

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2022

Heili Kolkkanen

# LASIKUIDUN KORVAAMINEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEM- MILLÄ KUIDUILLA KOMPOSIITEISSA

– Mahdollisten arvoketjujen kartoitus

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2022 | 58 sivua

Heili Kolkkanen

## Lasikuidun korvaaminen ympäristöystävällisemmillä kuiduilla komposiiteissa

- Mahdollisten arvoketjujen kartoitus

Työn tavoitteena oli selvittää mahdollisia korvaavia kuitulujitteita lasikuidun tilalle komposiiteissa. Kuiduiksi valikoituivat järviruoko, paju ja kuituhamppu. Keskiössä on negatiivisten ympäristövaikutusten minimointi samalla säilyttäen tuotantoketjun kustannustehokas toiminta.

Työssä käsitellään komposiittien ja niiden valmistusmenetelmien perusolemus, sekä meriteollisuuden vaatimukset kyseisille materiaaleille. Luonnonkuituja käsittelevässä osiossa esitellään myös lasikuitu, jotta esiin tulleita ympäristönäkökulmia voidaan vertailla keskenään tämän aineiston avulla. Orgaanisten kuitulujitteiden avulla pyritään luomaan mahdollisuus vähempään jätevirtaan komposiittien käyttöään loppuessa.

Tuloksena syntyi käsitys kolmen eri kasvikuidun nykyisestä arvoketjusta Suomessa ja niiden potentiaalista toimia komposiittien kuitulujitteina. Nämä kuidut pystyvät toimimaan maativina hiilivarastoina komposiittien yhteydessä ja samalla niillä on myös useita muita positiivisia ympäristövaikutuksia.

Asiasanat:

Komposiitit, luonnonkuidut, kasvikuidut, ympäristötekniikka, meriteollisuus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental engineering

2022 | 58 pages

Heili Kolkkanen

## Replacing glass fiber with more environmentally friendly fibers in composites

- Survey of possible value chains

The goal of this thesis was to investigate possible fiber reinforcements as a substitute for glass fiber composites. Common reed, willow and hemp were selected as substitute fibers. The focus was on minimizing negative environmental impacts while maintaining the cost-effective operation of the production chain.

The work addresses the basic essence of composites and their manufacturing methods, as well as the requirements of the marine industry for these materials. The section on natural fibers includes an introduction to glass fiber, which is used as a reference in comparing the environmental aspects that emerged in the study. Organic fiber reinforcements are used to provide a possibility for lowering waste streams at the end of life of the composites.

The outcome of this thesis is an understanding of the current value chain of three different plant fibers in Finland and their potential to act as fiber reinforcements for composites. These fibers can act as degradable carbon storages in the context of composites and at the same time have a number of other positive environmental effects.

Keywords: Composites, natural fibers, plant fibers, environmental technology, marine technology

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Tietoperusta</b>	<b>9</b>
2.1 Tutkimusmenetelmät	9
2.2 Yritysesittely	9
<b>3 Komposiittimateriaalit</b>	<b>11</b>
3.1 Rakenne	11
3.2 Valmistus	13
3.3 Tekniset vaatimukset	15
3.4 Käyttökohteet	19
3.5 Tuotteen elinkaari	22
3.6 Komposiittivalmistajan näkökulma	23
3.7 Kierrätys	24
<b>4 Kuidut</b>	<b>28</b>
4.1 Lasikuitu	29
4.1.1 Ominaisuudet	30
4.1.2 Valmistus	30
4.2 Järviruoko	31
4.2.1 Niitto	34
4.2.2 Luvat	37
4.2.3 Järviruoko komposiitin lujitteena	37
4.3 Paju	40
4.3.1 Metsät hiilinieluina	41
4.3.2 Turvealueiden hyötykäyttö	41
4.3.3 Pajun tarjoamat mahdollisuudet	43
4.4 Kuituhamppu	44
4.4.1 Viljely	45

4.4.2 Jalostus	46
<b>5 Lopputulokset ja pohdinta</b>	<b>48</b>
5.1 Visio	48
5.2 Kartoitetut tuotantoketjut	49
5.3 Tarvittavat lisätutkimukset	51
5.4 Pohdinnat	52
<b>Lähteet</b>	<b>53</b>

## **Kuvat**

Kuva 1. Järviruo'on yleisyys ja levinneisyys Suomessa (Lampinen & Lahti 2019).	33
--	----

## **Kuviot**

<b>Kuvio 1.</b> Komposiittien valmistusmenetelmien jaottelu. Sovelletaan Saarela et al. 2019f.	13
--	----

## Käytetyt lyhenteet

EKV	Ekvivalentti
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
IMO	International Maritime Organization
PVC	Polyvinyylikloridi
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea

# 1 Johdanto

Kestävän yhteiskunnan luominen on laaja konsepti, ja se vaatii suuria muutoksia kaikilta osapuolilta. Tällainen yhteiskunta käyttää energiaa ja luonnonvaroja kohtuullisesti, turvaa luonnon monimuotoisuuden, tuottaa mahdollisimman vähän päästöjä ja jätteitä sekä takaa kaikkien hyvinvoinnin ja yhdenvertaisuuden. Lainsäädännön ja kulutustottumuksien muutoksien sekä valtion rajat ylittävän yhteistyön avulla saavutetaan merkittäviä vaikutuksia.

Materiaalivalinnat teollisuudessa vaikuttavat yhtenä monista tekijöistä kestävän yhteiskunnan luomiseen, ja se on otettava huomioon myös komposiittiteollisuudessa. Perusteellisen suunnittelun kautta materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa ympäristöystävällisten, kierrätettävien ja uusiutuvien raaka-aineiden suosimiseen. Samalla on myös tärkeää kiinnittää huomiota näiden raaka-aineiden tuotantoketjujen vastuullisuuteen. Oikeilla raaka-ainevalinnoilla voidaan vaikuttaa lopputuotteen keveyteen ja materiaalimenekkiin, mikä puolestaan vähentää päästöjä ja jätteen määrää. Nämä kaikki vaiheet vaikuttavat suoraan valmiin tuotteen, tässä tapauksessa komposiitin, koko elinkaaren hiilijalanjälkeen. (European Commission 2022)

Lasikuitu on ollut vallitseva lujitemateriaali komposiittiteollisuudessa, mutta käyttöikänsä loppuessa se päättyy jätteeksi, jota on suhteellisen hankalaa kierrättää. Lasikuidulla lujitettuja komposiitteja käytetään meriteollisuudessa muun muassa niiden keveyden vuoksi suhteessa teräkseen. (Saarela et al. 2019d) Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa vaihtoehtoisten lujitemateriaalien arvoketjuja ja näin vaikuttaa eri alojen, kuten laivateollisuuden ympäristövaikutuksiin.

Tässä työssä käsiteltävät kuidut ovat kaikki luonnonkuituja, jotka, toisin kuin lasikuitu, ovat maatuivia. Niillä on orgaanisen koostumuksensa lisäksi useita muita positiivisia vaikutuksia: järviruo'on käyttöä voidaan rinnastaa jätteen käyttöön, paju selviää vanhoilla turvealueilla ja kuituhamppu sopii luomuviljelyyn. Kuituhampun käytöstä kuitulujitteena on jo näyttöä, mutta järviruo'on ja pajun käyttö on uutta. Tämä opinnäytetyö luo pohjan näiden

kuitujen käyttöönoton toteutumiselle, minkä jälkeen tarkemmat materiaalitestaukset tulevat ajankohtaiseksi.

Opinnäytetyö käsittelee yleisesti komposiittikäsitteen ja siihen sisältyvät eri tuotantovaiheet. Samalla perehdytään pintapuolisesti meriteollisuuteen ja sen käyttämien materiaalien vaatimuksiin. Työssä esitellään vertausarvona lasikuitu, johon kolmea käsiteltävää luonnonkuitua voidaan vertailla eri näkökulmista. Lopussa on aiheen luomia pohdintoja.



## 2 Tietoperusta

### 2.1 Tutkimusmenetelmät

Tämän opinnäytetyön perustana toimivat eri lähteiden aineistot kirjallisuustutkielmana, asiantuntijoiden haastattelut, sekä Meyer Turku Oy:n sisäiset tietolähteet. Teoriapohja on luotu alan kirjallisuuden, artikkelien ja erilaisten hankeaineistojen avulla.

Suuressa roolissa ovat myös olleet opinnäytetyötä varten järjestetyt vapaamuotoiset haastattelut. Tavoitteena oli lisätä eri aiheiden yleiskuvaa ja lisätä tietoa sellaisista aiheista, joihin pelkkä kirjallisuuskatsaus ei riittänyt. Haastattelujen osapuoliin oltiin yhteydessä sähköpostitse, jolloin keskusteltavasta aiheesta kerrottiin tarkemmin ja virallinen haastattelu-aika varattiin. Haastattelujen vapaamuotoisen luonteen vuoksi yksityiskohtaiset tiedot sisällöistä ovat vain haastattelutilaisuuksiin osallistuneilla. Haastateltavia yrityksiä olivat *Turun ammattikorkeakoulu*, *CH-Bioforce Oy*, *Composite Solutions and Innovations Oy* ja *Piikkio Works Oy*.

### 2.2 Yritysesittely

Meyer Turku Oy, jonka Meyerin perhe omistaa, toimii tämän opinnäytetyön toimeksiantajana. Yhtenä Euroopan johtavista laivanrakennusyrityksistä Meyer jatkaa vuonna 1737 perustetun Turun telakan toimintaa. Tällä hetkellä sen toimitusjohtajana toimii Tim Meyer. Meyer Turun telakalla on yli 2 000 työntekijää, ja se on merkittävä työllistäjä Lounais-Suomen alueella, mutta koko meriklusterin kautta myös laajemmalla.

Meyer Turku Oy tarjoaa monipuolisia teknologisia ratkaisuja laivanrakennuksen eri osa-alueisiin sen pitkälle kehittyneiden rakennusprosessien ja innovatiivisten toteutuksien avulla. Se on myös kiinnostunut toimintansa vastuullisuudesta ja vaikutuksista ympäristöön. Etenkin hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on viime aikoina ollut yhtiölle ajankohtaista, jolloin myös materiaalivalintoihin on

kiinnitetty enemmän huomiota. Meyer Turku Oy on erikoistunut rakentamaan suuria risteilyaluksia, autolauttoja sekä erikoisaluksia, joista esimerkkinä toimii hulpeat kelluvat kiinteistöt.

## 3 Komposiittimateriaalit

Jatkuvasti kehittyvä yhteiskunta tarvitsee uusia materiaaleja uusiin haasteisiin. Ilmastonmuutoksen ja monien muiden tekijöiden vuoksi ympäristö muuttuu radikaalisti ja samoilla tekniikoilla ei enää pärjätä. Jotkin materiaalit eivät myöskään enää ole kestävän yhteiskunnan kannalta järkeviä, minkä vuoksi muutoksia tarvitaan. Komposiitit ovat mullistaneet modernin teollisuuden, ja niiden jatkokäyttö muuttuvissa ympäristöoloissa edellyttää uusien materiaaliyhdisteiden tutkimista.

### 3.1 Rakenne

Komposiitti tulee englannin kielen sanasta composite, joka tarkoittaa yhdistettyä. Komposiitti on kahden tai useamman materiaalin yhdistelmä, jossa materiaalit eivät ole sulautuneet toisiinsa. Sulautumattomuuteen vaaditaan fysikaalinen tai kemiallinen ero. Yleensä komposiitti koostuu kuidusta ja matriisista, joka sitoo kuidun itseensä ja suojaa sitä ulkoisilta tekijöiltä. Myös pelkkä matriisi voi toimia komposiittina, jos se sisältää kahta tai useampaa eri materiaalia. Matriisin ja kuidun lisäksi komposiittiin voi sisältyä erilaisia täyteaineita. Niillä kuitenkin pystytään vaikuttamaan komposiitin mekaanisiin ominaisuuksiin suhteessa vähemmän, kun verrataan lujitekuituihin (Saarela et al. 2019e). Lasikuitukomposiitti on yksi esimerkki komposiitista. Tässä tapauksessa kuituna toimii nimensä mukaisesti lasikuitu ja matriisina esimerkiksi epoksi. Muovit ovat yleisin valinta matriisille johtuen niiden keveydestä. (Muoviteollisuus Ry 2021)

Komposiittiteollisuuden tavoitteena on saada yhdistettyä eri materiaalien parhaat ominaisuudet samalla minimoien niiden negatiiviset yhteisvaikutukset. Ominaisuuksia pystytään muuntelemaan tarkan ennakoivan suunnittelun avulla. Eri materiaaleja yhdistelemällä voidaan luoda komposiitteja, jotka ovat kevyempiä, kestävämpiä, kovempia ja hinnaltaan halvempia kuin yleisimmät materiaalit. (Vuorinen et al. 2016)

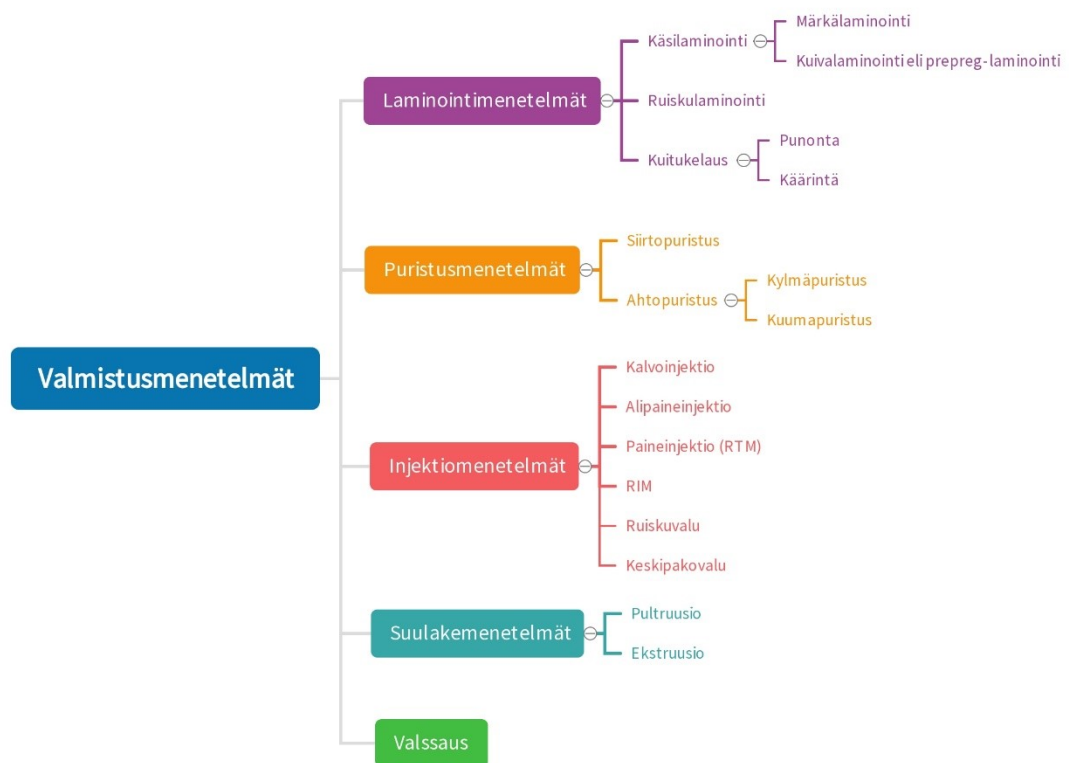
Muovikomposiitit ovat yksi käytetyimmistä komposiittityypeistä. Niissä matriisina toimii muoviaine. Muovit voidaan jakaa kerta- ja kestumuoveihin. Kertamuoveja ei voida valmistukseen kuuluvan kovettamisen jälkeen muovata, sillä lämmitettäessä riittävästi ne hajoavat. Kestomuovien polymeeriketjujen heikkojen sidosten ansiosta ne ovat jatkuvasti uudelleen muovattavissa lämmityksen avulla. (Plasthouse Oy 2018) Ympäristön kannalta kestumuovit ovat parempi vaihtoehto muovikomposiitteihin, sillä niiden uudelleen käyttö on turvattu muovattavuuden vuoksi. Kertamuovit kelpaavat käytön jälkeen yleensä vain muiden muovien täyteaineeksi jauheena (Asikainen 2016).

