



# Purkupilotin loppuraportti



## Sisälllys

<b>Executive summary</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Tausta ja tavoite</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Menetelmä ja vaiheistus</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Purkuvaihe</b> .....	<b>6</b>
3.1 Esivalmistelut.....	6
3.2 Käytetty purkumenetelmä ja havainnot.....	8
3.3 Menetelmät seinittäin (M1–M4).....	10
3.4 Purkukone ja kulutus.....	11
3.5. Dokumentointi.....	11
<b>4 Syntypaikkalajittelu Porvoossa</b> .....	<b>12</b>
4.1 Mitä tehtiin.....	12
4.2 Mitä havaittiin.....	12
4.3 Merkinnät ja tilantarve.....	13
4.4 Dokumentointi.....	14
<b>5 Datapisteet, dokumentointi ja tiedonsiirto</b> .....	<b>14</b>
<b>6 Jatkolajittelu Forssassa (Envor)</b> .....	<b>17</b>
6.1 Lähtötilanne ja työolosuhteet.....	17
6.2 8-kategoriamalli Forssassa.....	19
6.3 Saanto ja laatu.....	20
6.4 Dokumentointi.....	20
6.5 Materiaalin jatko-ohjautuminen Forssan jälkeen.....	21
6.6 Vantaalle toimitettu erä.....	21
<b>7 Metsäkeskuksen visuaalinen lujuslajittelu</b> .....	<b>21</b>
<b>8 Jatkohyödyntäminen</b> .....	<b>24</b>
<b>9 Päästödata ja työajanseuranta</b> .....	<b>24</b>
<b>10 Keskeiset opit</b> .....	<b>25</b>
10.1 Laserkeilaus.....	25
10.2 Purku.....	25
10.3 Syntypaikkalajittelu.....	26
10.4 Lajittelu.....	26
10.5 Materiaalisaanto ja arvopotentiaali.....	26
10.6 Tiedon keruu ja dokumentointi.....	26
10.7 Pilottityöskentely oppimisympäristönä.....	27
<b>11 Suositukset jatkoon</b> .....	<b>29</b>
11.1 Suunnittelu ja purku.....	29
11.2 Lajittelu työmaalla.....	29
11.3 Lajittelu ja jatkokäsittely keskuksessa.....	29
11.4 Runkotavaran jatkomarkkina.....	30
11.5 Tekninen kehitys ja mittarointi.....	30
11.6 Dokumentointi.....	31
<b>12 Avoimet kysymykset</b> .....	<b>31</b>
<b>13 Yhteenveto</b> .....	<b>32</b>

## Executive summary

PuuLoop-hankkeen purkupilotissa Porvoossa purettiin 1900-luvun alussa rakennettu hirsirunkoinen pientalo. Tavoitteena oli selvittää, miten puutalo voidaan purkaa siten, että mahdollisimman suuri osa puutavarasta voidaan hyödyntää uudelleen materiaalina mahdollisimman kustannustehokkaasti sen sijaan, että se päätyisi poltettavaksi energiaksi. Pilotissa tarkasteltiin:

- purkumenetelmien vaikutusta puumateriaalin säilymiseen
- lajitteluprosessin toimivuutta syntypaikalla ja lajittelulaitoksessa
- puujakeiden jatkokäsittelyn ja jatkokäytön mahdollisuuksia
- työn, tilan ja kustannusten kannalta toteuttamiskelpoisia käytäntöjä.



Kuva 1: Lajittelijat työssään.

Keskeinen tutkimuskysymys oli:

**Miten purku ja lajittelu kannattaa toteuttaa, jotta materiaali saadaan talteen mahdollisimman ehjänä ja työ pysyy kustannustehokkaana?**

Purku toteutettiin käytännössä kaikilla seinillä **käsiavusteisena konepurkuna**. Ulompi ulkoverhous ja rungon osia irrotettiin koneella isoina kokonaisuuksina, ja puuosat eroteltiin toisistaan maassa käsin. Täysin käsin tehty purku osoittautui hitaaksi eikä vähentänyt materiaalin rikkoutumista.

Pilotin keskeinen rakenteellinen havainto oli, että **sisempi ulkoverhaus oli naulattu suoraan hirteen ilman ilmarakoa**. Tämä johti siihen, että sisemmän ulkoverhouksen laudat halkesivat väistämättä purussa riippumatta siitä, käytettiinkö käsipurkua vai konetta. Materiaalisaantoa rajoitti siis ennen kaikkea rakenne, ei purkumenetelmä.

