibre Oy:n Karhulan tehtaalla	38
Kuva 3. Havainnekuva prosessin laitteiden sijoittelusta	39
Kuva 4. Märkärainauskoneen havainnekuvat	40
Kuva 5. Kuvassa takana puskusäiliö T-3 ja edessä massapulperi T-2.	41
Kuva 6. Massan syöttö perälaatikosta viiralle	42
Kuva 7. Koneen viiraosa.	43
Kuva 8. Kuivain sekä kelain, joka näkyy kuivaimen taustalla	44
Kuva 9. Märkärainausprosessin kaavio valvomon näyttöpäätteeltä	44
Kuvat 10 -11. Kompaundointi eli sulasekoitus sekä pelletöinti.....	46
Kuva 12. Valmiin tuotteen säkitys.	46
Kuva 13. Valmista muoviteollisuuden raaka-ainetta, luonnonkuitukomposiittia	46
Kuvio 1. Muovien luokitus	25
Kuvio 2. Esimerkkejä luonnonkuiduista ja niiden ryhmittely alkuperän mukaan....	27
Kuvio 3. Sastamalan koulutuskuntayhtymän jäsenkunnat sekä kuntayhtymän oppilaitokset	33
Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen muuntokertoimet CO ₂ -ekvivalenteiksi	20
Taulukko 2. Märkärainausprosessin ympäristökuormituksesta laskennallisesti saadut tulokset.....	54
Taulukko 3. Märkärainausprosessin ympäristökuormituksen tulokset 340 kg:n tuotantoerällä valmista komposiittia	56
Taulukko 4. Muovin valmistuksen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt raakaöljyä ja kierrätysmuovia käyttäen	59

Käytetyt termit ja lyhenteet

AMK	Ammattikorkeakoulu
BOD 7	Biologinen hapenkulutus seitsemän vrk:n aikana
CH₄	Metaani
C₃H₈	Propaani
CO₂	Hiilidioksidi
COD	Kemiallinen hapenkulutus
EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto
EU	Euroopan Unioni
kWh	KiloWattitunti
MIPS	(Material Input Per Service-unit) -ekotehokkuuden mittari
N₂O	Dityppioksidi (dityppimonoksidi)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
pH	Veden happamuus
SASKY	Sastamalan koulutuskuntayhtymä
TTY	Tampereen Teknillinen Yliopisto
TWh	TeraWattitunti
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

1 JOHDANTO

Tutkimuksen kohteena on muoviteollisuuden raaka-aineena käytettävän luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessin aiheuttamien ympäristövaikutusten selvittäminen sekä ympäristönäkökulman huomioon ottaminen valmistusprosessin kehittämistyössä. Uuden valmistusprosessin kehittämistyössä tavoitteena on, että prosessista ympäristölle aiheutuvasta vain kohtuullisesta ympäristökuormituksesta huolimatta valmistusprosessin käyttäminen muoviteollisuuden raaka-aineen tuotannossa tulisi olla kuitenkin myös taloudellisesti kannattavaa ja siten kilpailukykyistä teollista toimintaa. Tutkimus on osa uuden valmistusteknologian kehittämishanketta.

Kehittämishankkeen lähtökohtana on ollut lainsäädännön kiristyminen, mikä luo painetta öljypohjaisen muovimateriaalin käytön vähentämiseen ja korvaamiseen kierätettävillä ja biopohjaista ainesta sisältävillä materiaaleilla. Euroopan Unionin jäsenvaltioiden teollisuutta kannustetaan tuottamaan entistä ympäristöystävällisempiä tuotteita (Euroopan komissio 2008). Kehittämishankkeen lopullinen tavoite on luoda uutta teknologiaosaamista muoviteollisuuden raaka-aineenaan käyttämän luonnonkuitukomposiitin tuotantoon. Luonnonkuitukomposiitin avulla korvataan muovin valmistuksessa käytettävän öljyperäisen uusiutumattoman raaka-aineen käyttöä ympäristöystävällisemmillä uusiutuvilla materiaaleilla, toisin sanoen pyritään pienentämään muovituotteiden käytön aiheuttamaa hiilijalanjälkeä. Energia- ja materiaalitehokkuuden merkitys kilpailutekijänä tulee korostumaan mitä ilmeisemmin tulevaisuudessa.

Muovikomposiittien tuomia uusia vaihtoehtoja voidaan pitää mahdollisuutena yhdistää suomalaisten vahvat osaamisalueet: muoviteollisuus, metsäteollisuusosaaminen ja vahva kemian osaaminen sekä kansainvälisesti tunnustettu muotoiluosaaminen. Komposiitit mahdollistavat esimerkiksi erityisosaamista vaativien tuotteiden kannattavan valmistuksen, siksi tulevaisuuden alana muovikomposiittien valmistus voisi tuoda lisää paljon kaivattuja niin teollisia kuin akateemisiakin työpaikkoja. Luonnonkuitukomposiiteille voidaan löytää hyvin erilaisia käyttökohteita, kuten esi-

merkiksi, pakkausmateriaalit, soittimet, urheiluvälineet, rakennus-, sisustus- ja huonekaluteollisuuden tuotteet, autoteollisuuden räätälöidyt komposiitit sekä akustiset paneelit. Nämä ovat kuitenkin vain pieni osa käyttökohteista (Koto & Tiisala 2004; Vanfleteren 2011). Vuonna 2010 luonnonkuitukomposiitteja käytettiin EU:ssa 362 000 tonnia ja käytön on arvioitu nousevan vuoteen 2020 mennessä 920 000 tonniin (Carus 2012, 19). Maailman laajuisesti biopohjaisten materiaalien tuotantokapasiteetin on arveltu nousevan vuoden 2011 tuotantokapasiteetista, vajaasta 4 miljonnasta tonnista/vuosi, vuoteen 2020 mennessä noin 12 miljoonaan tonniin vuodessa (Dammer ym. 2013, 15).

Hankkeessa on asetettu tavoitteeksi luoda muoviteollisuudelle koulutukseen ja tutkimukseen soveltuva oppimisympäristö. Hankkeen avulla pyritään luomaan laitetoisto, jolla voidaan kehittää ja testata uusien muovia korvaavien biopohjaisten komposiittimateriaalien valmistusta, sekä samalla pyritään kehittämään uusien materiaalien valmistuksen liiketoimintaa. Tutkimuksesta hyötyvät mm. uusia luonnonkuitukomposiitteja tutkivat ja uutta luonnonkuitukomposiitin tuotantoa kehittämässä olevat yritykset ja tutkimuslaitokset. Hankkeen aikana syntyy uusi teollinen konsepti, joka synnyttää liiketoimintaa mm. konepajateollisuuteen. Hankkeen hallinnoija, Sastamalan koulutuskuntayhtymä (SASKY), toteuttaa hankkeen rahoituksella luonnonkuitukomposiitin valmistukseen käytettävän märkärainauskoneen toteutus suunnittelu- sekä muutos- ja asennustyöt paperikoneen muuttamiseksi märkärainauskoneeksi. Luonnonkuitukomposiitin valmistamiseen käytettävä tuotantokone rakennettiin Sastamalassa sijaitsevan Teknikum Yhtiöt Oy:n omistamaan tehdaskiinteistöön.

1.1 Opinnäytetyön taustaa

Tämä opinnäytetyönä tehty tutkimus on toteutettu Pirkanmaan liiton SASKY:n hallinnoitavaksi myöntämässä ja Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) osaksi rahoittamassa Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön ja koulutuksen kehittämisen hankkeessa, sekä tämän hankkeen lisärahoitushankkeissa. Hankkeisiin liittyi laajaa tutkimustyötä sekä hankkeilla toteutettiin uuden innovatiivisen oppimisympä-

ristön kehittäminen. Hankkeen toteuttajana on SASKY, jonka pääasiallisena yhteistyökumppanina hankkeissa toimi Elastopoli Oy, jolla on oppimisympäristön perustana toimivan märkärainaustekniikan asiantuntemus. Elastopoli Oy:n kautta on saatu hankkeeseen myös oppimisympäristön kansainväliset yhteydet. Asiantuntijoina on käytetty myös Aalto-yliopiston sekä Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) henkilökuntaa ja tuotantoprosessikoneen rakentamiseen sekä suunnitteluun liittyen myös insinööritoimistoja.

Hankkeiden hallinnoija SASKY on omistajakuntiansa omistama julkishallinnon toimija. Kuntayhtymän toimintaa ohjaa mm. laki julkisista hankinnoista ja lain nojalla annetut asetukset sekä hallintoviranomaisenohjeet (L 30.3.2007/348. Laki julkisista hankinnoista). Hankkeita on rahoitettu EAKR:n tuella, jolloin hanketuen käytölle asetetaan myös normeja, joita tulee noudattaa hanketukea käytettäessä. Kuntayhtymän toimintaa ja julkisia hankintoja ohjaavat lait ja asetukset, sekä hankkeen rahoituksen käyttöehdot on jouduttu huomioimaan luonnonkuitukomposiitin valmistukseen käytettävään märkärainauskoneeseen liittyvissä toteutussuunnittelun, sekä muutos- ja asennustöiden kilpailutuksissa ja hankinnoissa.

Opinnäytetyön aihevalintaan on vaikuttanut opinnäytetyöntekijän oma kiinnostus ratkaista ympäristökysymyksiä teknologisten sovellusten avulla. Opinnäytteen tekeminen ympäristösuojeluteknologiaan liittyen antoi tekijälleen mahdollisuuden myös syventää aikaisemmassa koulutuksessaan hankkimaansa ympäristösuojelutekniikan osaamista (tekijän aikaisempi koulutus on Ympäristösuojelutekniikan insinööri, AMK). Opinnäytetyöntekijä on toiminut tutkimuksen aikana hanketta toteuttavassa organisaatiossa, SASKY:n erään tulosalueen johtajana, Mäntän seudun koulutuskeskuksen rehtorina, mutta ei ole ollut varsinaisen virkatehtävänsä puolesta vastuussa kuntayhtymän hanketoiminnasta.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Teollisuutta kannustetaan tuottamaan entistä ympäristöystävällisempiä tuotteita ja samalla kuluttajien käyttäytymistä pyritään ohjaamaan informaatiolla, veroilla ja lain-

säädännöllä huomioimaan kulutustottumuksissaan käyttämiensä hyödykkeiden ympäristökuormitus. Euroopan Unionin kestäväällä teollisuuspolitiikalla, jota muun muassa ympäristö- ja energiatehokkuusmerkinnät ovat, pyritään hyödykkeiden tuottajia kannustamaan ympäristöä säästävien tuotteiden valmistamiseen ja uusien tuotantomenetelmien kehittämiseen. (Euroopan komissio 2008.)

Öljy on keskeinen energiatalouden tuotantotekijä ja uusiutumaton luonnonvara, jonka käyttöön joudutaan kiinnittämään huomiota pyrittäessä ekotehokkaaseen elämäntapaan. Tunnetut perinteiset öljyvarannot maailmassa arvioidaan olevan noin 1,3 biljoonaa barreliä eli suurin piirtein 100 miljardin tonnin suuruiseksi. Tämän lisäksi on vielä liuskeöljyä, jonka pumppaaminen ja jalostaminen on huomattavasti työläämpää. (Kangasniemi 2008.) Mikäli uusia öljyvarantoja ei enää löydetäisi ja vuosittainen kulutus pysyisi nykyisellä tasolla noin 3,9 miljardissa tonnissa, olisivat maailman öljyvarannot käytetty jo 40–50 vuodessa (Lyytimäki & Hakala 2008, 205).

Hankkeessa, jossa tämä opinnäytetyö toteutettiin, on asetettu tavoitteeksi kehittää muoviteollisuuden käyttämän luonnonkuitukomposiittiraaka-aineen valmistusta. Tämän valmistusprosessin kehittämisen tavoitteena on taloudellisesti kannattavan konstruktion luominen muoviteollisuuden raaka-aineenaan käyttämän luonnonkuitukomposiittimateriaalin valmistamiseen. Käyttämällä luonnonkuitukomposiittia muoviteollisuuden raaka-aineena voidaan osittain korvata uusiutumattoman luonnonvaran, öljyn, käyttöä. Eräänä tavoitteena muoviteollisuuden raaka-aineeksi soveltuvan luonnonkuitukomposiitin valmistuksessa on, että muoviteollisuuden käyttäessä raaka-aineenaan luonnonkuitukomposiittia voidaan muovista valmistettujen tuotteiden ympäristökuormitusta vähentää.

Luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessilla tulee olemaan ympäristövaikutuksia ainakin prosessin tarvitseman raaka-aineen tuotannon, prosessin energiankäytön ja prosessin ilmaan sekä veteen aiheuttamien päästöjen muodossa. Näiden ympäristövaikutusten selvittäminen on tämän opinnäytetyön keskeinen tavoite. Tiivistäen tämän opinnäytetyönä tehdyn tutkimuksen tavoitteena on todentaa toimiva ja taloudellinen sekä ympäristövaikutuksiltaan mahdollisimman vähäkuormitteinen luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessi.

Luonnonkuitukomposiitteihin liittyvää tukimusta on jonkin verran tehty 2000-luvun Suomessa. Seuraavissa tutkimuksissa on mm. tutkittu luonnonkuitukomposiittia materiaalina tai luonnonkuitukomposiitin soveltuvuutta tiettyihin käyttötarkoituksiin:

- Kauhanen (2008) Puumuovikomposiiteilla ekotehokkaampiin ratkaisuihin
- Finér (2009) Luonnonkuitujen käyttöä komposiiteissa ja kuituvaloksissa
- Elo (2010) Luonnonkuitulujitteiset komposiitit
- Lankinen (2010) Puupohjaisten kuitukomposiittien materiaalitekniset mahdollisuudet veneteollisuudessa
- Keskisaari (2011) Luonnonkuitulujitetut komposiitit tuulienergian tuotannossa
- Sallinen (2012) Hybridikomposiitin hyödyntämistä tuulivoimalan rakenteissa
- Paajanen (2013) Kaupallisten komposiittituotteiden materiaaliominaisuuksien määrittäminen ja vertailu
- Sainila (2013) Kytöntäaineet puumuovikomposiiteissa.

Edellä mainitusta luettelosta käy hyvin selville, että luonnonkuitua käsittelevät tutkimukset ovat keskittyneet selvittämään luonnonkuidun ominaisuuksia, työstämistä ja käyttösovellutuksia, kun taas luonnonkuidun valmistusprosessiin liittyvä tutkimus, mitä näkökulmaa tämä opinnäytetyö edustaa, on lähes olematonta. Tämä vahvistaa ajatusta, että opinnäytetyön aihe on ajankohtainen.

Luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessissa, kuten yleensäkin prosessiteollisuudessa, vesi ja vedenkäyttö on hyvin merkittävässä osassa. Siksi tämä opinnäytetyönä tehtävä tutkimus päädyttiin aluksi rajaamaan vain luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessissa käytettävään raaka- ja jäteveden käytön aiheuttamiin ympäristökysymyksiin. Tutkimuksessa selvitettiin raakaveden käyttöä prosessissa sekä prosessin tuottamaa jätevesikuormitusta. Hankkeen kuluessa ja tuotantoprosessin kehittämisessä on lopputuloksena päädytty teknologisiin toteutuksiin, joilla raakaveden käytön osalta, sekä jäteveden aiheuttamassa ympäristökuormituksessa päästään kohtuullisen pieniin negatiivisiin ympäristövaikutuksiin. Niinpä työtä laajennettiin ottamalla mukaan tähän työhön myös muita luonnonkuitukomposiitin valmistuksen aiheuttamia ympäristökuormituksia ja pyrkien siten arvioimaan koko valmistusprosessin ympäristövaikutuksia.

Opinnäytetyölle asetetut tutkimuskysymykset muotoiltiin seuraavasti:

1. Miten luonnonkuitukomposiitti määritellään?
2. Millainen on luonnonkuitukomposiitin tuotantoprosessi märkärainaus-menetelmää käyttäen?
3. Millainen on luonnonkuitukomposiitin tuotantoprosessin arvioitu ympäristökuormitus ja ekotehokkuus?

1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyö rakentuu johdannosta, tutkimusmenetelmien kuvaamisesta, teoriaosuudesta, tutkimustyöstä ja sen tuloksista, tutkimustuloksista tehdyistä johtopäätöksistä ja työn yhteenvetoarvioinnista. Johdantoluvussa, luvussa yksi, esitellään lyhyesti tutkimusaihe ja tutkimuksen konteksti. Luvussa tiivistetään tutkimuksen tarkoitus. Lisäksi esitetään tutkimuskysymykset, tiedonhankintapa, tutkimuksen metodiset ratkaisut sekä tutkimusraportin rakenne.

Tutkimusmetodologiaosiossa, luvussa kaksi, kuvataan tässä tutkimuksessa keskeisesti käytettyä tutkimusstrategiaa case-tutkimusta. Lisäksi luvussa kaksi tarkastellaan tämän tutkimuksen tutkimusmetodologiaan kuuluvia tiedonhankinnan metodeja: dokumentteja, valokuvia, piirustuksia ja havainnointia, sekä niiden käyttöä tässä tutkimuksessa. Havainnointi pohjautuu tässä opinnäytetyössä opinnäytetyön tekijän omaan havainnointiin tutkimuskohteesta.

Alkujohdannon ja tutkimusmetodologisen osion jälkeisessä teoriaosuudessa, luvussa kolme, määritellään työn keskeiset käsitteet: ympäristökuormitus ja ekotehokkuus sekä luonnonkuitukomposiitti. Luvussa neljä kuvataan tähän kyseiseen opinnäytetyöhön oleellisesti liittyvää luonnonkuitukomposiitin valmistuksen kehittämishanketta sekä luonnonkuitukomposiitin valmistukseen liittyvää prosessia. Luvussa käsitellään myös ne konstruktioratkaisut, joiden avulla saavutettiin opinnäytetyön luvussa viisi esitetyt tulokset.

Viidennessä luvussa tarkastellaan yleensäkin prosessiteollisuuden ympäristölle aiheuttamia kuormituksia, sekä arvioidaan näiden ympäristövaikutusten esiintymistä

märkärainausprosessissa. Ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä pohditaan myös prosessin ympäristökuormitusten minimointimahdollisuuksia tutkimuksen kohteena olevassa luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessissa. Lisäksi luvussa viisi esitetään märkärainausmenetelmällä valmistetun luonnonkuitukomposiittikoeerän valmistuksesta mitatut ympäristökuormituksen tulokset.

Luvussa kuusi analysoidaan tutkimustuloksia ja arvioidaan prosessissa saavutettua ekotehokkuutta sekä esitetään korjausehdotuksia prosessin ekotehokkuuden parantamiseksi. Luvussa arvioidaan myös tutkimuksen reliabiliteetti ja validius. Lopuksi esitetään lyhyt yhteenvedonomainen pohdinta koko opinnäytetyöstä ja sen toteuttamisesta.

2 TUKIMUKSEN METODOLOGIA

Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan toiminnallinen tapaustutkimus, Jorma Kanasen (2013, 9) sanoin case-tutkimus. Tämän case-tutkimuksen tavoitteena on luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessin kuvaaminen sekä prosessin kehittäminen ekotehokkaaksi muoviteollisuuden raaka-aineen valmistusmenetelmäksi. Tämän opinnäytetyön tapauksena, eli casena, on paperikoneen modifiointi ekotehokkaiden granaattien tuotantolinjaksi valmistettaessa muoviteollisuuden käyttämää raaka-ainetta luonnonkuitukomposiitista.

Case- eli tapaustutkimuksessa on kyse perinteisten kvalitatiivisten ja kvantitatiivisten tutkimusotteiden yhdistelmästä. Case-tutkimus koostuu tutkittavan ilmiön selvittämisen kannalta tarpeellisista analyysi- ja tiedonkeruumenetelmistä. Case-tutkimus soveltuu hyvin käytettäväksi silloin, kun kyseessä on käytännön ongelmien kokonaisvaltainen kuvaus ja tarkastelu, missä ei haluta sulkea pois tilastollisten aineistojen käyttöä tutkittavan tapauksen kuvaamisessa. (Kananen 2013, 9; Syrjälä, Ahonen, Syrjäläinen & Saari 1995, 11.) Tässä opinnäytetyönä tehdyssä tutkimuksessa case- eli tapaustutkimus ei ole pelkästään kvalitatiivista tutkimusta, vaikka tapaustutkimus voidaan ymmärtää keskeiseksi kvalitatiivisen metodologian tiedonhankinnan strategiaksi, sillä lähes kaikki strategiat käyttävät lähestymistapanaan tapaustutkimusta. Toisin sanoen lähes kaikki kvalitatiivinen tutkimus on tapaustutkimusta. (Metsämuuronen 2006, 212.)