Muovikomposiittien tyypillisiä ominaisuuksia ovat muovin tuoma keveys, pitkäaikaiskestävyys, eristyskyky ja hyvä lujuus. Niillä on myös hyvä vastustuskyky korroosiolle, sekä eri lämpötila- ja säävaihteluille. Kun muovikomposiitissa on kuituja lisäämässä rakenteen lujuutta, materiaalia kutsutaan lujitemuoviksi. (Saarela et al. 2019c) Jotkin tekijät kuitenkin rajoittavat muovi- sekä muiden komposiittien käyttöä. Näistä merkittävimmät ovat erilaiset kustannukset, kuten muottien valmistukseen ja käsityövaltaisiin tuotantomenetelmiin liittyvät kustannukset, kehittämättömät valmistusmenetelmät kilpailukykyisiin suursarjatuotantoihin verrattuna ja raaka-aineiden vaatimaton lämmönkestävyys. Lisäksi käytettävien materiaalien tiukat vaatimukset ja käyttöä rajoittavat standardit vaikeuttavat komposiittien laajaa hyödyntämistä. Tästä esimerkkinä toimii meriteollisuuden tiukat paloturvallisuusvaatimukset. (Saarela et al. 2019a)

Kuitujen ja matriisin välinen adheesio eli niiden liittyminen toisiinsa on olennaista komposiitin valmistuksessa. Adheesio saadaan aikaan käyttämällä sidosaineita tai muokkaamalla kuituja ja matriiseja. Sidosaineen toiminta riippuu käytetystä aineesta, mutta se joko muodostaa sidoksia, parantaa matriisien ja kuitujen yhteensopivuutta tai edistää kuitujen dispersiota eli tasaista sekoittumista matriisissa. Kasvikuituja käytettäessä muovikomposiiteissa adheesio luominen kuitujen ja matriisin välille voi olla haastavaa, sillä kasvikuidut absorboivat vettä, kun taas muovit ovat vettä hylkiviä.

### 3.2 Valmistus

Eri komposiitit vaativat eri valmistusmenetelmiä. Karkeasti valmistus voidaan jakaa käsityövaltaisiin ja koneellistettuihin menetelmiin. Tällä hetkellä käsityövaltaisten menetelmien osuus Euroopassa on merkittävän suuri, ja se aiheuttaa huomattavia taloudellisia kuluja. Jos eri komposiittirakenteiden koneellisia valmistusmenetelmiä lisätään ja kehitetään, mikä puolestaan nopeuttaa tuotantoa ja alentaa kustannuksia, ovat komposiittimateriaalit yhä useampien yritysten saatavilla. Samalla tulee ottaa huomioon eri materiaalien ympäristövaikutukset ja lisätä ympäristöystävällisempien raaka-aineiden käyttöä. Erään vuoden 2016 tutkimuksen mukaan Euroopassa valmistetaan lujitemuoveja 21 % koko maailman lujitemuovimäärästä. (Saarela et al. 2019a)



**Kuvio 1.** Komposiittien valmistusmenetelmien jaottelu. Sovelletaan Saarela et al. 2019f.

Kuten kuvio 1 osoittaa, kone- ja käsityövaltaisten menetelmien jaottelun lisäksi komposiittien valmistus voidaan jakaa menetelmien teknisten ominaisuuksien mukaan viiteen lohkoon: laminointi-, puristus-, injektio-, suulake- ja valssausmenetelmiin. Laminointimenetelmissä laminaatti valmistetaan asettamalla matriisi ja lujite kerroksittain muottiin, jossa se kovetetaan yli- tai alipaineella tai ilman ulkoista painetta. Laminointimenetelmät jaetaan edelleen käsi- ja ruiskulaminointiin sekä kuitukelaukseen. (Saarela et al. 2019f)

Käsilaminoinnissa muottikustannukset ja laiteinvestoinnit ovat matalat, jolloin suuriakin tuotteita pystytään valmistamaan melko taloudellisesti. Tämä menetelmä vaatii kuitenkin paljon työvoimaa, jolloin prosessi on hidas ja raskas. Ruiskulaminointi on tehokkaampi tapa valmistaa komposiitteja. Siinä sekä lujite että hartsi ruiskutetaan muotin pinnalle. Moninkertaisen tuottavuutensa ansiosta ruiskulaminointi soveltuu paremmin suurempien sarjatuotteiden valmistukseen, mutta toisaalta sen huono puoli on työn laadun epätasaisuus. Kuitukelauksessa komposiitissa käytettävät kuidut päällystetään hartsilla ja johdetaan sen jälkeen pyörivälle muotille. Kun muotilla on tarpeeksi kuitu-hartsi –yhdistettä, se kovetetaan. Kuitukelausta käytetään kartiomallisten komposiittien valmistukseen. (Forsbom & Ahosola 2018)

Puristusmenetelmät jaetaan kahteen alalohkoon, siirto- ja ahtopuristusmenetelmiin. Siirtopuristuksessa lämmitetyt komposiitin ainesosat puristetaan männän avulla muottionkaloon, kun taas ahtopuristuksessa komposiittimassa on jo aseteltu muotin pohjalle, josta se sitten hydraulisesti puristetaan tasaisesti muottionkaloon samanlaisen muotin avulla. (Saarela et al. 2019f)

Painevalu- eli injektioimenetelmiä on useita, mutta ne perustuvat kaikki samankaltaiseen tekniikkaan, jossa matriisi ja lujite johdetaan muottiin paineella tai valaen. Injektioimenetelmät ovat suhteellisen nopeita, laadultaan tasaisia ja prosessitekniikka on suljettu, joten terveydelle haitallisia aineita ei vapaudu työympäristöön. (Saarela et al. 2019f)

Pultruusio ja ekstruusio kuuluvat suulakemenetelmiin. Pultruusiossa hartsilla kostutettu lujitekuitu vedetään muottisuulakkeen läpi, jolloin saadaan valmistettua haluttu malli ja tarvittaessa pitkiä ja leveitä kappaleita. Koska pultruusion käynnistyskustannukset ovat korkeat, se soveltuu parhaiten suurille tuotantomäärille. Ekstruusiossa komposiitin raaka-aineet kuumennetaan ja sekoitetaan tasaiseksi, minkä jälkeen massa työnnetään suulakkeen läpi. Tällä menetelmällä valmistetaan muun muassa putkia, letkuja ja kalvoja. Ekstruusion avulla valmistettujen tuotteiden mekaaniset ominaisuudet ovat kuitenkin heikommat pultruusiotuotteisiin verrattuna. (Saarela et al. 2019f)

Valssauksessa lujitteet ja hartsi syötetään kalvojen väliin, jossa ne yhdistetään ja puristetaan kokoon. Halutun muotoilun jälkeen tuote kovetetaan lämmön avulla. Tällä menetelmällä useat rakennusteollisuuden käyttämät paneelit, levyt ja laminaatit valmistetaan. Valssauksessa tuotantomäärän on kuitenkin oltava tarpeeksi suuri, jotta kalliit laiteinvestoinnit ovat kannattavia. (Saarela et al. 2019f)

### 3.3 Tekniset vaatimukset

Komposiittien tekniset vaatimukset vaihtelevat eri teollisuuden alojen välillä ja tässä työssä keskitytään laivateollisuuteen. Kaikille laivateollisuudessa käytettäville materiaaleille on erilaisia vaatimuksia. Materiaalivalinnoissa on otettava huomioon paloturvallisuus, lujuusominaisuudet, myrkyllisyys, materiaalien aiheuttamat terveyshaitat sekä ympäristövaikutukset. Vaatimusten toteutumisen tueksi on asetettu säädöksiä ja raja-arvoja, jotka tulee läpäistä ennen laivaprojektin hyväksymistä.

Tärkein aihe komposiittien kannalta turvallisuusmielessä on paloturvallisuus, sillä palamattomaan teräkseen verrattuna komposiitit ovat huomattava paloturvallisuusriski. Teräs on laivateollisuuden käytetyin materiaali. Lujitemuovikomposiittien käyttö SOLAS(International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) 1974)-hyväksytyissä aluksissa ei yleensä ole sallittua palamattomien materiaalien käyttöä koskevien ohjeiden vuoksi. Kuitenkin

lujitemuovielementit voidaan hyväksyä osaksi vaihtoehtoista suunnittelua ja paloturvallisuusjärjestelyjä SOLAS-säännön II-2/17 mukaisesti. Vaihtoehtoisen suunnittelun ja sen järjestelyjen on täytettävä SOLAS-yleissopimuksen luvun II-2 paloturvallisuustavoitteet ja toiminnalliset vaatimukset. Komposiittirakenteita arvioitaessa on erityisen tärkeää muodostaa riittävän tarkat ja asianmukaiset epävarmuustekijöiden kuvaukset. (IMO 2017)

Käytettävät lujitemuovielementit voidaan luokitella kokonaisvaltaisiin rakenteisiin ja komponentteihin. Kokonaisvaltaisia rakenteita ovat elementit, jotka eivät lisää laivan kokonaislujuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi altaat, liukuovet ja –katot, näyttämöt ja lavat. Komponentit ovat ei-rakenteelliset osat, jotka on liitetty laivan rakenteeseen mekaanisilla tai kemiallisilla liitosmenetelmillä. Esimerkkejä komponenteista ovat parveke, suppilo, masto ja lattia. (IMO 2017)

Komposiittielementtien käytössä merkitykselliset palovaarat, jotka on luokiteltu SOLAS-yleissopimuksen II-2 luvun määräysten mukaan, ovat syttymisen todennäköisyys, tulipalojen kasvupotentiaali, mahdollisuus tuottaa savua ja myrkyllisiä tuotteita, palon eristäminen, palotorjunta ja rakenteellinen eheys. Turvallisuusmääräykset eroavat hieman toisistaan riippuen kyseessä olevasta alueesta. Esimerkiksi alueella, jonka läpi kulkee hätäpoistumistie, on tiukemmat määräykset. (IMO 2017)

Melkein kaikissa säännöksissä vaaditaan palavien materiaalien käytön rajoittamista, mikä on komposiittirakenteita tarkasteltaessa yksi tärkeimmistä huomioista. Palamattoman materiaalin asetus määrittelee sen materiaaliksi, joka ei pala eikä vapauta palavia höyryjä kuumennettaessa 750 °C:een. Esimerkiksi vinyyliesteri, jota käytetään usein hartsina muovilujitetuissa komposiiteissa, aiheuttaa pyrolyysikaasuja yli 500 °C:ssa. (IMO 2017)

Eri alueet ja rakenteet voidaan luokitella eri osa-alueisiin paloturvallisuuden kannalta, kuten A-, B- ja C-luokan jaottelu. A-luokan rakenteiden tulee olla valmistettu teräksestä tai muusta vastaavasta materiaalista, ja ne on rakennettava siten, että ne pystyvät estämään savun ja liekin kulun tunnin ajan normaalissa palotestissä. Kyseisessä testissä asiaankuuluvien laipioiden tai



kansien näytteet altistetaan testiuunissa lämpötiloille, jotka vastaavat suunnilleen standardia aika-lämpötilakäyrää. B-luokan rakenteiden tulee olla valmistettu hyväksytyistä palamattomista materiaaleista, ja niiden tulee pystyä estämään savun ja liekin kulku normaalin palotestin ensimmäisen puolen tunnin ajan. Myös C-luokan rakenteet tulee olla valmistettu hyväksytyistä palamattomista materiaaleista, mutta tässä luokassa ei ole aikavaatimusta palon estoon. (IMO 2017)

IMO:n mukaan palavien materiaalien ja niiden pinnoitteiden palon aikana vapautuvien savun ja myrkyllisten aineiden määrää on rajoitettava. Vaikka kaikki tulipalossa olevat materiaalit edistävät myrkyllisen savun muodostumista, tärkein tekijä on tuotteen pintamateriaali. Selviytymismahdollisuudet ovat paremmat, kun palon ensimmäisissä vaheissa ei synny paljon myrkyllisiä kaasuja. Tämän vuoksi yleensä komposiitit täytyy suojata hyväksytyillä pintamateriaaleilla. Myös lämmöneristystä voidaan käyttää suojaamaan palavia komposiitteja.

Tulipalon sattuessa aluksen rakenteellisen eheyden on säilyttävä, jotta taataan matkustajien ja pelastajien turvallisuus. Tämän vuoksi runko, kansirakenteet, rakenteelliset laipiot, kannet ja kansirakennukset on rakennettava teräksestä tai muusta vastaavasta materiaalista, jolla on sellaisenaan tai lisätyn eristyksen ansiosta teräkseen vastaavat rakenteelliset eheysominaisuudet vakiopalotestin lopussa. Teräs on vankka laivanrakennusmateriaali, jolla on korkea tuhoutumisraja sekä lämpötilan että lastauksen suhteen. Eristämättömät teräsrakenneosat alkavat yleensä huonontua vasta 400 – 500 °C:ssa, kun taas suojaamattomat komposiittirakenteet vaativat vain noin 200 °C lämpötilan. Aluksen rakenteellisen eheyden vaatimusta ei siis voida täyttää, jos kantavissa rakenteissa käytetään palavia komposiitteja. (IMO 2017)

Vaikka muovikomposiitit ovat rakenteellisen eheyden mielessä huonompia teräkseen verrattuna, ne ovat hyviä lämpösuojia. Jos siis komposiittirakenteessa lämmön aiheuttaman rakenteen romahtaminen voidaan välttää, komposiittisuunnittelulla on suuri etu metallimateriaaleihin nähden, sillä lämmönsiirron aiheuttama palon leviämisen riski on paljon pienempi

muovikomposiiteissa kuin metallimateriaaleissa. Rakenteellisen kestävyuden saavuttamiseksi on tärkeää pitää lämpötila matalalla, mikä on saavutettavissa eristyksen, jäähtymisen tai rakenteellisen suunnittelun avulla.

Perinteisten ulkoteräspintojen vaihtaminen palavaan komposiittiin antaa tulelle mahdollisuuden levitä pystysuunnassa, jos ikkuna rikkoutuu tai ulko-ovi jätetään auki. Tuli voi siten levitä kansien ja eri paloalueiden välillä. Asiaan on kiinnitetty paljon huomiota, ja täysimittaisia testejä on tehty sopivien lieventävien toimenpiteiden löytämiseksi. Vaihtoehtoja palon leviämisen estämiseksi ovat komposiittien pintalevyjen valmistaminen sellaisesta materiaalista tai päällystäminen sellaisella palonestoaineella, jolla on alhainen liekinlevitysominaisuus tai kastelujärjestelmän asentaminen ulkopinnoille. Paloluokitettut ikkunat ja ovet ovat muita paloturvallisuustoimenpiteitä, joilla voi olla merkitystä. (IMO 2017)

Komposiittirakenteiden palonkestävyys riippuu käytetyistä materiaaleista ja niiden yhteiskäytöstä korkeissa lämpötiloissa. Materiaalien tuntemus on siksi ratkaisevan tärkeää paloturvallisuudessa, kuten esimerkiksi arvio materiaalin kutistumisesta tai laajentumisesta lämpömuodonmuutoksissa. Komposiitin hartsilla on suurempi vaikutus paloturvallisuuteen kuin komposiitin sisältämällä kuidulla, sillä hartsi on ensimmäisenä kosketuksissa mahdollisen palon kanssa. Muovikomposiittirakenteen suorituskyky tulelle altistettuna riippuu pääasiassa käytetystä polymeerityypistä ja laminaatin paksuudesta, ytimen (jos käytetään sandwich rakennetta) tyypistä ja tiheydestä, palosuojan tyypistä ja määrästä, kuten eristys sekä rakennetuista, kuten jäykisteistä. (IMO 2017)

Komposiittituotteiden käyttöä rajoittavia parametrejä on useita, kuten ainesosien seossuhteet, lämmönjohtokyky, murtolujuus, taivutuskuormitus ja huokoisuus, ja ne vaihtelevat eri tilanteissa. Lisäksi komposiittien lujitteiden asettelutapa vaikuttaa useimpiin parametreihin. Vaadittavat arvot on aina haettava tapauskohtaisesti ottaen huomioon valitut materiaalit, rakenne, valmistustekniikka ja rakenteen käyttöympäristö.

