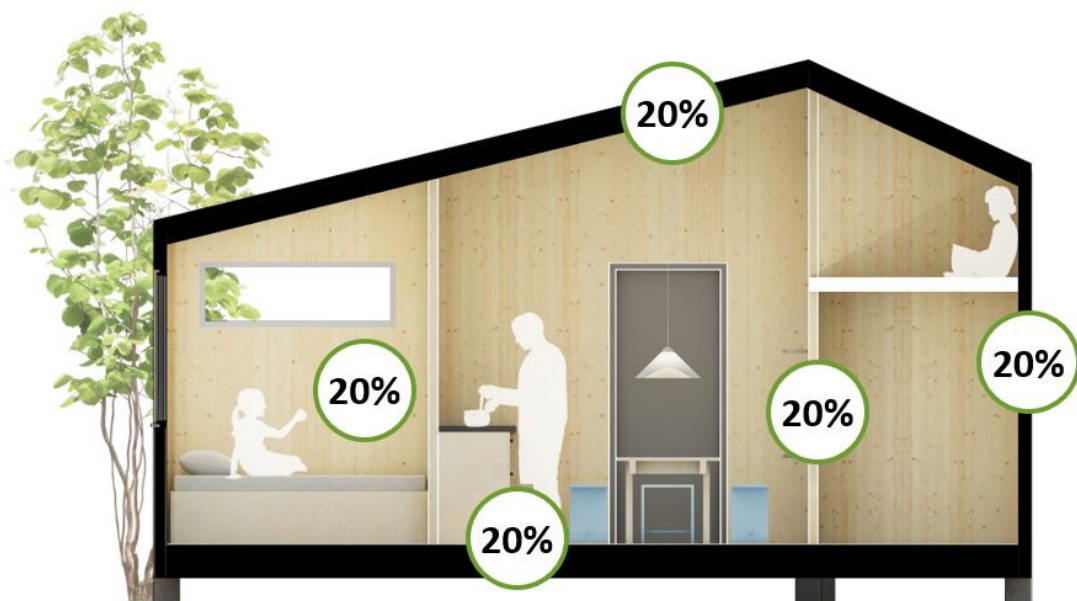




## PuuLOOP- hankeen esiselvitys TP 3 materiaalitardeet



## Sisällys

1.	Executive summary .....	3
2.	Esiselvityksen tavoitteet ja liittyminen PuuLoop- hankekokonaisuuteen .....	4
3.	Selvityksen toteutus, haastattelut ja toteutuksen rajaukset.....	5
4.	Kartoitetut tuotteet .....	6
4.1	CLT.....	6
4.2	Hirsi .....	7
4.3	Liimapuu.....	8
4.4	Rankarunkoiset elementit ja sahatavara .....	8
4.5	Puukuitueristeet .....	9
4.6	LVL ja vanerit.....	10
4.7	Puulavat .....	10
4.8	Ulkoverhouspanelit.....	11
5.	Vaatimuksia liiketoiminnan syntymiseksi .....	11
5.1	Asiakastarpeista .....	12
5.2	Arvopyramidi.....	12
5.3	Hinta.....	13
5.4	Juridiset edellytykset .....	14
5.5	Materiaalin saatavuus.....	14
5.6	Muita nostoja.....	15
6.	Keskeisiä nostoja välialosteiden vaatimuksista .....	15
7.	Keskeisiä havaintoja tehtaiden sivuvirroista.....	16
8.	Skenaarioita kiertotaloustuotteiden kuutiomääräisestä potentiaalista.....	17
9.	Johtopäätökset ja esitetyt jatkotutkimuskysymykset.....	19

## 1. Executive summary

Tämä on PuuLoop hankkeen materiaalitardeet työpaketin (TP3) esiselvitys. Selvityksen tavoitteena on kartoittaa mihin mekaanisiin puutuotteisiin kierrätettyä puuraaka-ainetta voitaisiin soveltaa ja mitä reunaehtoja tähän sisältyy. Selvitys toteutettiin alkusyksystä 2024 haastatteleamalla yhdeksää eri tuotteiden tuotevalmistajaa.

Kierrätettyjen puutuotteiden edellytyksenä on, että kierrätettyä raaka-ainetta voi ostaa väljalostettuna ja näin suoraan korvata neitseellinen perinteinen raaka-aine puutuoteteollisuuden nykyisiä prosesseja muuttamatta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kierrätysmateriaalilla pitää olla tuotehyväksyntä, sen pitää olla puhdasta ja siinä ei saa olla jäämiä esimerkiksi haitta-aineista tai homeista. Kun raaka-aineen vaatimukset esimerkiksi toleranssien suhteen vastaavat neitseellistä, on kierrätettyjen tuotteiden käyttöönottoon vain vähän teknisiä esteitä.

20 % kierrätysasteen saavuttaminen kaikessa rakentamisessa on epärealistinen tavoite ja sitä ei tulisi tavoitella. Tavoitetaso tulisi määritellä saatavissa olevan todellisen raaka-ainevirran mukaan ja tämä tarkentuu hankkeen jatkon aikana.

Ensimmäisessä vaiheessa potentiaalisimpia kierrätystuotteita ovat erilaiset höylätyt paneelit, mitallistettu sahatavara, puukuitueristeet ja teollisuuden käyttämät tuotteet. Näistä suurin osa on ei- kantavissa kohteissa ja niitä voi valmistaa useista eri dimensioista. Toiseksi potentiaalisimpia tuotteita ovat insinööri- tuotteet, kuten hirsi- tai CLT, joissa voidaan välilamelleissa hyödyntää kierrätettyä puuta. Kolmantena ja aikajänteeltään pisimpänä vaiheena nähdään erilaiset komposiitti- ja viilutuotteet, joiden valmistaminen vaatii merkittävää tuotekehitystä ennen kuin ko. tuotteita voidaan tuoda markkinoille.

Väljalostajan rooli on keskeinen. Väljalostaja kykenee ohjaamaan jätemateriaalivirran arvokkaimpaan käyttöön ja virran käytön hyötysuhde parantuu. Väljalostajan keskeinen tehtävä on suorittaa tarvittavat laadunvalvontatoimet kierrätetyille materiaalille ennen sen toimittamista teollisuuden käyttöön. Raaka-aineen saaminen, dimensioiden hallinta ja loppuasiakkaan tarve eivät todennäköisesti kohtaa optimaalisesti ja tämä logistinen yhteensovitus on yksi keskeinen väljalostajan rooli arvoketjussa. Väljalostajan tulee olla riittävän suuri, jotta myytävien tuotteiden erät ovat riittävän suuria ja säännöllisiä ja materiaalivirrat kasvavat tarpeeksi suuriksi teollisuuden optimoinnin ja operatiivisen toiminnan kannalta.

Valmistajat eivät lyhyellä aikavälillä oleta saavansa kierrätetyistä tuotteista lisähintaa. Kiertotalouden vaatimusten kehittyessä erilaisten arvokomponenttien kehittymistä seurataan tarkasti. Valmistajien kannalta kierrätetty puu voi olla potentiaalinen ennakoitava lisämateriaalivirta. Nykyisellään asiakkaiden kiertotalouteen liittyvät vaateet ovat olleen vähäisiä, mutta näiden ennakoitaan kasvavan tulevaisuudessa.

Kierrätettyjen väljalosteiden käytölle ei nähty juurikaan teknisiä esteitä, kunhan laadunvalvonta, saatavuus ja hintataso ovat houkuttelevia ja kunhan tuotteille on kysyntää.

## 2. Esiselvityksen tavoitteet ja liittyminen PuuLoop- hankekokonaisuuteen

Tämä esiselvitys kuuluu osaksi Puutuoteteollisuuden PuuLoop- hankekokonaisuutta.

Tämä selvitys on osa Materiaalitarpeet työpakettia (TP3).

Työn laatimisen on mahdollistanut Rakennustuotteiden laatusäätiö Sr.

Rakentamiseen kohdistuu tulevaisuudessa merkittäviä kiertotalouteen liittyviä regulaatio- ja asiakastarpeisiin perustuvia muutoksia. Konkreettisenä esimerkkinä Komission delegoitu asetus 2023/2486, jossa määritellään, että rakennushanke voidaan määritellä kestäväksi kiertotalouskriteerein, kun enintään 80 % kohteen biopohjaisista materiaaleista on peräisin primääriraaka-aineesta, eli 20% materiaalista tulisi olla kierrätettyä. Käytännössä 20 % tavoitetta ei pystytä täyttämään tällä hetkellä.

Kiertotalous on tärkeä teema jätteiden kierrätysasteeseen kohdistuvien vaatimusten muodossa. Kun puujäte poltetaan sitä ei lähtökohtaisesti lasketa kierrätetyksi. Kolmanneksi kierrätetyn tuotteen hiilijalanjälki on lähtökohtaisesti nolla. Vaikka laskentatavan lopullinen toteutustapa ei ole tiedossa tätä selvitystä laadittaessa on selvä, että kierrätetyt tuotteet antavat merkittävän kilpailuedun hiilijalanjäljellä kilpailtaessa tai tavoiteltaessa kunnianhimoisia päästöraja-arvoja.