Syntypaikkalajittelu tehtiin 7 kategoriaan, josta havaittiin, että näin tarkka lajittelu:

- vei paljon tilaa ja työaikaa
- ei parantanut lopputulosta, koska tarkka lajittelu oli tehtävä joka tapauksessa myöhemmin jatkokäsittelyssä.

Jatkossa työmaalle suositellaan syntypaikkalajitteluun 3-kategoriamallia:

1. **Runkotavara** (ehjä tai jatkokäsittelyä vaativa)
2. **Lautatavara**
3. **Ei uudelleenkäytettävä** (energia/murske).

Tarkempi lajittelu toteutettiin Forssassa Envorin hallissa, jossa puu jaettiin 8 kategoriaan poikkileikkauksen, pituuden ja pintakäsittelyn perusteella. Tämä 8-kategoriamalli osoittautui toimivaksi jatkokäsittelyvaiheessa ja loi toistettavan pohjan muiden kohteiden lajittelulle. Samalla varmistui, että **runkotavara muodostaa uudelleenkäytön taloudellisen ytimen**, kun taas lauta- ja paneelijakeet edellyttävät useimmiten kustannuksia lisäävää jatkokäsittelyä (mm. höyläys, pintakäsittelyn poisto).

Purkupuun kokonaismäärä oli 8420 kg. Arvion mukaan noin puolet tästä on periaatteessa potentiaalisesti uudelleenkäytettävissä, mutta merkittävä osa vaatii pintakäsittelyn poistoa ja jatkotestejä. Vantaalle toimitetussa erässä 53 % jakeista vaati jatkokäsittelyä. Suoraan ilman jatkokäsittelyä uudelleenkäyttöön soveltuva osuus koko purkumassasta jäi selvästi pienemmäksi.

#### **Johtopäätös:**

Uudelleenkäyttökelpoisen puun talteenotto kustannustehokkaasti onnistuu parhaiten, kun:

- purku tehdään materiaalitehokkaasti (käsiavusteinen konepurku)
- syntypaikkalajittelu pidetään karkeana
- tarkempi lajittelu siirretään lajittelukeskukselle
- ennakkosuunnittelussa huomioidaan rakenteet (tässä kohteessa erityisesti sisemmän ulkoverhouksen kiinnitystapa).

Suurin potentiaali on runkotavarassa. Lauta- ja paneelijakeiden hyödyntäminen edellyttää jatkokäsittelyä ja tuotekehitystä sekä selkeää markkinaa.

## 1 Tausta ja tavoite

PuuLoop-hankkeen purkupilotin tavoitteena oli:

- selvittää, miten puutalo puretaan siten, että mahdollisimman suuri osa puutavarasta säilyy uudelleenkäyttökelpoisena
- kehittää purku- ja lajittelukäytäntöjä, joiden avulla puutavara ohjautuu materiaalina uudelleenkäyttöön polton ja murskauksen sijaan
- tunnistaa työn, tilan ja kustannusten kannalta käytännössä toimivat mallit.

Pilotin kohteena oli Porvoossa sijaitseva, 1900-luvun alussa rakennettu hirsirunkoinen pientalo. Talon alkuperäisen ulkoverhouksen päälle oli myöhemmin rakennettu uusi ulkoverhous, minkä seurauksena rakenne oli kaksinkertainen. Erityisesti sisemmän ulkoverhouksen suora naulaus hirsirunkoon, oli keskeinen haaste uudelleenkäytettävän lautatavaran talteenotossa. Pilotin pääpaino ei ollut hirsirunko, vaan saha- ja höylätavarat sekä niiden uudelleenkäyttö.

Hankkeessa tutkittiin erityisesti:

- **purkumenetelmien vaikutusta** puumateriaalin säilymiseen
- **lajittelun toimivuutta** syntypaikalla ja lajittelulaitoksessa
- **jatkokäsittely- ja käyttövaihtoehtoja** erilaisille puujakeille
- **työn, tilan ja kustannusten näkökulmasta** toteuttamiskelpoisia ratkaisuja.