### 3.4 Käyttökohteet

Useat eri alat käyttävät komposiitteja. Yleisimpiä käyttökohteita ovat ilmailu, sotateollisuus, logistiikka, infrastruktuuri, rakennusala, kuluttajatuotteet, korroosionkestävät tuotteet, sähköala, meriala sekä uusiutuvan energian teollisuus (Muoviteollisuus Ry 2021). Komposiittien käyttö on kuitenkin edelleen hyvin hajautunutta eri tuotantoalueiden sisälläkin ja vaaditaan lisää tutkimusta, jotta komposiittien käyttökynnys laskisi. Kustannusnäkökulmien takia laajalaisempi käyttöönotto yli teollisuusrajojen olisi tarpeen.

Suuren mittakaavan komposiittirakenteet meriteollisuudessa ovat vielä vähäisiä, sillä niiden valmistus vaatii telakalta ja valmistajilta laajoja muutoksia sekä kalliita valmistusmuotteja ja välineitä. Sen sijaan pienemmät rakenteet ovat leistyneet komposiittikäytössä, mikä on edellytys suuremmille muutoksille. Tällä hetkellä komposiitteja käytetään laivateollisuudessa muun muassa erilaisissa kansi- ja sisustusrakenteissa, roottoripurjeissa, vinssikeloissa ja –akseleissa, tankeissa, putkissa, pelastusveneissä ja potkureissa. Lähes kaikki pienemmän mittakaavan alukset eli huvi-, kilpa- ja purjeveneet on tehty muovikomposiiteista. (Forsbom & Ahosola 2018)

Komposiittien käyttöä suuremman mittakaavan rakenteissa laivateollisuudessa on kokeiltu pilotti- ja projektimielessä useasti. Eräessä laivahankkeessa (2014) kemikaalitankkeriin asennettiin CFRP eli hiilikuituvahvisteisesta polymeeristä valmistettu potkuri. Muutos oli merkittävä, sillä uusi komposiittipotkuri vaati yhdeksän prosenttia vähemmän tehoa kuin aikaisempi alumiini-pronssipotkuri. Potkurin rakenteellinen kestävyys pysyi samana. (Forsbom & Ahosola 2018)

Eurooppalainen EU:n rahoittama tutkimusprojekti Fibership (2017) tähtää uudistamaan laivojen rakennusta. Tarkoituksena on luoda edellytykset kuituvahvistettujen muovikomposiittien käytölle yli 50 metristen aluksien rakenteissa. Projektin avulla on saatu laskelmia, joiden mukaan komposiittien käyttö voi keventää laivojen painoa jopa 30 %, vähentää polttoainekulutusta 10 – 15 %, laskea kasvihuonekaasujen päästöä, mahdollistaa 75 % materiaalin

uudelleenkäytön, vähentää melusaastetta ja kasvattaa lastikapasiteettia noin 12 %. (Michel 2017, Fibreship 2017)

Komposiittien käyttö merivoimien kalustossa on yleisempää verrattuna matkustaja aluksiin. Merivoimat vaativat parhaimmat ominaisuudet, kuten vahvuus, keveys ja korroosion kesto, kalustolleen ja komposiitit pystyvät tarjoamaan nämä. Etenkin keveys, joka vaikuttaa aluksen polttoainekustannuksiin ja nopeuteen, on tärkeä. Näiden lisäksi tietyt komposiitit ovat akustisesti heijastamattomia ja diamagneetteja, mikä estää kaikuluotaimessa ja tutkassa näkyvyyden. Toiminta perustuu siihen, että aluksen runkoon asennetut komposiittilevyt heijastavat ja uudelleensuuntaavat tutkasignaaleja. Kaikki edellä mainitut tekijät ovat vaikuttaneet metallin korvaamiseen komposiiteilla, vaikka komposiittien suurissa materiaali- ja rakennushinnoissa sekä palon- ja iskunkestossa onkin esiintynyt ongelmia. (Forsbom & Ahosola 2018)

Kroatian Pulassa, Uljanikin telakalla valmistui vuonna 2017 autokuljetusalus, jossa merkittävä määrä teräsrakennetta korvattiin komposiiteilla. Autokuljetusaluksien eli ro-ro –aluksien (roll on – roll off) lastaus tapahtuu aluksen sivusta, perästä tai keulasta nimensä mukaisesti rullaten ja yleensä niiden päätehtävä on kuljettaa suuri määrä ajoneuvoja eri maiden välillä. Alukset ovat yleensä laatikkomaisia terävillä päillä ja ne sisältävät useita kansia. (Corniani 2019)

Uljanikin telakalla eurooppalaisen tutkimusapurahan avulla suoritettavassa projektissa kolme ylintä autokantta valmistettiin hiili- ja lasikuitukomposiiteista. Käytetyt komposiittipaneelit olivat niin sanottuja sandwich –rakenteisia komposiitteja eli paksumman ytimen molemmiin puolin oli asetettu ohuemmat levyt. Paneelien ydin suunniteltiin 40 mm:n paksuisesta PVC-materiaalista. Komposiitteja tuki teräksinen ristikkorakenne, jossa oli palkkeja ja kiinnityspisteitä jokaiselle paneelille. (Corniani 2019)

Kolmea kantta varten tarvittiin 1 043 paneelia. Yksi paneeli painoi 155 kg, joten käytettyjen paneelien yhteispaino oli noin 162 tonnia yhdessä laivassa.

Teräsrakenteisiin verrattuna tällainen määrä komposiitteja vähensi 230 tonnia aluksen painosta. Massasäästö ei kuitenkaan ollut ainoa hyöty. Koska itse aluksen rakenne painoi vähemmän, myös tasapainottamiseen käytettävää painolastia tarvittiin 575 tonnia vähemmän, jolloin kokonaismassasäästö oli 805 tonnia. Painosäästö vaikutti suoraan polttoaineen kulutukseen 4,5 %, joka puolestaan vähensi aluksen hiilidioksidipäästöjä. (Corniani 2019)

Komposiittipaneelit oli suunniteltava SOLAS-yleissopimuksen, luokituslaitoksen ja omistajan vaatimusten mukaisesti. SOLAS-yleissopimuksen osalta oli otettava huomioon lujuus- ja paloturvallisuusmääräykset. Paneelit eivät lisänneet rakenteen lujuutta merkittävästi, vaan kantava osa oli teräksinen ristikkorakenne ja palkit. Teräsosat siis täyttivät vaatimukset rakenteellisesta eheydestä. (Corniani 2019)

Paloturvallisuuden vuoksi komposiitista rakennettavat kannet sijaitsivat kaikki samalla palovyöhykkeellä, jota reunusti teräksinen kaasutiivis rakenne. Tarkemmissa tutkimuksissa ilmeni, että mahdollinen palo pääsi leviämään kansien välillä paneelien kiinnitysreikien kautta; kiinnitysreiät oli siis suljettava lopullisessa mallissa, jotta pystysuoran palon leviäminen olisi hitaampaa. Palon sattuessa komposiittipaneelien etuna oli se, että niiden päällä ihmiset pystyivät kävelemään kauemmin verrattuna teräskanteen, joka tulipalon kuumuuden vuoksi lämpeni huomattavasti nopeammin ja enemmän. Vaikka tutkimuksen mukaan komposiittirakenne viivästytti palon leviämistä kansien läpi, tulipalon kasvunopeus, palokuorma ja ilmaan haihtuvat myrkyt hartseista kuitenkin lisääntyivät. Tutkimuksen tulokset olivat kuitenkin tarpeeksi hyvät autokuljetusaluksen sovellutuksiin. Tällaisen suuren komposiittirakenteen toteuttaminen risteilyaluksessa ei olisi helppoa tiukempien paloturvallisuus-, savu- ja myrkyllisyysvaatimusten vuoksi. (Corniani 2019)

Meyer Turku Oy:n valmistamissa risteilyaluksissa on myös useita komposiittituotteita. Kohteet, joissa komposiitteja käytetään, ovat esimerkiksi poreammeet, seinä- ja lattiaelementit, yksittäiset suuret rakenteet, erilaiset sisustustuotteet sekä ulkokansien rakenteet.

Meyerin rakentama yli 180 000 tonnia painava *Mardi Gras*, jota Carnival Cruise Line operoi, luovutettiin tilaajalle vuoden 2020 joulukuussa. Laivalla on hyttejä reilusti yli 3 000 kappaletta mukaan lukien henkilökunnan hytit, ja suurin osa näistä hyttimoduulien märkätilojen eli suihkun ja vessan lattioista on lasikuitukomposiittia. Yhteensä komposiittimateriaalia kaikkien hyttien lattioissa on noin 325 000 kg. Määrä on karkea arvio, sillä hyttien pinta-ala on tässä arviossa oletettu kaikilla samaksi, vaikka todellisuudessa esimerkiksi sviitit ja henkilökunnan hytit eroavat toisistaan paljon.

### 3.5 Tuotteen elinkaari

Tuotteen elinkaari käsittelee tuotteen koko eliniän kaikkia vaiheita raaka-aineiden valmistuksesta tuotteen ja sen osien hävittämiseen asti. Käsittelyssä otetaan huomioon sekä ympäristövaikutukset että taloudellisuus ja sosiaaliset näkökulmat. (Solar Simulator Finland Oy 2021) Eri komposiiteilla tuote-elinkaaret vaihtelevat suuresti. Elinkaaren vaiheisiin vaikuttavat useat tekijät.

Ensin valitaan raaka-aineet riippuen halutusta lopputuotteesta. Raaka-aineet tulevat eri lähteistä, joilla jokaisella on myös oma erillinen elinkaari. Jos osa raaka-aineista on orgaanisia, tällöin tulee tarkastella myös niiden kasvun prosessia alusta asti. Kun raaka-aineet ovat valmiita kasvun ja/tai valmistuksen jälkeen, ne siirretään tuotantolaitoksiin, joissa itse komposiitit valmistetaan. Nämä kaikki vaiheet tarvitsevat erilaisia resursseja ja toiminnan seurauksena syntyy erilaisia tuotoksia, kuten materiaalien sivuvirtoja ja jätettä. Kaikkien vaiheiden aikana selvitetään hiilidioksidipäästöt ja esimerkiksi vesien rehevöityminen tai maaperän toksisuus. Merkittävän vaikutuksen tuotteen elinkaareen luo sen loppusijoitustapa jätteenä. (Solar Simulator Finland Oy 2021)

### 3.6 Komposiittivalmistajan näkökulma

Näkökulman selventämisen pohjana on käytetty haastattelua *CSI Composite Solutions and Innovations Oy:n* kanssa. Yritys on Mänttä-Vilppulassa sijaitseva komposiittiteknologian asiantuntija, jonka tuotteista suurin osa on sarjatuotantoa muun muassa koneenrakennukseen ja rautatieteollisuuteen. Heillä on myös mahdollisuus teettää yksittäisiä tilaustöitä.

Monen muun yrityksen tavoin CSI on seurannut biokuitujen käytön kehitystä mielenkiinnolla. Luonnonkuiduista hampun ja pellavan käyttö on kaikista tutuinta ja näistä kuiduista myös CSI on kokeillut komposiittien valmistusta. Tällä hetkellä heillä ei ole vielä kuitenkaan kannattavaa siirtyä tuottamaan luonnonkuitukomposiitteja sarjatuotantona, sillä luonnonkuitujen hinnat ovat kalliin hiilikuidun tasolla, mutta ominaisuudet ovat silti huonommat. Samalla haasteen luo myös luonnonkuitujen liika variaatio laadun suhteen, jolloin myöhempien lopputuotteiden varmuuskertoimien ja takuiden määrittäminen on hankalaa.

Komposiitteihin soveltuvat luonnonkuidut ovat kuitenkin kiinnostava tutkimuksen kohde. Komposiittiyritykset näkevät niissä potentiaalia, mutta kannattavuus tulee usein vastaan. Luonnonkuidut ovat jopa lasikuitua kevyemmät, jolloin monet keveydestä hyötyvät tuotevalmistajat, kuten urheiluvälinetuottajat, voisivat menestyä. Tällä hetkellä autoteollisuus on teollisuuden aloista suurin luonnonkuitukomposiittien käyttäjä. Heidän tuotteistaan jo puolet sisältävät luonnonkuituja, ja suurin syy tälle on lakimuutokset ajoneuvojen päästöjen ja sitä kautta painon pienentämisessä. CSI näkee luonnonkuitukomposiittien tulevaisuuden muuttuvan nopeinten juuri lakien, standardien ja yhteiskunnan tapojen muutoksien kautta.

Luonnonkuitujen käytön soveltaminen nykyisiin komposiitteihin voi olla haastavaa, kun niille tarkoitettuja valmiita tuotantoketjuja ei ole vielä kovin paljon. Samoja laitteita voidaan käyttää, mutta yleensä lasi- ja hiilikuidun tuotannossa käytettävät korkeat lämpötilat eivät sovellu luonnonkuiduille. Toimivan komposiitin edellytys on hyvän tartuntapinnan luominen hartsin ja

kuidun välille. Tämä kiinnostaa komposiittituotteita valmistavia yrityksiä, sillä heillä on jo pitkä historia lasi-, hiili- ja basalttikuitujen yhdistämisestä eri hartseihin, jolloin näiden kuitujen reagointi eri kemikaaleihin tunnetaan. Luonnonkuitujen kykyä tarttua eri hartseihin ja vaikuttaviin sidosaineisiin olisi siis syytä tutkia enemmän. CSI ilmaisi huolen luonnonkuitujen mahdollisesta kosteusmäärästä ja sen vaikutuksesta tartuntaominaisuuksiin. Tällaiseen tilanteeseen kosteutta hyödyntävät hartsimateriaalit voisivat olla mielenkiintoinen ratkaisu.

CSI:n mielestä paras tapa aloittaa komposiittien tuottaminen luonnonkuiduilla olisi projektityöskentely. Jos pilottituotteen valmistukseen osallistuisi pieni ryhmä eri yrityksiä, vastuu jakautuisi tasaisesti osapuolien kesken ja riskit olisivat pienemmät. Pilottiluontoisesta tuotteesta saataisiin tärkeää tietoa käytetyistä materiaaleista ja niiden käyttäytymisestä erilaisten testien, kuten elinkaari-, lujuus- ja palotestien avulla. Testikappaleen valmistuksessa kuituerien erovaisuudet eivät olisi niin suuressa roolissa.

### 3.7 Kierrätys

Suomessa syntyy karkeasti arvioituna noin 4 000 tonnia lujitemuovijätettä joka vuosi. Jättemäärästä puolet on käytöstä poistettuja tuotteita, kuten veneitä ja erilaisia komponentteja ja loput tuotantojätettä. Käytöstä poistetut tuotteet ovat hyvin erilaisia keskenään ja niiden tarkkaa kokonaisuusmäärää ja materiaalikoostumusta on vaikea selvittää. Tuotantohävikki käsittää muun muassa käyttökelttomat lujitemuovi-yhdistelmät, leikkaus-, koneistus- ja työstöjätteet, käyttökelttomat työvälaineet, hionta- ja sahauspölyn, sekä hylkytuotteet. Komposiittien käyttöikä on pitkä, joten sujuvan jätteenkeräyksen onnistumiseksi materiaalikoostumuksen dokumentointi on tärkeää.