Kiertotalous on tai on tulossa myös erilaisten vapaaehtoisten sertifiointi- tai laatu järjestelmien kriteeristöön. Kiertotalouden painoarvo ja varsinaiset kriteeristöt vaihtelevat ja ovat osin vasta muodostumassa, mutta tätä kautta kiertotalousvaatimukset tulevat vaikuttamaan tulevaisuudessa enenevissä määrin hankkeiden rahoitukseen sekä kohteiden jälleenmyyntiarvoon.

Kiertotalous vaikuttaa tavalla tai toisella tulevaisuudessa ja puutuotealan tulee kyetä tähän reagoimaan. Käytännössä markkinoilla ei ole osittain tai kokonaan kierrätettyjä puutuotteita ja tämä on haaste. Puun polttaminen on perinteinen tapa käyttää sekä jätteet, että tuotantolaitosten sivuvirrat. Korkea energianhinta on entuudestaan lisännyt kannustimia puun polttamiseen. Tässä selvityksessä ei oteta kantaa optimaaliseen jätejakeiden käyttöön tai vertailla puun polttoa kiertotalouskäyttöön. Selvityksessä tarkastellaan, miten kiertotaloustuotteille voidaan luoda markkina ja missä tuotteissa kierrätettyjä raaka-aineita voidaan hyödyntää ja millä ehdoin. Markkinat tulevat aikanaan ratkaisemaan ja ohjaamaan materiaali- virrat optimaaliseen käyttöön, kunhan markkina on ensin olemassa.

Selvityksen tavoite on suunnata PuuLOOp- hankekokonaisuuden jatkotoimenpiteitä ja antaa riittävä taustatieto kiertotaloustuotteiden potentiaalin hahmottamiseksi. Selvitys keskittyy lyhyen- ja keskipitkän aikavälin potentiaaliin ja pyrkii priorisoimaan potentiaalisimpia tuotteita.

### 3. Selvityksen toteutus, haastattelut ja toteutuksen rajaukset

Selvitys on rajattu koskemaan uusien tuotteiden osittaista tai kokonaan kierrätetystä materiaalista toteuttamista. Selvitys ei tutki kokonaisten rakennusosien uudelleenkäyttöä purun jälkeen (esimerkiksi ikkunat tai liimapuupalkit purettavasta kohteesta) eli kyse ei ole tuotteiden uudelleenkäytöstä. Uudelleenkäyttö tulee olemaan tulevaisuudessa tärkeä kokonaisuus ja se vaatii kokonaan oman liiketoimintakokonaisuutensa ja sääntelynsä.

Toinen keskeinen rajausta hankkeelle on tuotteiden suunnittelu kiertotalouden ehdoin, joka suljetaan hankkeen ulkopuolelle. Se miten korjattava, siirrettävä, muunneltava tai tehokkaasti hyödynnettävä tuote elinkaarensa lopussa ovat tärkeitä ominaisuuksia, mutta niitä ei tässä yhteydessä tarkastella.

Tämä selvitys on rajattu koskemaan puutuoteteollisuuden jo olemassa olevia tuotteita, joissa joko osittain tai kokonaan voidaan neitseellisiä raaka-aineita korvata kierrätetyillä. Tarkastelu käsittelee vain kotimaista tuotantoa ja tästä syystä tarkastelu on keskittynyt nykyisellään suomessa valmistettaviin tuotteisiin. Myös kokonaan uudet innovaatiot tai tuotantotavat, jotka vaativat merkittäviä investointeja nykyisiin tuotantolaitoksiin on lähtökohtaisesti rajattu ulos tarkastelusta.

Kalusteteollisuus on merkittävä puunkäyttäjä ja se tulee näyttämään merkittävää roolia kierrätetyn puun käytössä tulevaisuudessa. Kalusteteollisuuden vaateet ja tuotehyväksynnät poikkeavat rakennustuotteista siinä määrin, että ne rajataan tämän tarkastelun ulkopuolelle. Kalusteteollisuuden potentiaalin tarkastelu vaatii kokonaan oman tarkastelunsa ja sitä selvitetään laajemmin muissa PuuLOOP- hankkeen tutkimuksissa.

Puu toimii hyvänä raaka-aineena monessa innovaatiossa ja kemianteollisuuden parissa toteutetaan laajaa tutkimusta puukuitujen hyödyntämisestä erilaisissa tuotteissa. On ilmeistä, että kierrätetty puu tarjoaa potentiaalisen materiaalivirran myös näille tulevaisuuden sovelluksille. Puumateriaalista voidaan tehdä ja tehdäänkin jo nykyisellään erilaisia puukomposiitteja, joita voitaisiin hyödyntää joko välituotteina tai sellaisenaan myös rakentamisessa. Tässä selvityksessä ei oteta kantaa kemiallisesti valmistettuihin potentiaalisiin tuotteisiin vaan keskitytään mekaanisiin sovelluksiin.

Yllä olevilla rajauksilla on pyritty löytämään ne tuotteet, joihin verrattain lyhyellä aikajänteellä ja merkittävien volyymien voitaisiin valmistaa kiertotaloustuotteita. Selvityksen tarkoitus on ohjata tutkimuspanoksia ns. matalalla roikkuviin hedelmiin, joten tämä on lähtökohtana tarkastelussa.

Työ toteutettiin haastatteluina ja kirjallisuuskatsauksena. Haastatteluissa käsiteltiin tuotteita yleisellä tasolla. Valmistajakohtaisia liikesalaisuuksia, heidän tulevia investointisuunnitelmiaan tai vastaavia voitiin käsitellä vain siinä laajuudessa, kuin ne olivat haastatteluhetkellä yleisesti tiedossa. Haastatteluihin osallistuivat seuraavat yritykset:

- UPM Plywood Oy
- Versowood Oy

- Oy Crosslam Kuhmo Ltd
- Lapwall Oyj
- Vankkapuu Oy
- Fiberwood Oy
- Kontiotuote Oy
- Siparila Oy
- Stora Enso Oyj

Kyselyt toteutettiin elokuussa ja syyskuussa 2024.

#### 4. Kartoitetut tuotteet

Tarkasteluun valikoitiin laajasti mekaanisen puunjalostuksen keskeisiä jalostustuotteita. Selvityksessä kartoitettiin keskeisiä reunaehtoja kierrätetyn materiaalin käyttämisestä ko. tuotteiden valmistamisessa. Tuote voi olla joko kokonaan tai osittain kierrätetystä materiaalista.

##### 4.1 CLT

CLT eli ristiin laminoitu sahatavara on rakenteellinen puutuote, joka koostuu nimensä mukaan ristiin laminoituista sahatavarakerroksista. CLT on suunniteltu käytettäväksi kantavissa rakenteissa ja tästä syystä käytettyihin materiaaleihin kohdistuu lujuusvaade. Kaikki sahatavara, jota kotimaiset valmistajat käyttävät on C24- lujuuslajiteltua. Muualla maailmassa välilamelleille ei kohdistu yhtä kovia lujuusvaateita. Sertifioidussa tuotteessa voitaisiin siis todennäköisesti käyttää myös pienempiä lujuuksia, mutta lujuus tulisi kuitenkin olla todennettu. CLT:stä merkittävä osa on näkyvää pintaa ja näitä tuotteita valmistettaessa tulee täyttää visuaalisen laadun määritteet.

CLT dimensiot lamellien paksuuksien osalta on vakioituneet ainakin Euroopan laajuisesti. Käytännössä lamellipaksuudet ovat 10mm välein ja ohuin lamelli on 20mm. Liimausprosessi vaatii, että tuote pitää höylätä ennen liimaamista, joka johtaa siihen, että höyläys tehdään aina CLT- tehtaalla. Tämä höyläysvara tulee huomioida käytetyissä raaka-aineissa. Poikkeavien dimensioiden käyttö on mahdollista, mutta käytännössä erittäin vaikeaa.

Tuote tulee pääosin kosketuksiin sisäilman kanssa, joten ehdoton pohjavaatimus on, että tuote on hygieenisesti puhdas ja myrkytön. Höylän terät eivät kestä kiviä tai rautaa, joten tuotteen pitää olla täysin puhdasta, jotta sitä voidaan käyttää tuotannossa. Liimat eivät aiheuta haasteita höyläyksessä tai CLT- työssä, joten niiden osalta asia ei ole yhtä tarkka.

Raaka-aine ostetaan kuivana, kosteus 10% (+/- 2%). Erityisesti visuaalisten pintojen osalta kosteusvaatimus on kova ja sillä on merkitystä loppulaatuun. Eri kosteuksisia puita ei voi käyttää ristiin liimaamisessa, joten koko puristettava erä pitää olla samassa kosteusprosentissa.