**Keskeinen tutkimuskysymys:** *Miten purku ja lajittelu kannattaa toteuttaa, jotta materiaali saadaan talteen mahdollisimman ehjänä ja työ pysyy kustannustehokkaana?*



Kuva 2: Purkukohde

## 2 Menetelmä ja vaiheistus

Pilotin eteneminen:

1. **Kartoituslajittelu** Forssassa (ennakkotesti lajittelukriteereille ja -prosessille).
2. **Laserkeilaus** Porvoossa.
3. **Purku** Porvoossa (eri purkumenetelmät eri julkisivuille).
4. **Syntypaikkalajittelu** Porvoossa (aluksi 6 kategoriaa, myöhemmin arvioitu liian tarkaksi).
5. **Kuljetus** Forssaan (Envor) jatkolajittelua varten.
6. **Jatkolajittelu** Forssassa (8-kategoriamalli, pituus–poikkileikkaus–pintakäsittely).
7. **Kuljetukset eteenpäin** TTS:lle Vantaalle ja Rajamäkeen, sekä LAB:iin ja Vankkapuulle jatkotesteihin ja hyödyntämiseen.
8. **Visuaalinen lujuuslajittelu** (Metsäkeskus, INSTA 142).
9. **Datan keruu ja analysointi**.
10. **Opit, suositukset ja avoimet kysymykset** seuraavia kohteita varten.

## 3 Purkuvaihe

### 3.1 Esivalmistelut

#### 3.1.1 Kartoituslajittelu Forssassa (ennakkotesti ennen purkua)

Kartoituslajittelu toteutettiin Forssassa ennen Porvoon purkupilottia, jotta voitiin testata lajittelukriteerit, materiaalin käyttäytyminen ja työnkulut, joilla puutavara voidaan luokitella jatkokäyttöön. Tämä vaihe muodosti perustan syntypaikkalajittelun kategorioille sekä myöhemmälle jatkolajittelun 8-kategoriamallille.

#### Toteutus ja lähtötilanne

Forssassa lajiteltavaksi tuotiin n. 20 irtokuutiota sekalaisia puujakeita. Työ tehtiin halliolosuhteissa kahdella työntekijällä, ja lajitteluun kului noin kaksi tuntia. Materiaali levitettiin koneella tasaiseksi kasaksi turvallisuuden varmistamiseksi.

Kartoituslajittelussa mitattiin pituudet ja poikkileikkaukset, arvioitiin kunto ja pintakäsittely, sekä luotiin ensimmäiset systemaattiset lajitteluluokat. Noin 2,5 kiintokuutiota puuta luokiteltiin hyötykäyttöön.

#### Keskeiset havainnot materiaalista

Jo kartoituslajittelussa tunnistettiin pääjakeet:

- Runkotavara ( $\geq 50 \times 100$  mm): suurimmaksi osaksi ehjää ja rakenteellisesti hyvää
- Lautatavara: vaihtelevassa kunnossa, usein pintakäsiteltyä
- Paneelit: pääosin pintakäsiteltyjä, monin paikoin lohkeilevia.

Tämä auttoi ennakoimaan, että Porvoon pilotissa arvokkain fraktio olisi runkotavara ja että pintakäsittelyn poisto on merkittävä kustannus- ja laatuhaaste.

### Lajittelumallin kehitys

Kartoituslajittelu tuotti pilotin keskeiset lajitteluperiaatteet:

- dimensioraja:  $40 \times 90$  mm
- pituusluokat:  $600\text{--}1200$  mm ja  $>1200$  mm
- jako jatkokäsittelyä vaativiin ja ei-vaativiin
- myöhemmin vielä syntypaikkalajittelussa huomattiin tarve erilliselle kategorialle "irrotettavat", joissa useampi kappale on kiinni toisissaan.

Nämä muodostivat pohjan pilotissa käytetylle lajitteluohjeistukselle ja yhtenäistivät lajittelijoiden työtä Porvoossa ja Forssassa.

### Vaikutus pilottiin

Kartoituslajittelun ansiosta Porvoon työmaalle saatiin selkeä ohjeistus, jonka avulla lajittelu ja dokumentointi yhdenmukaistuivat. Sen myötä pystyttiin ennakoimaan materiaalin käyttäytymistä purussa (esim. lautojen hajoaminen rungosta irrotettaessa). Lisäksi opittiin, että korkeiden puukasojen käsin lajittelu on työturvallisuusriski → kasa on avattava koneella.