Tapaus- eli case-tutkimukset ovat usein ”askel toimintaan”. Niiden lähtökohta on usein toiminnallinen ja tutkimuksen tuloksia myös sovelletaan käytännössä. Metsämuuronen (2008, 17) kirjassa ”Laadullisen tutkimuksen perusteet” antama määritelmä tapaustutkimuksesta on hyvin sovitettavissa tämän opinnäytetyön toteuttamiseen. Opinnäytetyö on hyvin toiminnallinen ja tutkimuksen tulokset on otettu käyttöön jo ennen kuin opinnäytetyö on valmistunut. Tutkimuksessa ei ole vastakainaseteltu kvantitatiivista ja kvalitatiivista tutkimusotetta. Tutkimus sisältää kvantitatiivisen mittauksen tutkittavaksi valitusta seikasta, prosessin energiankulutuksesta ja myös muita prosessin ympäristövaikutuksia tarkastellaan määrällisesti mi-

tattavin suurein. Mittaustulosten analysoinnilla on saatu vastaus tutkimukselle asetettuun tärkeimpään tutkimuskysymykseen, siihen millainen on luonnonkuitukomposiitin tuotantoprosessin arvioitu ympäristökuormitus ja ekotehokkuus. (Metsämuuronen 2006, 253–254.)

Case-tutkimus on nimensä mukaisesti tutkimuksellinen lähestymistapa, joka soveltuu tutkimuksiin, joissa tarkastellaan jopa mahdollisesti vain yhtä havaintoyksikköä ja jossa on kyseessä käytännön ongelmien kokonaisvaltainen tarkastelu ja kuvaus. Case-tutkimukseen ryhdytään, kun halutaan tutkia erityistapauksia, kun tutkimusongelmat ovat luonteeltaan kokonaisvaltaisia, urauurtavia tai syvälle luotaavia. Case-tutkimukselle on luonteenomaista, että yksittäisestä tapauksesta tuotetaan yksityiskohtaista, intensiivistä tietoa. Aineistonkeruussa käytetään useita menetelmiä ja tyyppillisesti tavoitellaan nimenomaan ilmiöiden kuvailemista. (Hirsjärvi & Hurme 2001, 58; Kananen 2013, 28; Saarela-Kinnunen & Eskola 2001, 159; Syrjälä, ym. 1995, 12.)

Tässä opinnäytetyössä tiedonhankintameteodeina käytettiin erilaisia dokumentteja, valokuvia, rakennepiirustuksia, prosessikaavioita, virtausmääräarvioita, mittaustuloksia sekä tilastoja ja havainnointia. Havainnointi pohjautui opinnäytetyön tekijän omaan havainnointiin tutkimuskohteesta. Viralliset dokumentit ovat yleinen kvalitatiivinen tutkimuksen tapa hankkia tietoa tutkittavasta kohteesta. Virallisia dokumentteja ovat esimerkiksi erilaiset tilastot ja projektiasiakirjat, joita tässä tutkimuksessa ovat tarjouspyynnöt, hankinta-asiakirjat, sopimukset, pöytäkirjat, muistiot, lausunnot, hankesuunnitelmat ja rahoituspäätökset. Tutkimukseen liittyvät haastattelut toteutettiin tutkimuskohteessa Sastamalassa, ja yksi haastattelu tehtiin prosessikoneeksi valitun aiemmin koepaperikoneena toimineen prosessikoneen koneenkäyttäjän kotona, Kotkassa. Luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessi on tässä opinnäytetyössä kuvattu ja prosessin ympäristövaikutukset mitattu tapaus- eli case-tutkimuksen keinoin analysoimalla monin eri tavoin projektiasiakirjoja ja ennen kaikkea mittaustuloksia. (Eskola & Suoranta 1998, 119–120; Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2005, 206.)

Havainnoinnilla (observoinnilla) tarkoitetaan aineiston keruutapaa, jossa tutkija tavalla tai toisella osallistuu tutkimuskohteesta kerättävän tiedon systemaattiseen tallentamiseen. Hän saa siten reaaliaikaista tietoa, mitä tutkimuskohteessa todella tapahtuu. Tutkijan osallistumisaste voi vaihdella piilohavainnoinnista osallistavaan havainnointiin. Opinnäytetyön tekijän pääasiallista roolia tässä tutkimuksessa kuvaisi käsite: havainnointi ilman varsinaista osallistumista. (Eskola & Suoranta 1998, 101; Hirsjärvi & Hurme 2001, 38; Hirsjärvi ym. 2005, 201–202.) Toki opinnäytteen tekijä on osallistunut työpanoksellaan myös prosessin toimintaan vaikuttavien lupamenetelyjen valmisteluun sekä prosessikoneeseen käyttöön otettujen pumppujen valintaan, mutta varsinainen projektinvetovastuu oli toisilla hankkeeseen palkatuilla henkilöillä. Prosessista saatujen kvantitatiivisten mittaustulosten analysointi oli pääosassa prosessista saatujen tulosten arvioinnissa.

Havainnoinnin vahvuutena on välittömän ja suoran tiedon hankkiminen tutkimuskohteesta. Toki havainnointi on varsin aikaa vievä tiedonkeruutapa. (Hirsjärvi ym. 2005, 202–203.) Opinnäytetyöhön liittyvä havainnointi on alkanut vuonna 2011. Havainnointia kesti yli kolme vuotta. Havainnointiin on liittynyt vierailuja ja tehdaskäynnejä. Opinnäytetyön tekijä on toiminut Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön ja koulutuksen kehittäminen -hankkeiden ohjausryhmän varajäsenenä koko hankkeiden keston ajan, alkaen vuodesta 2010. Hankkeen ohjausryhmätyöskentelyyn osallistuminen on mahdollistanut havainnoinnin kannalta tärkeän reaaliaikaisen tiedon saamisen hankkeen etenemisestä, ohjaustoiminnasta sekä pääsyn kaikkiin hankkeen asiakirjoihin ja sisäisiin tiedostoihin. Ensisijaisena tavoitteena oli löytää aineiston avulla ratkaisu tutkimusongelmaan ja vastaukset tutkimusongelmasta johdettuihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuksessa käytettiin klassisen case-tutkimuksen muotoa: kirjoitettiin ilmiöstä kuvaus, jossa selvitettiin tutkimuskohteen toimintaa (Kananen 2013, 107, 112).

Tutkimusaineiston käsittely sisälsi monia vaiheita analyysistä synteisiin. Analyysissä eriteltiin aineistoa ja synteessissä luotiin kokonaiskuvaa tapaustutkimuksen kohteesta. Analysointiprosessi eteni kolmivaiheisesti: kuvailemalla, luokittelemalla ja yhdistelemällä. Kuvailemalla kartoitettiin tukittavaa kohdetta, luonnonkuitukomposiittin valmistusprosessia ja sen etenemistä. Kuvauksessa oli tärkeä sijoittaa prosessi aikaan, paikkaan ja toimintaympäristöön, johon prosessi kuuluu. Näin ollen

kontekstitieto prosessin ympäristövaikutuksista ja ekotehokkuudesta oli tutkimuksen kannalta keskeistä. Luokittelun avulla analysoitiin luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessista saatua mitattavaa aineistoa ympäristövaikutusten ja ekotehokkuuden näkökulmasta. Aineiston yhdistelyn lopputuloksena kuvattiin tuotantoprosessi, jolla pyritään tuottamaan perinteistä öljystä valmistettua muoviteollisuuden raaka-ainetta ekotehokkaampaa raaka-ainetta, luonnonkuitukomposiittia. (Hirsjärvi & Hurme 2001, 143–152.)

3 LUONNONKUITUKOMPOSIITILLA PIENEMPÄÄN YMPÄRISTÖ- KUORMITUKSEEN JA PAREMPAAN EKOTEHOKKUUTEEN

Tutkimuksen onnistuminen edellyttää tutkittavan asian kannalta oikeita käsitteitä. Mikäli käsitteet kuvaavat huonosti tutkittavaa asiaa, on myös tutkimus sen mukainen. (Hirsjärvi ym. 2005, 137–141.) Tutkimuksessa oli tavoitteena selvittää luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessin ympäristövaikutuksia. Tutkimuskysymykset on asetettu siten, että prosessista halutaan selvittää prosessin aiheuttama ympäristökuormitusta, sekä prosessin ekotehokkuutta. Tutkija on joutunut valitsemaan ne käsitteet, joilla kyseisiä asioita mitataan. Käsitteeksi, joilla prosessin ympäristövaikutuksia ja ekotehokkuutta työssä mitattiin, on valittu prosessista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt, jotka voidaan muuttaa yhteismitalliseksi hiilidioksidipäästöiksi, CO₂-ekvivalentiksi. Kasvihuonekaasupäästöistä on saatu käsite, jota voidaan käyttää vertailukelpoisena mittarina prosessin tulosten arvioimisessa. Prosessin kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi työssä kuvattiin myös muut prosessista ympäristölle aiheutuvat kuormitukset. Seuraavaksi määritellään tämän opinnäytetyön keskeiset käsitteet, joita ovat ympäristökuormitus, ekotehokkuus sekä luonnonkuitukomposiitti.

3.1 Ympäristökuormitus käsitteenä

Ympäristöpoliittisessa keskustelussa on vaadittu luonnonvarojen, erityisesti uusiutumattomien luonnonvarojen, käytön vähentämistä ja niiden kulutuksen hillitsemistä. Uusiutumattomat luonnonvarat, kuten fossiiliset polttoaineet ja malmit, ehtyvät aina kun niitä käytetään. Väestön kasvu sekä elintason nousu myös kehitysmaissa pakottaa kuluttajat suhtautumaan luonnonvarojen rajallisuuteen niiden käytön järjeistämällä. Suuri osa luonnosta otetuista aineista ei valitettavasti koskaan tule edes kulutettavaksi varsinaisina tuotteina, vaan ne poistuvat taloudesta tuotannon eri vaiheissa syntyvinä jätteinä. (Dahlbo, Seppälä, Tenhunen, Pylkkö & Lohi 2003, 7.)

Luonnonvarojen käytön vähentämisellä tavoitellaan tuotannon ja yhteiskunnan materiaali-intensiteetin (raaka-aine-, luonnonvara- ja energiapanokset suhteessa tuotokseen) alentamisesta, eikä suinkaan elintason laskua tai kehityksestä taantumista. Tämä tarkoittaa, että aiempaa niukemmalla, tehokkaammalla ja säästeliäämmällä materiaalien käytöllä saataisiin aikaan nykyistä enemmän tuotteita tai palveluita. Materiaali-intensiteetin alentamiseksi tarvitaan mm. lisääntyvää materiaalien kierrätystä sekä uudenlaista tuotesuunnittelua, josta myös tässä tutkimuksessakin on kyse. Luonnonvarojen käytön vähentämisen oletetaan automaattisesti vähentävän myös ympäristön kuormitusta. (Dahlbo ym. 2003, 7, 9.)

Ympäristökuormituksella tarkoitetaan luonnonvarojen käytön ohella myös maaperään, vesiin sekä ilmaan kohdistuvia ympäristöä kuormittavia päästöjä ja kaikkea muutakin ympäristöä eri tavoin kuormittavaa toimintaa. Nämä ympäristöä kuormittavat toiminnot voivat ilmetä esimerkiksi ilmastonmuutoksena, happamoitumisena, maaperän saastumisena tai sen köyhtymisenä sekä luonnon monimuotoisuuden vähentymisenä. Ilmakehään aiheutettujen päästöjen vaikutuksia arvioitaessa on noussut keskeiseksi käsitteeksi kasvihuonekaasupäästöt, joilla tarkoitetaan maapallon ilmakehän lämpenemiseen eli kasvihuoneilmiön voimistumiseen vaikuttavia kaasupäästöjä. Tarkasteltaessa eri kaasujen vaikutusta kasvihuoneilmiöön päästöt yhteismitallistetaan, eli muunnetaan ekvivalenttiseksi hiilidioksidiksi lämmityspotentiaalikerroimen avulla. Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekvivalentti) on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus. Lämmityspotentiaali ottaa huomioon paitsi kaasujen erilaiset lämpösäteilyn läpäisyominaisuudet myös niiden erilaiset viipymäajat ilmakehässä. Esimerkiksi metaanipäästön kumulatiivinen lämmitysvaikutus sadan vuoden ajalta laskettuna on 21 kertaa hiilidioksidipäästön vaikutuksen suuruinen. Näin ollen metaanikaasun CO₂-ekvivalenttikerroin on 21, kun taas dityppioksidi (N₂O), jota vapautuu jonkin verran valmistettaessa muovia öljystä, on yli 300 kertaa haitallisempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi, ja saa CO₂-ekvivalenttikerroimen 310. (Helsingin Energia 2015; Ilmatieteenlaitos 2015.)

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen muuntokertoimet CO₂-ekvivalenteiksi (Myllymaa, Tohka, Dahlbo & Tenhunen 2006, 44).

Päästökomponentti	Kerroin (CO ₂ -ekvivalenteiksi)
Hiilidioksidi	1
Metaani	21
Typpioksiduuli	310

Ympäristöä kuormittavien päästöjä mitataan päästötonnien avulla. Kestävän kehityksen toteutumisen näkökulmasta ponnistelut ympäristöön kohdistuvien päästöjen vähentämiseksi nykyisin päästörajoituksin ovat riittämättömiä. Valtioiden välisten sopimusten aikaansaaminen yhteisesti sovituille pääpäästörajoituksille on osoittautunut auttamattoman hitaaksi prosessiksi. Tuotteiden valmistamiseen käytettyjen materiaalivirtoja tulisi puolittaa vuoteen 2015 mennessä, jotta luonnonvarojen kulu- tus saataisiin kestäväälle pohjalle. (Berninger 2012, 27.)

3.2 Ekotehokkuus käsitteenä

Erilaisten ympäristövaikutuksien keskinäinen arvottaminen on erittäin vaikeaa. Eräs näkökulma tuotteiden ja hyödykkeiden ympäristökuormitusten arvioimiseen on lähestyä asiaa tuotteen ekotehokkuuden näkökulmasta. Ekotehokkuus on yksi viimeaikaisista ympäristöpoliittiseen keskusteluun lanseeratusta termeistä. Ekotehokkuus-termin lanseerasi vuonna 1992 kansainvälistä elinkeinoelämää edustava järjestö the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa, niin sanotussa Rion kokouksessa. (Dahlbo ym. 2003, 10.)

Ekotehokkuus voidaan the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) -järjestön raportin mukaan määritellä hyödyn (output) ja panoksen (input) suhteena. Tällöin hyöty on yrityksen, sektorin tai talouden tuottamien tuotteiden ja palveluiden arvo. Arvolla tässä voidaan tarkoittaa taloudellisen arvon lisäksi

myös tuotteen laatua tai muuta ominaisuutta, joka toteuttaa kuluttajan tarpeita. Ekotehokkuuden on sanottu ilmaisevan myös tehokkuutta, jolla inhimilliset tarpeet täytetään käyttäen ekologisia resursseja. (Dahlbo ym. 2003, 10.)

Panos on yrityksen, sektorin tai talouden aiheuttamien ympäristöön kohdistuvien ympäristökuormitusten (pressures) summa. Ympäristöön kohdistuu kuormituksia mm. tuotannon aiheuttamista päästöistä, energiankulutuksesta ja maankäyttötoiminnoista. Erilaiset ympäristökuormitukset pyritään yhdistämään toisiinsa nähdessä ympäristövaikutusten näkökulmasta. Käytännössä ympäristöön kohdistuvilla yhteenlasketuilla ympäristökuormituksilla halutaan kuvata tarkasteltavan toiminnan aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Edellä esitetyn perusteella ekotehokkuudelle saadaan seuraava kaava:

$$\text{Ekotehokkuus} = \frac{\text{Tuotteiden ja palveluiden arvo (output)}}{\text{Toiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset (input)}}$$

Tiivistäen ekotehokkuus-käsitteen ydinajatuksena voidaan pitää niukkuuden maksimointia - tuottamalla vähemmästä ja vähemmällä enemmän. Ekotehokkuutta kuvataan tuotoksen ja panosten suhteena, jossa hyödykkeiden arvo on tuotoksena ja panoksena kaikki toiminnasta aiheutuva ympäristörasitus. Ekotehokkuuden kohotessa kasvaa myös ekotehokkuutta ilmaiseva suhdeluku. (Dahlbo ym. 2003, 10–11.)

Ekotehokkuuden mittaamiseksi on nähty tarpeelliseksi sopia erilaisia mittavissa olevia indikaattoreita, kuten luonnonvarojen kokonaiskäyttöä, energiakulutusta, päästöjä veteen sekä päästöjä ilmakehään. Maankäytön ympäristövaikutuksille ei toisistaan ole olemassa samanlaisia valmiita mittareita kuin päästöille, mutta luonnonvarojen käytön katsotaan indikoivan ainakin osittain myös maankäytön ympäristövaikutuksia. Näin ollen ekotehokkuuden mittaamisen kannalta luonnonvarojen käyttö ja päästöt yhdessä muodostavat kokonaiskuvan toimintojen aiheuttamista ympäristöön kohdistuvasta kuormituksesta. Edellä esitetyssä ekotehokkuutta määrittävässä kaavassa toiminnasta aiheutetun ympäristövaikutuksen (input) arvioimiseksi on olemassa yleispäteviä indikaattoreita, kuten tässä opinnäytetyössä käytetty hiilidioksidiekvivalentti kasvihuonekaasupäästö. Sitä vastoin ekotehokkuudelle

esityksessä kaavassa toiminnasta aiheutuvien ympäristövaikutusten kanssa vastakain olevalle tuotteiden ja palveluiden arvon (output) arvioimiseksi ei ole esitetty yleispäteviä indikaattoreita. (Dahlbo ym. 2003, 7, 11, 31; Rissa 2001, 30.)

Käsitettä ekotehokkuus käytetään myös siten, että toiminnan tai tuotteen koko elinkaaren aikaisesta käytöstä aiheutuneet ympäristökuormitukset pyritään arvioimaan koko tuotteen elinkaaren ajalta elinkaariajattelun periaatteiden mukaisesti. Ympäristökuormitusten aiheuttamat ympäristövaikutukset pyritään esittämään vaikutusindikaattoreina tuotteen ekotehokkuusarvioissa. Koko tuotteen elinkaaren aikaisen ekotehokkuuden mittaamiseen on kansainvälisesti lanseerattu Wuppertal-instituutin 1990-luvulla kehittämä MIPS (Material Input Per Service-unit) ekotehokkuuden mittari.

$$\text{MIPS} = \frac{\text{material input}}{\text{service-unit}} = \frac{\text{materiaalipanokset}}{\text{palvelusuorite}}$$

MIPS–ekotehokkuuden mittarissa materiaalipanokseen lasketaan tuotteen tai palvelun koko elinkaarensa aikana vaatimien, myös käyttövaiheessa näkymättömien materiaalipanosten summa, ja samoin palvelusuoritteeseen lasketaan tuotteen tai palvelun kaikkien käyttökertojen eli palvelusuoritteiden summa. MIPS kuvaa luonnonvarojen kokonaiskulutuksen ja aikaansaadun hyödyn suhdetta eli hyödykkeen ”ekologista selkäreppua”. (Dahlbo ym. 2003, 11; Rissa 2001, 59; Schmidt-Bleek 2002, 13–14.)

Luonnonvarojen käytön tehostaminen on nähtävä oikean suuntaisena toimintalinjana pyrittäessä parantamaan ekotehokkuutta vähentämällä tuotteista ja palveluista aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Ekotehokkuus-termiä on käytetty kotimaisessa keskustelussa myös luonnonvarojen käytön tehostamistavoitteiden synonyyminä. Ekotehokkuutta voidaan parantaa luonnonvarojen tehokkaamman hyödyntämisen lisäksi vähentämällä tuotteen valmistuksessa ympäristölle aiheutuvia ympäristövaikutuksia tuotannosta aiheutuneiden päästöjen puhdistustekniikan avulla. (Dahlbo ym. 2003, 9–11.)

Euroopan Unionin jäsenvaltioiden teollisuutta kannustetaan tuottamaan entistä ympäristöystävällisempiä tuotteita (Euroopan komissio 2008). Määrittelemällä hyödykkeiden ekotehokkuus yhteisesti sovitulla tavalla voidaan lopputuloksena vaikuttaa kotitalouksien, viranomaisten sekä yritysten ympäristömyönteisempään käyttäytymiseen. Juuri näitä tuotteen valmistuksesta ympäristölle aiheutuvia ympäristövaikutuksia tässä opinnäytetyössä pyritään selvittämään.

3.3 Muovi + luonnonkuitu = luonnonkuitukomposiitti

Komposiitti koostuu kahdesta tai useammasta materiaalista. Materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole sulautuneet tai lienneet toisiinsa, eivätkä ole myöskään muodostaneet kemiallisesti uutta yhdistettä. Komposiitissa yhdistämisen tavoitteena on yhdistää kahden tai useamman eri materiaalin ominaisuudet niin, että tulos on enemmän kuin osiensa summa. Komposiitin tarkoituksena on luoda kahdesta erilaisesta materiaalista lopputuote, joka on lähtömateriaalien ominaisuuksien ainutlaatuinen yhdistelmä. Komposiitin osat määritellään perinteisesti lujitteeksi ja matriisimateriaaliksi. Matriisi sitoo yhdistelmän kokonaisuudeksi lujitteen tuodessa komposiitille haluttuja lujuusominaisuuksia. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2007, 17.)