Kierrätetyn puun käytölle varsinkaan CLT:n välilamellissa ei nähty esteitä, jos muut laatuvaatimukset täyttyvät. Kiinnostavana vaihtoehtona nähtiin vaihtoehto, jossa CLT:stä tehdään teollisuuden tarpeisiin vastaavia erilaisia ”kakkoslaatuja” tuotteita, kuten nosturipetejä tai kelojen runkoja. Näissä tuotteissa niin rakenteelliset kuin visuaaliset laatuvaatimukset olisivat merkittävästi matalammat, kuin perustuotteessa.

Välilamellien korvaamisella päästään 20 – 40 % kierrätysasteeseen tuotteesta riippuen.

## 4.2 Hirsi

Hirsi on Suomen perinteisin kiertotaloustuote. Hirsikehikoita on siirretty ja uudelleenkäytetty historiallisesti pitkään. Tämä tarjoaa muista tuotteista poiketen erilaisia kiertotalouden mahdollisuuksia. Esimerkiksi ylimmän kerroksen voisi hirsitalosta rakentaa kierrätetyistä hirsistä. Tässä selvityksessä keskitytään uuden modernin hirren valmistamiseen, mutta perinteinen hirren uudelleenkäyttö tulee muistaa ja se on aidosti varteenotettava keino toteuttaa kiertotaloutta hirrellä.

Hirsistandardi määrittelee, että hirressä käytetyn puun pitää olla kestävästi tuotettua ja sen alkuperä pitää pystyä todentamaan sertifikaatilla. Tämä asettaa ensimmäisen vaatimuksen kierrätysmateriaalille. Hirsistandardi ei aseta vaatimusta sille onko puu neitseellinen vai kierrätetystä raaka-aineesta.

Hirren osalta mitoitus perustuu koko hirsiprofiilin testaamiseen ja näin yksittäisille lamelleille ei ole asetettu lujuusvaatimuksia. Erilaisten hirsituotteiden välilamellit ovat erittäin potentiaalinen käyttökohde kierrätetyille puutuotteille tämän takia.

Välilamelleja on valmistajista riippuen eri dimensioissa, mutta painumattoman hirren pystylamelli on tyyppillisesti melko lyhyt, alle 300mm. Lamellit pitää höylätä ennen käyttöä ja höylävarat on huomioitava. Tuotteen pitää olla täysisärmäistä ja kosteuden tulee olla 12-14% välillä. Vaatimukset tuotteen puhtaudelle on ehdoton. Lamelli voidaan tarvittaessa myös liimata oikeaan paksuusmittaan kahdesta pienemmästä kappaleesta, jos raaka-aineen hinta on edullinen. Lisäliimaus on kustannus, mutta mahdollistaa optimaalisemman raaka-aineen käytön verrattuna moniin muihin insinööri tuotteisiin.

Välilamellien korvaamisella voitaisiin saavuttaa n. 30 prosenttisesti kierrätetystä tuotteesta valmistettu hirsi. Pituussuuntaisten lamellien korvaaminen on haastavampaa tarkempien dimensiovaatimusten takia ja ulommaiset lamellit ovat visuaalisesti tarkimpia paikkoja. Kokonaan kierrätettyä tuotetta ei poissuljeta, mutta välilamellien korvaamisella voitaisiin päästä hyvään kierrätysasteeseen hallitulla muutosprosessilla. Kierrätetyn hirren ehdoton etu on, että siinä voidaan hyödyntää hyvin lyhyitä kappaleita tehokkaasti osana valmistusprosessia, joka mahdollistaa vaikeasti hyödynnettävien kappaleiden käyttöön ilman sormijatkamista tai muuta lisäjalostamista.

### 4.3 Liimapuu

Liimapuun valmistus muistuttaa vaatimuksiltaan muita liimattavia insinööripuutuotteita. Puun pitää olla puhdasta ja siinä ei saa olla mitään rauta- tai muita vastaavia jäämiä, jotka haittaisivat prosessissa. Puun pitää olla kuivaa ja ostokosteus on 12 % (+/- 2 %).

Liimapuulle tyypillistä on, että vakiodimensiot on vakioitu 45 mm mittaan ja sen kerrannaisiin. Tähän mitaan tulee päälle höyläysvara. Keski-Euroopan markkinoilla käytetään 40mm dimensiota eli pienempiäkin dimensioita voidaan käyttää, mutta valmistetulle tuotteelle on eri markkina, vientituotteena. Tämä voisi mahdollistaa dimensioiden optimoinnin. Mitallistettu 48X98 toimii kotimaisten vakiodimensioiden lähtöraaka-aineena, mutta höylätystä (45 X 95) ei voi enää tehdä kotimaan tuotetta.

Tyypillisin ja ylivoimaisesti käytetyin liimapuun lujuusluokka on GL30, joten puu pitää lujuuslajitella osana tuotantoa. Tämä asettaa tiukan vaatimuksen raaka-aineelle. Toinen tyypillinen vaatimus koskee materiaalin pituutta, vaatimuksena tuotantoteknisesti on vähintään 3m pituinen sahatavara ja optimaalinen pituus on 5m luokkaa. Jos tuote on sormijatkettu, on jatkoksen oltava sertifioitu.

Liimapuulle asetetaan usein visuaalisia vaatimuksia, joten ensivaiheen käyttö voisi kohdistua ei visuaalisiin laatuihin. Liimapuun valmistuksessa saatavan raaka-aineen erä koko ei juurikaan vaikuta tuotantoon. Jos tavoitellaan 100% kierrätetystä raaka-aineesta tuote-eriä, tulisi raaka-ainetta tulisi olla saatavilla kokoluokkaa 15m<sup>3</sup> kerrallaan projektikohtaiseen tuotantoon.

Liimapuun valmistuksessa etuna voidaan pitää sitä, että projektikohtainen valmistaminen on tavanomaista ja tuotantoa voidaan tietyin reunaehdoin toteuttaa saatavilla olevan raaka-aine-erien ehdoilla ja jatkuvaa tarvetta kiertotaloustuotantoon ei ole. Tuotanto mahdollistaa erilaiset kierrätysasteet eri lamellikombinaatioilla.

### 4.4 Rankarunkoiset elementit ja sahatavara

Puhdistettu ja laadunvalvottu sahatavara on, jo sellaisenaan, käypä kiertotaloustuote. Tässä selvityksessä tarkastellaan sahatavaran vaatimuksia tasoelementtitehtaan kannalta. Suurin osa rankaelementeissä käytetystä runkopuusta on kantavia. Tietyissä tuotteissa on kuitenkin myös ei-kantavia runkopuita. Toimijat, jotka voivat tuotannonohjauksessa ohjata lujuuksia voivat tämän hyödyntää. Ko. elementeistä tulisi luontevasti n. 20 % kierrätysasteen sisältäviä tuotteita, jos ei kantavat osat korvattaisiin kierrätystuotteilla. Rankaelementtien koolauspuut ovat tyypillinen osa, jossa jo nykyisellään voidaan hyödyntää sivuvirroista laadittuja tuotteita. Markkinoilta on saatavilla koolauspuuta, joka on valmistettu toisten puunjalostajien hukkakappaleista sormijatkamalla.

Rankavalmistajan ainekäytön tehokkuuden määrittelee osavalmistustapa. Pääosin raaka-aine on mitallistettua ja lujuuslajiteltua sahatavaraa. Perinteisesti raaka-aine pyritään ostamaan mahdollisimman lähelle oikean mittaisissa nipuissa ja tästä katkotaan tarvittavat tarkat mitat tuotantoon. Moderneilla

tuotantolaitoksilla määrämittaan jatkettu sahatavara optimoidaan työstökeskuksissa pitkissä sarjoissa ja tämä johtaa hyvin marginaaliseen hukkaan sahatavaran käytössä. Kierrätystuotetta tulisi saada haluttuun mittaan sormijatkettuna ja lujuuslajiteltuna.

Merkittävä osa elementin raaka-ainekäyttöä ovat julkisivupaneloinnit. Kiertotaloustuotteen osuutta voidaan helpohkosti nostaa käyttämällä kierrätetystä tuotteesta valmistettuja ulkoverhouspaneeleita. Teollisen valmistamisen kannalta olisi kiinnostavaa, jos markkinoilta olisi saatavilla komposiittipohjaisia ulkoverhousratkaisuja, jotka mahdollistaisivat tehokkaamman teollisen elementtivalmistamisen pienempien toleranssien ansiosta.

Rankaelementti siis mahdollistaa joustavasti erilaisten kierrätysasteiden tuottamisen riippuen siitä mitä tuotteita markkinoilta on saatavissa. Merkittävän kierrätysasteen saavuttaminen vaatii kuitenkin lujuuslajitellun sahatavaran käyttämistä kierrätettynä.

#### 4.5 Puukuitueristeet

Puukuitueristeitä valmistetaan eri menetelmin, joten tarkempi prosessi pitää aina tarkastaa tapauskohtaisesti. Puukuitueristeiden valmistamiseen käytetään tulitikkuaskin kokoista puusirua tai murskaa. Pienempi jae, esimerkiksi puru voi toimia tietyssä määrin täyteaineena, mutta puun kuitu on näissä liian pientä. Biopohjaisen eristeiden valmistamiseksi voi periaatteessa käyttää lukuisia erilaisia biopohjaisia raaka-aineita, joita voivat olla sahan sivuvirrat, purku- tai puujätteet, energiapuu tai erilaiset agrokuidut. Mitoittavaa on teollisen mittakaavan tarvitsema tasainen ja ennustettava materiaalivirta ja tämä ohjaa raaka-aineväliä. Materiaalivirran pitää olla merkittävä ja yksittäisiä eriä ei prosessiteollisuudessa ole kannattavaa käsitellä.