### Yhteenveto

Kartoituslajittelu oli tärkeä ennakkovaihe, joka:

- loi pilotin lajittelukriteerit
- osoitti runkotavaran olevan taloudellisesti merkittävin fraktio
- toi esiin pintakäsittelyn ja naulojen poiston haasteet
- paransi Porvoon purkutyön sujuvuutta ja dokumentointia.

Se toimi mallina sille, miten puujakeiden arviointi, luokittelu ja tiedon kirjaaminen tulisi toteuttaa myös tulevilla piloteilla.

### 3.1.2 Laserkeilauksen toteutus

Laserkeilaus tarjoaa erittäin tarkan 3D-mallin näkyvistä pinnoista, mutta ei korvaa rakenneavauksia. Sitä voidaan hyödyntää materiaalimäärien arviointiin, visualisointiin, digitaalisena kaksosena ja tietomallinnuksen lähtötietona.

### Laserkeilauksen työaika ja resurssit

- Kesto: noin 4 tuntia työmaalla
- Henkilöstö: 2 henkilöä
- Mittausasemat: n. 30 asemaa sisällä ja ulkona

**Haasteet:** pimeät tilat, aitarakenne, julkisivun heikko näkyvyys

**Prosessi:** 2–3 min per asema → pistepilvi + valokuvat

**Lisäksi:** 1,5 työpäivää pistepilvien purkuun, yhdistämiseen ja käsittelyyn

**Hyöty:** visuaalinen dokumentaatio, tilavuustietojen tarkka mallinnus



Kuva 3: Laserkeilaus kohteessa.

## 3.2 Käytetty purkumenetelmä ja havainnot

### 3.2.1 Purkumenetelmä

Alkuperäisenä suunnitelmana oli purkaa kaikki neljä seinää eri menetelmillä: ensimmäinen koneellisesti, kaksi seuraavaa vähitellen vähentäen konepurun osuutta ja viimeinen kokonaan käsin. Ensimmäisen seinän jälkeen huomattiin työn olevan tehokasta ja jäljen ennakoitua hellävaraisempaa, joten samalla tavalla jatkettiin myös kahden seuraavan seinän kanssa.

Kolmessa seinässä käytännön purkumenetelmä muotoutui samaksi:

- **Käsiavusteinen konepurku**
  - ulkoverot ja rungon osia irrotettiin koneella suurina elementteinä
  - maassa puuosat eroteltiin käsin (sorkkarauta, vasara, pihdit).

Käsin tehtyä purkua kokeiltiin yhden seinän osalta (n. 75 min). Kokeilu osoitti, että:

- työ hidastui merkittävästi
- lautojen ehjyys ei parantunut merkittävästi
- käsipurku ei ole taloudellisesti eikä laadullisesti perusteltu menetelmä
- Lopulta loput seinästä purettiin koneavusteisesti (koneavusteinen käsinpurku)

### 3.2.2 Purkuaikahavainnot (tyypillinen seinä)

- Ulompi ulkoverhous + koolaus koneella alas: **noin 10 minuuttia**
- Sisempi ulkoverhous: **noin 30–45 minuuttia**
- Käsin tehty irrotus maassa: vaihteli ajallisesti tapauskohtaisesti, mutta ei ratkaissut hävikin määrää.

Purkuvaiheessa seinärakenne purettiin käytännössä **7 päivän aktiivisella työskentelyllä**, ja purku jatkui yhteensä noin 9 päivän ajanjaksolla (tiimi ei ollut koko ajan paikalla).

#### Keskeinen rakenteellinen havainto

**Kaksinkertaisen ulkoverhouksen sisempi kerros** oli naulattu kiinni suoraan hirsirunkoon. Tämä rakenteellinen ratkaisu:

- aiheutti sen, että laudat halkesivat purkaessa käytännössä väistämättä
- rajasi merkittävästi ehjän lautatavaran talteenottoa
- teki täysin käsin tehtävän purun hyödyttömäksi sisemmän ulkoverhouksen osalta.

Tästä seuraa, että **purkumenetelmän optimointi ei yksinään ratkaise ehjyysongelmaa**, jos rakenne on uudelleenkäytön kannalta epäedullinen. Tulevissa kohteissa rakenteellinen suunnittelu (esim. koolaus ja ruuvikiinnitys) on keskeinen edellytys sille, että ulkoverhouksia voidaan purkaa ehjinä.



Kuvat 5 ja 6: Seinä ulkoa sisälle: Ulompi ulkoverhous, tuuletusrima, tuulensuojalevy, sisempi ulkoverhous, hirsirunko.