Päivittäisessä käytössä on hyvin useita materiaaleja, jotka luokitellaan komposiiteiksi. Tällaisia ovat lujitemuovit, joihin kuuluvat polyesterin tai epoksin ja lasikuidun tai hiilikuidun yhdistelmät. Komposiitit luokitellaan kuitulujitettuihin, laminaatti- ja partikkelikomposiitteihin, mutta myös kerros- eli sandwich-rakenteisiin sekä solurakenteisiin. Komposiittimateriaaleilla saavutetaan korkea lujuus ja jäykkyys suhteessa niiden kevyeen painoon. Niitä käytetäänkin näiden ominaisuuksiensa takia eniten korkeaa suorituskykyä vaativissa rakenteellisissa sovelluksissa. Komposiitteja luokitellaan niissä olevien materiaalien perusteella. (Saarela ym. 2007, 17, 22.)

3.3.1 Muovit

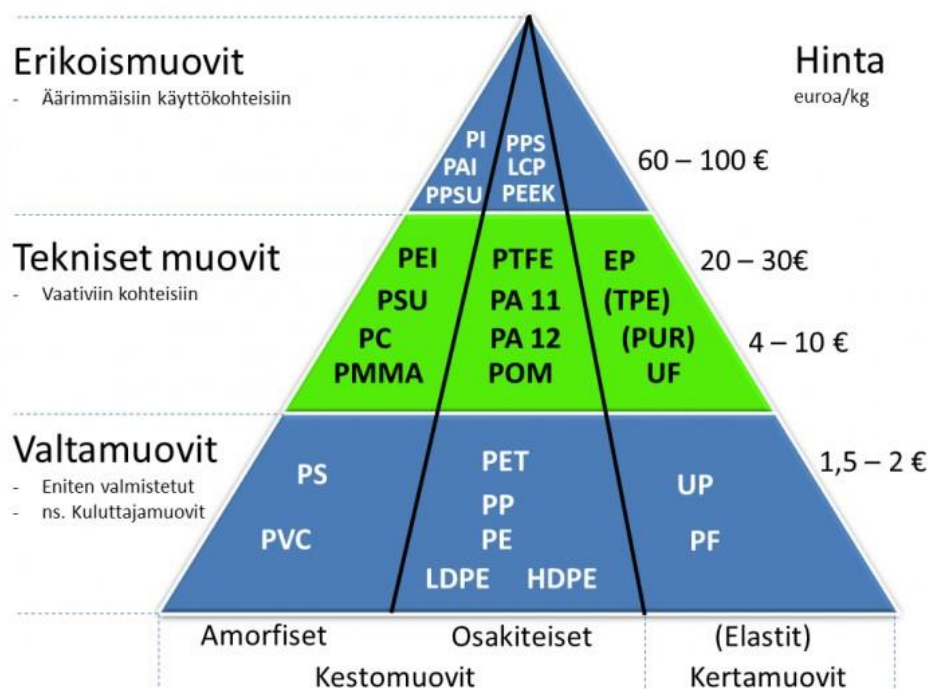
Muovit ovat suurimolekyylisiä, synteetisissä reaktioissa syntyviä polymeerejä. Muovit voidaan jaotella ryhmiin monin eri perustein. Erilaisia muovilaatuja on kymmeniä tuhansia. Ominaisuuksiensa perusteella muovit jaetaan yleisesti kahteen pääryhmään, kestonuoveihin ja kertamuoveihin. Molekyyliarakenteen mukaan muovit jaetaan osakiteisiin ja amorfisiin nuoveihin. Koneenrakennuksen kannalta muovit jaotellaan yleisesti kuitenkin niiden kemiallisen rakenteen mukaan, sillä kemiallinen rakenne määrää muovin ominaisuudet ja näin sen käyttötarkoituksen. Kemiallisen rakenteen mukaan tehdyssä jaottelussa muovien pääryhmät ovat kestonuovit, kertamuovit, elastomeerit, lujitemuovit (eli komposiitit) ja solumuovit. (Saarela ym. 2007, 18; Vienamo & Nykänen 2010.)

Kestonuovit ovat öljystä valmistettuja, synteettisiä polymeerejä, joita voidaan sulattaa ja muovata toistuvasti. Kestonuovit ovat ympäristöystävällisempiä ja hinnaltaan edullisempia kuin kertamuovit. Kestonuvoin uudelleen muovattavuus antaa hyvät lähtökohdat materiaalikierrätykselle, mutta haastetta tuo materiaalin ja sen käytön monimuotoisuus. Pääraaka-aineensa öljyn ansiosta nuoveilla on hyvä lämpöarvo, joten nuoveja voidaan materiaalikierrätyksen lisäksi hyödyntää myös energiana. Kierrätysmuovin käyttö on erittäin hyvä ratkaisu, sillä muovin valmistaminen öljystä muoviteollisuuden raaka-aineeksi on prosessi, joka kuluttaa paljon energiaa, ja muovien kierrätyksessä säästöjä syntyy vältetyistä energian päästöistä. (Myllymaa, Moliis, Tohka, Rantanen, Ollikainen & Dahlbo 2008, 33.)

Muovien raaka-aineista jopa 99 % on fossiilisista polttoainetta. Kiinnostus biomassan käyttämisestä muovin tuotannossa on kasvussa, mutta silti biomassan osuus muovituotannon raaka-aineena yhä hyvin pieni. (Suomen YK-liitto 2014.) Vuonna 1998 maailmassa kulutetusta öljystä käytettiin 4–5 % muovin valmistukseen. Vaikka muovi ei ole öljyn suurkuluttaja, niin muovituotteiden hajoamattomuus on myös osaltaan edistänyt keskustelua biohajoavien ja uusiokäytettävien muovien kehittämiseksi. (Malén 2002, 16.)

Muovituotteiden valmistuksen etuna on tuotteiden valmistaminen pienellä energiamäärällä. Muovi raaka-aineena sopii hyvin kappalevarateollisuudessa suurien

sarjojen valmistukseen. Käytettäessä valmistusmenetelmänä ruiskuvalu- tai suula-kepuristusmenetelmiä tuotteet saadaan kerralla valmiiksi ilman tuotteiden valmistuksessa hukkaan menevää materiaalia. Muovimateriaalien käyttöä rajoittaa materiaalin lämmönkestävyys. (Teknologioteollisuuden 100-vuotissäätiö 2009, 99–116.)



Kuvio 1. Muovien luokitus (Muoviteollisuus ry 2012).

Muoveissa raaka-aineena käytetään öljyn lisäksi erilaisia lisäaineita, kuten palones- toaineita, väriaineita ja UV-stabilaattoreita. Lisäaineiden käytölle on useita eri syitä, tärkeimpiä niistä ovat tuotteen valmistamisen helpottamiseen ja nopeuttamiseen vaikuttavat syyt. Eri valmistajien muovilaatujen erot syntyvät lähinnä erilaisista lisä- aineista ja niiden suhteista. Lisäaineilla voidaan muuttaa polymeerin ominaisuuksia, kasvattaa valmiin tuotteen käyttöikä, stabiloida tuote ympäristövaikutuksia vastaan sekä alentaa tuotteen hintaa. Polymeerimateriaalien lisäainepitoisuus voi vaihdella välillä 0,001–99 tilavuusprosenttia. Lisäaineiden osuuden ollessa yli 10 painopro- senttia käytetään lisäaineista mieluummin termejä seos-, täyte- tai lujiteaine. Seos- aineet ovat tuotteeseen jääviä valmistusaineita, joita lisätään polymeereihin ja poly- meeriseoksiin niiden ominaisuuksien muuttamiseksi. Tavallisimpia muovien seosai-

neita ovat esimerkiksi lujitteet, palonesto-, väri- ja antistaattiset aineet sekä pehmitimet ja stabilaattorit. (Saarela ym. 2007, 40, 57; Teknologiateollisuuden 100-vuotissäätiö 2009, 38.)

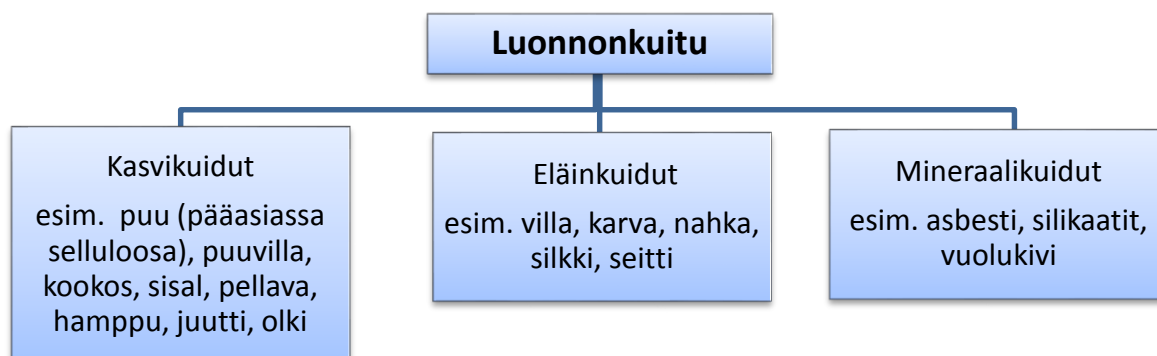
Täyteaineiden käytön tarkoituksena on ennen kaikkea raaka-aineen hinnan alentaminen ilman, että materiaalin käyttöominaisuudet merkittävästi heikentyvät. Täyteaineet ovat kiinteitä ja hienojakoisia raaka-aineita, jotka koostuvat erillisistä partikkeleista. Partikkelien muoto voi olla kuitumainen, levymäinen tai pallomainen ja niiden koko voi vaihdella mikrometrin kymmenesosista muutamiin millimetreihin. Täyteaineiden avulla voidaan esimerkiksi parantaa mittapysyvyyttä, ylintä käyttölämpötilaa, täyteaineesta riippuen myös sähköneristystä tai sähkönjohtokykyä, kemiallista kestävyyttä, palonkesto-ominaisuuksia sekä mekaanisia ominaisuuksia. Tavallisimpia epäorgaanisia täyteaineita ovat talkki, kaoliini, asbesti, kalsiumkarbonaatti, titaanidioksidi, sinkkioksidi, hiili ja grafiitti. Tyypillisiä orgaanisia täyteaineita ovat esim. selluloosa, puujauho ja ligniini. Tuki- ja lujiteaineina voidaan käyttää lasia, puujauhoa tai kipsiä. Tällöin materiaalia sanotaan muovikomposiitiksi. (Teknologiateollisuuden 100-vuotissäätiö 2009, 38–39.)

3.3.2 Luonnonkuitu

Kiinnostus luonnonkuitujen käyttöä kohtaan on teollisuusmaissa lisääntynyt lujitemuovituotteiden kierrätystä ja jätteiden hävittämistä koskevan lainsäädännön muuttuessa. Euroopan autoteollisuus on osoittanut suurta kiinnostusta luonnonkuitujen käyttöön teollisuutta koskevien ympäristömääräysten tiukennuttua. Uusien autojen muoviosilta edellytetään kierrätettävyyttä ja hävitettävyyttä ilman luontoon kohdistuvaa kuormitusta. (Saarela ym. 2007, 99.)

Luonnonkuituihin lasketaan puukuidut, kasvikuidut ja eläinkuidut, tosin eläinkuituja käytetään suhteellisen harvoin. Lujittaviksi kuiduiksi kelpaavat melkein mitkä tahansa kasvin osat, kuten rungot, lehdet, siemenet, hedelmät, ja pähkinät. Käytettävimmät kasvikuidut ovat puukuitujen lisäksi juutti-, pellava-, hamppu-, kookos-, kenaf-, rami- ja sisalkuidut. Myös maatalouskuituja, kuten vehnää, riisiä, soijaa ja niin edelleen voidaan hyödyntää luonnonkuitukomposiittien materiaalina. Puukuidut

ovat nykyisin muita luonnonkuituja suosituimpia luonnonkuitukomposiittimateriaaleja. (Saarela ym. 2007, 99–100.)



Kuvio 2. Esimerkkejä luonnonkuiduista ja niiden ryhmittely alkuperän mukaan (perustuu Mukherjee ja Kao 2011, 716).

3.3.3 Luonnonkuitukomposiitti

Komposiitti on määritelmän mukaan kahden tai useamman materiaalin seos, missä materiaalit ovat yhdessä, mutta eivät lienneena tai sulautuneena toisiinsa. Luonnonkuitukomposiittirakenteissa muovi toimii kahden tai useamman materiaalin muodostamassa seoksessa, komposiitissa, matriisina, johon luonnonkuidut hyvin kiinnittyvät. Matriisi sitoo yhdistelmän kokonaisuudeksi, luonnonkuidun toimiessa seoksessa lujitteena tuoden komposiitille haluttuja lujuusominaisuuksia. Luonnonkuitukomposiitti on luonnonkuidulla lujitettua muovia. (Sandell 2002, 135.)

Luonnonkuitumuovikomposiitteja voidaan valmistaa niin kerta- kuin kestumuveistakin. Kestomuovit ovat öljystä valmistettuja, synteettisiä polymeerejä. Ne ovat sulatettavissa ja muovattavissa toistuvasti. Kestomuovit ovat ympäristöystävällisempiä ja hinnaltaan edullisempia kuin kertamuovit. Komposiiteissa on usein käytössä polypropeeni- eli PP-muovia, matalatiheyksistä polyeteenia eli LDPE-muovia tai korkeatiheyksistä polyeteenia eli HDPE-muovia. Käytettävän muovin sulatuspisteen on oltava alle 200 °C, ettei valmistus prosessissa vaurioiteta luonnonkuituja. (Hyvärinen 2007, teoksessa Kauhanen 2008, 6; Lepistö 2014, 36.)

Luonnonkuitukomposiitin ominaisuudet ovat samanlaisia kuin muovilla ja luonnonkuiduilla. Hyvinä ominaisuuksina voidaan pitää kuituraaka-aineiden uusiutuvuutta ja lopputuotteen kierrätettävyyttä. Luonnonkuitujen käyttöä edistää niiden edullinen hinta verrattuna muihin lujitekuituihin. Kuidut ovat biohajoavia ja kierrätettäviä, sekä niiden tiheys on alhainen. Luonnonkuitujen alhainen tiheys parantaa myös komposiitin ominaislujuutta ja kimmomoduulia. Luonnonkuitukompostilla on sekä hyvä iskutkeys että iskulujuus. Kuitujen käyttö on valmistusystävällistä, sillä luonnonkuitukomposiittien työstäminen ei kuluta yhtä paljon työkaluja kuin muiden komposiittien. Luonnonkuitukomposiittien huonoina ominaisuuksina voidaan pitää niiden huonoa säänkestävyyttä. Ellei luonnonkuitukomposiitin pintakäsittelystä huolehdita, komposiitti saattaa absorboida vettä, joka tekee sen alttiiksi sienille, hyönteisille ja esimerkiksi homeelle. Luonnonkuitukomposiittia käytetään kuitenkin runsaasti myös kohteissa, jotka ovat säälle alttiina, kuten ulkoterrassit ja ikkunapuitteet, joten luonnonkuitukomposiittien säänkestävyydestä voidaan huolehtia seosaineilla ja pintakäsittelyllä. Luonnonkuidut saattavat olla myös herkkiä lämmölle. Kuidun kannalta kriittinen lämpötila tulee silloin huomioida komposiitin valmistuksessa, ettei valmistusmenetelmällä ylitetä kuidun kannalta kriittistä lämpötilaa. (Saarela ym. 2007, 99.)

Luonnonkuitukomposiitin ominaisuuksia voidaan varioida eri materiaalivalinnoilla. Luonnonkuitukomposiitille saadaan puhdasta muovia parempia ominaisuuksia mm. lujuuden ja kulutuskestävyyden suhteen (Lepistö 2014, 43). Kasvi- ja puukuidut poikkeavat rakenteeltaan hieman toisistaan. Kuiduilla saadaan komposiittiin erilaisia piirteitä riippuen esimerkiksi kuidun pituudesta. Muovimatriisilla ja muilla täyteaineilla voidaan lisätä ja säätää haluttuja ominaisuuksia. Yksi ratkaiseva tekijä ominaisuuksien kannalta on muovin ja lujitekuidun suhde. Käytettäviä muoveja ja erilaisia täyteaineita on laaja kirjo, kertamuovit ja kestumuovit poikkeavat ominaisuuksiltaan paljon toisistaan. Luonnonkuitukomposiitit voivat olla hyvin erilaisia riippuen käytettävistä materiaaleista. Mitä paremmin materiaalien käyttäytyminen yhdessä tunnetaan, sitä paremmin voidaan komposiitille säätää haluttuja ominaisuuksia. Esimerkiksi käyttämällä luonnonkuitua autonvalmistusteollisuudessa autojen ääneristysmateriaalissa voidaan saavuttaa autoteollisuudelle asetetut tiukennetut materiaalin kierrätettävyyksivaatimukset (Rijswijk, Brouwer & Beukers 2001, 5). Kuvan 1 soittimelle saadaan aivan uusia akustisia ominaisuuksia käyttämällä valmistuksessa

luonnonkuitukomposiittia jossa muovimatriisiin on sekoitettuna esimerkiksi vuolukiveä.



Kuva 1. Luonnonkuitukomposiitista valmistettu kitara (Flaxwood 2015).

Luonnonkuitukomposiitin valmistuksessa luonnonkuitu esim. selluloosa-, pellava- tai hammppukuitujauho yhdistetään sekoittamalla jauhomaiseen muoviraaka-aineseen. Tässä yhteydessä seokseen voidaan lisätä myös erilaisia lisäaineita, jotta materiaali saadaan vastaamaan paremmin loppukäytön vaatimuksia, esimerkiksi voidaan parantaa komposiitin säänkestävyyttä. Tässä vaiheessa komposiitti voidaan myös värjätä (Teknoliateollisuuden 100-vuotissäätiö 2009, 42, 78, 82).

Eräs uusimpia menetelmiä luonnonkuidun ja muovin sekoittamiseksi on märkärainaus. Märkärainauksessa luonnonkuitu sekoitetaan joidenkin kemikaalien kanssa 20–60 C-asteisessa vedessä hyvin hienoksi jauhetun muoviraaka-aineen kanssa. Luonnonkuidun laajentuessa vedessä ja liuoksen imeytyessä kuituun saadaan muovin ja luonnonkuidun välisestä sidoksesta kuivasekoituksessa muodostunutta sidosta lujempi. Märkärainausmenetelmää käsitellään tässä opinnäytetyössä luvussa neljä vielä laajemmin.

Luonnonkuitukomposiittiseos kompaundoidaan eli sulasekoitetaan luonnonkuitukomposiittipelleteiksi. Pelleteistä valmistetaan erilaisin muovituotteiden valmistusmenetelmin lopputuotteita. Muovituotteiden valmistusmenetelmiä ovat esimerkiksi suulakepuristus eli ekstruusio, suulakeveto eli pultruusio, erilaiset puristusmenetelmät kuten ruiskupuristus ja ahtopuristus sekä muottivalu (Teknoliateollisuuden 100-vuotissäätiö 2009, 99–116). Luonnonkuitukomposiittimateriaaleista voidaan

valmistaa tuotteita samoilla ruiskuvalumenetelmillä kuin muoviraaka-aineistakin käyttämällä normaaleja ruiskuvalukoneita ja tavallisia ruiskuvalumuotteja. Käytettäessä tuotteiden valmistuksessa ruiskuvalumenetelmää saadaan kappaleen suunnittelussa ja valmistuksessa luonnonkuitukomposiittimateriaalikäytölle selviä etuja verrattuna neitseellisen muoviraaka-aineeseen, koska luonnonkuitukomposiitilla on muovia pienempi aineen kutistuminen materiaalin jäähtyessä. Luonnonkuitukomposiitista valmistetut tuotteet voidaan elinkaarensa päätteeksi muuttaa energiaksi hävittämällä ne polttamalla. (Plasthill Oy 2015, 1.)

Luonnonkuitukomposiiteissa voidaan käyttää myös kierrätettyä muovia neitseellisen muoviraaka-aineen sijasta, jolloin kokonaishiilidioksidipäästöjen väheneminen valmistuksessa sekä uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vähentäminen tuotteiden valmistuksessa on huomattavaa (Myllymaa ym. 2006, 44). Käytöstä poistuva luonnonkuitukomposiittimateriaali voidaan kierrättää uudelleen raaka-aineeksi joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Mekaanisessa kierrätyksessä muovi sulatetaan ja käytetään uudelleen, kun taas kemiallisessa kierrätyksessä muovisula pilkotaan eri muovijakeiksi ja jalostetaan edelleen tuotteiksi. (Teknologiateollisuuden 100-vuotisäätiö 2009, 136–138.)