Prosessiin syötettävän raaka-aineen pitää olla vapaa kemiallisista yhdisteistä, esimerkiksi maaleista. Hometta tai muuta vastaavaa biologista jäämää tai muita haitta-aineita ei voi raaka-aineessa olla eli puun pitää olla puhdasta. Erilaisia liimoja raaka-aine voi rajoitetusti pitää sisällään, mutta tämä pitää tutkia tapauskohtaisesti. Sahojen sivuvirrat ovat valmiiksi sopivassa kosteudessa, purku- tai jättepuu joudutaan kastelemaan noin 50 % kosteuteen ennen prosessiin laittamista. Raaka-aineen esimurskaus voidaan tarvittaessa toteuttaa tehtaalla, mutta logistiikan optimoinnin kannalta esimurskaus kannattanee suorittaa välilostajalla.

Kuitueristeet valmistetaan erissä. Yhden erän osalta määritellään useita tuoteparametreja, kuten dimensiot ja tiheys ja mahdolliset lisäaineet. Nämä valinnat vaikuttavat tuotteeseen kosteudensietoon, palonestoon ja puristuslujuuteen.

Puukuitueristeet ovat erinomainen käyttökohde pienemmille dimensioille korvaamaan polttoa. Tämän jakeen käytettävyyden määrittelee käytännössä tuotteen todellinen saatavuus ja saatavuuden tasaisuus, sekä hinta verrattuna vaihtoehtoisin raaka-ainelähteisiin.

#### 4.6 LVL ja vanerit

Vanerit ja LVL ovat viilusta valmistettavia tuotteita. Viilun laatu määrittää koko jatkojalosteen laadun, joten sen vaatimukset ovat kovat. Ikääntyneen puun heikentyneet lujuusominaisuudet voivat rajoittaa merkittävästi jatkokäyttöä. Kuivan puun sorvaaminen on haastavaa, mutta mäntyä voi kastella ja sen viilutus voi onnistua. Viilutehtaat myös optimoivat ostettujen tukkien mittoja ja pyrkivät ostamaan puun heidän käyttämiensä päämittojen kerrannaisina. Tämä osaltaan edelleen pienentää tehokkaasti käytettävissä olevan kierrätyspuun määrää. Käytännössä vanhojen pyöreiden runkojen määrä on marginaalinen ja viilutuksen tekeminen kierrätyspuusta laajassa mittakaavassa ei ole realistista.

Vanhojen liimattujen tuotteiden viiluja voisi teoriassa irrottaa toisistaan ja mahdollisesti uudelleen käyttää. Tätä ei ole laajasti tutkittu ja vaatii perusteellisen tutkimuksen, jos tämän kaltaiselle toiminnalle nähdään hyötyä. Kolmas ja kiinnostavin tapa olisi tutkia komposiittipohjaisten viilujen valmistamista. Komposiittiin voitaisiin mahdollisesti hyödyntää puruja ja muita pienempiä jakeita, joiden jalostuskäyttö on haastavaa. Tätä valmista puolijalostettava voisi käyttää raaka-aineena erilaisiin viilutettuihin tuotteisiin. Ko. tuotteita ei ole laajasti tutkittu ja nämä vaativat merkittävää tuotekehitystä.

Viluista valmistetaan visuaalisia tuotteita, mutta myös vähemmän visuaalisesti herkkiä tuotteita. Osassa tuotteissa sallitaan värvirheet. Viilujen määrä tuotteissa on suhteellisen suuri ja vaikka pääosin viilujen tulee olla tasalaatuisia, niin pystytään tietyissä tuotteissa hyödyntämään heikompia yksittäisiä kerroksia tuotteen sisäosissa. Kiinnostavana seikkana on komposiitin tai vanhemman puun mahdollisesti poikkeavat tekniset ominaisuudet, esimerkiksi mahdollisesti parempi kosteuden tai homeen sieto. Asiaa ei ole tutkittu, joten edelliset nostot ovat spekulatiivisia. On kuitenkin kiinnostava mahdollisuus, että kiertotaloustuotteilla voitaisiin saavuttaa tietyin osin parempia tuoteominaisuuksia.

Viilupohjaisia tuotteita valmistetaan merkittäviä volyymeja, mutta helppoa ja nopeaa tapaa lisätä kierrätettyjä raaka-aineita prosessiin ei ole. Pitkän aikavälin potentiaalinen ulosmittaamiseksi ko. tutkimuslinjoja tulisi edistää, mutta nopeasti ne eivät ole käytettävissä.

#### 4.7 Puulavat

Puulavojen käyttö ja valmistus on merkittävä liiketoiminta Suomessa. Puulavat muodostavat logistisen selkärangan teollisuudelle. Kertakäyttöiset puulavat tilataan määrämittaisina ja ala on tuotteen yksinkertaisuuden vuoksi hyvin kilpailtu. Käytännössä pääkomponentit ovat lavan kulmissa oleva 95 X 95 puristekuutio ja 16 X 100 laudoista koottava runko. Tuotteessa käytetyn materiaalin tulee täyttää ISBN 15- vaatimukset eli tuotteen pitää olla kuivaa ja vapaa hyönteisistä.

Puristetolpan valmistaminen kierrätetystä materiaalista tai tehtaiden sivuvirroista on kiinnostava ja suhteellisen yksinkertainen kiertotaloustuote. Puristusteknologia on tavanomaista ja investointitasoltaan maltillinen. Tuote on kuitenkin erittäin kilpailtu ja hintasensitiivinen. Lavan rakenteesta johtuen, käytetty 16 X 100 dimensio voidaan sellaisenaan korvata kierrätetyllä vaihtoehdolla, jos ko. tuotetta on saatavilla. Periaatteessa mikään ei estä myöskään vahvempien tuotteiden käyttöä raaka-aineena, jos hinta sen

mahdollistaa. Tuote on käyttötarkoituksensa vuoksi erittäin hintasensitiivinen ja vain edullisimmat jakeet voidaan käyttää tässä tuotteessa. Kertalavatehtaat tekevät lähtökohtaisesti useita eri dimensioita eli lauta katkotaan aina tapauskohtaisesti oikeaan mittaan.

Kierrätystuotteet soveltuvat erittäin matalalla kynnyksellä lavojen raaka-aineeksi. Materiaalin saatavuus ja hinta kuitenkin ohjaavat erittäin hintasensitiivisessä toiminnassa todellisen käytettävyyden rajat.

#### 4.8 Ulkoverhouspanelit

Ulkoverhouspaneelia työstetään yleisimmin tavallisista lankkudimensioista. Höyläämisen kannalta vanhempi ja stabiilimpi puu on eduksi, koska se on jo muodonmuutoksensa tehnyt. Lohkeamat ja halkeamat ovat haastavia ja tämä ominaisuus pitää huomioida raaka-ainevirtaa määritettäessä. Lähtökohtaisesti höylätuotteissa käytetään terveokaista raaka-ainetta.

Höyläys on siitä helpohko käyttökohde, että vaikka lähtödimensio ei olisi optimaalinen niin suuremmalla höylähukalla voidaan siitä kuitenkin työstää haluttu lopputuote. Ulkoverhouksen höyläminen onkin potentiaalisimpia ensivaiheen kiertotaloustuotteita. Höyläykseen pätevät samat vaatimukset kuin muillakin höylättävillä jalosteilla eli raaka-aineen pitää olla puhdasta metalli- ja muista jäämistä ja materiaali ei saa sisältää haitta-aineita.

Kierrätysraaka-aine voi sisältää liimoja ja suuren variaation lähtödimensioita. Ensisijaisesti höylääjät, jotka voivat suorittaa oman terähuollon ja optimoida teriä esimerkiksi liimasaumoille lienevät järkevempiä kierrätysmateriaalin käsittelijöitä. Sisustustuotteet ovat laadullisesti vaikeampia, koska niiden kosteusvaatimus ja visuaalinen vaatimus ovat korkeampia. Kosteusprosenttivaatimus on jopa 10 % sisätuotteissa. Lyhyet dimensiot ovat sisätuotteissa haastavia tuotannollisesti ja normaalisti sahoilta ostetaan suoraan 4,6 tai 8 m pitkiä jakeita sisätuotteiden valmistukseen. Sisustustuotteisiin voidaan siirtyä, kun ulkoverhous-tuotteista on saatu käyttäjäkokemuksia.

Höylätuotteiden toimitusaika on tyypillisesti tilauksesta 2-3 viikkoa, joten raaka-aine pitää olla nopeasti saatavilla. Erikoistuotteita ja käsiteltyjä tuotteita voidaan tehdä pienempinä erinä, mutta varastotuotteita tulee valmistaa pidempinä sarjoina. Lähtökohtaisesti materiaalia pitää olla saatavina täysin rekkakuormin, jotta logistiikan kulu pysyy tavanomaisessa.