### Materiaalin käyttäytyminen purussa

- Ulompi ulkoverhous irtosi koneella nostettaessa pääosin ehjinä lautoina.
- Koolaus irtosi ulomman ulkoverhouksen mukana ja tarkemmin ne eroteltiin maassa.
- Tuulensuojalevyt irrotettiin käsin tai koneella sen ollessa kiinni sisemmässä ulkoverhouksessa.
- Sisempi ulkoverhous hajosi, koska se oli naulattu suoraan hirsirunkoon.
- Runkotavara (>40×90 mm) säilyi purussa valtaosin ehjänä ja soveltui jatkolajitteluun.
- Hirsissä havaittiin jonkin verran pehmenemistä/lahoamista; kunto varmistetaan erillisillä testeillä.

### 3.3 Menetelmät seinittäin (M1–M4)

Eri seinillä testattiin hieman erilaisia painotuksia:

- **M1:** käsiavusteinen konepurku (nopein, käytännössä lopullinen referenssimenetelmä).
- **M2:** konepurku + enemmän käsinpurkua (ei parantanut saantoa suhteessa työaikaan).
- **M3:** konepurku + maassa laajempi erottelu
- **M4:** käsin painottuva purku + koneavustus (työ hidastui, saanto parani vain lievästi).

Purkumenetelminä M2 ja M3 eivät lopulta eronneet toisistaan, mutta seinät itsessään olivat erilaiset, jonka vuoksi toteutukset poikkesivat hieman toisistaan. Seinäkohtaisten havaintojen perusteella **rakenne vaikutti saantoon enemmän kuin purkumenetelmä**, ja käsin seinästä irrottaminen ei skaalautuvasti parantanut tulosta, mutta maassa jo puretun materiaalin irroittelu toisistaan käsin taas paransi saantoa huomattavasti.



Kuva 7: Ulompi ulkoverho (valkoinen) purettuna maahan



Kuva 8: Hirsirunko

### 3.4 Purkukone ja kulutus

- Kone: **Komatsu PC138US**
- Dieselin kokonaiskulutus purussa: **yli 360 litraa** (useampi tankkaus)
- AdBlue-kulutus: **noin 20 litraa**
- Arvioitu keskipurkukulutus: **noin 5–6 l/h**

### 3.5. Dokumentointi

#### Mitä dokumentoitiin purkuvaiheessa

- Purettavat seinärakenteet ennen purkua (valokuvat, laserkeilaus, rakenneavaukset)
- Purkumenetelmä ja sen toimivuus (konepurku vs. käsinpurku)
- Purkuajat seinittäin (10 min ulompi ulkoverho + koolaus, 30–45 min sisempi ulkoverho)
- Havainto materiaalin käyttäytymisestä (ehjyys / rikkoutuminen)
- Purkukoneen käyttötunnit ja polttoaineen kulutus haastatteluun (5–6 l/h, 360+ litraa)

## 4 Syntypaikkalajittelu Porvoossa

### 4.1 Mitä tehtiin

Purkutyömaan puutavara lajiteltiin maassa, ei suoraan seinästä. Alkuperäinen lajittelumalli perustui 6 kategoriaan (poikkileikkaus, pituus, ehjyys), ja lisäksi huomattiin tarvelisäkategorialle 7: "irrotettavat" (toisiinsa kiinnittyneet kappaleet).

Tyypillisiä havaintoja:

- Pitkiä ehjiä lautakappaleita (kategoria 2) syntyi eniten.
- Pitkät ehjät runkotavaran kappaleet (kategoria 1) muodostivat pienemmän, mutta selvästi arvokkaan fraktion.
- Rikkoutuneita mutta osittain hyödynnettäviä kappaleita (kategoria 6) syntyi lähes yhtä paljon.

Syntypaikkalajittelu vei huomattavan paljon tilaa työmaalla, mikä olisi pienellä tontilla käytännössä vaikeasti toteutettavissa.



Kuva 9: Lajiteltu kierrätyspuu julkisivusta 3 valmiina kuljetusta varten.

### 4.2 Mitä havaittiin

- Lajittelu suoraan seinästä lisäsi hajoamisriskiä, eikä sitä nähty tarkoituksenmukaisena.
- Lajittelu maassa irrotetuista seinäosioista osoittautui selvästi tehokkaammaksi.
- 7 kategoriaa syntypaikalla oli liian tarkka ja johti tilankäyttöhaasteisiin sekä lajittelun hitauteen.