Lujitemuoveja syntyy muihin jätteisiin, kuten lujittamattomiin muoveihin, metalleihin ja lasiin verrattuna vähemmän, ja tästä syystä niiden keräys, lajittelu ja käsittely jätteenä on työlästä ja kallista. (Saarela et al. 2019b)



Komposiitti- ja lujitemuovijätteen seuranta on vaikeaa Suomessa, sillä niiden määrä on muuhun jätteeseen verrattuna vähäistä. Näille ei ole omaa nimikettä, vaan jäte- ja kierrätyskeskukset ottavat komposiittijätettä vastaan monilla eri nimikkeillä, kuten kaatopaikka-, seka-, rakennus-, purku- ja teollisuusjäte. Vaihteleva dokumentointi vaikeuttaa todellisen komposiittijättemäärän seuranta. (Blom & Dufva 2016)

Suomen jäte- ja ympäristösuojelulain avulla raaka-aineiden ja jätteen käsittely on jaoteltu porrastetusti. Ensisijainen tavoite on ehkäistä jätteen syntyä kestävän tuotesuunnittelun ja valmistuksen avulla. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää päättää raaka-aineet ja valmistustavat niin, että syntyvän jätteen määrä minimoidaan tai ehkäistään kokonaan ja varmistetaan tuotteen kierrätettävyyden elinkaaren lopussa. Paras tapa jatkaa tuotteen elinkaaren kulkua on uusiokäyttöä se. Uusiokäytössä tuotteet kerätään, puhdistetaan ja korjataan samaan tai uuteen käyttötarkoitukseen. Jos tuotteen uusiokäyttö ei sellaisenaan onnistu, kierrätys on seuraava vaihtoehto. Tällöin jäte talteenoton ja puhdistuksen jälkeen kierrätetään mekaanisesti tai kemiallisesti takaisin raaka-ainetasolle uusien tuotteiden valmistukseen. Joskus kierrätys ei ole koostumuksellisista tai taloudellisista syistä mahdollista, jolloin tuote voidaan käyttää energialähteenä polton yhteydessä. Viimeinen vaihtoehto jätteen käsittelylle on kaatopaikkasijoitus, jos jätettä ei voida millään muulla tavoin hyödyntää. Tämä on ympäristön kannalta huonoin vaihtoehto. (Finlex 2011, 2014)

EU:n asettamien direktiivien avulla pyritään vähentämään kaatopaikalle sijoitettavien jätteen määrää. Esimerkiksi vuonna 2000 voimaan tulleen direktiivin (European Parliament 2000) ja ajoneuvolain (Finlex 2021) päästörajoiden nojalla 95 % autojen painosta on oltava uudelleenkäytettävissä tai kierrätyksellä hyödynnettävissä vuoteen 2015 mennessä. Tästä korkeintaan 10 % saa toteutua energiatuotantona. Näiden lakimuutoksien ansiosta suurin osa autoteollisuuden käyttämistä komposiiteista on kierrätettävissä olevia luonnonkuiduilla lujitettuja muovikomposiitteja.

Poltto ja kaatopaikkasijoitus ovat olleet suosituimmat menetelmät käsitellä komposiittijätettä. Euroopan komposiittijätteestä noin 95 % on arvioitu poltettavan tai sijoitettavan kaatopaikoille ja vain 2 % hyödynnettävän uudestaan. Komposiittien kaatopaikkasijoitus ei ole kannattavaa ja monessa maassa se on myös kielletty. Komposiitit ovat palavaa jätettä ja Suomen jätelaki (Finlex 2011) on kieltänyt palavan jätteen viennin kaatopaikoille vuodesta 2008 eteenpäin. Sen sijaan jätteen kierrätysastetta on nostettava ja jätepuitedirektiivi 74/442/ETY määräsi EU:ssa lujitemuovijätteen kierrätysasteeksi 50 % vuoteen 2020 mennessä (Council of the European Union 1975). Lisäksi jäteveron nousu, kaatopaikkojen sulkeminen ja kuluttajien asenteen muutos ovat painostaneet yrityksiä kierrättämään tuotteensa paremmin.

Suurin osa nykyisestä komposiittijätteestä poltetaan tai kierrätetään mekaanisesti. Lujitemuovien poltossa muovinen matriisi palaa lujitteiden ympäriltä, jolloin syntyvä lämpöenergia otetaan käyttöön. Jäljelle jäävä tuhka sisältää palamatonta materiaalia, kuten lujitteita ja täyteaineita. Tuhka voidaan koostumuksesta riippuen käyttää maanparannusaineena tai uusien tuotteiden täyteaineina vähentäen näin neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Käsittely jätteenpolttolaitoksessa edellyttää, että jätteen koostumus ja lämpöarvo ovat tiedossa, eikä jäte sisällä savukaasuihin muodostuvia sähköä johtavia tai ympäristömyrkyjä sisältäviä ainesosia. Muovilujitejätteestä saatavan energian ja materiaalin talteenotosta hyvänä esimerkkinä toimii poltto sementin valmistuksen yhteydessä. Poltettava muovi toimii sementinvalmistuksen polttoaineena ja jäljelle jäävä palamaton materiaali hyödynnetään sementin täytteenä, jolloin muun muassa fossiilisen kivihiilen käyttö vähenee. (Saarela et al. 2019b)

Mekaanisessa kierrätyksessä komposiittijäte murskataan ja jauhetaan kuitupitoiseksi tai pulverimaiseksi tuotteeksi. Murskeseos voidaan jaeotella kuitu- ja partikkelikokojen mukaan tai käyttää sellaisenaan sekamurskana. Valmiista murskeesta voidaan valmistaa uusia komposiitteja tai muita tuotteita yhdessä lisämateriaalien kanssa. Komposiittimateriaalien ominaisuudet muuttuvat murskauksen yhteydessä, jolloin tuotteet eivät ole yhtä lujia tai

kestäviä ja suuren raaka-aine variaation takia mursketuotteiden materiaalisältö ei ole aina tiedossa. Parhaiten mekaaniseen kierrätykseen soveltuvat täysin kovettuneet lujitemuovit tai muut komposiitit. Polyesteriä tai vinyylisteriä sisältävät komposiittijätteet eivät ole yleensä täysin kovettuneita, jolloin reagoimaton styreeni voi haihtua jauhamisen aikana ja aiheuttaa työhygieenisiä ja paloturvallisuuteen liittyviä ongelmia (Saarela et al. 2019b). Sen takia on suositeltavaa suorittaa jälkikövetus ennen mekaanista käsittelyä.

Teoriassa komposiittijäte voidaan myös kierrättää erottamalla eri materiaalit ja pistämällä ne uusiokäyttöön. Tämä on kuitenkin hankalaa ja kallista.

Lujitemuovien muovinen matriisiosa voitaisiin sulattaa muusta massasta ja uusiokäyttää muoviteollisuuden tuotteisiin. Muovin sulamisen onnistuminen vaatisi kuitenkin sen, että muovi olisi kestumuovia. Useimpien materiaalien lämmittäminen yleensä huonontaa niiden ominaisuuksia, ja sopivan jatkokäyttökohteen löytäminen voi sen takia olla vaikeaa. Yleensä materiaalit sisältävät myös erilaisia sidosaineita, joita ei aina pystytä erottamaan muusta massasta. Nämä lisäaineet huonontavat kierrätystuotteen laatua ja ominaisuuksia. Myös erilaiset epäpuhtaudet, kuten öljy- ja kemikaalijämät hankaloittavat erotusprosessia. (Blom & Dufva 2016)

Jotta erotusprosessi olisi mahdollista, tarvitaan parempaa dokumentointia komposiittituotteiden määrästä ja laadusta. Eri materiaalit ja aineet vaativat eri menetelmiä erottuakseen muusta massasta, joten yleisimpien materiaalien esiintyminen täytyy tietää jo tuotantolaitoksen kehitysvaiheessa.

Materiaalimäärät tulee selvittää, jotta tiedetään, onko esimerkiksi arvometallien, lasin tai muovin erillinen keräys taloudellisesti kannattavaa. Hiilikuitujen kierrätys kiinnostaa useita yrityksiä, sillä se on pieninäkin määrinä arvokas uusiokäytettävä materiaali.

## 4 Kuidut

Komposiittien kuitulujitteet ovat tärkeässä asemassa komposiittiteollisuudessa. Niiden avulla voidaan vaikuttaa komposiitin mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten vetolujuuteen ja kimmomoduuliin, mutta myös ympäristövaikutuksiin.

Luonnonkuiduilla on suuri potentiaali komposiittiteollisuudessa; verrattuna synteettisiin kuituihin ne ovat biohajoavia, kustannustehokkaita ja niitä on runsaasti saatavilla. Niitä voidaan myös kierrättää useita kertoja ilman, että niiden lujuusominaisuudet alenevat merkittävästi (Saarela et al. 2019d).

Samalla luonnonkuidut toimivat hiilivarastoina. Käyttämällä paikallisia luonnonkuituja saadaan aikaan positiivisia vaikutuksia, jotka ulottuvat tuotteen elinkaaren loppuun asti. (Parkkinen 2018)

Luonnonkuidut jaetaan kasvi-, eläin- ja mineraalikuituihin. Tässä opinnäytetyössä käsitellään lasikuidun lisäksi kasvikuituja. Kasvikuidut koostuvat pääasiassa selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Näiden peruskomponenttien lisäksi kasvikuidut voivat sisältää muun muassa pektiiniä, vahoja ja orgaanisia ainesosia. Selluloosa on kemialliselta koostumukseltaan polysakkaridi eli monimutkainen hiilihydraatti. Selluloosan osuus pohjoismaisessa puumateriaalissa on 40 – 50 % puun kuiva-aineesta. Määrä eroaa eri puulajien välillä. (Parkkinen 2018) Selluloosa on yleisin luonnossa esiintyvä polymeeri eli makromolekyyli, joka koostuu useasta toistuvasta yksiköstä (Lipponen 2019). Hemiselluloosa on selluloosan tavoin polysakkaridi, mutta se on rakenteeltaan heikompaa, ja sitä on verrattaen vähemmän kasveissa (Ollikainen 2013).

Ligniini on toiseksi yleisin polymeeri luonnossa selluloosan jälkeen. Ligniini täyttää selluloosan ja hemiselluloosan jättämät aukot kasveissa, minkä seurauksena rakenteesta tulee mekaanisesti vahva. Ligniini on selluloosasta ja hemiselluloosasta poiketen hydrofobinen eli se hylkii vettä. Tämän ominaisuuden vuoksi ligniini toimii eristeenä kasvien vedenkuljetuskanavien soluissa. Ligniinin käytöllä on biohajoavuuden ja myrkyttömyyden lisäksi muitakin positiivisia ympäristövaikutuksia, sillä se sisältää huomattavan määrän

fenolisia ja aromaattisia yhdisteitä. Näillä yhdisteillä voidaan korvata maaöljystä peräisin olevia bentseenejä, tolueneja ja xyleenejä, joita kemianteollisuus tarvitsee. (Koivisto 2020)

Kasvikuitu koostuu eri osista. Keskimmäisen osan eli soluontelon ympärillä on useita sekundääriseiniä ja ulommaisena on primääriseinä. Seinämien paksuudet vaikuttavat kuidun mekaanisiin ominaisuuksiin. Kun tarkastellaan eri kuitujen ominaisuuksia keskenään, luonnonkuidun pituuden ja leveyden suhde on tärkeä tieto, sillä se kertoo kuidun lujuusominaisuuksista. Yksittäisen kasvikuidun pituus vaihtelee 1 – 50 mm välillä ja paksuus 10 – 50 µm välillä. Poikkeuksia esiintyy myös. (Parkkinen 2018)

Erilaiset tekijät, kuten kasvualue, ilmasto ja kasvin ikä, vaikuttavat luonnonkuidun rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Eri ainesosien pitoisuudet antavat kuidulle tietyt piirteet. Esimerkiksi korkealujuuksisilla luonnonkuiduilla on todennäköisesti myös korkea selluloosapitoisuus. Komposiitteja tarkasteltaessa kuitujen pituudet ovat tärkeitä. Mitä pidempi kuitu, sitä enemmän kuitusidoksia muodostuu. Tällöin kuidulla on vahvempi kuituverkosto, vetolujuus ja murtositkeys kuin lyhyemmällä kuiduilla. Luonnonkuidun ominaisuuksiin vaikuttavat kasvuajan tekijöiden lisäksi myös menetelmät, joilla kuidut irroitetaan kasvista (mekaaninen tai kemiallinen). (Parkkinen 2018)

Luonnonkuitujen viljelyä rajoittavat kasvisairaudet, kuten sienet ja myös hyönteisten hyökkäykset. Varastointivaiheessa ongelmia saattavat aiheuttaa jyrsijät. Laajaa teollista käyttöä vaikeuttaa myös laatuero luonnonkuitujen kasvua ei voida täysin hallita, joten jokainen sato on väistämättä hiukan edellisestä eroava. Tästä syystä valmistettavien tuotteiden mitoitus on hankalaa, ja se pakottaa käyttämään suuria varmuuskertoimia. (Saarela et al. 2019d)

#### 4.1 Lasikuitu

Lasikuitu on yksi merkittävimmistä lujitemateriaaleista, jota käytetään komposiiteissa lisäämään mekaanisia ominaisuuksia, kuten vetolujuutta,

taivutuskerrointa, virumis- ja iskunkestävyyttä, sekä lämmön ja kemikaalien sietokykyä (Shrivastava 2018). Lasikuidun osuus kaikista käytetyistä lujitemateriaaleista on noin 95 % (v.2004) (Saarela et al. 2019d).

#### 4.1.1 Ominaisuudet

Hyvien ominaisuuksien, kuten keveyden, lujuuden, jäykkyyden, matalan lämpölaajenemisen, lämpöeristävyys, kestävyys, pienen veden absorboitumisen ja magneettittomuuden vuoksi se on yksi eniten käytetty kuitutyyppi teollisuudessa. Lasikuitu on myös halvempaa verrattuna hiilikuituun. Lasikuidun epäedullisia ominaisuuksia ovat korkea kimmokerroin, suhteellisen korkea ominaispaino, pieni rasituksen vastustuskyky, kulumisen herkkyyden ja korkea kovuus.