### 5. Vaatimuksia liiketoiminnan syntymiseksi

Tämän tarkastelun lähtökohtana on, että jäte on esilajiteltu ennen sen saapumista väljalostukseen. Väljalostuksessa suoritetaan tarkempi lajittelu, tarvittavat laadunvalvontatoimet, haetaan tarvittavat tuotehyväksynyt ja varmennukset tuotteelle, toteutetaan tarvittavat lisäjalostusvaiheet, toteutetaan väljalostuksen varastointi ja vastataan tavarantoimituksesta jatkojalostukseen. Tarkastelussa pohditaan mitkä parametrit vaikuttavat siihen, että väljalosteita on liiketoiminnallisesti kannattavaa ostaa jatkojalostuksen

raaka-aineeksi neitseellisen raaka-aineen sijaan. Tässä ei tarkastella vaihtoehtoa, jossa jalostaja itse ostaa jätteen ja jatkojalostaa sen väljalosteeksi.

### 5.1 Asiakastarpeista

Kiertotalous tai kierrätys näyttävät hyvin erilaisena eri valmistajille asiakastarpeen osalta. Yleisesti voi todeta, että kaikki toimijat olivat käyneet keskusteluja kierrätyksestä, mutta vain harva oli kokenut konkreettisia asiakastoiveita tai tarpeita kierrätettyjen tuotteiden osalta. Ulkomailta kohdistui enemmän kiertotalouteen liittyviä kysymyksiä verrattuna kotimaan toimintaan.

Otanta on asiakastarpeen määrittelyyn suppea ja tämän perusteella ei voi sanoa onko asiakastarvetta olemassa ja jos niin kuinka voimakasta. Lähinnä voi todeta, että kiertotalous ei näy ainakaan vielä selkeänä asiakastarpeena toimittajille tai valmistajille asti. Asiakastarpeen paremmaksi selvittämiseksi toteutetaan erillinen asiakasselvitys.

Yksittäinen toimija totesi, että he ovat olleet mukana hankkeessa, jossa kiertotaloudesta on saanut lisäpiteitä tonttikilpailussa. Ulkomaan kohteissa on pisteytetty sekä käytettyjen tuotteiden kierrätetyn raaka-aineen määrää, että sitä miten tuotteet ovat kierrätettävissä elinkaarensa päässä.

### 5.2 Arvopyramidi

Eri jättejakeet ovat jalostajille eriarvoisia. Visuaaliset vaateet täyttävästä ja sisäkäytössä olleesta puuraaka-aineesta saanee merkittävästi korkeamman myyntihinnan, kuin ulkokäytössä olleesta sinistyneestä laudasta. Eri dimensiot ovat optimaalisia eri jatkojalosteiden valmistamiseen ja epäoptimaalisista dimensioista jalostettaessa hukka nousee merkittävästi. Tästä syystä väljalostajalla on merkittävä arvomuodotuspotentiaali verrattuna siihen, että tietyn tuotteen valmistamiseen erikoistunut yritys toteuttaisi lajitella itse, vain omien tarpeiden mukaisesti.

Väljalostajan rooli on suorittaa lajittelu eri dimensioihin. Erilaisia puujakeita tulee olemaan lukuisia ja saman dimensionkin sisällä useita eri laatuluokkia, tästä syystä keskitetty lajittelu varmistaa optimaalishimman lopputuloksen, kun kullekin jakeelle voidaan yksilöllisesti hakea maksimaalisen käyttökohde ja optimoida näin myös jätteestä saatavaa myyntihintaa. Tyypillisesti eri jätelähteistä saadaan hyvin hajanaista raaka-ainevirtaa ja tämä voi tapahtua myös hyvin satunnaisesti. Väljalostaja voi käsitellä ja varastoida erilaisia raaka-ainevirtoja ja näin kytkeä asiakastarpeen aikataulun irti raaka-aineen toimittamisen aikataulusta. Toinen väljalostajan tärkeä rooli on logistiikan optimointi. Tyypillisesti ostaja haluaa täysiä rekkoja tai muita vastaavia yksiköitä tavaraa ja näin myös logistiikkakustannusta voidaan optimoida kokoamalla väljalosteet järkeviksi kokonaisuuksiksi ostajalle.

Dimensiohallinta on keskeinen etu, joka saavutetaan kootulla materiaalin käsittelyllä. Myyntihinnan erojen lisäksi eri väljalosteiden valmistaminen eri käyttötarkoituksiin poikkeaa hukan osalta merkittävästi. Jos puhdistettava dimensio soveltuu sellaisenaan jalostukseen voi sen myynti olla kannattavaa ilman lisähöyläystä (ja hukkaa) arvokkaammaksi jalosteeksi. Tämä dimensioiden ja hukkien optimointi eri

käyttötarkoituksiin on keskeinen lisäarvo väljalostajan toiminnassa. Väljalostajalla on myös näkyvyys markkinatilanteen muutoksiin eli siihen mitä erilaisista jalosteista kulloinkin maksetaan. Tämä mahdollistaa jalostustuotannon optimoinnin eri jakeiden kesken markkinatilanteen mukaan.

Lopputuloksena väljalostajalle muodostuu arvopyramidi, jossa käsittelyn määrä, visuaalisuus, riskit, lopputuotteen hinta ja markkinatilanne määrittävät arvokkaimman käyttökohteen eri jakeille. Ideaalitapauksessa suuremmat dimensiot ohjautuvat puhdistuksen jälkeen vähäisin työstöin erilaisiin insinööriutuotteisiin, pienempi kappale erilaisten sormijatkamis- tai muiden lisäkäsittelyjen jälkeen erilaisiin ei- kantaviin rakenteisiin ja loppu pienempi kappale esimerkiksi puukuitueristeen raaka-aineeksi.

### 5.3 Hinta

Karkeasti liiketoiminnan voi jakaa kolmeen pääosioon. Väljalostaja maksaa saapuvasta jätteestä markkinahinnan. Perusskenaario on, että ostajan kannalta myyntihinnan tulisi kierrätetyllä tuotteella vastata maksimissaan neitseellisen tuotteen hintaa. Tämä on luonnollisesti kärjistys, koska tilaaja saa kierrätystuotteista etua ja näin tietyt tuotteet voivat olla arvokkaampia ostajalle. Toisaalta kierrätystuote voidaan mieltää riskialttiimmaksi tuotteeksi, jolloin myyntihinnan tulisi ostajan mielestä olla neitseellistä alempi. Markkina määrittää kuitenkin kulloinkin tarkan hinnan, joten tässä tarkastelussa yksinkertaisuuden vuoksi asetetaan tavoitteeksi, että kierrätetty tuote olisi ostajan kannalta saman arvoista, kuin neitseellinen tuote.

Myyntihinnaksi saadaan siis kussakin tapauksessa kyseisen vastaavan tuotteen nykyinen markkinahinta. Tätä oletusta tukee se, että yksikään valmistaja ei lähtökohtaisesti ollut valmis maksamaan lisähintaa kierrätetystä raaka-aineesta. Haastatteluissa ennakoitava ja kohtuuhintainen materiaalivirta nähtiin kiinnostavana mahdollisuutena.

Jätteen käsittely maksaa ja puuraaka-aine on kysyttyä materiaalia energiakäytössä. Raaka-aineen hinnoittelu perustuu nykyisellään tonnihinnoitteluun. Puujätteen nykyhinnaksi arvioitiin haastatteluissa 15 euroa tonnilta. Puun tiheytenä voi käyttää kokoluokkana 400kg/m<sup>3</sup>, jolloin tonnissa olisi n. 2,5m<sup>3</sup> puuta. Kuutiolle syntyvä hinta on siis maltillinen, vaikka kuutiohintaa nousisikin tulevaisuudessa käyttökohteiden lisääntyessä. Avainkysymys onkin se, että mikä osa tästä on ns. jatkojalostettavassa muodossa ja mikä osa on kelpoista väljalostukseen. Toinen merkittävä seikka jätteen käsittelyssä on se, että paljonko jalostuksen tarvitsema esikäsittely nostaa jätteen hintaa. On todennäköistä, että puujätteen lajitteluprosessit poikkeavat nykyisistä lajitteluprosesseista ja tämä nostaa kustannuksia. Raaka-ainepuolen skenaarioita selvittää erikseen PuuLoop- hankkeen muissa työpaketeissa.

Tuotteen väljalostuksen hinta on keskeinen jatkotutkimuskysymys. Se mitä kaikkea tuotteille tulee tehdä ja mitä kuluja käsittelystä syntyy, tarkastellaan tarkemmin hankkeen muissa osuuksissa. Jatkotarkastelujen tulisi kuitenkin perustua neitseellisen tuotteen hintatasoon, jotta niiden käyttö olisi perustelua jatkojalostuksessa.