Kuva 10: Purku ja lajittelu maassa.

#### 4.2.1 Vanha vs. uusi malli – syntypaikkalajittelu

##### Vanha malli (pilotin alussa):

- 6–7 kategoriaa (pituus, poikkileikkaus, ehjyys)
- lajittelua sekä seinästä että maassa
- tarkka valikointi jo työmaalla

##### Uusi suositus työmaalle:

- **3 kategoriaa riittää:**
  1. Runkotavara (ehjä tai jatkokäsittelyä vaativa)
  2. Lautatavara (ehjä tai jatkokäsittelyä vaativa)
  3. Ei uudelleenkäytettävä (energia/murske)
- lajittelu maassa
- tarkka lajittelu, mittaus ja pintakäsittelyn arviointi siirretään lajittelukeskukselle.

#### 4.3 Merkinnät ja tilantarve

Syntypaikkalajittelun toteuttaminen vaati suuren tonttialan, mikä teki selväksi, että vastaava malli ei sovi tavanomaisille työmailla ilman merkittäviä muutoksia järjestelyihin. Merkittävä haaste oli myös se, että nippujen merkinnät (esim. nauhat) irtosivat kuljetuksessa, jolloin materiaalien alkuperä ja tietoketju katkesivat.

Tämä osoittaa tarpeen pysyville ja kuljetuksen kestäville merkintämenetelmille, kuten niitattaville tunnustekortteille, joita tuetaan valokuvalla ja kirjauksella esim. Pictueessa.



Kuva 11: Pilotissa käytetty merkintätapa(huomionauha johon kirjoitettu julkisivun sekä nipun numero)

#### 4.4 Dokumentointi

##### Mitä dokumentoitiin syntypaikkalajittelussa

- Lajittelu 6–7 kategoriaan joka seinästä
- Kussakin kategoriassa:
  - arviot kappalemäärästä (%-osuus)
  - kunto (ehjä/rikki/osittain hyödynnettävä)
  - pituusluokat ja poikkileikkaukset
- Nippujen merkinnät (huomionauha + tekstiselitteet)
- Kuvien otto Pictueen sekä kuvien ryhmittely

## 5 Datapisteet, dokumentointi ja tiedonsiirto

Pilotissa kerättiin paljon tietoa, mutta purkukiertotalouden kannalta datapisteketjun (kuka kerää mitäkin ja missä muodossa) systemaattisuutta tulee kehittää edelleen. On olennaista kuvata selkeästi:

- mitä tietoa pitää kerätä missäkin vaiheessa
- kuka vastaa tietojen keräämisestä
- miten tiedot dokumentoidaan ja missä muodossa
- mihin tarkoitukseen kukin datapiste palvelee (saanto, kustannukset, päästöt, jatkokäyttökelpoisuus)

## 5.1 Datapisteketju

Alla on ensimmäinen versio purkupilotin datapisteketjusta, jota voidaan kehittää toimijoiden kanssa.