Luonnonkuitukomposiiteilla on kansainvälisesti suuret ja koko ajan kasvavat markkinat. Luonnonkuitukomposiitin vuosittaisen tuotannon on arvioitu lähes kolminkertaistuvan 2010-luvulla. Vuonna 2011 tuotetusta vajaasta neljästä miljoonasta tonnista tuotannon on arvioitu nousevan 12 miljoonaan tonniin jo vuoteen 2010 mennessä. Aasian maat tuottavat luonnonkuitukomposiittimateriaalista yli puolet ja heidän osuutensa komposiitin tuotannossa on arvioitu vain kasvavan. (Dammer ym. 2013, 15, 17.)

4 LUONNONKUITUKOMPOSIITIN VALMISTAMINEN MÄRKÄRAINAUSMENETELMÄLLÄ

4.1 Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön kehittämishanke

Pirkanmaan liiton SASKY:n hallinnoitavaksi myöntämässä EAKR:n rahoittamassa luonnonkuitukomposiittihankkeessa hyödynnetään lähellä kasvatettavia raaka-aineita ja kehitetään menetelmiä ja prosesseja eri kuitulajikkeita, kuten olkea, pellavaa ja hampua, käyttävän luonnonkuitukomposiitin taloudellisesti kannattavaan valmistukseen. Tavoitteena hankkeella on luoda muoviteollisuudelle koulutukseen ja tutkimukseen soveltuva oppimisympäristö, jonka avulla on mahdollista kehittää ja pilotoida uusien korvaavien biopohjaisten komposiittimateriaalien valmistusta.

Hanke on ollut mukana Länsi-Suomen EAKR-toimenpideohjelmassa 2007–2014 ja oli Pirkanmaan maakuntaohjelmassa 2011–2014 yksi maakunnan kärkihankkeista. Hankkeen ensimmäinen hankerahoitus oli myönnetty Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön- ja koulutuksen kehittäminen -hankkeelle ajalle 1.6.2010 – 31.12.2012. Valmistusprosessin kehittämiseen myönnettiin rahoitusta vielä kahdella lisärahoitusrahoitushankkeella vuosina 2013–2014. Hankkeiden rahoitus on ollut yhteensä noin 2,5 miljoonaa euroa ja sitä on rahoitettu Euroopan Unionin aluekehitysrahaston ja SASKY:n toimesta.

Pääprosessiksi komposiitin valmistukseen on valittu ns. märkärainaustekniikka, jonka toimivuutta on testattu perinteisellä paperinvalmistukseen suunnitellulla laitteistolla. Tekniikan avulla liitetään toisiinsa jatkoprosessointia varten kuitulujite ja jauhetut muovigranulaatit. Elastopoli Oy on tehnyt uuden märkärainaustekniikan kehitystyötä tehden mm. prosessin testiajoo Aalto-yliopiston koekoneella.

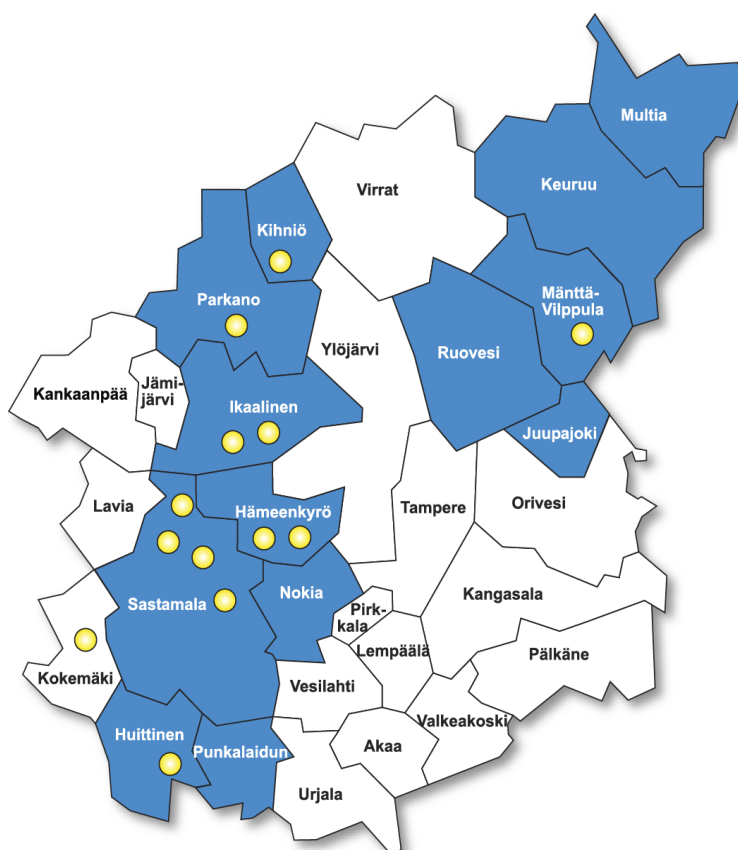
Rakennettavaa oppimisympäristöä tullaan hyödyntämään märkärainaustekniikan prosessimittakaavaisen toiminnan todentamiseen ja kehittämiseen, luonnonkuitukomposiittiraaka-aineiden kehitystyöhön sekä koulutukseen. Hanke on herättänyt mielenkiintoa myös muovijakeita biomateriaaleista kehittävien hankkeiden ja yritysten taholla. Hanke on omalta osaltaan mukana biomateriaalien kehittämistyössä,

jota tehdään pyrkimyksenä päästä lähemmäs kokonaan biopohjaista öljyperäisen muoviraaka-aineen korvaavaa komposiittimateriaalia. Hankkeen ohjausryhmässä on ollut edustus hanketta hallinnoivasta SASKY:stä, hankkeen rahoittajalta Pirkanmaan liitolta, Tampereen Tekniseltä Yliopistolta, Elastopoli Oy:lta, Teknikum Oy:ltä, Niemen tehtaat Oy:ltä, Satafood kehittämissyhdystys ry:ltä, Sastamalan seudun yrityspalvelu Oy:ltä sekä Huittisten kaupungilta.

4.1.1 Hankkeen hallinnoija

Sastamalan koulutuskuntayhtymä (SASKY) muodostettiin 1.1.2009 Vammalan ammatillisen koulutuksen kuntayhtymän sekä Huittisten kaupungin ylläpitämien oppilaitosten fuusioituessa yhteisen koulutuksen järjestäjän alaisuuteen. Kuntayhtymä muodostui alussa neljästä oppilaitoksesta: Huittisten ammatti- ja yrittäjäopisto, Karikun kotitalous- ja sosiaali-alan oppilaitos, Tyrvään käsi- ja taideteollisuusoppilaitos ja Vammalan ammattikoulu. Mäntän seudun ammatillisen koulutuksen kuntayhtymän yhdistyessä vuoden 2010 alusta osaksi Sastamalan koulutuskuntayhtymään kuntayhtymän ylläpidettäväksi tuli vielä yksi ammatillinen oppilaitos, Mäntän seudun koulutuskeskus. Uusina omistajakuntina fuusion myötä kuntayhtymään liittyi Mänttä-Vilppula, Keuruu, Juupajoki, Multia ja Ruovesi. (Sastamalan koulutuskuntayhtymän perussopimus 2010, 1.)

SASKY laajeni jälleen vuoden 2014 alusta Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä liittyessä osaksi SASKY:ä. Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymän oppilaitosten sijaintipaikkakunnat sijaitsivat Hämeenkyrössä, Ikaalisissa, Parkanossa ja Kihniössä. SASKY on nykyisellään 13 kunnan omistama ammatillisen koulutuksen järjestäjä. Koulutuskuntayhtymän hallinnollinen keskus sijaitsee Sastamalassa. Ylintä päätösvaltaa kuntayhtymässä käyttää yhtymäkokous. (Sastamalan koulutuskuntayhtymän perussopimus 2014, 1.)



Kuvio 3. Sastamalan koulutuskuntayhtymän jäsenkunnat sekä kuntayhtymän oppilaitokset (Sastamalan koulutuskuntayhtymä 2015).

Perussopimuksen mukaan koulutuskuntayhtymän tehtävä on ylläpitää, kehittää ja järjestää peruskoulutuksen jälkeen annettavaa toisen tai kolmannen asteen koulutusta, kursseja, aikuiskoulutusta ja oppisopimuskoulutusta. SASKY:ssä opiskelee vuosittain ammatillisessa peruskoulutuksessa noin 3 100 opiskelijaa ja ammatillisessa aikuiskoulutuksessa noin 750 opiskelijaa. Henkilökuntaan kuuluu yli 600 työntekijää, joista suurin osa, noin 75 %, työskentelee opetustehtävissä. (Sastamalan koulutuskuntayhtymä 2015.)

SASKY:n missio on järjestää työelämälähtöistä koulutusta, joka tukee opiskelijan oppimista ja ammatillista kasvua yhteiskunnan vastuulliseksi jäseneksi. SASKY:n visiona on olla maakunnallisesti ja valtakunnallisesti kiinnostava oppimisen edistäjä, haluttu yhteistyökumppani ja aktiivinen aluekehittäjä. Arvoiksi kuntayhtymässä on nimetty asiakaslähtöisyys, ammatillisuus ja vastuullisuus. Strategisiksi tavoitteiksi

on nostettu yhteistyö, työelämän palvelu- ja kehittämistehtävä sekä seudullisen päätöksenteon kehittäminen kuntayhtymän hallinnossa. Verkostoituminen, asiakaslähtöinen toimintatapa sekä ennakointi ovat toimintatapoja, jotka tukevat strategian toteutumista. (Sastamalan koulutuskuntayhtymä 2015.)

SASKY on toteuttanut tuloksellisesti opetus- ja kulttuuriministeriöltä saamaansa työelämän palvelu- ja kehittämistehtävää elinkeinoelämän kanssa yhteisten kehittämishankkeiden avulla. Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön kehittämishankkeella SASKY kehittää uutta koulutusta luonnonkuitukomposiittien käyttämiselle ja valmistamiselle. Kuntayhtymä on ollut aikaisemmin myös kehittämässä valtakunnallista kumialan koulutuksen opetussuunnitelmaa yhdessä alan teollisuuden kanssa.

4.1.2 Hankkeen yhteistyökumppanit

SASKY:llä on luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristöhankkeessa yhteistyökumppaneina merkittäviä yrityksiä ja tutkimuslaitoksia kuten Tampereen Teknillinen Yliopisto (TTY). Koulutuskuntayhtymän hallinnoimien luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessin kehittämishakkeiden resurssin lisäksi kehittämistyöhön on osallistunut myös tutkimuslaitoksia ja yrityksiä. Mukana olevat tutkimuslaitokset ja yritykset ovat käyttäneet myös omia kehittämishankkeita ja kehittämisresurssejaan selvittäessään luonnonkuitukomposiitin valmistamista märkärainausmenetelmällä. Kehitystytön tavoitteena on öljyraaka-ainetta sisältävien muovien korvaaminen biopohjaisilla komposiittimateriaaleilla. Yritysten intressi kehittämistyölle on luonnollisesti kehittää uusien materiaalien valmistuksesta ja käytöstä kannattavaa liiketoimintaa.

Elastopoli Oy on yksityinen kehitysyritys, joka toimii tiiviissä yhteistyössä kotimaisten ja ulkomaisten yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa pyrkien omalla osaamisellaan nopeuttamaan uusimman tutkimustiedon soveltamista uusina kaupallisina sovelluksina. Laajan projektityön ohella Elastopoli Oy työskentelee uusien polymeerimateriaalien ja teknisen tiedonhallinnan parissa. Elastopoli Oy on ollut vahvasti kehittämässä hankkeessa toteutettua märkärainaustekniikkaa luonnonkuitukomposiitin valmistuksessa. (Elastopoli Oy 2015.)

Satafood Kehittämisyhdistys ry tekee aktiivista yhteistyötä yritysten kanssa elintarvike- ja ympäristöalalla. Satafood on tehnyt tukimusta luonnonkuidun peltoviljelystä Sastamalan ympäristössä. Tällä hankkeella kehitettävässä luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessissa on tarkoitus käyttää kuituraaka-aineena peltoviljelyn sivutuotteena talteen otettua olkea, öljypellavan ja -hampun kortta tai jotain muuta alueellisesti merkittävää kuituraaka-aineeksi soveltuvaa peltoviljeltyä kasvia. (Satafood Kehittämisyhdistys ry 2015.)

Sastamalan Seudun Yrityspalvelu Oy on Sastamalan kaupungin ja Punkalaitumen kunnan omistama seudullinen yrityspalveluyhtiö, joka luo edellytyksiä monipuoliselle ja tuottavalle yritystoiminnalle Lounais-Pirkanmaalla. Yhtiön toimialana on seudun yritystoiminnan ja työpaikkamuodostuksen edistäminen, elinkeino-poliittisten kehittämishankkeiden suunnittelu ja toteuttaminen. Yhtiön omistajakunnat ovat keskittäneet elinkeinoasioidensa hoidon yrityspalveluyhtiöön. (Sastamalan Seudun Yrityspalvelu Oy 2015.)

Niemen Tehtaat Oy on vuonna 1898 perustettu suomalainen perheyritys, joka on ollut saman perheen omistuksessa koko yli satavuotisen historiansa ajan. Yritys on Suomen vanhin ja yksi maamme suurimpia huonekaluvalmistajia. Niemen Tehtaat Oy on osa Niemi-yritysryhmää, joka on vuosien kuluessa muodostettu pääosin huonekalualalla toimivista yrityksistä. Tuotannosta vientiin menee noin kolmannes. (Niemen Tehtaat 2015.)

Kuntayhtymän hankeyhteistyökumppaneita merkittävämmässä roolissa opinnäytetyön toteuttamisessa ovat olleet projektin käytännön toteuttamiseen osallistuneet yhteistyötahot, sekä useat urakoitsijat ja tavaran toimittajat, joiden palveluksia on hankkeen aikana käytetty. Luonnonkuitukomposiitin valmistamiseen käytettävää konetta on hankkeen aikana rakennettu Teknikum Yhtiöt Oy:n omistamaan tehdaskiinteistöön. Teknikum Yhtiöt Oy on johtava pohjoismainen polymeeriteknologia-alan konserni, jolla on kolmen Suomessa toimivan tehtaan lisäksi tuotantolaitokset myös Venäjällä ja Kiinassa sekä myyntiyhtiö Saksassa (Teknikum Oy 2015).

Urakoitsijoista merkittävin yhteistyötaho on ollut Rejlers Oy, jonka vastuulla on ollut märkärainauskoneen suunnittelu, muutostyöt, asennukset sekä käyttöönoton valvonta. Rejlers Oy on asiantuntijaorganisaatio, joka tarjoaa monipuolisia suunnittelu- ja konsultointipalveluita sekä projektitoimituksia energia ja prosessiteollisuuteen sekä rakentamiseen. Sen lisäksi, että Rejlers Oy:llä on toimintaa Suomessa 14 paikkakunnalla, yritys toimii myös kansainvälisesti. (Rejlers Oy 2015.)

Luonnonkuitukomposiitin tuotantokoneen rakentaminen ja liittäminen sähköverkkoon sekä Sastamalan kaupungin vesi ja viemäriverkkoon on edellyttänyt hankkeessa työskentelyä myös eri lupaviranomaisten kanssa. Opinnäytetyönä on selvitetty mm. raaka- ja jätevedenkäyttöä luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessissa. Viranomaistaho, jonka kanssa prosessin vedenkäyttöön liittyviä asioita on hoidettu, on ollut lähinnä Sastamalan kaupungin omistama Sastamalan Vesi Liikelaitos, joka vastaa Sastamalan alueen vesi- ja viemäriverkostosta sekä vedenkäsittelylaitoksista. (Liite 1.)

4.2 Hankkeella toteutettava luonnonkuitukomposiitin valmistusprosessi: märkärainaus

Hankkeessa käytetään luonnonkuitukomposiitin valmistamiseksi uutta märkärainaustekniikkaa, jota hankkeessa yhteistyökumppanina mukana oleva kehitysyhtiö Elastopoli Oy:n on ollut voimakkaasti kehittämässä. Märkärainaus tarkoittaa tekniikkaa ja laitteistoa, jolla yhdistetään kemikaalien avulla kuituraaka-aine ja matriisimuovi. Tekniikan avulla liitetään toisiinsa jatkoprosessointia varten kuitulujite ja jauhetut muovigranulaatit kuiva-ainepitoisuudeltaan yli 90 painoprosentin rainaksi.

Prosessin aluksi sekoitetaan kuiva-ainepitoisuudeltaan n. 3 % faasi, joka muodostuu 0,5–2 mm:n pituisista kuitujakeista ja läpimitaltaan alle 0,3 mm:n kokoisiksi jauhetuista muovigranulaateista, kytKentäkemikaalista ja vedestä. Ensimmäisessä pulpperissa sekoitetaan veteen n. 3 painoprosenttia sellua jauhatuksen ajaksi, minkä jälkeen toisessa pulpperissa lisätään muovia, muita lisäaineita ja vettä siten, että kuidun osuus on lopulta n. 1 painoprosenttia. Massa siirretään prosessikoneen perälaatikon kautta viiralle tasaisena kerroksena. Viiralle suihkutetavan massan

kiintoainepitoisuus on laimennettu 0,2–0,4 prosenttiin lisäämällä siihen vettä. Viiralla aloitetaan vedenpoisto painovoimaisesti niin että seoksen siirtyessä eteenpäin rai-
nan kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Toisessa vedenpoiston osassa vedenpoistoa te-
hostetaan alipainepumpun tuottaman imun avulla. Tavoitteena ennen loppu-
kuivausta on 40–50 painoprosentin kuiva-ainepitoisuus. Raina kuivataan lämmön
avulla kaasukäyttöisessä kuivurissa alle 10 painoprosentin kosteuteen ja rullataan
kelalle.

Märkärainauksen eduiksi verrattuna muihin luonnonkuitukomposiitin valmistami-
seen kehitettyihin ja kehitteillä oleviin tekniikoihin on todettu mm. seuraavaa:

- Komposiitissa kuitulujitteen liitos muodostuu lujemmaksi kuin muilla käytössä olevilla tekniikoilla. Tämä johtuu käytettävän kuidun pintarakenteen muutok-
sista, mm. kosteuden vaikutuksesta, lisäksi tähän vaikuttavina tekijöinä ovat
mm. kytkentäkemikaalit, liitoksen lujuus kuidun ja muovimatriisin välillä kas-
vaa kemiallisista sidoksista johtuen.
- Valmistusprosessin volyyminä on tarvittaessa mahdollista kasvattaa ilman,
että varsinaista prosessia muutetaan.
- Prosessista on mahdollista rakentaa joustava ja helposti säädettävä eri luon-
nonkuitukomposiittiyhdistelmille.
- Alustavat laskelmat osoittavat, että valmistusmenetelmänä märkärainaus on
kehitettävissä kustannustehokkaaksi ja ympäristönormit täyttäväksi tavaksi.

Prosessissa pääasiallisena kuituna käytetään puusellua. Prosessi on rakennettu si-
ten, että sillä voidaan tutkia myös peltoviljelyn sivutuotteena talteen otettua olkea,
öljypellavan ja -hampun kortta tai jotain muuta alueellisesti merkittävää kuituraaka-
aineeksi soveltuvaa peltoviljeltyä kasvia. Sekundäärinä kuituna voidaan käyttää
myös kierrätyspaperikuitua. Prosessin testausajossa luonnonkuituna on käytetty
havusellua. Märkärainausprosessin kapasiteetiksi on suunniteltu 80–160 kg/h val-
mista luonnonkuitukomposiittia.

Luonnonkuitujae toimitetaan prosessiin puhdistettuna siten, että sellun keittoproses-
sissa muu kasviaine, kuten ligniini ja hemiselluloosa, on poistettu. Tuotannossa voi-
daan käyttää myös kuituja, jotka on lisäksi valkaistu. Kuituraaka-aineet varastoidaan

ennen prosessia varastotilaan ilmakeivina paaleina tai jauheena säkitettyinä. Muovimateriaali toimitetaan prosessiin säkitettyinä granulaatteina tai jauheena, ja kemikaalit toimitetaan varastokonteissa. Prosessissa ei käytetä herkästi syttyviä raaka-aineita ja kemikaaleja.

Prosessin lopputuotteena syntyy luonnonkuitulujitteista muovikomposiittia, jossa kuitujakeen osuus on 40–60 painoprosenttia, ja jossa muu aines on termoelastista muovia sekä täyte-, väri-, suoja-aineita ja muita sekoitteeseen kuuluvia pienipitoisuuksisia jakeita. Komposiitin jatkojalostusvaiheessa, kompaundoinnissa voidaan komposiitin muovin osuutta haluttaessa nostaa lisäämällä sulassa tilassa olevaan luonnonkuitukomposiittiin muovia.