#### 5.4 Juridiset edellytykset

Rakentamisessa käytettyjen tuotteiden tulee olla hyväksytyjä, turvallisia ja kestävän kehityksen periaatteiden mukaisia ja ne eivät saa aiheuttaa haittaa terveydelle. Olennaiset tekniset vaatimukset, jotka tuotteen tulee aina täyttää ovat rakenteiden lujuus- ja vakaus, paloturvallisuus, terveellisyys, käyttöturvallisuus, esteettömyys, ääniolosuhteet ja energiatehokkuus.

Tässä selvityksessä käsitellään tuotteita, joista on tullut jo jätettä eli ne on poistettu markkinoilta ja tuotteet on tarkoitus tuoda uudestaan kierrätettynä markkinoille. Jätelaissa todetaan, että materiaalin asema jätteenä poistuu jos: ”tuotteisiin sovellettavien säännösten ja standardien mukaiset laatuvaatimukset materiaaleille, joita ei hyödyntämisen seurauksena enää luokitella jätteeksi, mukaan lukien tarvittaessa epäpuhtauksien raja-arvot;” ja että: ” Jätteeksi luokittelun päätyttyä materiaalin markkinoille saattajan on varmistettava, että materiaali on kemikaali- ja tuotelainsäädännön mukaista.”

Tällä hetkellä tuotteita voidaan uudelleenkäyttää vain rakennuspaikkakohtaisella hyväksynnällä, eli tapauskohtaisesti paikallisen viranomaisen hyväksynnällä. Tämä ei mahdollista systemaattista liiketoimintaa kierrätetyille tuotteille. Puutuoteteollisuus ja Ympäristöministeriö ovat alustavasti selvittäneet vaihtoehtoa kierrätettyjen puutuotteiden todentamisesta erillisen kansallisen varmennustodistuksen muodossa. Tuotteiden varmentaminen on oma asiakokonaisuutensa PuuLoop- hankkeessa.

Valmistajien yksiselitteinen kanta on, että kierrätystuotteiden käyttäminen tuotannossa edellyttää vakiintuneempaa säännösympäristöä ja rakennuspaikkakohtainen hyväksyntä ei mahdollista liiketoiminnan syntymistä. Kansallinen varmentamisen tapa on vähimmäisvaatimus asian osalta.

Varmentaminen ei myöskään saa lisätä merkittävästi laadunvalvonnan toimenpiteitä nykyisessä tuotannossa. Yksittäiset testit tai laatutoimenpiteet voidaan tyyppillisesti kohtuudella suorittaa, mutta laatutoimenpiteiden pitää sisältyä nykyiseen laatujärjestelmään pienin muutoksin. Dokumentaatio tai muut vastaavat vaateet voidaan yleensä toteuttaa, kunhan ne perustuvat olemassa oleviin järjestelmiin.

Puutuoteyritysten kolmas kriteeri on, että ostettavien raaka-aineiden tulee olla hyväksytyjä ja valvottuja. Tehtaan tulee kyetä luottamaan välijalostajalla laadittuun varmennukseen. Tämä osaltaan perustelee väljalostajan roolia kokonaisuudessa. Tarkempiin vastuukysymyksiin ei haastatteluissa päästy, mutta valmistajien kannalta tuotevastuu tulee yksiselitteisesti olla väljalostajalla raaka-aineen osalta.

#### 5.5 Materiaalin saatavuus

Jalostajat myyvät tuotteitaan pääosin projekteihin ja suoraan asiakkaille. Tietyillä tuotteilla, kuten paneeleilla on myös tukkukauppaa. Valmistajat eivät lähtökohtaisesti ole valmiita pitämään suuria varastoja ja tarvittaessa toimitukset tulee kyetä tekemään lyhyelläkin varoitusaajalla. Ostot halutaan lähtökohtaisesti tehdäärkevin logistisin kustannuksin, joka tarkoittaa esimerkiksi täysiä rekkoja.

Tästä johtuen väljalostajan tulee puskuroida myytäviä tuotteita riittäviä määriä. Tyypillinen tilaajan varastoima materiaalimenekki on kahdesta viikosta kuukauteen ja tätä varastoa pitää kyetä täyttämään säännöllisenä virtana.

Tuotteiden lanseeraamisessa materiaalin saatavuus ja toimitusvarmuus ovat kriittisiä tekijöitä. Toimitusketjun rakentaminen vain yhden myyjän varaan nähtiin merkittävänä riskinä. Tästä syystä erityisesti täyskierrätystuotteiden markkinoille tuomisessa raaka-aineen saatavuuden varmistaminen nähtiin erityisen kriittisenä tekijänä. Geneerisemmät tuotteet, joissa valmistus voidaan tehdä tarvittaessa neitseellisestä materiaalista, nähtiin turvallisena toimitusvarmuuden näkökulmasta.

Riittävän volyymin saavuttaminen väljalostuksessa on siis kriittistä myös toimitusvarmuuden ja jatkotuotteiden markkinoiden tuomisen näkökulmasta.

### 5.6 Muita nostoja

Uusien raaka-aine-erien tuominen tuotantoon lisää tyypillisesti logistiikan tarvetta (esimerkiksi varastopaikkoja). Suurin osa valmistajista piti tätä hyvin tavanomaisena ja tämä harvoin nähtiin mitoittavaksi tekijäksi toiminnassa. Juuri kenenkään ei tarvitsisi investoida lisälogistiikkaan, jos tuotevalikoimaan lisättäisiin kierrätettyjä tuotteita.

Erilaiset lisälajittelut puolestaan nähtiin haastavina. Käytettyjen raaka-aineiden pitäisi tulla vastaavan kokoisina erinä, kuin neitseellistenkin tuotteiden. Jakeiden lisälajittelu on tilaa ja aikaa vievää toimintaa ja tämä nähdään vahvasti tulevan väljalostajan roolina.

## 6. Keskeisiä nostoja väljalosteiden vaatimuksista

Yleisesti voidaan todeta, että väljalosteen tulee täyttää vastaavat laatuvaatimukset, kuin neitseellinen tuote vastaavassa käytössä vaatisi. Kierrätetty tuote voi tietyissä käyttötapauksissa olla ominaisuuksiltaan jopa parempi, kuin neitseellinen, koska puu ei enää elä niin paljon kuin tuoreena.

Tästä vastaavien ominaisuuksien osalta ensimmäisenä poikkeamana ovat erilaiset ”industrial”-tuotteet, joissa huonompilaatuisesta lähtöraaka-aineesta tehdään toissijaiseen käyttötarkoitukseen, joko rakenteellisesti tai visuaalisesti heikompilaatuista tuotetta. Esimerkkinä tästä voisivat olla ilman lujuuslajittelua toteutettu ns. kakkoslaatuinen CLT- levy esim. infrarakentamiseen.

Väljalostajan laadunvalvonnan tulee tuotestandardissa esitettyjen tuoteparametrien lisäksi ottaa kantaa tuotteen puhtauteen, haitta-aineisiin ja biologiseen altistukseen. Keskeisessä roolissa tässä on purku- tai jäteraportti, josta tulee voida päätellä minkä kaltaisessa käyttötarkoituksessa ko. tuote on elinkaarensa aikana ollut. Tarkempi tuotetestauksen tapa määritellään tuotehyväksyntä- kokonaisuudessa PuuLoop-hankkeessa.

Osa haastateltavista nosti laadunvalvonnan merkityksen myynnille. Jo yksittäiset asiakasreklamaatiot tai epäily kierrätystuotteen aiheuttamasta sisäilmahaitasta voi pilata koko markkinan tuotteelta. Tästä syystä laadunvalvonnan merkitys korostuu ja siihen tulee panostaa. Haastatteluissa toistunut teema oli, että ensivaiheessa tuotteita tulisi käyttää muissa käyttötarkoituksissa, kuin asunnoissa, jotta tuotteista ja niiden toiminnasta saadaan kerättyä kokemuksia ennen laajempaa asukkaiden altistamista.

Puhtauden osalta vaatimus tuotannossa on yleensä tiukka ja ehdoton. Käsiteltävät tuotteet eivät lähtökohtaisesti saa sisältää mitään metalli- tai kivijäämiä. Tämänkaltaiset jäämät rikkovat herkästi laitteita. Tämä asettaa ns. nollatoleranssivaatimuksen väljalostajalle materiaalin puhdistuksen osalta.

Myös erilaiset käsittelyt, kuten maalijäämät tai vastaavat estävät usein tuotteen käyttämisen jatkojalostuksessa. Käytännössä jatkojalostajat kykenevät käyttämään vain ns. puhdasta puuta ja käsitellyn puun jatkojalostus on keskeinen pidemmän aikavälin jatkotutkimuskysymys.

Toinen seikka ovat erilaiset haitta-ainejäämät (esim. asbesti) tai biologinen pilaantuminen (esim. home). Käytännössä perinteiset laitokset eivät tämänkaltaisia jäämiä pysty valvomaan ja niiden osalta kokonaisvastuu pitää yksiselitteisesti olla väljalostajalla.