#### 4.1.2 Valmistus

Lasikuitutyyppi riippuu sen valmistuksessa käytettävästä lasityypistä ja lisäaineista. On lasikuituja, jotka johtavat sähköä, kestävät happamia olosuhteita ja väkeviä alkaliliuoksia tai ovat erityisen vahvoja. Pääasiassa lasikuitu muodostuu piidioksidista eli silikasta ( $\text{SiO}_2$ ), joka tunnetaan myös kvartsina. Lasi muodostetaan sulattamalla kiteistä piidioksidia, jolloin se sulatuksen ja jäähdytyksen yhteydessä muuttuu amorfiseksi (kiteinen rakenne puuttuu) piidioksidiksi. Tämän lisäksi useimmat lasikuidut muutamia poikkeuksia lukuunottamatta sisältävät myös alumiini-, magnesium-, natrium-, boori-, kalium- ja rautaoksidia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sekä kalkkia ( $\text{CaO}$ ). (Saarela et al. 2019d)

Haluttujen raaka-aineiden sekoittamisen jälkeen raaka-aineseos siirretään jatkuvatoimiseen sulatusuuniin. Tällaiset uunit on yleensä valmistettu tulenkestävistä tiilistä, ja niiden käyttöikä on 4 – 6 vuotta. Nykyään useimpien uunien sulatuskapasiteetti vaihtelee välillä 10 – 150 tonnia vuorokaudessa. Lasikuidun raaka-aineseoksen sulattamiseen vaaditaan 1 400 °C lämpötila, joka

aikaansaadaan polttamalla öljyä tai kaasua. Prosessi on hidas, sillä vaatii aikaa, jotta lasimassasta saadaan homogeeninen ja kaasukuplaton. Kun massa on valmis, se johdetaan kanavistoon, jossa kuidunveto tapahtuu monireikäisten suuttimien läpi. Suurin osa lasikuidun hiilijalanjäljestä syntyy juuri tuotantovaiheessa, kun taas kestäväällä tavalla suoritettun luonnonkuidun tuotanto tuottaa suhteessa vähemmän hiilidioksidipäästöjä (Pesonen 2014). Suuttimien ulosotto vaihtelee mallista ja valmistettavasta tuotteesta riippuen, mutta yleensä tuotantokapasiteetti lasikuidulle vaihtelee välillä 20 – 60 kg/h. Kuitujen vedon ja koonnin jälkeen ne vielä päällystetään pinnoiteaineella, joka muodostaa kuiduista kimpun, toimii voiteluaineena ja suojana sekä antaa erilaisia kemiallisia ja fysikaalisia pintaominaisuuksia. Pinnoiteaineet muodostavat myös tärkeän kemiallisen tartunnan lasin ja hartsin välille. (Saarela et al. 2019d)

E-lasikuidut ovat olleet yleisiä laivanrakennuksessa käytettävissä komposiiteissa niiden hyvän lujuus-kustannussuhteen vuoksi. E-lasikuidut pysyvät tulessa ennallaan, kunnes ne kuumenevat noin 830 °C:seen, jolloin viskoosi virtaus alkaa. Siitä huolimatta mekaaniset ominaisuudet, kuten lujuus ja jäykkyys, heikkenevät noin 500 °C:sta. (IMO 2017)

Käyttöikänsä lopussa lasikuitu voidaan erottaa komposiitista pyrolyysin avulla, jolloin myös matriisi ja täyteaineet erottuvat. Jopa 1 000 °C:seen kohoava lämpötila kuitenkin heikentää lasikuidun mekaanisia ominaisuuksia merkittävästi. Tällaiselle kierrätetylle lasikuidulle ei ole juuri markkinoita. Käytöstä poistettujen lasikuitukomposiittien lasikuidun lisäksi jätettä syntyy myös lasikuituteollisuudessa, jossa kuituja vedetään. Suomessa prosessin aikana syntyy vuodessa noin 2 000 tonnia lasikuitulujitejätettä. (Blom & Dufva 2016)

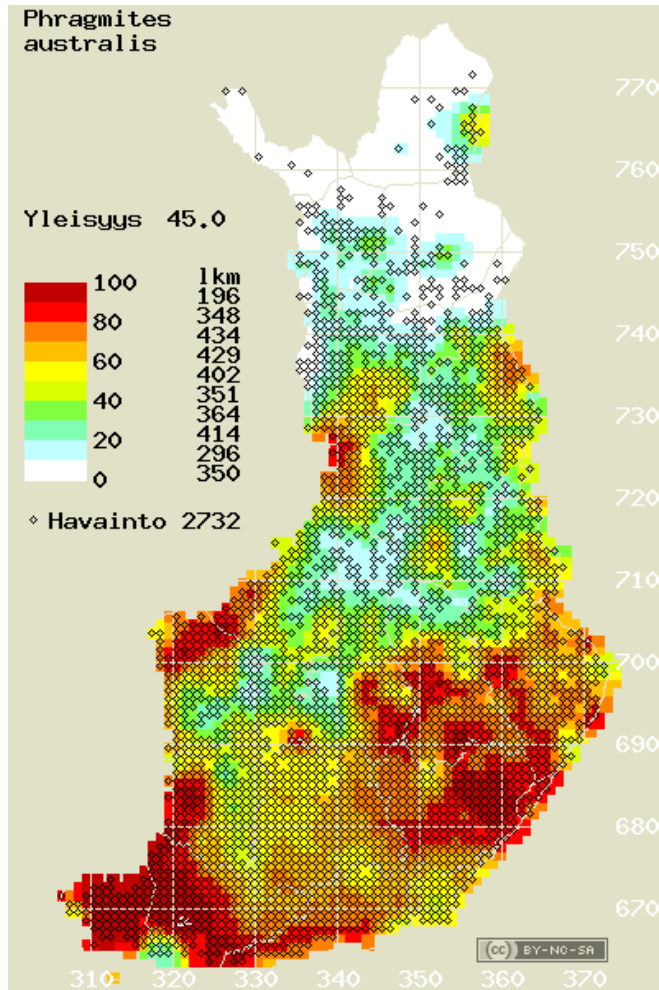
#### 4.2 Järviruoko

Ruovikoituminen on laajalle levinnyt ilmiö. Suomessa järviruoko'on (*Phragmites australis*) liiallinen levinneisyys aiheuttaa kielteisiä reaktioita etenkin vesialueen

omistajille ja eri ympäristö- ja vesialueita hoitaville tahoille. Järviruoko sietää monia olosuhteita, minkä vuoksi levinneisyys on niin valtavaa. Uusia alueita vallatessa se syrjäyttää muita kasveja, mikä puolestaan vähentää luonnon monimuotoisuutta. Vaikka järviruoko'olla on useita positiivisia vaikutuksia ympäristöön, sen räjähdysmäisen kasvun ja siitä syntyvien haittojen innoittamana on alettu tutkimaan uusia tapoja hyödyntää tätä kasvia. (Kukkola 2021)

Järviruoko kasvaa jokaisella maapallon mantereella paitsi Antarktiksella. Se on monivuotinen putkilokasvi, joka kasvaa Suomen oloissa 1-3 metrin korkuiseksi. (Rantaparturit Oy 2017) Elinympäristönä tällä kasvilla on kosteat kasvupaikat, kuten matalat vedet ja niiden rannat, suot, sekä ojat. Korsi on sileä ja ontto, ja sen lehdistö on pitkää vihreää terävälaitaista. Onttoa vartta katkovat noin 20 cm välein solmukohdat eli nivelet (Paibira 2020). Korren päässä oleva röyhy on tuuhea tupsu, ja sen väri muuttuu kasvun vaiheiden mukaan ruskean violetista ruskean ja harmaan kirjavaan. Järviruoko lisääntyy sen pitkän ja haarovan juurakon sekä röyhyssä olevien siemenien avulla. (Ellonen 2021)





Kuva 1. Järviru'o'n yleisyys ja levinneisyys Suomessa (Lampinen & Lahti 2019).

Kuten kuva 1 osoittaa, järviruokoa esiintyy Suomessa koko maassa. Lapin osalta levinneisyys on harvempaa, mutta havaintoja järviru'o'osta on silti tehty pohjoisimmissakin osissa. Suurimmat esiintymät sijaitsevat Lounais-Suomen rannikolla ja Saaristomerellä, Järvi-Suomessa sekä Pohjanlahden rannikkoalueilla. (Lampinen & Lahti 2019) Vuonna 2006 tehdyn kunnittaisen arvioinnin perusteella Etelä-Suomen selvitysalueella kasvoi noin 30 000 hehtaaria järviruokoa ja koko Suomessa noin 100 000 hehtaaria (ELY-keskus 2022a). Turun ammattikorkeakoulun ilmastovastaava antoi karkean arvion järviru'o'n yleisestä tuotantokapasiteetista, joka kuivapainona on noin 5 tonnia hehtaarilta.

Järviruo'on ravinnepitoisuus riippuu kasvukaudesta. Keväällä juurakkoon varastoituneiden ravinteiden avulla kasvi aloittaa kasvun. Kesän aikana ravinteet siirtyvät enimmäkseen kasvin vihreisiin osiin, jossa ne kuluvat kasvuun ja yhteyttämiseen. Talven lähestyessä ravinteet alkavat varastoitua takaisin juurakkoon, minkä jälkeen näkyvä osa ruo'osta lakastuu. (Ellonen 2021)

Ravinnepitoisuus ruo'ossa on suurimmillaan loppukesällä. Jos tavoitteena on vähentää alueen ravinnekuormitusta, loppukesä on otollisin aika järviruo'on niitolle, jolloin typpeä on melkein 2 % ja fosforia 1 % ruo'on kuiva-aineesta. Opinnäytetyötä varten haastatellun Turun ammattikorkeakoulun ilmastovastaavan mukaan talviruo'on typpi- ja fosforipitoisuus on 20 – 30 % ja kosteusprosentti 20 – 35 % matalampi verrattuna kesäruokoon. Matalamman kosteusprosentin omaava talviruoko onkin parempi vaihtoehto rakennuskäyttöön. (Ellonen 2021)

Järviruo'olla on monia käyttökohteita. Sitä voidaan perinteiseen tapaan käyttää kattomateriaalina, joka on varsinkin Baltian maissa ollut suosittu menetelmä jo pitkään. Ruokovarren sisältämien solmukohtien vuoksi onton varren konvektiovirtaus vähenee, jolloin se toimii hyvänä lämpö- ja äänieristeenä erilaisissa rakennuksissa. Kasvikuituna siitä voidaan myös erotella hemiselluloosa, ligniini ja selluloosa, ja ne edelleen jatkojalostaa eri tuotteiksi. Ravinnerikasta kesäruokoa käytetään hyväksi biopolttoaineena, rehuna, maanparannusaineena ja kuivikkeena.

#### 4.2.1 Niitto

Tällä hetkellä yksi suurimmista ongelmista Suomen järviruokotuotannon arvoketjun kannalta on sen niitto. Aihetta on tutkittu paljon esimerkiksi ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen toimesta, mutta konkreettisia tekoja on ollut vähän. (Ellonen 2021)

Niittoaajankohta ja sitä myötä siihen tarvittava kalusto riippuu tulevasta ruokotuotteesta ja halutusta vaikutuksesta. Kesäniittoa on tutkittu Suomessa eniten ja siihen on myös kalustoa. Alkukesän leikkuu taannuttaa tehokkaimmin

ruovikon kasvua, sillä varastoituneet ravinteet käytetään tällöin loppuun. Vedessä kasvavan ruovikon niitto veden pinnan alta taannuttaa kasvua entisestään, kun hapen kulku juurakkoon estyy.

Loppukesän niitossa biomassan ja ravinteiden määrä on suurin, jolloin on mahdollisuus vaikuttaa merkittävästi alueen maaperän ravinteiden poistoon. Leikkuu tulee suorittaa viimeistään elokuussa, ennen kuin ravinteet siirtyvät takaisin juurakkoon. Kesän vihreä ruovikko sisältää 50 % vettä, joten se soveltuu parhaiten tuotantoketjuihin, joissa suuri kosteusprosentti ja sitä kautta mätänemisriski eivät ole merkittäviä tekijöitä. Tällaisesta hyviä esimerkkejä ovat muun muassa bioenergia- ja maataloustuotanto, jolloin biomassassa olevat suuret ravinnemäärät tulevat hyvin käyttöön.

Kesäniittoon tarvittava kalusto riippuu siitä, onko kyseessä maa- vai vesiruovikko. Hyvin lähellä vesimassaa sijaitseva rantaruovikko tarvitsee yleensä vesiruovikon niittolaitteet. Vesiruovikkojen leikkuissa käytetään yleensä ruotsalaisia Truxoreita tai suomalaista Aquatic Plant Harvester –laitteistoa (ELY-keskus 2022c). Maaruovikot ovat umpeenkasvaneita järviä, rantaniittyjä ja vesijättömaita, joiden syntyyn on useita eri syitä; maankohoaminen, ruoppaus, vedenpinnan aleneminen ja vesistöjen kuivatus. Koska maaruovikot ovat vanhoja vesialueita, niiden maaperä on yleensä pehmeäpohjaista. Leikkuukoneiden pintapaine tulee siis olla alhainen, mikä saavutetaan esimerkiksi käyttämällä teloja koneiden alla. Suomessa maaruovikkoja niitetään yleensä traktoreilla ja omatekoisilla peräkärriillä. Maaniiton koneistukseen tarvitaan lisää yrittäjiä.

Ruovikon talviniitto tarkoittaa kuivan, edellisen kasvukauden ruo'on keruuta lumen ja jään yläpuolelta. Talvileikkuulla on vähemmän positiivisia ympäristövaikutuksia kuin kesäleikkuulla, sillä ruo'ossa olevat ravinteet ovat jo varastoituneet juurakkoon, joten kerätty ruoko on hyvin ravinneköyhää. Talvella leikatut järviruo'on mukana poistuu ravinteita noin 20 – 30 % kesällä leikatun ruo'on ravinteiden määrästä. Toisaalta talviruoko sisältää huomattavasti vähemmän vettä kuin kesäruoko, mikä helpottaa ja nopeuttaa ruo'on jatkoprosessointia. Kuiva talviruoko soveltuu parhaiten rakennuskäyttöön ja

tällöin myös edistetään ilmastonmuutoksen torjuntaa, sillä pitkäikäiset rakennustuotteet toimivat hiilivarastoina. (ELY-keskus 2022b)

Yhden vuoden leikkuu voi jopa lisätä ruo'on kasvua, sillä vanha ruovikko ei ole uuden tiellä. Jotta talvileikkuulla saavutettaisiin pitkäkestoisia vaikutuksia, tulee leikkuun olla jatkuvaa useamman vuoden ajan. Kun vanhaa ruovikkoa poistetaan säännöllisesti, mädäntyvän ruovikon määrä vähenee, jolloin vapautuvat metaanipäästöt vähenevät, ruokoturpeen muodostus ja rantaviivan vetäytyminen kauemmas estyy sekä veden virtaus paranee. Tämän lisäksi talviniitto edistää uuden järviruokokasvuston ravinteiden sitomiskykyä, koska kuivan osan poisto parantaa sen elinkykyä. Virossa tehdyn ruokotutkimuksen mukaan yhdeltä alueelta voidaan talviniittää järviruokoa toistuvasti kymmenen vuoden ajan, ennen kuin kasvusto taantuu ja harvenee hyödyttömäksi. (ELY-keskus 2022b)

Talviniitto voi olla vaihtelevien sääolosuhteiden vuoksi haastavaa.

Ilmastonmuutoksen vuoksi Suomen talvet ovat ja tulevat olemaan leudompia kuin ennen ja se vaikuttaa lumi- ja jääpeitteen määrään. Yhä useammat talvisateet esiintyvät lumen sijaan vetenä. (Laakkonen 2021) Kun kunnan jäätai routapeitettä ei synny, märkien alueiden talviniitto on vaikeaa.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten lisäksi ruovikkoalueiden jäätymiseen vaikuttaa myös mätänevän karikkeen lämpöenergia ja lähialueiden laskuvedet. (ELY-keskus 2022b)

Samoin kuin kesän märkien maa-alueiden niitossa, myös talviniitossa koneilta vaaditaan alhaista pintapainetta ja tämän lisäksi myös kykyä kulkea paksussa lumessa. Telakoneiden ja leikatun ruo'on kuljetuskaluston kanssa talviniittokin onnistuu. Paksussa lumessa toimivat rinnekoneet, joilla on hyvä kulkukyky. Erityisen hyvien jäätalvien aikaan vesialueilla voidaan käyttää maatalouden niitto- ja paalauskalustoa. Kuitenkin talviniiton kustannustehokkuus vaatii uusien kevyiden ja tehokkaiden niittokoneiden kehittämistä.