4.2.1 Märkärainausprosessin laitteisto

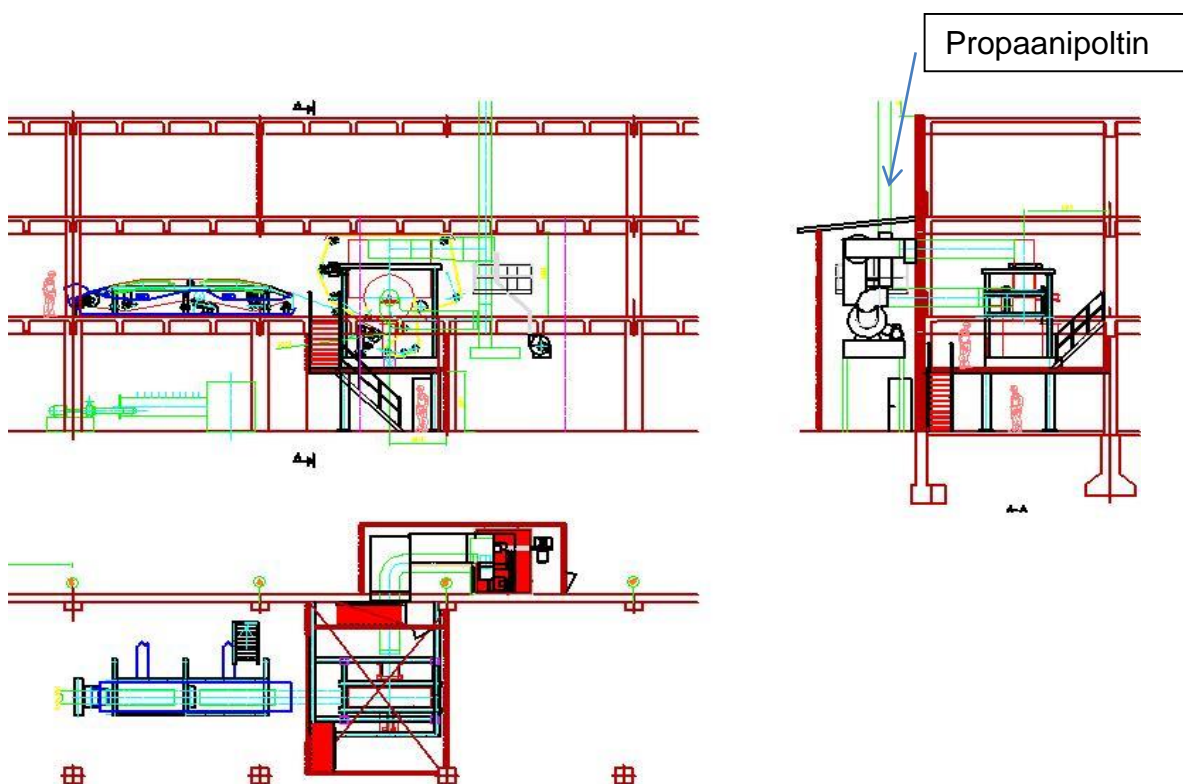
Hankeorganisaatio hankki 0,5 m:n rataleveydellä olevan koepaperikoneen Ahlstrom Glassfibre Oy:n Karhulan tehtaalla Kotkan Sahaniemestä (kuva 2). Kone purettiin ja komponentit lisäosineen siirrettiin Sastamalaan. Paperikoneen pääkomponentteja käytettiin luonnonkuitukomposiitin valmistamiseen suunnitellun märkärainauskoneen konstruoimiseen.



Kuva 2. Koepaperikone Ahlstrom Glassfibre Oy:n Karhulan tehtaalla (Järvinen 2010).

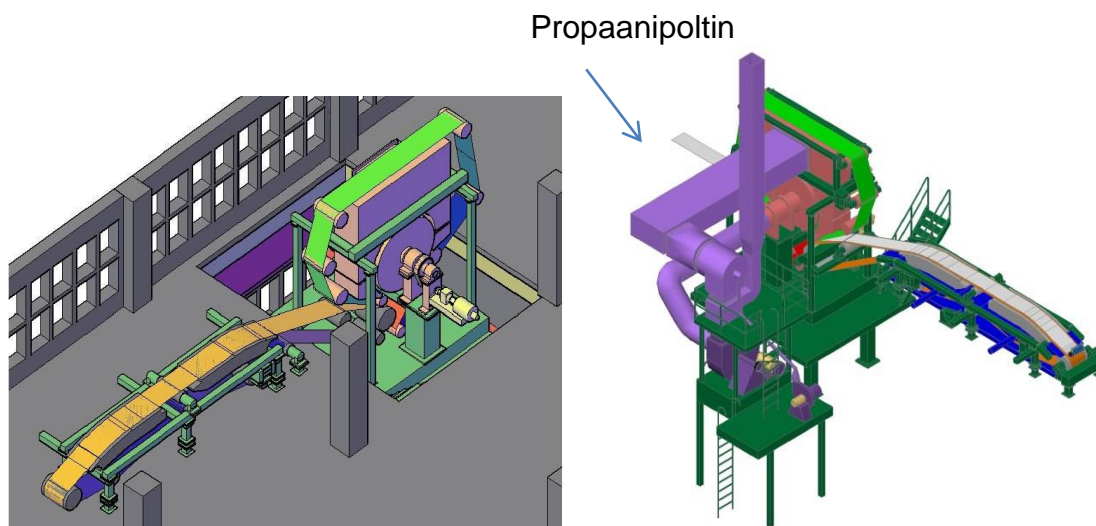
Koneella valmistettu luonnonkuitukomposiittiraina muokataan jatkojalostuksessa, kompaundoinnissa sellaiseen muotoon, että se on käytettävissä muoviteollisuuden käyttämien muovivalukoneiden raaka-aineena, luonnonkuitukomposiittipelletteinä.

Märkärainauslaitteisto massankäsittelyineen on sijoitettu kahteen kerrokseen Teknikum Yhtiöt Oy:n omistamaan kiinteistöön, osoitteeseen Nokiankatu, 38210 Sas-tamala. Ensimmäisessä kerroksessa käytettävää pinta-alaa on noin 300 m² ja toisessa kerroksessa 700 m² (kuva 3.)



Kuva 3. Havainnekuva prosessin laitteiden sijoittelusta (Koskinen 2012).

Kuivaimelle johdettava ilma lämmitetään kaasukattilassa, joka on sijoitettu käyttö-turvallisuusnäkökohdat huomioiden varsinaisen tehdaskiinteistön ulkopuolelle rakennettuun tilaan. Virtaava ilma lämmitetään propanipolttimen avulla käytetystä muovi-laadusta ja ajonopeudesta riippuen 100–225 C-asteeseen. Polttimen nimellisteho on 660 kW.



Kuva 4. Märkärainauskoneen havainnekuvat (Koskinen 2012).

4.2.2 Massan valmistus märkärainausprosessissa

Seuraavassa märkärainausprosessin selostuksessa mainitut prosessiin liittyvät komponentit ja tekstissä mainitut komponenttien tunnukset löytyvät kuvassa 10 esitetystä prosessikaaviosta. Prosessin kuvauksessa on käytetty osittain Insinööritoimisto Ville Länsimies Oy:n tekemää prosessikuvausta (Insinööritoimisto Ville Länsimies Oy 2012).

Puskusäiliö T-3. Puskusäiliötä (kuva 5) käytetään sekä raakavesivarastona että prosessiveden talteenottovarastona ja lämmityssäiliönä. Säiliöön johdetaan raakavettä, pinnan suurinta korkeutta valvoo ja rajoittaa pinnan korkeusanturi. Puskusäiliöön johdetaan ja varastoidaan lisäksi viiraosalta tulevat käyttökelpoiset suotovedet. Puskusäiliössä vesi voidaan lämmittää 40–65 C-asteeseen, mikäli lämmitys todetaan taloudellisesti kannattavaksi. Veden lämmityksellä saataisiin säästöä rainan kuivatukseen käytettävän energian kulutuksessa. Puskusäiliön sekoitukseen voidaan hyödyntää vakio kierrospumpun (P4) kautta kierrätettävää takaisinvirtausta. Puskusäiliöstä vettä johdetaan pumpulla P4 prosessiin sekä massapulperiin (T-2) että pitkäkierronpulperiin (T-1) ohjaamalla putkilinjaston venttiilejä. Puskusäiliö voidaan tarvittaessa tyhjentää jätevesikanaaliin venttiilin OS-015 kautta.



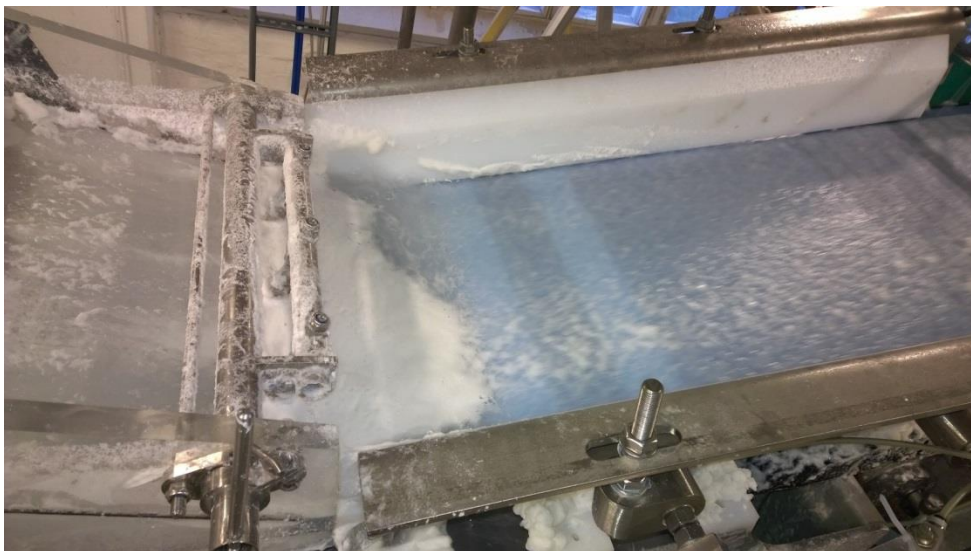
Kuva 5. Kuvassa takana puskusäiliö T-3 ja edessä massapulperi T-2.

Massapulperi T-2. Prosessiin lisättävät orgaaniset kuidut ja kemikaalit punnitaan ja ne lisätään prosessiin massapulperissa (kuva 5). Prosessivesi annostellaan massapulperiin ensisijaisesti puskusäiliöstä. Halutun pulpperointisakeuden ja kemikaalipitoisuuden saavuttamiseksi massapulperiin pumpataan haluttu vesimäärä. Orgaanisen kuidun jauhatusta varten massapulperissa olevan massan sakeus säädetään jauhatukselle sopivaksi (n. 2–3 %). Pulperi on varustettu roottorilla. Orgaaninen kuitu ajetaan pumpulla P3 toistuvasti jauhimen läpi haluttujen ominaisuuksien ja halutun kuidun pituuden saavuttamiseksi. Lähtökohtaisesti sulppu valmistetaan massapulperissa, mutta pitkän kierron pulperissa on mahdollisuus lisätä kemikaaleja tai kuiva-aineita. Sulpun tavoitelämpötila massapulperissa on 40–60 C-astetta. Massapulperista valmis sulppu johdetaan eteenpäin pitkänkierronpulperiin (T-1) pumpulla P3 ohjaamalla putkilinjaston venttiilejä.

Pitkänkierronpulperi T-1. Pitkänkierronpulperi toimii prosessissa sulpun välivarastona. Kemikaaleja ja muovijaetta voidaan annostella ja lisätä prosessiin pitkänkierronpulperissa kulloisenkin reseptin mukaisesti erän valmistuksen loppuvaiheessa. Tavoitteellinen sakeus massalle ennen massan siirtämistä eteenpäin on 0,8 % kiintoainetta. Massan sakeutta säädetään viirakaivosta (T-8) tilavuusvirtasäädettävällä pumpulla (P5) pumpattavalla vedellä.

4.2.3 Massan käsittely muoviteollisuuden raaka-aineeksi

Rainan muodostus. Massa pumpataan pumpulla P1 sekoittimen läpi perälaatikkoon. Pumpun toiminnan ohjaus perustuu massan sakeuden mittaukseen. Laskennallisen sakeuden mukaan säädetään haluttu tilavuusvirtaus (l/s) perälaatikolle. Tilavuusvirtaus perälaatikkoon pidetään riittävän suurena, jotta estetään flokkiutumien syntyminen. Nestepinnan korkeutta/painetta säädetään pääasiassa pumpun P2 kierroksilla. Läpivirtaus johdetaan viirakaivoon ja siitä takaisin perälaatikolle/puskusäiliöön. Perälaatikko rikkoo sulppuvirtauksessa olevia flokkeja ja jakaa massan homogeenisena virtauksena viiralle huuliaukon levyisenä rainana (kuva 6).



Kuva 6. Massan syöttö perälaatikosta viiralle.

Viiraosa. Massa suihkutetaan perälaatikon avulla tasaisena virtana rintapöydälle (kuva 7) viiran päälle, jossa välittömästi alkaa vedenpoisto. Viira kulkee kenkämäisesti asetettujen vedenpoistoelementtien yli, joista alkuosasta alipainepumpulla tehostetun imun vaikutuksesta poistettu vesi johdetaan erotussyklonin ja erotusastian läpi viirakaivoon. Muodostuvaa alipainetta säädetään vedenpoistoelementtikohtaisesti. Kuivaimen viiran viiraosan puoleinen alatela on ns. pick up -tela, jonka tarkoitus on nostaa raina märkäpuolen viiralta kaasukuivaimen viirojen väliin.



Kuva 7. Koneen viiraosa.

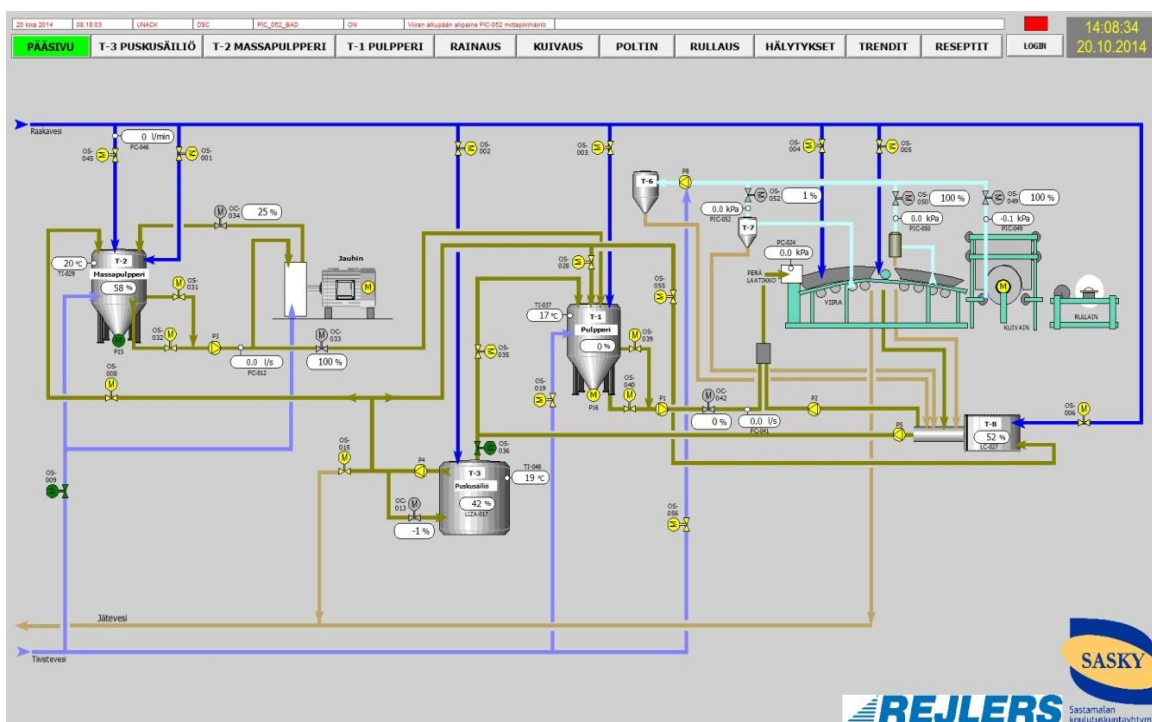
Kuivain. Tavoitteena on, että rainan kuiva-ainepitoisuus märkäviiraosan jälkeen olisi noin 40–50 %. Viiraosan jälkeen raina kuivataan lämmön avulla propaanikaasukäyttöisessä kuivaimessa (kuva 8). Propaaniliekillä säteilylämmitetään kuivaustela maksimissaan 225 C-asteeseen. Raina johdetaan viiraosalta kuivaimen metalliviiralle, jolla raina kulkee kuivaimen läpi. Raina kulkee pintakosketuksessa kuivaustelan yli, ja samalla rainaan siirtyvän lämmön vaikutuksesta vesi haihtuu. Kuivaimen viiranopeus määrittää sekä viiraosan että kelaimen nopeuden. Kuivain on sylinterinmuotoinen ja se on suojattu kokonaan verhoavalla huuvalla. Kuivaimen vaipan sisältä useasta pisteestä mitataan propaanikaasupolttimella lämmitettävän kuivatusilman lämpötilaa, joka saadaan nostettua 225 C-asteeseen. Liian korkea lämpötila kuivaimessa voisi aiheuttaa muoviraaka-aineen sulamisen, mutta myös luonnonkuidun vahingoittumisen. Tavoitteena rainan kuiva-ainepitoisuudelle kuivaimen jälkeen on 90 %. Kuivaimelta valmis raina johdetaan kelaimelle.

Kelain. Kuivattu raina kelataan hylsyn päälle omalla ohjausjärjestelmällä varustetulla kelauslaitteella (kuva 8). Kelaimella ajetut rullat ovat valmiita kuljetettavaksi kompaundointiin, jossa rainasta sulasekoitetaan muoviteollisuuden raaka-ainetta, luonnonkuitukomposiittipellettejä.



Kuva 8. Kuivain sekä kelain, joka näkyy kuivaimen taustalla.

Prosessiin liitettyjen useiden antureiden ja mittalaitteiden avulla saadaan tieto prosessin eri laitteiden toiminnasta ja niille asetetuista säätöarvoista. Tiedot on johdettu valvomon tietokoneelle, josta käsin koko prosessia ajetaan. Prosessin ajosta saadaan eri parametrit tallennettua myöhempää tarkastelua varten. Prosessiparametrien tallentamisella mahdollistetaan myös prosessin toistettavuus ja erilaisten koeerien valmistuksen vertailtavuus (kuva 9).



Kuva 9. Märkärainausprosessin kaavio valvomon näyttöpäätteeltä (Koskinen 2014).

4.2.4 Märkärainausprosessilla valmistetun luonnonkuitukomposiitin jatkojalostus muoviteollisuuden raaka-aineeksi

Märkärainauskoneella saatu raina viimeistellään muoviteollisuuden käyttämäksi raaka-aineeksi, luonnonkuitukomposiittipelleteiksi. Märkärainattu materiaali kompaundoidaan eli sulasekoitetaan (kuva 10) ja samalla siihen voidaan vielä lisätä täyteaineita, väriaineita ja pienjakeita. Tässä vaiheessa märkärainauksella valmistetun luonnonkuitukomposiitin muovipitoisuutta voidaan myös nostaa lisäämällä sulasekoitettuun massaan vielä muovia. Kompaundoinnissa on tavoitteena saada materiaalista mahdollisimman homogeeninen seos, jossa kuidut jakautuvat tasaisesti koko materiaalmäärään. Sulasekoituksessa energianlähteenä käytetään nestekaasua.



Kuvat 10-11. Kompaundointi eli sulasekoitus sekä pelletöinti (Järvinen 2011).

Pelletöinti. Pelletöinnissä sula luonnonkuitukomposiittimassa muokataan muoviteollisuuden koneiden käyttämään raaka-ainemuotoon pelleteiksi (kuva 11). Luonnonkuitumassasta valmistettuja ”granulaatteja” kutsutaan pelleteiksi. Granulaatti on muoviraaka-aineen toimitusmuoto, joka on 2–3 mm:n pituinen ja paksuinen rae. Pelletit valmistetaan kompaunderilla puristamalla sulaa muovia tai muovikomposiittimateriaalia reikälevyn läpi. Kompaunderin toiminta muistuttaa jauhelihamyllyä. Kompaunderilla tuotettu nauha katkotaan sopivan pituisiksi ”ryyneiksi”. Sulan massan jäähtyöksessä käytetään vettä. Jäähdytetyt pelletit kuivataan vielä ennen säkitystä (kuva 12). (Koto ym. 2004.)



Kuva 12. Valmiin tuotteen säkitys (Järvinen 2011).