Normaalien toleranssien tulee täytyä myös kierrätetylle puulle. Erilaisten jatkosten määrä voi tietyissä jatkokäytöissä muodostua rajoitteeksi, mutta toisaalta puun pienempi eläminen ikääntymisen ja suuremman jatkosmäärän vuoksi voi myös helpottaa tuotteen käyttöä.

Laadunvalvonta edellyttäne päivitystä tuotteen dokumentaatioon. Tähän on lähtökohtaisesti hyvät pohjaedellytykset ja muuttuva dokumentaatio tulee määrittellä huolellisesti etukäteen.

## 7. Keskeisiä havaintoja tehtaiden sivuvirroista

Kaikilta tehtailta syntyy sivuvirtoja, mutta niiden tehokas hyödyntäminen on jo arkipäivää. Sahatavaran kuutiohinta ohjaa siihen, että erilaisia pienempiäkin kappaleita kannattaa hyödyntää nostamalla ne takaisin prosessiin prosessin salliessa. Ainekäytön tehokkuus on siis sisäänrakennettu pohjaparametri puunjalostajien keskuudessa. Esimerkiksi eristevalmistuksessa leikkuujätteet palautetaan sellaisenaan takaisin prosessiin. Tästä johtuen, merkittäviä käyttämättömiä tai hyvälaatuisia sivuvirtoja ulos myytäväksi on erittäin vähän.

Merkittävä osa lautakappaleista ja vastaavista sivuvirroista hyödynnetään lavoihin tai muuhun pakkaamiseen. Erilaiset hakkeet tai purut toimitetaan tyypillisesti sellaisenaan polttoon tai pellettitehtaalle polttoaineen raaka-aineeksi. Puru ja hakevirrat ovat ohjattavissa myös jalostukseen polton sijaan. Käytännössä kaikkien insinööripuutuotteiden valmistusprosessiin kuuluu höyläys ja erilaista haketta ja purua syntyy tyypillisesti satoja kuutioita jokaista valmistettua tuhatta lopputuotekuutiota kohden.

Yksi esimerkki sivuvirtojen hallinnasta on höyläyksessä syntyvät sivuun lajitellut kappaleet tai muu kakkoslaatu. Tämä katkotaan sopiviksi pituuksiksi ja myydään sellaisenaan kakkoslaatuna eteenpäin. Höyläyksessä syntyvä kutterilastu on tuotteistettu kuivikkeeksi ja tämäkään ei päädy polttoon.

CLT:n valmistuksessa syntyy CNC- työstön osalta työstöhukkaa. Isoimmat kappaleet ovat ovi- ja ikkuna-aukkoja. Pienimmät kappaleet ovat reunojen siistimistöjä. Kappaleiden koot ja halkaisijat vaihtelevat merkittävästi ja tästä syystä pääosa tästä hukasta päätyy polttoon. CLT kuormien pakkaamiseen käytetään paljon puuta ja merkittävä osa tehtaan omista sivuvirroista käytetään kuormien suojaamiseen ja lastaamiseen.

Hirren valmistuksessa syntyy erilaista optimointihukkaa. Yli 3 m pätkä kiertävät takaisin tuotantoon, mutta tätä lyhyemmät kappaleet menevät tällä hetkellä polttoon.

Viiluteollisuudessa valmistuksessa syntyy ns. purilaita eli n. 8 cm paksuja tukin sisäosia. Purilaita käytetään nykyisellään pakkausteollisuudessa, mutta osa päätyy haketukseen. Valmistuksessa tulee vähäisessä määrin tyvihukkaa. Valmistuksen osalta kuoret päätyvät energiakäyttöön ja pinnat sellun raaka-aineeksi. Puulavat muodostavat merkittävän sivuvirran. Kertakäyttölavat valmistetaan nimensä mukaan tiettyyn käyttökertaan räätälöidysti ja tämän jälkeen merkittävä osa niistä päätyy energiajätteeksi. Markkinoilla on jo nyt toimija, joka kerää käytettyjä kertakäyttölavoja ja automatisoidusti kunnostaa ko. lavat uudestaan kiertoon. Tämä toimintamalli yleistynee teollisuudessa tulevaisuudessa.

Yleisesti voidaan todeta, että puun kuljettamisesta syntyy paljon muovia sivuvirtana. Tämä ei varsinaisesti ole tämän selvityksen teema, mutta kokonaisuutta tarkastellessa tulee huomioida, miten muovien kierrätys toteutetaan puutuoteteollisuudessa.

Keskeinen seikka sivuvirtojen hallinnassa on tuleva määritelmä sivuvirran hiilijalanjäljestä. Epäsuostuisa tilanne syntyy, jos tehtaan oma sivuvirta on laskennallisesti päästöjä aiheuttavaa, mutta ulkopuolelta ostettu sivuvirta rinnastetaan kierrätettyyn tuotteeseen ja näin sen päästö olisi nolla. Tämä voi pahimmillaan johtaa epäterveisiin kannustimiin ja esimerkiksi tuotteiden vaihtoon tehtaiden kesken. Hiilijalanjäljen laskennan tulisi aina kannustaa raaka-aineiden mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön jo tehtaalla jätehierarkian periaatteiden mukaan.

## 8. Skenaarioita kiertotaloustuotteiden kuutiomääräisestä potentiaalista

Puutuotteiden tuotantomäärät vaihtelevat vuosittain ja tässä koonnissa ei pyritä esittämään tarkkoja määriä käytetyistä tuotteista. Skenaariossa käytetyt määrät perustuvat pääosin Forecon Oy:n 2023 julkaisemaan Puunkäyttö Suomessa 2021 – selvitykseen.

Vuonna 2021 puunkäyttö uudisrakentamisessa oli n. 900 000m<sup>3</sup>, korjausrakentamisessa n. 775 000m<sup>3</sup>, piharakennuksiin käytettiin n. 125 000m<sup>3</sup>, Teollisuuden käyttö oli n. 250 000m<sup>3</sup>, sekä mvr ja työmaanaikainen käyttö yhteensä n. 250 00m<sup>3</sup>. Yhteensä puunkäyttö kotimaassa oli siis noin 2,3 miljoonaa kuutiota.

Merkittävin määrä puuta uudisrakentamisen osalta käytetään rakennusten runkoihin, n. 500 000m<sup>3</sup>. Toisin esitettynä 75 % puun kulutuksesta kohdistui puurunkoisinrakennuksiin ja loput neljännes muihin rakennuksiin. Kuutiomäärällisesti suurin kulutus kohdistuu pientaloihin (n. 35 %) ja tästä johtuen lujuusvaatimukset suurelle osalle puunkäytöstä ovat maltillisia. Julkisivuihin kului n. 100 000 m<sup>3</sup> puuta. Terasseihin, parvekkeisiin, pintamateriaaleihin, portaisiin ja muihin vastaaviin osiin kului n. 190 000 m<sup>3</sup> puuta. Kierrätyspuun näkökulmasta kiinnostava on myös, se että yläpohjaan kohdistuu 28 % puun käytöstä uudiskohteiden osalta.

Korjaamisen osalta suurin puunkulutus kohdistuu kalusteisiin, terasseihin, kattoihin ja julkisivuihin. Korjaaminen myös tyypillisesti lisää puun määrää rakennuksessa.

Suora 20 % kiertotaloustavoite tarkoittaisi kaiken puunkäytön osalta kokoluokkana 460 000m<sup>3</sup> kuution tarvetta valmiille kierrätetyille tuotteille. Raaka-ainetarpeena tämä voisi tarkoittaa 600 000- miljoonan kuution tarvetta vuositasolla riippuen tuotteista ja jalostusmenetelmistä. Tässä luvussa ei ole huomioitu ensikäsittelyssä tapahtuvaa tuotteiden hylkäämistä tai esim. naulojen poistoa, joten lähtöraaka-aineen tarve lienee vielä merkittävästi tätä suurempi. Vaikka tässä vaiheessa esiselvityksen lukuja tuleekin lukea suuruusluokkina, niin jo alustavien lukujen valossa on selvää, että kaikessa puunkäytössä kierrätystuotteiden 20 % tason saavuttaminen on epärealistista.

Skenaariotyön kannalta kiinnostavia kulutuskategorioita ovat ainakin seuraavat:

- Julkisivut n. 100 000m<sup>3</sup>
- Yläpohjat n. 220 000m<sup>3</sup>
- Väliseinä n. 40 000m<sup>3</sup>
- terassit n. 25 000m<sup>3</sup>
- teollisuuden käyttö (esim. kuormalavat, pakkaus) n. 253 000m<sup>3</sup>
- Työmaakäyttö ja MVR 250 000m<sup>3</sup>
- Korjausrakentaminen 500 000m<sup>3</sup>
- Piharakennukset 125 000m<sup>3</sup>

Yhteensä potentiaalisen käytön tarve olisi tällä tavalla jaoteltuna kokoluokkaa 1,5 miljoonaa kuutiota. Jos tästä potentiaalista 20 % täytettäisiin kiertotaloustuotteilla niin tarve valmiille kierrätystuotteille olisi kokoluokkaa 300 000m<sup>3</sup>.