#### 4.2.2 Luvat

Niittokaluston vähäisyyden lisäksi järviruo'on tuotantoketjussa ongelmia tuottavat myös lupa-asiat. Järviruo'on leikkuu ei kuulu jokamiehen oikeuksiin, joten lupa tähän on aina pyydettävä vesialueen omistajalta tai ELY-keskukselta. Yleensä vesialueen omistajuus on sidottu maa-alueella olevan kiinteistön omistajuuteen. Alueen omistaja saadaan selville kiinteistötunnuksen perusteella Maanmittauslaitoksen ylläpitämästä kiinteistörekisteristä. (Maanmittauslaitos 1989)

Vesialueen omistus voi jakautua yksityisesti tai yhteisesti. Yksityisen vesialueen omistaja voi olla esimerkiksi kunta, valtio tai yksityinen henkilö. Yhteisen vesialueen omistajana toimii osakaskunta, johon lasketaan kaikki kyseiseen vesialueeseen osan saaneet omistajat. (Maanmittauslaitos 1989)

Jos kyseessä on Natura- tai luonnonsuojelualue, lupa tarvitaan alueen ELY-keskukselta. Näiden alueiden tavoitteena on turvata Suomen ja Euroopan unionin luontotyypit, sekä ylläpitää niille tyypillistä eläin- ja kasvilajistoa. Koska räjähdysmäinen ruovikoituminen on useille lajeille haitallista, joidenkin suojeltujen alueiden hoitoon kuuluu ruovikoiden niitto. Tällöin niitto täytyy suorittaa mosaiikkimaisesti, jolloin ruovikosta hyötyvä lajisto pystyy edelleen harjoittamaan normaalia toimintaansa.

#### 4.2.3 Järviruoko komposiitin lujitteena

Järviruo'on kaltaisen kasvin käytöllä komposiittien lujitteena on suuri potentiaali. Järviruoko muodostaa runsaasti biomassaa ilman ihmisen tuotantopanosta, joten se ei vie tärkeää ruoan tuotantotilaa, eikä kuluta enempää luonnonvaroja kuin mitä luonnossa on saatavilla. Sen poiskeruulla voidaan vaikuttaa muun muassa alueen veden- ja maaperän laatuun, luonnon monimuotoisuuteen, ilmakehän päästöihin sekä useisiin esteettisiin tekijöihin. Samalla saadaan materiaalia, joka korvaa ympäristöä kuormittavampien raaka-aineiden käyttöä.

Komposiittien kannalta paras järviruokolaatu on talven ja alkukevään kuiva ruoko. Kustannustehokkainta on silputa ja paalata ruoko, jolloin se vie vähemmän tilaa kuljetuksessa. Mahdollista kosteutta sisältävän orgaanisen materiaalin kuljetuksessa on tärkeää, että kuljetusmatkat eivät ole pitkiä, sillä massan laatu saattaa tällöin kärsiä. Tästä syystä tuotantoon on järkevintä kerätä lähialueiden paikallista järviruokoa. Suurin hyöty kustannustehokkuusmielessä syntyy teollisuuspuiston energiatehokkaasta konseptista, jossa yritykset sijoittuvat samalle alueelle (Järvenpää et al. 2020).

Vaikka kuiva talviruoko on hyvä vaihtoehto kuitumassan tuottamiseen, myös kesän vihreää ruovikkoa voidaan käyttää. Tällöin tulee kiinnittää erityistä huomiota prosessin jätevesien käsittelyyn. Kesäruovikko sisältää suuren määrän ravinteita, kuten fosforia ja typpeä, ja ne poistuvat massasta jätevesien mukana. Jotta ravinnemäärän poisto ruovikkoalueilta säilyy tehokkaana ja kiertotalousmallien mukaisena, prosessien ravinnerikkaat jätevedet tulee käsitellä niin, että ravinteet saadaan talteen ja siitä edelleen jatkokäyttöön. Ravinteita voidaan käyttää esimerkiksi energiatuotannon tai lannoiteteollisuuden tarpeisiin. Suuren ravinnemäärän lisäksi kesäruovikko myös värjää lopputuotteen vihertäväksi, mutta teollisuuden komposiittien kannalta tällä ei ole merkitystä.

Kun kuitumassa on kerätty ja silputtu, se tulee vielä pestä. Näin saadaan puhdasta jaetta, josta on poistettu kaikki ylimääräinen, kuten multa ja turve. Myös eri laitteiden ja pumppujen ylläpidon kannalta on tärkeää poistaa kaikki vierasesineet. Useimpien kasvien tapaan myös järviruoko koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Mekaanisen ja kemiallisen erotuksen avulla nämä polymeerit jaotellaan toisistaan ja edelleen jatkojalostetaan käytettäviksi materiaaleiksi. Suomessa on tällä hetkellä eniten mekaaniseen erotukseen perustuvaa toimintaa.

Yleensä sellutuotannossa vain selluloosa erotetaan keittämällä massasta, jolloin ligniini ja hemiselluloosa, sekä muut oheisaineet muodostavat mustalipeäksi kutsutun massan. Mustalipeää käytetään energiantuotantoon polttamalla. Ligniinin reagoidessa keittokemikaalien kanssa syntyy

pahanhajuisia rikkiyhdisteitä, jotka ovat yleinen ympäristöhaitta selluloosan valmistuksessa. Selluteollisuuteen on asetettu ohjearvoja rikkiyhdisteiden päästöille (Ilmatieteen laitos 2021). (Council of the European Union 2002)

Tähän opinnäytetyöhön on haastateltu CH-Bioforce Oy nimistä yhtiötä, joka käyttää perinteiseen sellutuotantoon verrattuna tehokkaampaa tapaa erottaa kasvukuitujen polymeerit toisistaan. Prosessi perustuu siihen, että ensin massasta poistetaan hemiselluloosa, joka on puolestaan edellytys sille, että ligniini pystytään poistamaan ilman rikkiyhdisteitä. Tämän jälkeen erotetaan ligniini, sekä selluloosa.

Selluloosasta voidaan tehdä sekä pitkää jatkuvaa kuitua että muutaman millin pituisia mikrokuidutettua selluloosaa, joka luo tavallista kuitua tiheämmän kuituverkoston. Sellukuitu koostuu mikrofibrilleistä, jotka erotellaan varsinaisesta kuidusta mikrokuidutuksessa. Toisaalta mikrokuidutus vaatii paljon mekaanista energiaa ja voi olla hinnaltaan jopa kymmenkertainen tavalliseen kuituun verrattuna. Selluloosan tavoin myös ligniinistä voidaan valmistaa kuitua. Hemiselluloosa puolestaan sopii sideaineiden valmistukseen. Se toimii hyvin emulgaattorina esimerkiksi pesuaineissa ja vaahdonestoaineissa.

Ruokokasvit sisältävät merkittävän määrän silikaatteja ja myös näitä voidaan hyödyntää kuituteollisuudessa. Riippuen ruokokasvin lajista, voi silikaattipitoisuus olla jopa 5 % kuiva-ainemäärästä. Silikaatti on kemiallinen yhdiste, joka koostuu piistä ja hapesta, yhdestä tai useammasta metallista, sekä mahdollisesta vedystä. Silikaatit voidaan saostaa esimerkiksi magnesiumsilikaatti pigmenttinä ja sen jälkeen muovata kuiduksi. Ruokokasveista saatavilla silikaateilla on teoriassa mahdollisuus korvata lasikuitu, jonka valmistukseen käytettävä piidioksidi eli kvartsi luetaan myös silikaatiksi. Tämä kuitenkin vaatii vielä lisää tutkimusta etenkin lujuusominaisuuksien kannalta.

### 4.3 Paju

Lehtipuihin kuuluvat pajut (*Salix*) ovat Australiaa ja Etelämannerta lukuun ottamatta maailmanlaajuisesti esiintyvä puulajisuku. Suomessa kasvaa noin 20 eri pajulajia sekä useita risteymiä. Lajista riippuen ne ovat pitkiä ja suorita puumaisia tai runsaasti haaroittuneita pensasmaisia (Kotka 2012). Paju viihtyy erityisesti kosteilla kasvupaikoilla, kuten ojien ja purojen varsilla, mutta selviytyy myös vaativammassakin olosuhteissa. Pajut ovat erinomaisia puulajeja viljelykäyttöön pohjoisessa, sillä nuoria vesoja lukuunottamatta ne kestävät hyvin pakkasta (Kotka 2012). (LuontoPortti -verkkolehti 2021)

Suomen yleisin paju on kiiltopaju. Sen tunnistaa pitkistä soikeista lehdistä ja punertavan tai ruskean lakankiiltoisista versoista. Muita yleisiä Suomessa esiintyviä pajulajeja ovat esimerkiksi raita, halava ja huurrepaju. Erityisesti pakkasta ja ruostesieniä kestäviä pajuja ovat jokipaju, koripaju, vannepaju, sekä siperianpaju. Vanhojen pajujen kuori on yleensä uurteista ja väritys vaihtelee pajulajin mukaan (Kotka 2012). Pajun kukkiessa keväällä sen oksiin ilmestyy pajunkissoja, jotka ovat kyseisen puun pehmeitä kukintoja. Materiaalina pajun puuaines on pehmeää ja huokoista, ja sen oksat ovat taipuisia. Kuori tarjoaa pitkiä ja vahvoja kuitukimppuja. Taipuisuuden vuoksi pajua on pitkään käytetty pujontaan. (LuontoPortti -verkkolehti 2021)

Paju on Suomen nopeimmin kasvava puulaji ja se käyttää paljon vettä, sekä ravinteita. Vuosittainen kuiva-ainetuotto on noin 8 000 kg/ha. Tällaisessa määrässä on suunnilleen 90 kg typpeä, 15 kg fosforia ja noin 50 % hiiltä. Pajujen tuotanto on suurimmaksi osaksi luonnonvaraista, mutta myös Suomessa sitä viljellään paikoin tarkoituksellisesti. Viljely voi olla hajautettua tai keskitettyä tuotantoa. Hajautetussa tuotannossa on yleensä tavoitena vähentää ravinnevalumia ja tuulen vaikutusta. Tällaisen suojamuurin teko on tehokas varsinkin peltojen ja teiden vieressä sekä jätelaitoksien läheisyydessä. Paju ilmenee ilman ihmisen tuotantopanostustakin peltojen läheisyydessä ojissa, joihin ravinteita laskee. Keskitetystä tuotannosta hyvä esimerkki on Ruotsin



useat energiakäyttöön tarkoitetut pajuviiljelmat sekä Suomessakin yleiset käsityöpajujen viljelmat. (Carbons Finland Oy 2020)

#### 4.3.1 Metsät hiilinieluinä

Metsät ovat merkittävässä roolissa ilmastonmuutoksen hillinnässä. Eri biomassat sitovat yhteyttämisen tuloksena hiilidioksidia ilmakehästä ja toimivat näin hiilinieluinä. Metsät peittävät yli 75 % Suomen maapinta-alasta, joten Suomen merkitys hiilinielujen tarjoajana Euroopassa on suuri (Maa- ja metsätalousministeriö 2021a). Tilastokeskuksen mukaan Suomen vuoden 2020 kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat 47,8 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-EKV ja Suomen metsien nettohiilinielu eli ilmakehästä metsiin sitoutuvan hiilidioksidin määrä oli samana vuonna 27,8 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-EKV. Eli voidaan sanoa, että Suomen metsien nettohiilinielu on vastannut yli puolta Suomen kokonaispäästöistä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021b)

Suurin osa Suomen metsistä on talousmetsiä. Tämän vuoksi talousmetsien luonnonhoito on tärkeää metsäluonnon monimuotoisuuden ja hiilinielujen toimintakyvyn turvaamisessa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021d) Pajun viljely olisi ympäristön kannalta suotavaa, sillä se on nopeakasvuinen, jolloin keruun jälkeen kasvusto elpyy nopeasti. Samalla myös hiilensidontakyky elpyy. Lisäksi paju sitoo hyvin maa-ainesta eli sillä pystytään ehkäisemään eroosiota. (Luke 2022b)

#### 4.3.2 Turvealueiden hyötykäyttö

Paju selviää sellaisillakin alueilla, joissa yleisimmät viljelykasvit eivät pärjää. Vanhat peltomaat ja turvetuotannosta poistuneet alueet ovat hyviä vaihtoehtoja pajun viljelylle (Lauhanen et al. 2022). Ennen turvemaiden käyttöä pajun viljelyyn vaaditaan kuitenkin kalkitseminen tai tuhkalannoitusta poistamaan maaperän happamuutta (Hurskainen 2015). Tällaisten muutoin käyttökeltottomien alueiden hyödyntäminen on ympäristöteko; hyvää

viljelymaata ei viedä ruokatuotannon kasveilta. Samalla elinvoimaisten pajujen avulla elvytetään joutoalue, jolloin luonnon monimuotoisuus ja metsäkannan ylläpito paranevat. Tehokkaana ravinteiden käyttäjänä paju vähentäisi vesien rehevöitymistä ja kesannon aikana kuohkeuttaisi maaperän sekä lisäisi humuksen määrää, joka puolestaan lisäisi maaperän eliöiden määrää (Hurskainen 2015).

Suomen valtioneuvoston hallitusohjelman mukaan turpeen energiakäytön tulee ainakin puolittua vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkoittaa jatkuvasti useiden turvealueiden käytön loppumista ja avautumista muuhun toimintaan. Turpeen energiakäyttöä on vähennetty runsaasti viime aikoina, kun lisää tutkimustuloksia turpeen polton ilmastovaikutuksista on selvinnyt. Turve vapauttaa palaessaan hiilidioksidia noin 106 g jokaista poltettua megajoulea (MJ) kohti, ja se on enemmän kuin useimpien fossiilisten polttoaineiden vapauttama hiilidioksidimäärä; esimerkiksi jopa kivihiiltä (94,6 g CO<sub>2</sub>) poltettaessa vapautuu vähemmän hiilidioksidia. (Bioenergia Ry 2017)

Samalla itse turvetuotanto on kuormittavaa. Turpeen nosto lisää ravinne- ja kiintoainesvalumia lähiympäristöön, mikä kuormittaa vesistöjä. Tämä lisää vesien samenumista, rehevöitymistä, sinileväkukintoja, pohjan liettymistä sekä kala- ja eläinlajistojen monimuotoisuuden heikkenemistä. (SLL 2020)

Turvealueiden käyttö metsätöiden yhteydessä lisää ravinnehuuhtoumia, ja tämä pätee myös pajun tuotantoon. Kuitenkin paju on Suomen puulajeista tehokkain sitomaan ravinteita kasvustoonsa ja pidättämään maaperässä olevia kiintoaineita. Samalla turvealueella kasvava pajupuusto sitoo enemmän hiilidioksidia ilmakehästä kuin pelkkä lakea turvemaa. Myös alueen monimuotoisuus hyötyy puuston lisääntymisestä. Kun kerätystä puumateriaalista valmistetaan pitkän elinkaaren omaavia tuotteita, kuten komposiitteja, syntyvät hiilivarastot kompensoivat turvemaan käytön negatiivisia puolia.

Suomessa suo- ja turvemaita on yhteensä 9,5 miljoonaa hehtaaria eli kolmannes maapinta-alasta. Tällä hetkellä aktiivisessa turvetuotannossa on

50 000 hehtaaria, mutta määrä vähenee jatkuvasti. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021c) Jotta pajutuotannon vaikutukset turvealueilla olisivat enimmäkseen positiivisia, tulee alueen metsähoidon olla kestävä. Hakkuu ja hoitomenetelmät tulee suorittaa niin, että maaperän turvetta nousee pintaan mahdollisimman vähän. Kasvatushakkuussa puiden elinolosuhteita pyritään parantamaan harvennusten avulla. Alueelta kerätään yksilöt, jotka ovat tarvittavan mittaisia rakennustuotantoon, ja näin muille puille jää enemmän tilaa kasvaa. Samalla alueelle pyritään jättämään joitakin puita lahopuiksi, jotka lisäävät alueen monimuotoisuutta. Lahopuiden maatuessa vapautuvat ravinteet siirtyvät uusien puiden käyttöön. (Metsähallitus 2021)

#### 4.3.3 Pajun tarjoamat mahdollisuudet

Kestävän hoidon avulla positiiviset vaikutukset kestävät kauan. Pajuista saadaan sato 3 – 5 vuoden välein noin 20 vuoden ajan (Luke 2022a). Lannoitus ei ole välttämätöntä, mutta riittävästä kastelusta täytyy pitää huoli varsinkin kasvun alussa. Kestävän lannoituksen voisivat tarjota erilaiset biolannoitteet. Myös erilaisten tautien ja tuholaisten mahdollisuus on otettava huomioon ja tarvittaessa käytettävä torjunta-aineita.