Prosessin lopputuotteena syntyvästä luonnonkuitukomposiittipellesteistä voi muoviteollisuus valmistaa tuotteita samoilla ruiskuvalumenetelmillä kuin valmistetaan öljypohjaisesta muoviraaka-aineestakin (kuva 13). Valmistuksessa käytetään samoja ruiskuvalukoneita ja tavallisia ruiskuvalumuotteja. Luonnonkuitukomposiittituotteiden valmistus saattaa kuitenkin kuluttaa muovia enemmän muovikoneiden suuttimia ja valumuotteja. Luonnonkuitukomposiitin kulutusvaikutus riippuu kuitenkin seoksessa käytetyn luonnonkuidun ominaisuuksista.



Kuva 13. Valmista muoviteollisuuden raaka-ainetta, luonnonkuitukomposiittia (Järvinen 2011). Vasemmanpuoleisessa kuvassa luonnonkuituna mäntysellua ja oikeanpuoleisessa vuolukiveä.

5 MÄRKÄRAINAUSMENETELMÄN EKOTEHOKKUUS LUONNONKUITUKOMPOSIITIN VALMISTAMISESSA

Teollisuudesta ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta valvoo ympäristöviranomaisen ja siitä on säädetty laissa ja asetuksessa. Ympäristösuojelulain yhtenä tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, sekä poistaa ja vähentää pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja. Toiminnalle, josta aiheutuu ympäristön pilaantumisen vaaraa, tarvitaan ympäristösuojelulain mukainen lupa. Näitä toimintoja ovat esimerkiksi metsä-, metalli- ja kemianteollisuus, energiantuotanto, eläinsuojat ja kalankasvatus. Ympäristöluvassa voidaan antaa määräyksiä mm. toiminnan laajuudesta, päästöistä ja niiden vähentämisestä. Luvan myöntämisen edellytyksenä on muun muassa, että toiminnasta ei saa aiheutua terveyshaittaa tai merkittävää ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. (L 27.6.2014/527. Ympäristösuojelulaki.)

Jätelaissa puolestaan säädetään yleisistä huolehtimisvelvollisuuksista. Laissa veloitetaan huolehtimaan siitä, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän ja ettei jätteestä aiheutuisi vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle. Lisäksi jätelailla pyritään edistämään luonnonvarojen kestävästä käyttöä. (L 17.6.2011/646. Jätelaki.)

5.1 Prosessiteollisuuden ympäristökuormitus

Prosessiteollisuudesta aiheutuu hyvin monenlaisia kuormituksia ympäristöön. Ympäristökuormitusten globaalit vaikutukset ovat mm. seuraavanlaisia:

- Elintarvikehuollon vaarantuminen maaperän pilaantumisen ja tuottavuuden heikentymisen seurauksena.
- Makeiden vesivarantojen väheneminen, sekä valtamerien saastuminen.
- Ilmakehän kemiallisen koostumuksen muuttuminen.
- Luonnon monimuotoisuuden väheneminen. (Dahl 2013.)

Suomessa teollisuus käyttää energian kokonaiskulutuksesta 60 %, joten energian tuottamisesta aiheutuvista ympäristövaikutuksista teollisuus on suurimmalta osin

vastuussa. Prosessiteollisuuden ympäristövaikutukset vaihtelevat suuresti eri teollisuuden alojen välillä. Kaivannaisteollisuudessa ympäristövaikutukset ovat suuret maaperään, luonnonvaroihin ja vesistöön. Metallinvalmistusteollisuus puolestaan kuluttaa paljon energiaa ja siitä aiheutuu erityisen paljon päästöjä ilmaan ja myös maaperään prosessista tulevan kuonan ja tuhkan muodossa.

Suomessa johtavana prosessiteollisuuden alana on ollut puunjalostusteollisuus, joka käyttää pääasiallisena raaka-aineenaan uusiutuvaa luonnonvaraa. Metsäteollisuuden raaka-aineen kokoaminen ja toimittaminen tuotantolaitoksille kuluttaa kuitenkin merkittävästi luonnonvaroja. Avohakkuut, ojitukset ja metsätiet muuttavat maisemia kaikkialla Suomessa. Puunjalostusteollisuuden ympäristökuormitukset tulevat lähinnä prosessissa tarvittavasta suuresta energiatarpeesta, sekä päästöistä ilmaan ja veteen. Metsäteollisuus on pystynyt alentamaan huomattavasti sekä ilmaan että veteen aiheuttamaansa ympäristökuormitusta. Se on nykyisin vain murtoosa aikaisemmin aiheutetusta kuormituksesta. (Dahl 2013; Lyytimäki & Hakala 2008, 342–343.)

Kaikilla prosessiteollisuudenaloilla tuotteen valmistukseen liittyy raaka-aineen kuljettamista sekä valmiin tuotteen jakeluun liittyviä kuljetuksia. Kuljetusten kuluttama energia ja kuljetuskaluston valmistamisessa syntyneet ympäristövaikutukset ovat merkittävä osa prosessiteollisuuden ympäristövaikutuksia. Kuljetukset edellyttävät myös teiden, rautateiden, satamien ja lentokenttien rakentamista. Tarkasteltaessa tuotantoprosesseja joutuu toteamaan, että prosessien täydellinen taloudellinen tuotavuus, tehokkuus, turvallisuus ovat utopiaa. Samoin utopiaa on myös se, että prosessi olisi täydellisen ympäristöystävällinen, mutta silti voidaan pyrkiä mahdollisimman lähelle täydellisyyttä niin kauan kuin se on taloudellisesti järkevää.

5.2 Märkärainausprosessin ympäristökuormitus

Luonnonkuitukomposiitin valmistamiseen märkärainausmenetelmällä kehitetyn koneen ja tuotantoprosessin kehittämisessä on tavoiteltu prosessia, joka olisi taloudellisesti kannattava, ja joka olisi myös ympäristövaikutuksiltaan öljystä valmistettava muoviraaka-aineen valmistusta edullisempaa. Tutkimuksen kohteena olevan

luonnonkuituja ja termoplastisia muoveja yhdistävällä, märkärainaustekniikkaan perustuvalla prosessilla, aiheutetaan ympäristölle seuraavanlaisia kuormituksia.

5.2.1 Kuljetusten aiheuttamat ympäristökuormitukset

Prosessissa pääasiallisena kuituna käytetään puusellua. Sellu, muovi ja muut sekoitteen jakeet toimitetaan valmistusprosessipaikalle, joko suoraan valmistavalta tehtaalta tai raaka-aineita myyvän yrityksen varastoista. Mikäli valmistuneet komposiittipelletit käytetään paikallisesti, raaka-aineen prosessointiyksikön yhteydessä olevalla muovituotteita valmistavalla tehtaalla, kuljetustarve pienenee oleellisesti, arviolta 40 %. Kaikki kuljetukset tehdään kuorma-autoilla.

Luonnonkuidun valmistusprosessi on rakennettu siten, että prosessissa voidaan tutkia myös peltoviljelyn sivutuotteena talteen otettua olkea, öljypellavan ja -hampun kortta tai jotain muuta alueellisesti merkittävää kuituraaka-aineeksi soveltuvaa peltoviljeltyä kasvia. Peltoviljelyn luonnonkuituraaka-aineiden kuljetus muodostuu ketjusta, joka lähtee peltoviljelykohteesta kuidutustehtaaseen tai lähelle välivarastoon ja sieltä komposiitin prosessointipaikalle. Peltoviljelyn kuidun ja sellukuidun tuottamisen aiheuttamien ympäristövaikutuksien vertailuun ei ollut saatavilla tietoja. Myöskään tuotannon tässä vaiheessa ei ole riittävästi saatavissa tietoa kuljetettavista ainemääristä ja kuljetusetäisyyksistä, joten prosessiin liittyvien kuljetusten osuus on jätetty pois tässä tutkimuksessa selvitetystä luonnonkuitukomposiitin valmistamisen ympäristökuormituksen arvioinnista.

5.2.2 Sähköenergian kulutuksen aiheuttama ympäristökuormitus

Valmistusprosessissa on useita sähköenergiaa kuluttavia komponentteja. Sähköenergian kulutuksen kannalta koeajoproessissa merkittävin yksittäinen kulutuslähde on prosessiin käytetyn veden lämmitysvastusten käyttämä sähköenergia. Prosessiveden lämmittämisellä voidaan saada säästöjä rainan kuivatukseen käytetyn energian, nestekaasun käytössä. Myöhemmin tullaan tekemään vertailua pro-

sessiveden lämmittämiseen tarvittavan energiatarpeen ja rainan kuivattamiseen tarvittavan energiakulutuksen välillä. Lisäksi tutkitaan mahdollisuutta ajaa prosessia esilämmittämättömällä vedellä, jolloin luonnollisesti kuivatukseen käytettävän propanin kulutus kasvaa. Kokeilemalla voidaan löytää energiakulutuksen kannalta optimi prosessiveden lämpötila. Prosessiveden lämpötilalla on vaikutusta mahdollisesti myös muovijakeen, luonnonkuitujen ja kemikaalien väliseen sidokseen. Veden lämpötilan vaikutus saattaa olla riippuvainen prosessissa käytettävästä luonnonkuidusta, joten sen selvittäminen edellyttää vielä useita koeajoja. Tähän tutkimukseen otetut energiakulutuksen mittaustulokset ovat koeajoprosessista, jossa veden lämpötila on nostettu 15 C-asteesta 60 C-asteeseen. Veden lämpötila ylläpidettiin 60 C-asteessa koko prosessin ajan, 8 tunnin ajan. Koeajoprosessissa käytetyn veden määrä oli 25 m³.

Prosessissa on veden lämmittämiseen käytettyjen sähkövastusten lisäksi myös useita muita sähköenergiaa kuluttavia laitteita, kuten jauhin, jolla luonnonkuitu jauhetaan prosessissa sopivan pituiseksi jakeeksi. Massasäiliöissä on sähkömoottori-käyttöiset sekoittimet, joilla massa pidetään tasalaatuisena koko prosessin ajan. Prossissa on myös useita paine- ja alipainepumppuja, joita käytetään nesteiden siirtoon sekä alipaineen aikaansaamiseksi veden poistossa viiraosalta. Viiraosan, kuivaimen sekä kelaimen telojen mekaniikan käyttövoimana käytetään sähköenergialla toimivia moottoreita. Kuivaimen poltin käyttää energianaan propaania, mutta kuivaimen liittyvät puhaltimet ja jäähdytys on hoidettu sähköenergiaa käyttövoimanaan käyttävillä puhaltimilla. Prosessissa käytetyn sähköenergian käytöstä aiheutuneet ympäristökuormitukset aiheutetaan sähkölaitoksilla tuotettaessa sähköä sähköverkkoon.

Suomessa vuoden 2013 sähkötuotanto oli 68,3 TWh eli miljardia kilowattituntia (kWh). Uusiutuvilla energialähteillä tuotettiin Suomessa tuotetusta sähköstä 36 %. Yli puolet tästä tuotettiin vesivoimalla ja lähes koko loppuosa puulla. Sähkön tuotannosta katettiin ydinvoimalla 33 %, fossiilisilla polttoaineilla 26 % ja turpeella neljä %. Fossiilisilla polttoaineilla tuotettu sähkömäärä kasvoi 24 % edellisestä vuodesta, tähän ehkä suurimpana tekijänä on kivihiiilen käytön lisääminen sähköntuotannossa 38 % edellisvuodesta. Sähkön kokonaiskulutus Suomessa oli 84,0 TWh. Sähkön

kokonaiskulutuksesta 81 % katettiin kotimaisella tuotannolla ja 19 % sähkön tuonnilla Pohjoismaista ja Venäjältä. (Tilastokeskus 2014.)

5.2.3 Ilmaan aiheutuva ympäristökuormitus

Prosessissa käytetään nestekaasua, joka tässä tapauksessa on pääasiassa propaania, energianlähteenä rainan loppukuivatuksessa. Propaaniliekillä säteilylämmitetään kuivaustela, jonka yli raina kulkee pintakosketuksessa ja samalla rainaan siirtyvän lämmön vaikutuksesta vesi haihtuu. Propaanin kemiallinen kaava on C_3H_8 . Palamisyhtälö propaanille on $C_3H_8 + 5O_2 > 3CO_2 + 4H_2O$. Propaanin palamisen lopputuloksena siis syntyy vain hiilidioksidia ja vesihöyryä.

Höyryä muodostuu propaanikuivaimessa kaasun palamisprosessin seurauksena, laadultaan se on puhdasta vesihöyryä, joka johdetaan lämmönvaihtimen kautta ulkoilmaan. Toinen vesihöyryn aiheuttaja on komposiittirainan kuivaus haluttuun 90 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen. Kuivatuksessa höyrystyvä vesimäärän on arviolta n. 100 kg/h olettaen, että lähtötilanteessa rainan kuiva-ainepitoisuus on n. 40–50 painoprosenttia. Höyry kerätään imuhuvien avulla ja siirretään imureilla lämmönvaihtimien kautta ulkoilmaan. Prosessipäästöinä hiilidioksidi ja vesihöyry eivät aiheuta tuotantolaitoksen lähialueilla minkäänlaisia hajuhaittoja. Prosessissa ei synny mainittavia määriä muita kaasuuntuvia yhdisteitä.

5.2.4 Veteen aiheutuva ympäristökuormitus

Raakaveden käyttö. Prosessin tarvitsema raakavesi on koeajossa otettu vesilaitoksen vedenjakelulinjasta. Raakavetenä prosessissa voidaan mahdollisuuksien mukaan osan vuodesta käyttää myös käsiteltyä pintavettä. Järvestä otetun veden käyttö edellyttää hiekkasuodatusta, pH-säätöä ja humusten poistamista kemikaaleilla ja tarvittaessa selkeytyksellä. Ongelmia voi muodostua kevät- ja syystulvien vaikuttaessa veden laatuun. Näinä ajankohtina raakavesi on otettava, kustannuksista huolimatta, normaalista yhdyskuntavedestä.

Prosessin koeajossa, josta mittaustulokset otettiin tähän opinnäytetyöhön, veden kulutus oli noin 150 litraa jokaista prosessilla tuotettua valmista komposiittimateriaalikiloa kohti. Koeajossa veden kierrätys viiraosalta takaisin prosessiin ei ollut käytössä, joten koeajossa saadut tulokset vedenkulutuksesta eivät ole luotettavia arvioitaessa prosessin raakaveden käyttöä. Todellisuudessa prosessista saadaan veden kulutuksen osalta melko suljettu järjestelmä, jolloin vettä poistuu prosessista lähinnä vesihöyryinä ja pumppujen tiivistevesinä sekä sellaisina prosessin pesuveinä, joita ei haluta kierrättää takaisin viirakaivoon. Viiraosalla alipainepumpuilla rainasta poistettava vesi voidaan sellaisenaan palauttaa takaisin viirakaivon kautta prosessiin. Prosessiveden takaisin kierrätyksen valmistuttua komposiitin valmistuksessa raakaveden käytön on arvioitu laskevan alle 500 litraan tunnissa, joka olisi varsin ympäristöystävällinen tulos, alle 5 litraa vettä yhtä valmista luonnonkuitukomposiittikiloa kohti.

Jäteveden aiheuttama ympäristökuormitus. Jätevesi muodostuu vesistä, joita prosessiin vaihdetaan puskuvesisäiliöiden kautta. Lisäksi jätevettä muodostuu pesuvesistä, joiden hetkellinen määrä on suuri. Pesuedet voidaan ottaa talteen säiliöön ja kierrättää uudelleen prosessivetenä. Komposiitin valmistuksessa ei käytetä happoja tai emäksisiä aineita, jotka liukenevat veteen. Prosessin aineet ovat luonnonkuituja ja kiinteitä polymeereja, joita tyypillisesti käytetään muoviteollisuudessa. Nämä polymeerit ovat luonteeltaan hydrofobisia ja veteen liukenemattomia. Veteen liukenevia kemikaaleja ei prosessissa tarvita, koska on olennaista, että kaikki prosessissa käytetyt aineet ovat jatkoprosesseissa käytettävissä. Veteen ei lisätä fosforia eikä typpeä, eikä myöskään näitä irrottavia kemikaaleja. Prosessiin ei lisätä myrkkijä, eikä veteen liukenevia kemikaaleja, ainoastaan polymeereja. Jätevesi sisältää mm. sellukuituja, muovigranulaatteja, kytkentäkemikaaleja ja n. 0,1 painoprosenttia tensidejä.

Aalto-yliopistolla tehtyjen märkärainausprosessin koeajoissa on saatu mittaustulos, jossa jäteveden kiintoainepitoisuus oli 0,04 % (400 g/1000 l). Tuotantomittakaavan kokeessa vastaava luku oli 0,013 % (130 g/1000 l). Ympäristönsuojeluasetuksen 36 §:ssä vaaditaan puhdistamaan jätevedet niin, että lietteen käsittely ja hyödyntäminen tapahtuu turvallisen ja ympäristön kannalta hyväksyttävän käsittelyn avulla.

Prosessin tuottaman kiintoainekuormituksen määrä on osoittautunut prosessin koeajoissa niin alhaiseksi, että vaikka jäteveden mekaanisella suodatuksella voidaan jätevedestä poistaa lähes kaikki kiintoaines ja kuidut niin kiintoaineen suodatusta Sastamalan prosessikoneeseen ei ole asennettu. Tämän prosessin jätevesien sisältämä kiintoainepitoisuus ja niiden aiheuttama kuormitus on alhaisempi kuin yhdyskuntajätevesissä yleensä, yhdyskuntajätevedessä orgaanisen ainepitoisuuden ollessa keskimäärin noin 0,3 g/l (Säylä & Vilpas 2012, 19).

Prosessikoneen rakentamiseksi Sastamalaan, Teknikumi Oy:n kiinteistöön, ei koneen rakentamiseksi erikseen edellytetty ympäristölupaa. Prosessikoneen liittämiseksi Sastamalan vesi- ja liikelaitoksen vesi- ja viemäriverkkoon vesilaitos edellyttää kuitenkin liittämissopimuksessa, että prosessikoneen haltija tilaa hyväksytyltä laboratoriolta jäteveden näytteenoton ja tutkimuksen (Liite 1). Näytteestä tulee määrittellä seuraavat asiat: kiintoaine, pH, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, COD sekä BOD 7. Analyysin tulokset tulee toimittaa tiedoksi Sastamalan vesi- ja liikelaitokselle. Tuloksista määritellään mahdollinen alkaloinnin tarve. Mikäli jäteveden pitoisuudet ylittävät tavanomaisen yhdyskuntajäteveden tason, jätevesimaksu määritetään teollisuusjäteveden laskentakaavalla. Erilaisten koeajovaihtoehtojen yhteydessä on näytteenotto uusittava. (Sastamalan Vesi Liikelaitos 2012.)

5.2.5 Prosessin tuottama kiinteä jäte

Jäteveden mekaanisessa suodatuksessa siitä poistetaan lähes kaikki kiintoaines ja kuidut. Mekaaniseen puhdistukseen kuuluu välppä- ja tarvittaessa saostustyyppinen käsittely, jolloin suuri osa tensideistä poistetaan, jäljelle jäävä osuus on n. 0,03 painoprosenttia. Kiintoaines muodostuu välppeestä ja mahdollisesti saoksesta. Sen kuiva-ainepitoisuus on n. 40 painoprosenttia.

Aikaisemmin esitettyjen arvioiden perusteella prosessin tuottama jätevesi lienee alle 400 l/h. Jätevedestä voitaisiin siten suodattamalla poistaa kiintoainetta ainoastaan n. 100 g/h. Kuivatettuna kiintoaines on käytettävissä energiajätteenä tai kompostoitavissa. Prosessissa syntyvä muu kiintojäte on lähinnä pakkausmateriaalia, joka on kierrätettävissä normaalien kierrätyskanavien kautta.

5.3 Märkärainausprosessilla valmistetun luonnonkuitukomposiitin ympäristökuormitukset

Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin laskennallinen arvio prosessin energiankulutuksesta ja muusta ympäristökuormituksesta arvioimalla noin kaksi tuntia kestävä prosessin koeajoa, josta lopputuloksena tuotettiin 250 kg valmista luonnonkuitukomposiittia. Valmistettu luonnonkuitukomposiitti sisälsi 56 % muovia ja 44 % havusellua. Ennen prosessin ajoa puskusäiliön veden lämpötila nostettiin 9 tunnin aikana 15 C-asteesta 60 C-asteeseen. Veden lämpötilaa myös ylläpidettiin 60 C-asteessa 8 tuntia ennen prosessin ajoa. Sellun pulpperointi haluttuun kuitupitoisuuteen kesti n. 1 tunnin. Prosessin koeajon aikana sähkön ja veden kulutusta arvioitiin laskennallisesti useiden prosessiin kuuluvien komponenttien osalta erikseen. Rainankuivatukseen käytetyn propaanipolttimen kuluttama kaasunmäärä myös huomioitiin prosessin energiankulutusta arvioitaessa. Koeajosta laskennallisesti saadut tulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Märkärainausprosessin ympäristökuormituksesta laskennallisesti saadut tulokset (Koskinen 2014).