Edellä kuvattua tarkastelemalla voi todeta, että perinteisen rakentamisen tuotteista korkein käyttöaste kierrätystuotteille olisi korjausrakentamisessa, sekä väliseinistä, ulkoseinistä ja yläpohjista. Suurin

potentiaali kohdistuisi näihin tuotteisiin. Merkittävä osa tuotteista olisi käytössä asuintilojen ulkopuolella ja mahdolliset hygieniariskit olisivat hallittavampia.

Toinen selkeä tunnistettava kategoria ovat visuaaliset tuotteet, kuten terassi- ja muut piharakenteet, piharakennukset tai julkisivuverhoukset. Tuotteiden visuaalisuus on huomioitava laadittaessa tarkempia suunnitelmia tarjontaan.

Kolmas kategoria on erilaiset ”industrial” tuotteet, kuten kuormalavojen tai pakkaussuojien teko tai erilainen työmaakäyttö. Kaikilta osin kierrätystuotteet eivät ensivaiheessa sovellu esimerkiksi kantaviin väliaikaisrakenteisiin, mutta tästä huolimatta potentiaali kuutiomääräisesti on merkittävä. Haaste tässä kategoriassa on erittäin hintaohjautunut käyttö. Vain edullisimmat tuotteet käytetään näissä ns. toissijaisissa käyttötarkoituksissa ja tämä tulee huomioida tuotekehityksessä, jos tähän markkinaan tarjotaan tuotteita.

Jo alustavan tarkastelun perusteella voidaan todeta, että potentiaalinen markkina kierrätetyille puutuotteille voi olla joitain satoja tuhansia kuutioita vuositasolla. Tässä ei ole huomioitu mahdollisia uusien markkinaosuuksien voittamisia, josta esimerkkinä voisi olla puukuitueristeen markkinaosuuden parantuminen tarjonnan lisääntyessä. Markkina on kokonaiskokoaluokaltaan houkutteleva ja käytännön määrää määrittää saatava materiaalivirta, eikä niinkään potentiaalisten käyttökohteiden määrä. Merkittävä seikka on, että eri tuotekategoriat ja niiden markkinat eroavat merkittävästi toisistaan ja tämä tulee huomioida tarkemmassa jatkoanalyysissä potentiaalisen markkinan määrittämiseksi.

## 9. Johtopäätökset ja esitetyt jatkotutkimuskysymykset

Kootusti voi todeta, että kierrätysmateriaalin käytölle ei ole juurikaan teknisiä esteitä. Lähes kaikissa puutuotteissa voidaan melko luontevasti hyödyntää kierrätettyjä jakeita ja joistain tuotteista jopa lanseerata kokonaan kierrätettyjä tuotteita. Ensimmäisessä vaiheessa suositellaan tuotettavan tuotteita, voidaan käyttää ulkotiloissa, yhteisissä tiloissa tai muissa vastaavissa paikoissa. Osa valmistajista varmistua haitta-aineiden ja biologisten jäämien laatuolosuhteiden toimivuudesta. Tästä johtuen esitetyt tuotteet voi jakaa aikajärjestyksen osalta kolmeen pääkategoriaan:

- 1) Nopeasti käyttöönotettavat tuotteet  
Näitä ovat dimensioiltaan vaihtelevat tuotteet, kuten mitallistettu sahatavara, ulkoverhouspaneelit tai erilaiset lastulevy tai eristetuotteet. Ko. tuotteita voi käyttää jatkojalosteissa, esimerkiksi rankaelementeissä ei-kantavina osina. Myös erilaiset teollisen käytön tuotteet, kuten lavat ovat potentiaalisia ensimmäisen vaiheen kohteita. Nämä tuotteet ovat teknisesti nopeasti käyttöönotettavissa jo nykyisellään.
- 2) Kantavat insinöörituotteet  
Keskipitkällä aikavälillä erilaiset CLT, Hirsi tai muut vastaavat tuotteet voivat sisältää kierrätettyä raaka-ainetta ja toimia rakennuksien kantavina osina. Ko. tuotteita voi käyttää myös ei-kantavina rakenteina, mutta ne on pääosin tarkoitettu kantavaksi rakenteeksi. Kantavuuden todentaminen pitkäaikaisesti vaatii lisätutkimusta ennen laajamittaista käyttöön siirtymistä. Erilaiset käytettyjen tuotteiden lujuuskokeet ovat

antaneet hyviä tuloksia, mutta hallittu käyttöönotto vaatii lisätutkimusta.

- 3) Viilutuotteet ja muu pidempi kehitystyö  
Erilaiset viilupohjaiset tuotteet vaativat tuotekehitystä ja niiden toteuttaminen kierrätetystä raaka-aineesta ei ole mahdollista lyhyellä aikajänteellä. Erilaiset komposiitti tai muut tuotteet omaavat merkittävän markkinapotentiaalin, mutta nämä vaativat vielä merkittävästi tuotekehitystä. Toinen kiinnostava pidemmän aikavälin potentiaali liittyy pölystä uutettaviin tuotteisiin.

Voidaan todeta, että väljalosteille on tarve ja nykyiset valmistajat eivät lähtökohtaisesti ole kiinnostuneita investoimaan itse väljalosteiden valmistamiseen jättejakeista. Keskeisiä tunnistettuja ominaisuuksia, joita väljalostajan osalta tulisi ainakin tutkia ovat:

- 1) Kyky suorittaa tuotesertifikaatien mukaiset laatutoimenpiteet, prosessin pitää olla verrattavissa uusien tuotteiden valmistuksen valvontaan.
- 2) Kyky suorittaa haitta-aine ja biologisten jääminen tutkiminen ja turvalliseksi todentaminen
- 3) Kyky tuottaa alkuperän todentava dokumentaatio ja tuottaa valmiit dokumentit erilaisiin laatujärjestelmiin (esim. leed, breeam, rts) liittyen.
- 4) Kyky lajitella jakeet ja suorittaa optimointi jatkotarpeen ja saatavan myyntihinnan mukaan
- 5) Kyky puhdistaa jätte metallista, betonista tai muista vastaavista jäämistä
- 6) Kyky toteuttaa laajempaa varastointia (saapuvien ja lähtevien virtojen yhteensovitus eri asiakastarpeisiin)
- 7) Kyky höylätä, sormijatkaa, katkoa tai tehdä muita vastaavia perinteisiä puunjalostuksen esityövaiheita, jotta väljaloste saadaan käytettävään muotoon ostajan kannalta.
- 8) Kyky tehdä kiertotalouden tuotekehitystä. Toimintakenttä on vasta kehittymässä ja toimijan pitää pystyä dynaamisesti vastaamaan potentiaalisiin asiakastarpeisiin.

PuuLoop hankkeen tärkeimpänä tutkimuskysymyksenä on kierrätettyjen tuotteiden kestävän liiketoiminnan synnyttäminen. Teknisten seikkojen ollessa vain vähän rajoittavia on keskiössä se, maksaako väljalostukseen investoitava laadunvalvonta ja toimenpidekokonaisuus itsensä takaisin verrattuna neitseellisiin tuotteisiin.

Valmistajilla on lähtökohtaisesti matala kynnys ottaa kiertotaloustuotteita osaksi tuotantoaan, jos raaka-aineiden hinta on houkutteleva (ei ainakaan ylitä nykyistä neitseellisen tuotteen hintaa), tuotteella on vähintään kansallinen tuotehyväksyntä ja materiaalin saatavuus on riittävän luotettavalla tasolla.

Tuotteiden kannattavuuden jälkeen suurin kysymys liittyy materiaalin pitkäaikaiseen saatavuuteen. Monet tuotteet ja niiden tarpeet ovat dimensioiden suhteen hyvin spesifejä ja tuotteita pitäisi kyetä tarjoamaan markkinoille tasaisena virtana. Potentiaalisia käyttökohteita kotimaisessa rakentamisessa on satojen tuhansien kuutioiden edestä vuositasolla, jos tuotteiden valmistaminen on liiketoiminnallisesti järkevää.

Suuri osa potentiaalisesta raaka-aineesta jää tämän selvityksen otannan osalta käyttämättä. Kaikki puujakeet, jotka sisältävät maalia tai muuta käsittelyä eivät sovellu sellaisenaan kotimaisiin jatkojalosteisiin. Tässä on pidemmän aikavälin osalta kiinnostava tuotekehityskysymys. Missä tuotteissa ko. jakeita voisi käyttää sellaisenaan tai saako ko. jakeita puhdistettua käsittelyistä kohtuullisin kustannuksin ja kohtuullisella ympäristökuormituksella?

Uusi kestävä materiaalivirta eli kierrätetty puu nähdään teollisuudessa mahdollisuutena, kunhan käytännön liiketoiminnan esteet on saatu poistettua ja markkina luotua. Teollisuus tuo markkinoille tuotteita, jos raaka-ainetta on saatavilla ja asiakas tuotteita haluaa. Yksittäisten yritysten intressi toimia tienavaajana on kuitenkin lähtökohtaisesti pieni.