Eräässä tutkimuksessa analysoitiin pajukosteikkojen käyttöä turvetuotantoalueen valumavesien puhdistuksessa. Tutkimuksessa valumavedet johdettiin rei'itettyä putkea pitkin pajukentälle, missä vesi puhdistui pajujen tehokkaan veden- ja ravinteiden oton yhteydessä. Kasvukautensa päätteksi pajukosteikon puumassa on mahdollista korjata tarvittavaan käyttöön, esimerkiksi rakentamiseen. (Hurskainen 2015)

Luonnonvarakeskus eli maa- ja metsätalousministeriön alainen tutkimuslaitos on kartoittanut pajun tarjoamia mahdollisuuksia. Pajun huokoisen rakenteen vuoksi siitä pystytään pyrolyysin kautta valmistamaan huokoista biohiiltä, jolla voidaan korvata uusiutumaton turvetta ja kaukaa tuotuja raaka-aineita, kuten kookoskuituja. Pyrolyysin sivuvirtana syntyviä pyrolyysinesteitä voisi käyttää kasvinsuojeluaineina. Samalla pajusta voitaisiin erottaa kuitumateriaalit, joista

voidaan valmistaa muun muassa biokomposiitteja eri tarkoituksiin. Näiden lisäksi pajun kuoren bioaktiivisilla, antimikrobisilla ja antioksidatiivisilla uuteaineilla pystytään kehittämään lääke-, kosmetiikka-, puhdistusaine-, pinnoite-, sekä elintarviketeollisuutta. (Luke 2022a, Luke 2022b)

Pajulla on siis jo nyt näkyvillä useita potentiaalisia tulevaisuuden käyttökohteita, joiden avulla on mahdollista korvata ympäristöä kuormittavia materiaaleja ja kemikaaleja ja näin edistää kestävä kehitystä. Yhdistämällä nämä eri tuotantovaihtoehdot voidaan luoda pajua kokonaisvaltaisesti hyödyntävä biojalostamo, jossa pääkomponenttien lisäksi hyödynnettäisiin kaikki arvokkaat tehoaineet ja sivuvirrat. Tällaisen konseptin toteutumiseen vaaditaan kuitenkin vielä lisää tietoa ja käytännön tutkimuksia eri prosesseista, lopputuotteista, markkinoista ja raaka-aineista. (Luke 2022a)

#### 4.4 Kuituhamppu

Hamppu (*Cannabis sativa L.*) on yksivuotinen kasvi, joka voidaan jakaa kolmeen ryhmään käyttötarkoituksen perusteella; kuitu-, öljy- ja lääkehamppu. Tässä opinnäytetyössä käsitellään pelkästään kuituhamppua. Kuten muutkin hamppulajikkeet, myös kuituhamppu koostuu juurakosta, varresta sekä lehdistä ja kukinnoista. Hampun varren uloin osa on vahvaa kuitua ja sen osuus varresta on noin 30 %. Varren loppu- eli sisempää osaa kutsutaan päistäreeksi, joka on puumainen ja sisältä ontto. Suomen oloissa kuituhamppu kasvaa yleensä 1,5 – 4 metrin korkuiseksi. Hampun pitkulainen vihreä lehdistö on runsasta, ja se sitoo poikkeuksellisen paljon ravinteita itseensä. (Euroopan Komissio 2019)

Hampulla on maaperän laatua parantavia vaikutuksia sen vahvan juurakon ansiosta. Hampun juuristo muodostuu paalujuuresta ja sen sivuhaaroista. Paalujuuri on kasvin niin sanottu pääjuuri, joka kasvaa pystysuoraan alaspäin vaihtelevalla syvyydellä rippuen maaperän koostumuksesta. Esimerkiksi tiiviillä hiesu- ja savimailla paalujuuri ei ylety kovin syvälle maaperään (Ikonen 2015). Mitä syvemmälle juurakko ylettyy, sitä tehokkaammin se ehkäisee eroosiota ja rikkakasvien esiintyvyyttä sekä samalla möyhentää maaperää. Syksyn ja talven

aikana maahan varisevat hampun lehdet edistävät entisestään kasvualustan laatua lisäämällä humuksen ja pieneliöiden määrää. (Kurunsaari 2017)

#### 4.4.1 Viljely

Kuituhampulla on suuri potentiaali vuoroviljelyssä. Joidenkin heikkojuuristen kasvien, kuten peruna, viljely kuormittaa peltomaata, sillä viljely vaatii voimakasta maaperän muokkausta. Tästä syystä pelto saattaa olla kasvukauden päätteeksi tiivis, vettä läpäisemätön ja vähäravinteinen. Liian märkä maaperä haittaa viljelyä ja liian tiivis multa estää jo valmiiksi heikkojuuristen kasvien kykyä kasvattaa vaadittavan juurakon. Kuituhamppu on vahvan maaperän laatua parantavan juurakkonsa ansiosta hyvä vaihtoehto perunan kaltaisen kasvin vuoroviljelyyn. Vuoroittelu turvaisi kestävämmän ruokatuotannon. (Kurunsaari 2017)

Kuituhamppu sopii luomutuotantoon, sillä torjunta-aineet eivät ole välttämättömiä sen kasvatuksessa. Hamppu kasvaa merkittävästi jo ensimmäisten kuukausien aikana ja heikentää näin rikkakasvien elinolosuhteita. Etenkin hampun runsas lehtimassa edistää rikkakasvien tukahduttamista, kun se estää auringon säteiden pääsyä rikkakasvien käyttöön. Myös maaperän tila ja hampusiementen kylvötiheys vaikuttaa tilanteeseen; ravinnerikkaassa elinympäristössä hampulla on parhaat mahdollisuudet kasvaa tarpeeksi suureksi varjostamaan rikkakasveja ja hampun kylvötiheyden ollessa korkea rikkakasveilla on vähemmän tilaa ja valoa kasvulleen. Suomen oloissa kuituhampulla ei ole todettuja tuholaisia tai merkittäviä kasvitauhteja, joten senkään takia torjunta ei ole tarpeen. Pitkien kosteusjaksojen aikana tiheässä kasvustossa saattaa kuitenkin ilmetä harmaahometta. (Kurunsaari 2017)

Nopeakasvuisena lajina hamppu käyttää paljon ravinteita, joten lannoitteiden avulla saavutetaan runsas kuituhamppusato. Typpi on ravinteista tärkein. Kuituhampun typpilannoitusraja on 60 – 110 kg/ha vuodessa riippuen käytetystä lajikkeesta ja maaseutuviraston ohjeista (Ikonen 2015). On tärkeää seurata typpilannoitteen määrää, sillä liian runsas typen saanti heikentää kuituhampun

sisältämän kuidun laatua. Kaliumlannoituksen suositus on 60 – 100 kg/ha ja fosforilannoituksen 0 – 30 kg/ha, mutta näiden vaikutukset satoon ovat vähäisempiä kuin typellä. (Euroopan Komissio 2019)

#### 4.4.2 Jalostus

Kuituhampun mekaaninen jalostusprosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat liotus, sadon korjuu sekä massan murskauksen jälkeinen erottelu. Liotus eli kuidun ja päistäreen erotus on tärkeä energiatehokkuuden kannalta, sillä se pienentää loppuvaiheen mekaanisen erotuksen energiakäytön tarvetta.

Kuituhampun kasvu-aika on alueesta, maaperästä ja vedensaannista riippuen noin 112 – 140 vuorokautta. Siementen kylvö hoidetaan hyvissä ajoin ennen kesää, mutta kuitenkin niin, että maaperän lämpötila on 8 – 10 °C:n välillä.

Hampun satomäärään vaikuttaa siementen välinen kylvöetäisyys.

Keskimääräinen hehtaarisato on noin 6 – 10 tonnia (Norokytö & Simi 2018).

Suomessa kuituhamppu kerätään yleensä vasta keväällä, kun talven pakkaset ovat vaikuttaneet kuituosan irtoamiseen päistäreestä ja lehdet ovat irronneet.

Kuituerotus perustuu siihen, että kuitukimppujen välissä oleva pektiini irtoaa, jolloin itse kuitu irtoaa helpommin hampun varresta. Keväällä korjatun sadon kosteusprosentti on alhainen, joka puolestaan helpottaa jatkojalostusta, kun kuivatuskustannukset pienenevät. Hamppusadon voi kerätä myös syksyllä, mutta se on hankalaa Suomen lyhyen kasvukauden vuoksi. Jos hamppu ei ole lionnut tarpeeksi, korren erotteluun on käytettävä enemmän energiaa ja se vaikuttaisi prosessin taloudelliseen kannattavuuteen. (Ikonen et al. 2015)

Kun kuituhampun liotusvaihe on suoritettu, sato kerätään. Korjuuseen voidaan käyttää niitto- ja paalainkoneita, mutta myös jyräys ja karhotus on hyvä vaihtoehto. Kuituhamppu on niin vahvaa, että käytettävän kaluston ja menetelmän on oltava tarpeeksi tehokkaita. Myös paalaimen valinta on tehtävä harkiten, sillä vahva hamppukasvusto saattaa kietoutua paalaimen eri osiin ja aiheuttaa näin tukkeutumisen ja tulipalon riskin. (Ikonen et al. 2015)

Keruun jälkeen hamppupaalit kuljetetaan tuotantolaitokselle, jossa suoritetaan murskaus ja kuidun erottelu. Tavoitteena on saada korressa oleva kuitu ja päistäre eri jakeiksi. Samalla sivutuotteena syntyy pölyä, joka erotetaan muusta massasta. Murskaus- ja erotteluvaiheita voi olla useita, mikä vaikuttaa lopputuotteena syntyvän kuidun laatuun. Mitä enemmän päistärejaetta pystytään erottamaan kuiduista, sitä vahvempaa kuitujaetta saadaan. Tarvittaessa kuitukimppuihin voidaan käyttää myös hienoavaajia, mutta tällöin kustannukset nousevat.

## 5 Lopputulokset ja pohdinta

### 5.1 Visio

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa mahdollisia tuotantoketjuja kolmelle eri luonnonkuidulle, jotka olisivat ympäristön ja taloudellisuuden kannalta mahdollisia vaihtoehtoja komposiittien lujitteiksi. Potentiaalisiksi vaihtoehtoisiksi valikoituivat järviruoko, pajupuu ja kuituhamppu. Uusien kuituvalintojen avulla tavoitellaan lasikuidun käytön vähentämistä sen vaikean hyödyntämisen vuoksi elinkaarensa lopussa. Tällä olisi merkittäviä vaikutuksia myös lasikuidun tuotannossa syntyvien päästöjen vuoksi.

Lasikuiduilla vahvistetut komposiitit ovat erinomaisia materiaaleja eri teollisuuden alojen käyttöön. Lasikuidun käyttö komposiiteissa on ollut ympäristöteko, kun painavaa terästä on voitu vähentää esimerkiksi laivoissa ja ajoneuvoissa, jolloin energiankulutus ja pakokaasupäästöt ovat pienentyneet merkittävästi. Lasikuidun käyttöään päättyessä on kuitenkin ilmennyt ongelmia, kun sen sijoituskohdetta jätteenä on pohdittu. Kierrätetylle lasikuidulle ei ole kannattavia markkinoita, jolloin se useimmiten päättyy sementin täytteeksi. Kasvikuidut maatuivat, joten merkittävää jätettä ei synny.

Komposiittien käyttö lisääntyy jatkuvasti ja päivittyvien ympäristövaatimusten takia tarvitaan uusia materiaaliyhdistelmiä. Myös Meyer Turku Oy:n toiminnassa nähdään uusien ympäristövaatimusten vaikutus. Meyerilla on tavoitteena luoda hiilineutraali risteilylaivakonsepti vuoteen 2025 mennessä, ja Turun telakan hiilineutraaliutta tavoitellaan vuoteen 2030 mennessä (Turku Business Region 2021). Kaikkien teollisuusvaiheiden lähempi tarkastelu on siis aiheellista hiilineutraaliuuden saavuttamiseksi, ja se myös koskee komposiittituotteita.

Suurin osa Meyerin risteilijöihin tulevista materiaaleista tulee alihankinnan kautta eli Meyer ei itse ole näiden materiaalien tuottaja. Alihankkijoiden materiaalivalinnat kuitenkin vaikuttavat lopputuotteena syntyvän risteilyaluksen hiilijalanjälkeen, joten tuotantoketjun alussa tehdyt valinnat on syytä tehdä



harkiten. Meyerilla on mahdollisuus vaikuttaa materiaalivalintoihin ja sitä kautta luomiensa risteilyalusten kokonaisvaltaiseen ympäristövaikutukseen.

## 5.2 Kartoitetut tuotantoketjut

Järviruoko valikoitui yhdeksi mahdolliseksi kuituvaihtoehdoksi, sillä se kasvaa luonnonvaraisesti ilman ihmisen erillistä tuotantopanosta, jolloin materiaalin saatavuus ei ole riippuvainen tuotannollisesta viljelystä. Lisäksi järviruokoa poistetaan jo muutenkin paljon luonnosta sen liiallisen esiintyvyyden ja siitä johtuvien ongelmien takia, jolloin sen käyttöä komposiittien lujitekuituna voidaan pitää jätevirran hyödyntämisenä.

Haastattelujen ja kirjallisuuskatsauksen perusteella selvisi, että järviruoko kiinnostaa raaka-aineena, ja sillä on potentiaalia monen eri teollisuuden käyttöön. Jotkin osa-alueet tuotantoketjussa ovat kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, kuten lupa-asiat ja niittokaluston saatavuus. Järviruoko on koko kasvi pystytään käyttämään hyväksi rakennus-, kemikaali- ja energiatuotannon raaka-aineiksi samalla edistään vesistöjen ja maaperän tilaa, luonnon monimuotoisuutta ja kasvihuonekaasujen päästön vähentämistä ilmakehään.

Järviruokosta voidaan erottaa selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini, ja jatkojalostaa näitä jakeita eri tarkoituksiin. Komposiittien kuitulujitteiksi sopivat selluloosa ja ligniini, sekä ruokokasvien sisältämät silikaatit, joilla teoriassa voidaan tehdä lasikuidun tapaista kuitua. Tämä vaatii kuitenkin käytännön tutkimusta.

Pajun tehokas kasvu ja ravinteiden käyttö vaikutti sen valintaan kuitulujitteen mahdolliseksi lähteeksi. Samoin kuin järviruoko, paju ei veisi tärkeää viljelytilaa ruokatuotantoon kuuluvilta kasveilta, jos sitä kasvatettaisiin vanhoilla turvetuotantoalueilla. Samalla lisättäisiin hiilinielujen vaikutusta Suomessa, sillä pajun täyttämä alue sitoo enemmän hiilidioksidia, kuin pelkkä lakea turvesuo. Koska turpeen tuotantoa vähennetään lakien avulla jatkuvasti, yhä useampi turvesuo vapautuu muuhun käyttöön.

Vanhojen turvealueiden hyötykäytön lisäksi pajulla pystytään vähentämään ravinnehuuhtoumia ja eroosiota. Pajun hiilinieluna toimiminen olisi myös muihin puulajeihin verrattuna tehokkainta, sillä paju kasvaa tehokkaasti, jolloin puumateriaalin korjuun jälkeen hiilinielu elpyy suhteellisen nopeasti. Järviruo'on tapaan myös pajusta voidaan erottaa eri kasvikuitujakeet ja käyttää ne haluttuihin sovelluksiin. Pajusta saadaan erityisen paljon pitkää selluloosaa, joka olisi komposiittien lujitteena suotuisa.