Ympäristövaikutukset sähkön, veden sekä nestekaasun kulutuksen osalta n. 250 kg koe-erän valmistuksessa			
	Sähkö/kWh	Vesi/m ³	Kaasu/kg
Puskusäiliöön T3 täyttö vedellä		15	
Veden lämmitys 25 m ³ 15>60 °C, 9 h/90 kW	810		
Ylläpito 60 °C, 8 h/15 kW	120		
Veden siirto T3 -> T2, 4 min/4 kW	0,27		
Sellun pulpperointi T2, 1 h/30 kW	30		
Sellun jauhatus 1 h/160 kW + 11 kW + 3 kW	174		

Tiivisteveettä T2 ja jauhin, 2 h / 10 l/min		1,2	
Massan siirto T2 -> T1, 10 min / 11 kW	1,83		
Kuivaimen lämmitys 1 h, (70 + 5,5 + 18,5 + 1) kW, (0,25*55) kg/h	95		14
Rainaus alkupää 2 h, (5 + 4 + 10 + 1 + 3 + 41) kW, (76+4) l/min	128	9,6	
Rainaus kuivaus 2 h, (90 + 5,5 + 18,5 + 1) kW, (0,6*55) kg/h	230		66
Rullaus 2 h, 2 kW	4		
Kuivaimen jäähdytys, 30 min, (70 + 1) kW	35,5		
Yhteensä	1628,6	25,8	80
Kulutus/kg valmista tuotetta	6,5 kWh/kg	0,1 m ³ /kg	0,3 kg/kg

Sähkön kulutus yhtä kilogrammaa valmista komposiittimateriaalia kohti oli 6,5 kWh ja propaanikaasun kulutus 0,3 kg. Näiden vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin voidaan muuttaa CO₂-ekvivalentiksi, jotta prosessin ympäristökuormitusta voidaan paremmin verrata öljystä valmistettavan muovin ympäristövaikutuksiin. Sähkön käytöstä aiheutuvat CO₂-päästöt vaihtelevat riippuen energialähteestä ja tuotantotavasta, jolla sähköenergia on tuotettu. Suomessa sähkön keskimääräisenä päästökertoimena pidetään 200 g CO₂/kWh. Tämä arvo perustuu Suomessa käytössä olevien erilaisten sähkön hankinta- ja tuotantotapojen päästöjen vuosikeskiarvoon. Yhden luonnonkuitukomposiittikilon tuottaminen aiheutti sähkönkulutuksen osalta (6,5 kWh/kg x 200 g CO₂/kWh = 1 300 g CO₂) siis 1,3 kg:n hiilidioksidiekvivalenttipäästön. (Motiva Oy 2010, 4.)

Polttaessa täydellisesti 1 kg propaania (C₃H₈) syntyy 2,99 kg hiilidioksidia (CO₂) ja 1,63 kg vesihöyryä H₂O. Yhden luonnonkuitukomposiittikilon tuottamiseen kului propaanikaasua 0,3 kg ja tämä propaanikaasun polttaminen aiheutti (0,3 kg/kg x 2,99 kgCO₂) siis 0,9 kg hiilidioksidipäästön. Luonnonkuitukomposiittikilon tuottaminen

näillä koeajoprosessista mittaamalla saaduilla tuloksilla tuotti siis yhteensä 1,3 kgCO₂ + 0,9 kgCO₂ = 2,1 kg CO₂-ekvivalentti kasvihuonekaasupäästön. Laskelmassa on arvioitu komposiitin valmistusprosessin aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja arviosta on todettavissa, että prosessin energiankulutuksesta yli 50 % muodostuu prosessiveden lämmittämisestä.

Myöhemmissä koeajoissa toteutettiin prosessiajo menestyksellisesti lämmittämällä vesi ainoastaan noin 20 C-asteiseen. Prosessiveden matalammalla lämpötilalla ei ennakoarviosta poiketen kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta kuivatuksessa käytettävän kaasun kulutukseen ja siten prosessin kokonaisenergian kulutukselle saatiin aikaisempia koeajoja huomattavasti pienempiä arvoja. Koeajossa saatuihin kaikkien osa-alueiden sähkön, veden sekä kaasun kulutukselle mitattuihin arvoihin voidaan tulevaisuudessa vaikuttaa vielä prosessia kehittämällä ja tuotannon volyymin kasvattamalla. Taulukossa kolme on tulokset koeajoprosessista, jossa tuotettiin 340 kg valmista komposiittia, komposiitin luonnonkuidun pitoisuutta oli myös nostettu 60 prosenttiin.

Taulukko 3. Märkärainausprosessin ympäristökuormituksen tulokset 340 kg:n tuotantoerällä valmista komposiittia (Koskinen 2015).

Ympäristövaikutukset sähkön, veden sekä nestekaasun kulutuksen osalta n. 340 kg koe-erän valmistuksessa			
	Sähkö/kWh	Vesi/m ³	Kaasu/kg
Kokonaiskulutus 340 kg koe-erän tuotannossa	340 kWh	51 m ³	102 kg
Kulutus/kg valmista tuotetta	1 kWh/kg	0,15 m ³ /kg	0,3 kg/kg
CO ₂ -ekvivalentti päästö g/kg valmista komposiittia	200 g/kg		900 g/kg

6 TUTKIMUKSEN TAVOITTEENA EKOTEHOKAS PROSESSI - ONNISTUTTIINKO SIINÄ?

Arvioitaessa luonnonkuitukomposiitin käytön ekotehokkuutta verrattuna öljystä valmistettuun muoviin on selvitettävä vielä komposiitissa käytettyjen raaka-aineiden, muovin sekä havusellun valmistamisesta aiheutunut ympäristökuormitus. Muovin raakaöljystä valmistus kuluttaa energiaa noin 50 MJ/kg. Tällä energiamäärällä syntyy päästöjä yhteensä 2 867 g CO₂-ekvivalenttipäästöjä/kg valmista muovia (Hiltunen & Dahlbo 2006, teoksessa Myllymaa ym. 2006, 44). Sellun tuottaminen nykyisellä tekniikalla tuottaa kasvihuonepäästöjä 210 g CO₂-ekvivalenttipäästöjä/kg (Metsä Fibre Oy 2014, 151–152).

Valmistettaessa 1 kg luonnonkuitukomposiittia, samanlaista kuin koeajoerässä 40 % muovia (400 g) ja 60 % havusellua (600 g), komposiitissa olevan muovin valmistaminen on edellä esitetyillä arvoilla tuottanut $0,40 \times 2\,867$ g CO₂-ekvivalenttipäästöjä, siis 1 147 g. Komposiitin sisältämän 600 g:n havusellun tuottaminen on aiheuttanut $0,60 \times 210$ g CO₂-ekvivalenttipäästöjä, siis 126 g. Komposiittiin käytettyjen materiaalien tuottaminen on aiheuttanut yhteensä 1 273 CO₂-ekvivalenttipäästöjä.

Märkärainausprosessi näiden kahden raaka-aineen muovin ja sellun yhdistämiseksi aiheuttaa 1 kg kohti valmista komposiittimateriaalia aikaisemmin luvussa 5.3 esitetyn laskutavan mukaan 1 100 g CO₂-ekvivalenttipäästöjä. Komposiittiin käytettyjen raaka-aineiden valmistamisesta syntyneet päästöt (1 273 g CO₂-ekvivalenttipäästöjä) lisättyinä valmistusprosessin tuottamiin päästöihin (1 100 g CO₂-ekvivalenttipäästöjä) saadaan lopputuloksen, valmiin komposiitin, tuottamisesta aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt. Lopputuloksena luonnonkuitukomposiitille saadaan noin 2 373 g CO₂-ekvivalenttipäästöt yhtä kilogrammaa kohti valmista komposiittia. Luonnonkuitukomposiitin valmistaminen märkärainausmenetelmällä nykyiselläkin pienellä koekoneella näyttäisi tuottavan vain 83 % siitä kasvihuonekaasupäästöjen määrästä, mitä muovin valmistaminen öljystä aiheuttaa. Tuloksia arvioitaessa on vielä huomioitava, että koeajo, josta testitulokset on otettu, on vasta yksi prosessin

ensimmäisistä testiajoista ja antaa siten ehkä virheellisen kuvan prosessin ekotehokkuudesta. Prosessia kehitettäessä märkärainauksella valmistetun komposiitin ekotehokkuus tulee vielä näitä esitettyjä tuloksiakin edullisemmaksi.

6.1 Märkärainausprosessin kehittäminen ekotehokkaammaksi

Koeprosessissa veden lämmittäminen toteutettiin sähkövastuksilla, mutta mikäli luonnonkuidun valmistusprosessikone rakennettaisiin isommassa mittakaavassa, esim. paperiteollisuuden käyttämiin tiloihin, niin prosessiveden lämmittämiseen olisi mahdollisesti löydettävissä energiaystävällisempiäkin keinoja. Komposiitin valmistaminen märkärainausmenetelmällä mahdollistaa myös tuotantovolyymien kasvattamisen moninkertaiseksi ilman, että prosessia tarvitsee varsinaisesti muuttaa. Suurempi tuotantovolyymi muuttaisi todennäköisesti myös prosessin ympäristövaikutuksia oleellisesti positiivisempaan suuntaan. Luvussa 5.2. on selvitetty prosessin tuottamaa ympäristökuormitusta ja samassa yhteydessä on myös pohdittu prosessin jatkokehittämistä.

Komposiitin valmistusprosessin kasvihuonekaasupäästöjä voidaan myös pudottaa merkittävästi käyttämällä valmistuksessa kierrätysmuovia. Muovin valmistaminen öljystä raaka-aineeksi on paljon energiaa kuluttava prosessi. Valmistuksessa syntyvät kokonaishiilidioksidipäästöt vähenevät samassa suhteessa kuin energiankulutus. Pyrittäessä komposiitin valmistamisessa mahdollisimman pieniin ympäristövaikutuksiin olisi kierrätysmuovin soveltuminen komposiitin valmistamiseen märkärainausmenetelmällä hyvä jatkotutkimuksen aihe. Taulukossa neljä on vertailtu muovin valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjä kierrätysmuovin valmistamisen tuottamiin kasvihuonekaasupäästöihin ja siten saavutettuja säästöjä.

Taulukko 4. Muovin valmistuksen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt raakaöljyä ja kierrätysmuovia käyttäen (Myllymaa ym. 2006, 44).

Päästö	Valmistus raakaöljystä (g/tonni muovia)	Valmistus kierrätysmuovista (g/tonni muovia)	Muovin kierrätyksellä saatava päästöhyöty (g/t muovia)
CO ₂	2 790 000	167 000	- 2 623 000
CH ₄	2 535	152	- 2 383
N ₂ O	75	5	-71
Yhteensä, CO ₂ -ekv.	2 866 485	587	- 2 694 898

Käytettäessä komposiitin valmistuksessa menetelmää, jossa muovijauhe ja kuidut sekoitetaan keskenään kuivana, päästään valmistusprosessissa ilmeisesti huomattavasti pienempään energiankulutukseen, pienimmillään jopa 400 kWh/tonni, joka olisi alle 10 % märkärainausmekaniikan energiankulutuksesta. Valmistusmenetelmästä johtuen märkärainausprosessilla saadaan kuitenkin luonnonkuidun ja muovin välille muodostumaan pysyvämpi sidos kuin muilla luonnonkuitukomposiitin valmistusmenetelmillä. Tuotekehittelyn avulla voidaan menetelmällä valmistaa täysin uusia seoksia ja materiaaleja ja löytää niille uusia käyttökohteita. Märkärainauksella valmistetun komposiitin erinomaisesta kuitujen ja muovimatriisin välisestä kiinnittymisestä ja siten materiaalille saaduista hyvistä lujuusominaisuuksista saadaan tuotteelle sellaista etua, joka antaa hyvän perusteen myös prosessin ekotehokkuuden kehittämiseksi. (Myllymaa ym. 2006, 42.)

6.2 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validius

Tutkimuksen luotettavuutta mitataan reliabiliteetilla ja validiteetilla. Tutkimuksen reliabiliteetilla tarkoitetaan tutkimustulosten toistettavuutta, jolloin tuloksena saadut arvot eivät siis saa olla sattumanvaraisia. Luotettavuuden kannalta on tärkeää, että otos on myös riittävän suuri. Tutkimuksen validiteetilla puolestaan tarkoitetaan mit-

tarin ja tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri niitä asioita, joita tutkimuksessa haluttiinkin mitata. Tutkimusmenetelmien pitää olla sopivia juuri tutkimusongelman näkökulmasta tarkasteltuna. (Hirsjärvi ym. 2005, 216–217.)

Tutkimuksessa oli asetettu tavoitteeksi selvittää märkärainausmenetelmän ekotehokkuus luonnonkuitukomposiitin valmistuksessa. Ekotehokkuuden mittaamiseksi päädyttiin valitsemaan mittariksi prosessin aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Perusteena kasvihuonekaasupäästöjen valinnalle mittariksi oli se, että siten mitattavista arvoista voidaan saada yhteismitalliset ja mittausarvojen perusteella voidaan myös arvioida prosessin ekotehokkuutta öljystä valmistetun muovin ekotehokkuuteen. Öljystä valmistetun muovin valmistusprosessin kasvihuonekaasupäästöistä oli saatavissa valmis mittaustulos. Samoin oli saatavissa myös tutkimuksessa valmistetun komposiitin sisältämän luonnonkuidun, havusellun valmistuksen aiheuttama kasvihuonekaasupäästön tulos.

Valitsemalla prosessin ekotehokkuutta mittaavaksi arvoksi kasvihuonekaasupäästöt voitiin näin ollen tarkastella, paitsi prosessin ekotehokkuutta, myös prosessilla valmistetun luonnonkuitukomposiitin ekotehokkuutta verrattuna öljystä valmistettuun muoviin. Kun käytettiin kasvihuonekaasupäästöjä ekotehokkuuden mittarina, se mahdollisti myös erilaisten ympäristökuormitusten muuttamisen yhteismitalliseksi hiilidioksidiekvivalentiksi kasvihuonekaasupäästökseksi. Tätä muuntamista jouduttiin tutkimuksessa käyttämään muutettaessa sähköenergian kulutusta hiilidioksidipäästöiksi. Edellä esitetyn perusteella voidaan todeta tutkimuksen validiteetista, että tutkimuksessa käytetyllä mittarilla ja tutkimusmenetelmällä oli kyky mitata juuri niitä asioita, joita tutkimuksessa haluttiinkin mitata.

Tutkimuksen reliabiliteettia tarkasteltaessa voidaan todeta, että menetelmä mittaus tulosten saamiseksi täyttää hyvin kriteerin tutkimustuloksen toistettavuudelle. Prosessiajon toteuttaminen samoilla arvoilla ei aiheuttaisi merkittäviä poikkeamia mitattaviin tuloksiin, mutta prosessikoneen rakentaminen koneeksi, jolla voidaan ajaa erilaisia koe-eriä ja tehdä testiajoja eri materiaaleilla, luonnollisesti muuttaa materiaalin muuttuessa myös suoritetuista koeajoista mittaamalla saatuja tuloksia. Tähän tutkimukseen otettiin yhden todellisen koeajon aikana mitatut tulokset. Mikäli tutkimuk-

sessä olisi haluttu ekologisesti mahdollisimman hyvät tulokset, olisi valmistusprosessi voitu tietenkin valita sen prosessin mukaan, jolla saadaan ekologisesti parhaat tulokset, mutta nyt tutkimuksessa käytetyn koeajoprosessin tulokset vastaavat kuitenkin hyvin käytännön prosessiajo tilannetta.

6.3 Tutkimuksen lopuksi

Opinnäytetyössä selvitetty luonnonkuitukomposiitin tuotannossa käytettävän märkärainausmenetelmän ekotehokkuus luonnonkuitukomposiittipellettien valmistuksessa oli ennako-odotuksen mukainen. Odotusarvona tähän tutkimukseen ryhdyttäessä oli, että prosessi on ekologisesti ympäristöä vähemmän kuormittava, kuin mitä on valmistaa muovigranulaatteja fossiilisista polttoaineesta peräisin olevista hiilivedyistä. Märkärainausprosessin kasvihuonepäästöt aiheutuivat osaltaan prosessin sähkön kulutuksesta ja siten kasvihuonekaasupäästöjen määrään voidaan vaikuttaa vielä valitsemalla energiantuotantoon jokin vähäpäästöisempi energianlähde.

Tutkimuksen lopputulos on arvokas, koska tutkimuksella voidaan osoittaa, että pyritäessä korvaamaan uusiutumattoman raaka-aineen, öljyn käyttöä muovinvalmistuksessa ympäristöystävällisemmillä uusiutuvilla materiaaleilla voidaan myös valmistusprosessi onnistua toteuttamaan muovin valmistusta pienemmillä kasvihuonekaasupäästöillä. Usein selvitettäessä uusiutumattomien raaka-aineiden korvaamista toisilla materiaaleilla korvaavien materiaalien valmistusprosessin kustannukset ja prosessin ekologiset haitat voivat kohota hyvinkin suuriksi.

Tutkitulla menetelmällä voidaan onnistuneesti pienentää muovituotteiden käytön aiheuttamaa hiilijalanjälkeä korvaamalla osittain muovin valmistuksessa käytettävää uusiutumattonta raaka-ainetta. Sen lisäksi, että luonnonkuitukomposiitin valmistaminen on ekologisempaa kuin muovin valmistus, luonnonkuitukomposiitin käyttö myös vähentää uusiutumattomia luonnonvarojen käyttöä ja juuri uusiutumattomat luonnonvarathan tästä maailmasta ovat loppumassa. Sen vuoksi uusiutumattomien luonnonvarojen korvaaminen nousee tulevaisuudessa entistä tärkeämmäksi teknologiseksi tavoitteeksi.

Opinnäytteen tekeminen ympäristösuojeluteknologiaan liittyen antoi tutkijalle mahdollisuuden syventää aikaisemmassa koulutuksessa hankittua ympäristösuojelutekniikan osaamista. Samalla opinnäytetyön tekeminen omasta varsinaisesta työtehtävästä poikkeavassa projektiorganisaatiossa vastasi myös hyvin teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelman tavoitetta. Opinnäytetyöntekijänä tutustuin poikkeavasta roolista käsin asiantuntijaorganisaation tunnuspiirteisiin ja tunnistin keskeisimpiä ongelmia ja niiden ratkaisuvaihtoehtoja, sekä tutustuin innovatiivisen toimintaympäristön rakentamisen erityispiirteisiin.

Prosessi, jonka kehittämisessä sain olla mukana ja jonka kehittämistyön osana syntyi tämä opinnäytetyö, ei valitettavasti onnistunut kumoamaan aikaisemmin esittämiäni väitettä siitä, että täydellisen ympäristöystävällinen tuotantoprosessi on utopiasa. Antoisaa oli saada olla mukana yhtenä tiimin jäsenenä kehittämässä innovatiivista teollista prosessia, jolla on merkitystä pyrittäessä vaikuttamaan uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vähentämiseen ja niiden korvaamiseen uusiutuvilla raaka-aineilla teollisessa prosessissa. Kehittämishankkeen, jossa tämä opinnäytetyö tehtiin, lopullinen tavoite on luoda uutta teknologiaosaamista muoviteollisuuden raaka-aineenaan käyttämän luonnonkuitukomposiitin valmistamiseen, ja tämän osaamisen luomisessa sain olla pieneltä osalta mukana. Märkärainausprosessin ja prosessin tuotantokoneen kehittäminen jatkuu ja uskon, että menetelmästä saadaan tulevaisuudessa myös ympäristövaikutuksiltaan huomattavasti näitä tässä tutkimuksessa esitettyjä lukuja ekotehokkaampi. Tässä työssäkin märkärainausprosessin ekotehokkuuden parantamiseksi esitettyjen kehittämissuositusten testaaminen olisikin siten merkittävä ja uutta tietoa tuottava sekä ajankohtainen jatkotutkimusaihe.