Vaihe	Kerättävät datapisteet	Kuka kerää?	Dokumentointi-keinot	Merkkaus ja siirto	Miksi tärkeää?
<b>1. Ennakkokartoitus (ennen purkua)</b>	Rakennuksen rakenteet, materiaalikerrokset, kiinnitystavat; Purkutyötä rajoittavat tekijät; Laserkeilauksen mittaussemat (määrä, sijainti, pimeät alueet); Arviot materiaalmääristä (pituus, poikkileikkaus, volyyymi); Ennakoitu saanto	Rakennus-tutkija; Laserkeilaaja; Purku-urakoitsija	Pistepilvi; Valokuvat; Rakenneavaukset; Kartoitusraportti	Projektipankki (pistepilvi, PDF, kuvat)	Määrittää realistisen talteenottopotentiaalin ja purkumenetelmän valinnan
<b>2. Purku</b>	Purkumenetelmä seinittäin; Aika per seinä (ulompi ulkoverhous, sisempi ulkoverhous, irrotus maassa); Resurssit (kone, kuljettaja, työntekijät); Polttoaineen kulutus ja käyttötunnit; Rikkoutumisen syyt; Syntypaikan karkeat fraktiot	Purkutiimi; Työnjohtaja; Koneen-kuljettaja	Purkuloki; Valokuvat / videot; Polttoaineloki	Materiaalimerkin- nit; Kuvien vienti Pictueen	Purku on kustannusten ja päästöjen suurin erä; vaikuttaa saantoon ja kannattavuuteen
<b>3. Syntypaikka - lajittelu</b>	Fraktioiden määrät (% ja m <sup>3</sup> /jm arviot); Kunto (ehjä/rikki/osittain hyödynnettävä); Tarkistustarpeet (pintakäsittely, naulat); Työaika; Seinittäin syntyneet jakeet	Purkutiimi; Lajittelu-organisaatio	Valokuvat nippukohtaisesti; Muistiinpanot; Värikoodit / tunnistekortit	Jokainen nippu ID-koodilla; Kuva + kuvaus projektipankkiin	Ensimmäinen arvio materiaalin laadusta ja jatkokäsittelyn tarpeesta
<b>4. Kuljetus ja vastaanotto</b>	Lavan sisältö (lajike, arvio m <sup>3</sup> /kg ennen punnitusta); Punnitustiedot; Kuljetusmatka ja ajoneuvoluokka; Arvio nipun alkuperästä	Kuljetusliike; Vastaanotto-piste	Siirtoasiakirjat; Punnitusraportit; Valokuvat ennen ja jälkeen kuormauksen	Projektipankki, aikaleimat	Punnitus on saantoprosentin laskennan edellytys; kuljetus on päästöintensiivinen vaihe
<b>5. Jatkolajittelu (lajittelukokouksessa)</b>	Lajittelukategoriat (8 kpl); Kappale- ja metrimäärät per kategoria; Poikkileikkauksen koko; Pintakäsittely%; Kosteusmittaukset; Työaika	Jatkolajittelun organisaatio; Lajittelijat	Lajittelulomake; Kuvamateriaali; Mittalaitteet	Kategoria-ID; Kuva + mitat Pictueen; Excel / lomake projektipankkiin	Tässä syntyy lopullinen saantoprosentti; ratkaisee taloudellisen järkevyyden ja myyntikelpoisuuden
<b>6. Jatkotestit</b>	Lujuusluokat; Kosteus; Halkeamat ja oksat; Geometriapoikkeamat; Pintakäsittely- ja kyllästeainejäämät	Metsäkeskus; LAB; TTS	Testiraportit; Lomakkeet; Kuvat	Testitulokset liitetään materiaali-ID:hen	Jatkokäyttäjä voi arvioida teknisen soveltuvuuden ja jatkokäsittelyn kustannukset

**Taulukko 1:** Ensimmäinen versio purkupilotin datapisteketjusta, jota voidaan kehittää toimijoiden kanssa.

## 5.2 Miksi datapisteketju on purkukiertotalouden ytimessä?

### 1. Kannattavuus perustuu dataan

- työaika
- koneaika
- kuljetuskustannukset
- laatu- ja saantotieto

Ilman näitä ei voi todeta, onko purku + lajittelu + jatkokäsittely taloudellisesti järkevää.

### 2. Jatkokäyttäjä ei osta materiaalia, jos ei tiedä mitä saa

Tarvitaan:

- mitat
- laatu
- pintakäsittely
- mahdolliset haitta-aineet
- lujuusluokka

### 3. Ketjun on oltava jäljitettävä

Jos nippujen merkinnät katoavat → koko dataketju katkeaa → arvo katoaa.

### 4. Materiaalivirtojen seuranta mahdollistaa skaalauksen

Kun tiedetään, missä vaiheessa syntyy hävikkiä, mikä työvaihe maksaa eniten ja mikä materiaali tuottaa eniten arvoa, voidaan rakentaa pysyvä toimintamalli.

## 6 Jatkolajittelu Forssassa (Envor)

### 6.1 Lähtötilanne ja työolosuhteet

Purkupuu kuljetettiin työmaalta kahdella lavalla, yhteensä 8420 kg. Näistä 5360 kg oli puujätettä ja 3060 kg lajitteluun kelpaavaa materiaalia. Lisäksi työmaalta lähti kolme erillistä kuormaa (hirret, puujäte, sahatavara), joita ei punnittu, koska ne toimitettiin suoraan jatkokäyttöön. Koko purkukohteesta poistettu massa oli 17 000 kg, josta 8580 kg oli muuta rakennusjätettä. Kuljetus Porvoosta Forssaan (154 km) tehtiin N3-luokan Euro 6 -kuorma-autolla, ja kuljetuksen päästöksi arvioitiin noin 124 kg CO<sub>2</sub>e puukuormalle. Jatkolajitteluun kelpaava puu oli niputettuna ja sidottuna.