Kolmas tässä opinnäytetyössä käsitelty kasvikuitu on kuituhamppu, joka on pajun ja järviruo'on tavoin poikkeuksellisen tehokas viljelykasvi. Kuituhampulla on jo toimivia tuotantoketjuja Suomessa, ja ne yltyvät myös komposiittitasolle. Esimerkiksi autoteollisuus käyttää kuituhamppua sisältäviä komposiitteja tuotannossaan. Kuituhampun osalta haluttiinkin osoittaa, että lujitteen vaihto luonnonkuituun on jo käytännössä todettu toimivaksi.

Kuituhampulla on useita positiivisia vaikutuksia ympäristöön, joten sen käyttöä olisi hyvä lisätä. Se on tehokas ravinteiden sitoja ja se ei vaadi torjunta-aineita. Kuituhamppu pärjää monenlaisessa ympäristössä ja sen viljely parantaa maaperän laatua. Vuoroviljely on suotuisa vaihtoehto kuituhampulle, jolloin tärkeiden ruokakasvien viljely ei vaarannu ja samalla niiden tuottoa jopa parannetaan hampun positiivisten maaperävaikutusten ansiosta.

Maailma muuttuu nopeasti ja teollisuuden on pysyttävä perässä turvatakseen kestävästä materiaali- ja tuotetuotannon ja sitä kautta ihmisten hyvinvoinnin. Muutokset on tehtävä ympäristön kannalta parhaimmalla tavalla, jotta tuotannon jatkuminen voidaan turvata myös myöhemmille sukupolville. Tämän vuoksi uusien ympäristöystävällisempien arvoketjujen kartoittaminen ja tutkiminen on tärkeää.

Jatkuvasti pyritään kehittämään uusia materiaaliyhdisteitä, jotka korvaavat kuormittavammat materiaalit ja komposiittiteollisuus on tässä avainasemassa. Erityisesti eri kulkuneuvojen päästövähennykset perustuvat massan vähentämiseen, jossa vaihtoehtoisia materiaaleja tarvitaan. Meriteollisuus käyttää jo runsain määrin komposiitteja, jolloin uusien matriisien ja

kuitulujitteiden käyttöä tutkitaan paljon. Biokomposiitit toimisivat massan vähennyksen lisäksi hiilivarastoina, joilla on pitkä elinikä ja vähäinen jätevirta.

Vaikka risteilyalusten tiukat paloturvallisuus- ja lujuusvaatimukset hankaloittavatkin uusien materiaalien käytön lisäämistä aluksissa, on tutkimukset silti kannattavia. Aluksissa tällä hetkellä käytettävät komposiittimateriaalit on saatu sovellettua tiukkoihin vaatimuksiin eristeiden ja päällysteiden kanssa eli käytännön onnistuminen on varmistettu. Risteilijöiden suurempien teräsosien korvaus komposiiteilla on vielä kesken, mutta sitä suuremmalla syyllä uusia materiaalikartoituksia ja –testejä on suoritettava. Pienempien sisustus- ja kansielementtien vaihto kevyisiin luonnonkuiduilla lujitettuihin komposiitteihin voi toimia pohjana suurempien rakenteiden tuleville muutoksille. Meyer Turku Oy voi toimia edelläkävijänä biokomposiittien käyttäjänä ja näin vaikuttaa maailmanlaajuisesti kehitykseen.

### 5.3 Tarvittavat lisätutkimukset

Opinnäytetyön sisältö on vain pintaraapaisu biokomposiittien aiheeseen ja monet eri vaiheet vaativat tutkimusta. Luonnonkuitujen ja muiden materiaalien välistä yhteensopivuutta on tutkittava laboratorio ja käytännön tasolla. Luonnonkuidut vaativat esimerkiksi erilaisten sidos- ja täyteaineiden käyttöä muun muassa hartsin ja lujitteen tartunnan onnistumiseksi. Valmiiden komposiittimateriaalien eri ominaisuuksia, kuten lujuutta, puristusta, väsymystä, koostumusta, lämmön- ja kemikaalien sietoa, taivutusta, sekä altistumista otsonille ja kaasuille, on testattava.

Materiaalitestauksen lisäksi uusien kuitulähteiden, kuten tässä opinnäytetyössä käsiteltävien järviruo'on, pajun ja kuituhampun tuotantoketjujen epävarmuudet vaativat lisätutkimusta. Uusia laitevalmistajia ja tilanomistajia tarvitaan sekä halukkaita yrityksiä kokeilemaan uusia kuituvalmisteita. Komposiittien osalta eniten tarvitaan uusia tuotantolaitoksia, jotka ovat erikoistuneet tekemään luonnonkuitulujitteita komposiitteihin. Tässä voidaan hyödyntää esimerkiksi tekstiiliteollisuutta. Itse komposiittituotteiden valmistajat tarvitsevat tutkimuksista

saatavaa tietoa uusien materiaalien ominaisuuksista, jotta laitepäivitykset ja valmiiden tuotteiden takuuasiat voidaan hoitaa asianmukaisesti.

Lujitekuitu on yksi osa komposiitteja. Muut merkittävät osat ovat käytetty matriisi, sidosaineet ja valmistuksessa käytettävät muotit. Tämä opinnäytetyö käsitteli vain pienen osan uusien lujitekuitujen mahdollisuuksista ja aihe vaatii lisää tutkimusta eri näkökulmista. Samoin matriisien, sidosaineiden ja muottien osalta on järkevää suorittaa tutkimusta ja muutoksia ympäristöystävällisemmän ja kestävämmän tuotannon luomiseksi.

#### 5.4 Pohdinnat

Opinnäytetyö onnistui laajaan aihepiiriin nähden hyvin. Hankalin osuus oli rajata asioita pois ja pysyä aiheessa. Uuden materiaalin tutkimiseen liittyy niin monia eri näkökulmia ja sivuaiheita, jotka kaikki jollain tavalla vaikuttavat lopputulokseen. Samanlaista kartoitusta voitaisiin tehdä biopohjaisille matriiseille. Matriisi kattaa suurimman osan komposiitista, jolloin sen muutos olisi huomattava. Aiheita siis riittää. Tätä opinnäytetyötä voidaan pitää pohjana uusien opinnäytetyöaiheiden suunnittelulle.

## Lähteet

Asikainen, T. (2016). *Muovien kierrätys - Mekaaninen kierrätys*.

<https://muovienkierratys.wordpress.com/mekaaninen-kierratys/>

Bioenergia Ry. (2017). *Turpeen energiakäytön ilmastovaikutukset*. Turveinfo.

<http://turveinfo.fi/ymparisto/turpeen-energiakayton-ilmastovaikutukset/>

Blom, D., & Dufva, K. (2016). *Lujitemuovijätteen materiaalin ja energian kierrätys sementtiuunissa*.

Carbons Finland Oy. (2020). *Paju*. <https://carbons.fi/paju/>

Corniani, V. (2019). Design of Car Decks with Composite Panels on a Car Carrier. *Diab Group*.

Council of the European Union. (1975). *Council Directive 74/422/EEC of 15 July 1975 on waste*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31975L0442>

Council of the European Union. (2002). *Parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (BAT) koskeva viiteasiakirja*.

Ellonen, J. (2021). *Järviruoko viheralueiden katemateriaalina* [Opinnäytetyö]. Hämeen ammattikorkeakoulu.

ELY-keskus. (2022a). *Ruoko - Järviruoko*. <https://www.ely-keskus.fi/web/ruoko/jarviruoko>

ELY-keskus. (2022b). *Ruoko - Talvileikkuu*. <https://www.ely-keskus.fi/web/ruoko/talvileikkuu>

ELY-keskus. (2022c). *Ruoko - Vesileikkuu*. <https://www.ely-keskus.fi/web/ruoko/vesileikkuu>

Euroopan Komissio. (2019). *Monipuolinen kuituhamppu*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2019:013:FULL&from=FI>

European Commission. (2022). *EU taxonomy for sustainable activities*.

[https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities\\_fi](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_fi)

European Parliament. (2000). *Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles*.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0053>

Fibreship. (2017). *FibreShip*. <http://www.fibreship.eu/>

Finlex. (2011). *Jätelaki 646/2011*.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Finlex. (2014). *Ympäristönsuojelulaki 527/2014*.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

Finlex. (2021). *Ajoneuvolaki 82/2021*.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2021/20210082>

Forsbom, W., & Ahosola, L. (2018). *Komposiittien ominaisuudet, sovellutukset ja tulevaisuus merenkulussa* [Opinnäytetyö]. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Hurskainen, L. (2015). *Energiapajun viljelypotentiaali Keski-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa* [Opinnäytetyö]. Karelia ammattikorkeakoulu.

Ikonen, J. (2015). Kuituhampun kasvatuksen ja jalostuksen liiketoimintamallit [Opinnäytetyö]. In 2015. Karelia ammattikorkeakoulu.

Ikonen, J., Kilpeläinen, J., & Puhakka-Tarvainen, H. (2015). Kuituhampun jalostuksen mahdollisuudet Suomessa. In 2015.

Ilmatieteen laitos. (2021). *Haisevat rikkiyhdisteet*.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/haisevat-rikkiyhdisteet>

IMO. (2017). *Interim guidelines for use of fibre reinforced plastic (FPR) elements within ship structures: Fire Safety Issues*.

- International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. (1974).  
[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
- Järvenpää, T., Heikkinen, T., Lähde, P., & Keinänen-Toivola, M. M. (2020). Uusia energiatehokkaita tuotteita ja palveluita meriklusterissa. In 2020.
- Koivisto, M. (2020). *Ligniinin hyödyntäminen ja entsyymaattinen käsittely* [Opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu].  
<https://www.theseus.fi/handle/10024/334455>
- Kotka, M.-L. (2012). Pajunköydestä pajupilliin [Opinnäytetyö]. In 2012. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- Kukkola, T. (2021). *Järviruoko piholla ja puutarhoissa* [Opinnäytetyö]. Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Kurunsaari, J. (2017). *Kuituhampun esikasvatus perunalle* [Opinnäytetyö]. Oulun Ammattikorkeakoulu.
- Laakkonen, R. (2021). Maanviljelijöiden näkemyksiä ilmastonmuutoksen vaikutuksista peltoviljelyyn Suomessa [Opinnäytetyö]. In 2021. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu.
- Lampinen, R., & Lahti, T. (2019). *Järviruoko, levinneisyys ja yleisyys - Kasviatlas 2018. -- Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki*.  
<https://koivu.luomus.fi/kasviatlas/maps.php?taxon=44579&year=2018>
- Lauhanen, R., Laasasenaho, K., Pappinen, A., & Kuittinen, S. (2022). *Paju sitoo hiiltä*.
- Lipponen, S. (2019). Polymeerit: Polymerointimekanismit. *CHEM-C2400 Materiaalit Sidoksesta Rakenteeseen, Aalto-Yliopisto*.
- Luke. (2022a). *Pajussa on potentiaalia*. Luonnonvarakeskus.  
<https://www.luke.fi/fi/blogit/pajussa-on-potentiaalia>

Luke. (2022b). *Pajusta pohjolan bambu? Luke kartoitti viljeltävän pajun potentiaalia*. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/pajusta-pohjolan-bambu-luke-kartoitti-viljeltavan-pajun-potentiaalia>

LuontoPortti -verkkolehti. (2021). *Pajut*.  
<https://lehti.luontoportti.fi/fi/lajiesittely/pajut>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021a). *Metsävarat*.  
<https://mmm.fi/metsat/suomen-metsavarat>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021b). *Metsien hiilinielut*.  
<https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/energia-ja-ilmastopolitiikka/eu-energia-ja-ilmastopolitiikka/metsien-hiilinielut>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021c). *Suot ja turvemaat*.  
<https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/suot-ja-turvemaat>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021d). *Talousmetsien monimuotoisuus*.  
<https://mmm.fi/talousmetsien-monimuotoisuus>

Maanmittauslaitos. (1989). *Kiinteistöjen yhteiset maa- ja vesialueet*.  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/huoneistot-ja-kiinteistot/kiinteistot-ja-kiinteistokauppa/yhteiset-maa-ja-vesialueet>

Metsähallitus. (2021). *Monikäyttömetsien hakkuutavat*.  
<https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/metsatalous/metsanhoito/hakkuutavat/>

Michel, O. (2017). *Europe to use composite materials to manufacture ships*. Irish Tech News. <https://irishtechnews.ie/europe-to-use-composite-materials-to-manufacture-ships/>

Muoviteollisuus Ry. (2021). *Komposiitit*.  
<https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitit/>

Norokytö, N., & Simi, P. (2018). *Hampputalo*. <http://loki.turkuamk.fi>



- Ollikainen, I. (2013). *Hemiselluloosan erotus sulfaattiselutehtaalla* [Kandidaatintyö]. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.
- Paibira. (2020). *Raaka-ainekortti - Järviruoko*.
- Parkkinen, H. (2018). *Kuituominaisuuksien vaikutus luonnonkuitu-komposiittien ominaisuuksiin* [Maisteritutkielma]. Helsingin yliopisto.
- Pesonen, N. (2014). *Kuitulujitteisten laminaattien elinkaariarvio* [Opinnäytetyö, Mikkelin ammattikorkeakoulu]. <http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014060111262>
- Plasthouse Oy. (2018). *Muovien jaottelusta – Plasthouse*.  
<https://plasthouse.fi/muovit/mita-muovit-on/>
- Rantaparturit Oy. (2017). *Mahdollisuuksien järviruoko – JÄRKI-hanke*.  
[www.rantaparturit.com](http://www.rantaparturit.com)
- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (2019a). *Komposiittirakenteet - Johdanto*. <https://www.lujitemuovi.fi/johdanto/01-johdanto/>
- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (2019b). *Komposiittirakenteet - Kierrätys*. <https://www.lujitemuovi.fi/tuotanto/10-6-kierratys/>
- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (2019c). *Komposiittirakenteet - Komposiitit*.  
<https://www.lujitemuovi.fi/terminologiajamerkinnaat/2-1-komposiitit/>
- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (2019d). *Komposiittirakenteet - Lujitekuidut*. <https://www.lujitemuovi.fi/raaka-aineet/3-4-lujitekuidut/>
- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (2019e). *Komposiittirakenteet - Raaka-aineet*.  
<https://www.lujitemuovi.fi/terminologiajamerkinnaat/2-2-raaka-aineet/>

- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (2019f). *Komposiittirakenteet - Valmistusmenetelmät*.  
<https://www.lujitemuovi.fi/valmistustekniikka/5-1-valmistusmenetelmat/>
- Shrivastava, A. (2018). Additives for Plastics. *Introduction to Plastics Engineering*, 111–141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39500-7.00004-6>
- SLL. (2020). *Turve*. Suomen Luonnonsuojeluliitto. <https://www.sll.fi/mita-me-teemme/suot/nain-toimimme/turve/?cn-reloaded=1&cn-reloaded=1>
- Solar Simulator Finland Oy. (2021). *Tuotteen elinkaari – hallinnalla merkittävää kilpailuetua*. <http://www.solarsimulator.com/saatestauksen-ratkaisut/tuotteen-elinkaari-hallinnalla-merkittavaa-kilpailuetua/>
- Vuorinen, J., Mustakangas, M., & Annala, M. (2016). *Komposiitit - loputtomasti mahdollisuuksia*. • [https://www.plastics.fi/document.php/1/252/komposiitit\\_-\\_loputtomasti\\_mahdollisuuksi/9e832437f8e4e6f3e76e45b5d93d6bf1](https://www.plastics.fi/document.php/1/252/komposiitit_-_loputtomasti_mahdollisuuksi/9e832437f8e4e6f3e76e45b5d93d6bf1)