LÄHTEET

- Berninger, K. 2012. Hiilineutraali Suomi – Miten luodaan ilmastoystävällinen yhteiskunta? Helsinki: Gaudeamus.
- Carus, M. 2012. Bio-based Economy in the EU-27: A first quantitative assessment of biomass use in the EU industry. [www-dokumentti]. Nova-Institut GmbH, Huerth, Germany. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&ved=0CDcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.nova-institut.de%2Fdownload%2FEU_Bioeconomy&ei=5qX9VOGHI4GBywPKioFY&usq=AFQjCNHwZp2gJyE_4QhmYD7AnLk5T_QmXw&bvm=bv.87611401,d.bGQ
- Dahl, O. 2013. Teollisuuden ympäristökuormitus ja vaikutukset. Prof. O. Dahlin luento yhteistyössä puhtaat teknologiat -tutkimusryhmän kanssa. Aalto-yliopisto, kemian tekniikan korkeakoulu, biotekniikan ja kemian tekniikan laitos. Luentosarjan osio johdatus prosesseihin - prosessiteollisuuden ympäristökuormitus. [www-dokumentti]. Aalto Yliopisto. [viitattu 10.1.2015]. Saatavissa: <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ke-40.1600/materiaali2013>
- Dahlbo, H., Seppälä, J., Tenhunen, J., Pylkkö, T. & Lohi, T-K. 2003. Ympäristövaikutusten kuvaaminen ekotehokkuuden arvioinnissa. Suomen ympäristö 617. [www-dokumentti]. Suomen Ympäristökeskus. [viitattu 1.5.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy617/sy617.htm>
- Dammer, L., Carus, M., Raschka, A. & Scholz, L. 2013. Market Developments of and Opportunities for biobased products and chemicals. [www-dokumentti]. Nova-Institute for Ecology and Innovation. Hurth, Germany. [viitattu 24.2.2015]. Saatavissa: https://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/03/Market%20Opportunities_Biobased_Materials_Final%20Report_nova-Institute_March%202014_NL%20Enterprise%20Agency.pdf
- Elastopoli Oy. 2015. Elastopoli Oy Flexible Partner [www-dokumentti]. Elastopoli Oy. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: <http://www.elastopoli.fi/>
- Elo, A. 2010. Luonnonkuitulujitteiset komposiitit. Kandidaatintyö. Aalto yliopisto. Kemian tekniikan korkeakoulu.
- Eskola, J. & Suoranta, J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino.
- Euroopan komissio. 2008. Ympäristöystävälliset tuotteet paremmin esille - 16/07/2008. [www-dokumentti]. Euroopan komissio. [viitattu 1.5.2014]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/news/environment/080716_2_fi.htm

- Finér, A. 2009. Luonnonkuitujen käyttöä komposiiteissa ja kuituvaloksissa. Kandidaatintyö. Aalto yliopisto. Kemian tekniikan korkeakoulu.
- Flaxwood. 2015. Flaxwood fine electric guitars [www-dokumentti]. Flaxwood. [viitattu 12.5.2015]. Saatavissa: <http://www.flaxwood.com/home/>
- Helsingin Energia. 2015. CO₂ –raportti. 1.2.2015. [www-dokumentti]. Helsingin Energia Oy. [viitattu 1.2.2015] Saatavissa: http://www.co2-raportti.fi/?page=tie-toa_raportista
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2001. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Yliopistopaino.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2005. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Ilmatieteenlaitos. 2015. Ilmakehä-ABC. [www-dokumentti]. Ilmatieteenlaitos. [viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc>
- Insinööritoimisto Ville Länsimies Oy. 19.12.2012. Yleinen prosessikuvaus, SASKY. Märkärainaus.
- Järvinen, E. 2012. Valokuvat. SASKY. Yksityinen sähköpostiviesti A Pylvänäiselle. arto.pylvanainen@sasky.fi.
- Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 143. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kangasniemi, T. 15.4.2008. Tekniikka & talous, Energia. [www-dokumentti]. Tekniikka & Talous. [viitattu 18.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/talla+menolla+oljy+ei+lopu/a77277>
- Kauhanen, T. 2008. Puumuovikomposiiteilla ekotehokkaampiin ratkaisuihin. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma.
- Keskisaari, A. 2011. Luonnonkuitulujitetut komposiitit tuulienergian tuotannossa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Konetekniikan koulutusohjelma.
- Koskinen, J. 2014. Märkärainausprosessin ympäristökuormituksesta laskennallisesti saadut tulokset. SASKY. Yksityinen sähköpostiviesti A Pylvänäiselle. arto.pylvanainen@sasky.fi.
- Koskinen, J. 2014. Valokuvat. SASKY. Yksityinen sähköpostiviesti A Pylvänäiselle. arto.pylvanainen@sasky.fi.

- Koskinen, J. 2015. Märkärainausprosessin ympäristökuormituksen tulokset 340 kg:n tuotnoerällä valmista komposiittia. SASKY. Yksityinen sähköpostiviesti A Pylvänaiselle. arto.pylvanainen@sasky.fi.
- Koto, T. & Tiisala, S. 2004. Muovi + puu puukuitulujitteiset muovikomposiitit. Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu. Sarja A Tutkimuksia, osa 7. Lahden ammattikorkeakoulu: Muotoiluinstituutti.
- L 30.3.2007/348. Laki julkisista hankinnoista [viitattu 24.2.2015] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070348>
- L 17.6.2011/646. Jätelaki. [viitattu 10.1.2015] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>
- L 27.6.2014/527. Ympäristönsuojelulaki. [viitattu 10.1.2015] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>
- Lankinen, J. 2010. Puupohjaisten kuitukomposiittien materiaalitekniset mahdollisuudet veneteollisuudessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Konetekniikan koulutusohjelma. Mekaaninen puunjalostustekniikka.
- Lepistö, T. 2014. Luonnonkuitukomposiitit. Mikkelin ammattikorkeakoulu. A: tutkimuksia ja raportteja – Research Reports 89. Tammerprint
- Lyytimäki, J. & Hakala, H. 2008. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Helsinki: Gaudeamus, Helsinki University Press ja SYKE.
- Malén, T. 2002. Muovien historiaa ja lyhyt katsaus muovimaailmaan. Teoksessa V. Kurri, T. Malén, R. Sandell & M. Virtanen (toim.) Muovitekniikan perusteet. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus. 11–34.
- Metsä Fibre Oy. 20.8.2014. Äänekosken biotuotetehtaan ympäristövaikutusten arviointiselostus. [www-dokumentti]. Metsä Fibre Oy. [viitattu 4.2.2015] Saatavissa: http://www.metsafibre.fi/Uutiset/Material%20Archive/Biotuotetehdas/MF_Biotuotetehdas_YVA_selostus.pdf
- Metsämuuronen, J. 2006. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. Helsinki: International Methelp Ky.
- Metsämuuronen, J. 2008. Laadullisen tutkimuksen perusteet. Metodologia–sarja 4. Helsinki: International Methelp Ky.
- Motiva Oy. 19.4.2010. Energiatehokkuus-sopimukset. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energianhinnat. [www-dokumentti]. Motiva Oy. [viitattu 2.2.2015] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf

- Mukherjee, T. & Kao, N. 2011. PLA based biopolymer reinforced with natural fibre: A review. *Journal of Polymers and the Environment*. Vol. 19. No. 4. Springer. 714–725.
- Muoviteollisuus ry. 2012. Muovien luokitus. [www-dokumentti]. Muoviteollisuus ry. [viitattu 28.2.2015] Saatavissa: http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovi-tieto/muovit/muovien_luokitus/
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. [www-dokumentti]. Suomen ympäristökeskus. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SY-KEra_28_2008.pdf?sequence=1
- Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. & Tenhunen, J. 2006. Ympäristönäkökulmat jätteenhyödyntämissä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys Osa III. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. [www-dokumentti]. Suomen ympäristökeskus. [viitattu 1.5.2014]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39707/SYKEra_12_2006.pdf?sequence=1
- Niemen Tehtaat. 2015. By Niemi Niemen Tehtaat. [www-dokumentti]. Niemen Tehtaat. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: <http://www.byniemi.fi/niemen-tehtaat/>
- Paajanen, J. 2013. Kaupallisten komposiittituotteiden materiaaliominaisuuksien määrittäminen ja vertailu. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta.
- Plasthill Oy. 2015. Kareline natural composites. [www-dokumentti]. Plasthill Oy. [viitattu 1.5.2015]. Saatavissa: <http://www.plasthill.fi/fi/kareline/mahdolisuuksien-materiaali>
- Rejlers Oy. 2015. Rejlers Oy. [www-dokumentti]. Rejlers Oy. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: <http://www.rejlers.fi/Yritys/>
- Rijswijk, K., Brouwer, W.D. & Beukers, A. 2001. Application of Natural Fibre Composites in the Development of Rural Societies. Faculty of Aerospace Engineering. Delf University of Technology.
- Rissa, K. 2001. Ekotehokkuus - enemmän vähemmästä. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita.
- Saarela-Kinnunen, M. & Eskola, J. 2001. Tapaus ja tutkimus = tapaustutkimus? Teoksessa J. Aaltola & R. Valli (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin I. Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. Jyväskylä: PS-kustannus. 158–169.

- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys Ry.
- Sainila, T. 2013. Kytkenäaineet puumuovikomposiiteissa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kemiantelekniiikan koulutusohjelma.
- Sallinen, V. 2012. Hybridikomposiitin hyödyntämistä tuulivoimalan rakenteissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta.
- Sandell, R. 2002. Muovikomposiitit. Teoksessa V. Kurri, T. Malén, R. Sandell & M. Virtanen (toim.) Muovitelekniiikan perusteet. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Sastamalan koulutuskuntayhtymän perussopimus. 1.1.2010. Sastamalan koulutuskuntayhtymä.
- Sastamalan koulutuskuntayhtymän perussopimus. 1.1.2014. Sastamalan koulutuskuntayhtymä.
- Sastamalan koulutuskuntayhtymä. 2015. Sastamalan koulutuskuntayhtymä, SASKY. [www-dokumentti]. Sastamalan koulutuskuntayhtymä. [viitattu 1.2.2015] Saatavissa: http://www.sasky.fi/sivu.tmp?siyu_id=7840
- Sastamalan Seudun Yrityspalvelu Oy. 2015. Sasyp Sastamalan Seudun Yrityspalvelu Oy. [www-dokumentti]. Sastamalan Seudun Yrityspalvelu Oy. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: <http://www.yrityssastamala.fi/>
- Sastamalan Vesi Liikelaitos. 2012. Sastamalan veden liittymissopimus. 15.11.2012.
- Satafood Kehittämisyhdistys ry. 2015. Satafood. [www-dokumentti]. Satafood Kehittämisyhdistys ry. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: <http://www.satafood.net/>
- Schmidt-Bleek, F. 2002. Luonnon uusi laskuoppi. Ekotelekkisuuden mittari MIPS. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus.
- Suomen YK-liitto. 2014. Muovin valmistuksessa kuluu valtava määrä öljyä. [www-dokumentti]. Suomen YK-liitto. [viitattu 7.11.2014]. Saatavissa: <http://www.yk-liitto.fi/node/2098>
- Säylä, J. & Vilpas, R. 2012. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2010. Suomen ympäristökeskuksen raporteja 21/2012. Helsinki. [www-dokumentti]. Suomen ympäristökeskus. [viitattu 7.3.2015] Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39681/SYKEra_21_2012.pdf?sequence=1

- Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. & Saari, S. 1995. Laadullisen tutkimuksen työtapoja. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.
- Teknikum Oy. 2015. Teknikum Flexible technology. [www-dokumentti] Teknikum Oy. [viitattu 9.3.2015] Saatavissa: <http://www.teknikum.com/>
- Teknolomiteollisuuden 100-vuotissäätiö. 2009. Polymeerimateriaalien perusteet. 1.9.2009. [www-dokumentti]. Teknolomiteollisuuden 100-vuotissäätiö. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/PPDF/Polymeerimateriaalienperusteet_30_1_2009.pdf
- Tilastokeskus. 2014. Findikaattori: Sähkön hankinta ja kulutus. 10.12.2014. [www-dokumentti]. Tilastokeskus. [viitattu 1.2.2015] Saatavissa: <http://www.findikaattori.fi/fi/21>
- Vanfleteren, F. 2011. Natural fibres in thermoset composites. Lineo NV. Belgia.
- Vienamo T. & Nykänen S. 2010. Muovimuotoilu. Virtuaalinen opetusympäristö. [www-dokumentti]. Taideteollinen korkeakoulu. [viitattu 1.5.2014] Saatavissa: http://www.muovimuotoilu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=136&Itemid=199

LIITTEET

- Liite 1. Sastamalan vesi- ja liikelaitoksen vesi- ja viemäriverkkoon liittämisso-
pimus.



Sastamalan Vesi

15.11.2012

Sastamalan Koulutuskuntayhtymä
Pylväinen Arto
PL 22
38211 SASTAMALA

SASTAMALAN VEDEN LIITTYMISSOPIMUS

Liitteenä 2 liittymisso-
pimusta sekä liite 1 allekirjoitettavaksi. Tutustukaa oheiseen
liittymisso-
pimukseen sekä allekirjoittakaa molemmat kappaleet.
Palauttakaa allekirjoitettuna Sastamalan Veden kappaleista sopimus sekä liite 1
28.11.2012 mennessä oheisessa palautuskuoressa.

Lisätietoja liittymisso-
pimuksesta antaa verkostopäällikkö Pekka Yli-Mattila
puh 0500-731593.

Terveisin


Merja Kontio
palvelusihteeri



kiinteistön liittämisestä
vesihuoltolaitokseen ja sen käytöstä

1. Laitoksen nimi	Sastamalan Vesi Liikelaitos PL 23 38201 SASTAMALA			
2. Asiakas (toinen sopijapuoli)	Nimi SASTAMALAN KOULUTUSKUNTAYHTYMÄ		Hetu/Y tunnus 0204964-1	
	Laskutusosoite KEIKUSTIE 3, 32740 SASTAMALA		Puhelin	
3. Kiinteistö	Kaava-alue 006	Kylä	Tilan nimi	
	Kortteli 0023	Talo	Tontti 0009	
	Kiinteistön osoite Nokiankatu 1, 38210 SASTAMALA		Rak.paikan/tontin pinta-ala m2	Rakennuksen kerrosala m2
		Kiinteistön omistaja Sastamalan Koulutus kuntayhtymä		
4. Sopimus koskee	Liittämistä ja käyttöä kulutusasteissa numero 110320241301			
	<input checked="" type="checkbox"/> vesijohtoa <input checked="" type="checkbox"/> jätevesi- viemäriä <input type="checkbox"/> hulevesi- viemäriä <input type="checkbox"/> uudis- rakennusta <input type="checkbox"/> laajennusta <input checked="" type="checkbox"/> olemassa olevaa rakennusta			
Rakennuksen käyttötarkoitus Ammatillisten oppilaitosten rakennukset		Rakennustyyppi Opetusrakennukset		
5. Suunnitelmat	Sopimusehdoissa muutoin tarkoitettujen suunnitelmien lisäksi on laitoksen hyväksyttäväksi annettava sarjana			
	luettelo asennetta- piirustus bensiinin-, suunnitelma vista vesijohto- rasvan-, hiekan- jäteveden asema- mitoitus- salaoja- <input type="checkbox"/> laitteistoista <input type="checkbox"/> erottimesta <input type="checkbox"/> käsittelystä <input type="checkbox"/> piirustus <input type="checkbox"/> laskelmat <input type="checkbox"/> piirustukset			
Muut Tonttikartta				
6. Liittymis- maksut ja muut suoritukset	Maksun perusteena oleva yksikkömäärä	Yks.hinta vesi Yksikkö	Yks.hinta jätevesi Yksikkö	Yks.hinta hulevesi Yksikkö
	Peruste Maksun yksikköhinta	Yks.hinta	Yks.hinta	Yks.hinta
	Asiakas sitoutuu tämän sopimuksen allekirjoituksella suorittamaan seuraavat liittymismaksut:			
	Vesi	Liittymismaksu euroa	Erä/Erät euroa	Eräpäivä/Eräpäivät
	Viemäri			
Hulevesi viemäri				
Yhteensä				
7. Muut sopimus- ehdot (mm.sopi- muksen voimaantulo)	Sopijapuolet sitoutuvat noudattamaan tämän sopimuksen sopimusehtoja, laitoksen kulloinkin voimassa olevia vesihuollon yleisiä toimitusehtoja ja laitoksen taksaa tai hinnastoa sekä erillisten maksujen osalta palvelumaksuhinnastoa. Lisäksi on sovittu seuraavaa:			
	Jätevesiviemäriin liittämis- ja padotuskorkeus 70.02	Hulevesiviemäriin liittämis- ja padotuskorkeus 70.34	Hulevesiviemäriin liittämis- ja padotuskorkeus 69.46	Hulevesiviemäriin liittämis- ja padotuskorkeus 70.55
	Liittämiskorkeudet ja padotuskorkeudet on esitetty liitteessä nro		Vesijohdon ja viemäreiden liittämisskohdat on esitetty liitteessä nro	
Sopimukseen sovelletaan liitteen 1 ehtoja. Liittymismaksu on siirtokelpoinen sekä arvonnalisäverollinen (alv 23%)				
Sopimus koskee muita kuin asuinkiinteistöjä vain niiltä osin kuin vesihuolto on asutukseen rinnastettavaa.				
8. Sopimuksen allekirjoi- tukset	Päivämäärä	Päivämäärä		
	Liittyjä	Sastamalan Vesi		
Sastamalan koulutus kuntayhtymä Pylvänäinen Arto		Erjo Jaakko Yli-Mattila Pekka		
9. Siirtäminen	Sopimus siirretty liittyjän vaihtuessa, tiedot siirrosta liitteenä			

 Hakija

 Laitos

SASTAMALAN VESI LIIKELAITOS
PL 23
38201 SASTAMALA

LIITE VESI- JA VIEMÄRISOPIMUKSEEN

Märkärainausprosessikone

Kiinteistötunnus: 790-006-0023-0006
Omistaja: Sastamalan koulutuskuntayhtymä
Osoite: Nokiankatu 1 / Teknikum Oy
38210 Sastamala
Kulutuspaikka: 110 320 241301

Taustatiedot

Sastamalan koulutuskuntayhtymä hallinnoi Pirkanmaan liiton rahoittamaa (ESR) luonnonkuitukomposiittihanketta. Hankkeen yhtenä tavoitteena on kehittää märkärainausmenetelmä muoviteollisuuden raaka-aineen luonnonkuitukomposiitin valmistamiseen. Luonnonkuitukomposiitissa osa muoviraaka-aineesta korvataan uusiutuvilla luonnonkuiduilla.

Hankeorganisaatio on hankkinut 0,5 m ratalevydeillä olevan paperikoneen Karhulan tehtaalta Kotkan Sahaniemestä. Laitteiston pääkomponentteja käytetään soveltuvin osin luonnonkuitukomposiitin märkärainauslaitteeksi. Kone kootaan Sastamalaan Teknikum Oy:n teollisuuskiinteistön tiloihin osoitteeseen Nokiankatu 1.

Tekniset tiedot märkärainausprosessista

- Prosessissa on 4 kpl n. 25 m³ säiliötä jotka täytetään prosessin käynnistämävaiheessa
- Prosessin ajon aikana arvioitu uuden puhtaan veden tarve n. 6,0 m³/h
- Prosessin ajon aikana viemäriin laskettavan veden määrä max 3,0 m³/h
- Jätevesi sisältää hienojakoista partikkelimuotoista kiintoainesta (polymeerisiä partikkeleita). Partikkelit poistetaan jätevedestä prosessissa olevalla hienosuodattimella. Koeajossa todettu suodattimen jälkeen jäteveden kiintoainepitoisuudeksi 0,04 %.
- Jätevesi ei sisällä veteen liukenevia partikkeleita tai kemikallioita
- Jätevesi ei sisällä happoja eikä voimakkaita emäksiä
- Viemärin liittämiskorkeus: vanhojen leikkauskuvien mukaan piirretyt leikkaukset sisältävät korkeusasemat. 1. krs +71.00 ja putkikanaali +68.250. Korkeuksia ei ole mitattu paikalla.

Kyseessä on koe prosessi ja erilaisten prosessien kokeilu voi aiheuttaa mahdollisesti vaihteluja mm. jäteveden happamuudelle.

Sopimus

Asiakas tilaa kustannuksellaan KVVY:lta jäteveden näytteenoton ja tutkimuksen. Näytteestä määritetään. Kiintoaine, pH, Kokonaisfosfori, Kokonaistyyppi, COD ja BOD 7. Tulokset toimitetaan tiedoksi Sastamalan Vesi liikelaitokselle.

Erilaisten koeajovaihtoehtojen yhteydessä on näytteenotto uusittava.

Tuloksista määritetään mahdollisen alkaloinnin tarve.

Mikäli jäteveden pitoisuus ovat tavanomaisen yhdyskuntajäteveden tasolla, vastaanotettavasta hautoma-altaan vedestä peritään kulloinkin voimassaolevan taksan mukainen jätevesimaksu. Vuonna 2012, 2,03 €/m³ (Alv 0 %), 2,50 €/m³ (Alv 23 %).

Pitoisuuksien ylittyessä jäteveden hinta määritetään teollisuusjätevesi laskentakaavan avulla.

Prosessi on varustettava laitoksen toimittamalla vesimittarilla, jolla mitataan puhdas- ja jätevesimäärä.

Koeajoprosessien aikatauluista, vesi- ja jätevesimääristä sekä merkittävistä muutoksista on tiedotettava Sastamalan Vesi liikelaitosta.

Koeajoprosessia aloitettaessa on seurattava viemäriverkoston kuormittumista, jotta voidaan varmistaa viemäristön vastaanottokyky.

Sastamalassa ____/____ 2012

Sastamalan koulutuskuntayhtymä

Sastamalan Vesi Liikelaitos



Jaakko Erjo
Sastamalan Veden johtaja



Pekka Yli-Mattila
verkostopäällikkö