Kuvat 12 ja 13: Nippujen siirtäminen kuljetukseen lavalle.

Tässä kappaleessa käsitellään jatkolajittelua, joka sisälsi myös ensimmäisen vaiheen jatkokäsittelyä niillä työvälineillä ja menetelmillä, jotka olivat Forssassa käytettävissä (esim. naulojen poisto, katkaisu, kunnan arviointi). Varsinainen jatkokäsittely (kuten pintakäsittelyn tai maalien poisto, profilointi tai muu syvempi jalostus) ei ollut Forssassa mahdollista toteuttaa ja kuuluu prosessin seuraaviin vaiheisiin. Jatkolajittelu tehtiin halliolosuhteissa (ei lämmitystarvetta).

- Käytetyt työvälineet: mittanauhat, vasarat, pihdit, katkaisusirkkeli, merkkittussit.
- Henkilöstö: ensimmäisenä päivänä 3 henkilöä, toisena 4.
- Jatkolajittelun kokonaiskesto: noin **8 tuntia**, jonka aikana käsiteltiin noin 35% niputetuista: julkisivu 3:n kierrätykseen kelvannut puutavara.



Kuvat 14 ja 15: Kierrätykseen kelpaavan materiaalin jatkokäsittelyä (sirkkelöintiä ja nauhojen poistoa)



Kuvat 16 ja 17: Vasemmanpuoleisessa kuvassa kahdeksan tunnin aikana käsitelty materiaali oikealla ja käsittelemätön materiaali vasemmalla. Oikeanpuoleisessa kuvassa käsittelyn jälkeen polttoon menevä materiaali.

## 6.2 8-kategoriamalli Forssassa

Jatkolajittelu perustui kolmeen kriteeriin:

- poikkileikkaus (alle / yli 40×90 mm)
- pituus (>1200 mm / 600–1200 mm)
- pintakäsittelyn tarve (tarvitsee / ei tarvitse jatkokäsittelyä).

**Taulukko 2: lajittelukategoriat ja käyttöpotentiaali**

Kategoria	Poikkileikkaus	Pituus	Pintakäsittely / jatkokäsittely	Tyypillinen käyttöpotentiaali
1	< 40×90 mm	> 1200 mm	Ei jatkokäsittelyä	Sekundäärikäyttö suoraan (esim. listoitus, ei-kantavat osat)
2	< 40×90 mm	600–1200 mm	Ei jatkokäsittelyä	Pienemmät rakenteet, prototyypit ja testikappaleet
3	< 40×90 mm	> 1200 mm	Tarvitsee jatkokäsittelyä	Mahdollinen käyttö höyläyksen tai muun pintakäsittelyn poiston jälkeen
4	< 40×90 mm	600–1200 mm	Tarvitsee jatkokäsittelyä	Pieniä eriä, jatkojalostus riippuu käyttökohteesta
5	> 40×90 mm	> 1200 mm	Ei jatkokäsittelyä	Korkein uudelleenkäyttöpotentiaali runkotavarana
6	> 40×90 mm	600–1200 mm	Ei jatkokäsittelyä	Pienemmät rakenteet ja korjausrakentaminen
7	> 40×90 mm	> 1200 mm	Tarvitsee jatkokäsittelyä	Materiaalina arvokas; pinnan puhdistus lisää kustannuksia
8	> 40×90 mm	600–1200 mm	Tarvitsee jatkokäsittelyä	Mahdollinen hyötykäyttö, jos jatkokäsittely saadaan automatisoitua

“Jatkokäsittelyllä” tarkoitettiin tässä pintakäsittelyn (maali, lakka tms.) poistoa. Naulat ja metalliosat oli poistettu pääosin Forssassa jatkolajittelun yhteydessä.



Kuva 18: Kahdeksan tunnin aikana käsitelty materiaali kategorisoitu kahdeksaan eri kategoriaan (katso yllä oleva taulukko)

### 6.3 Saanto ja laatu

Vantaalla tehty jatkolajittelu tehtiin ennen naulojen poistoa ja ilman pituus-/dimensiomittausta samalla tarkkuudella kuin Forssassa. Siksi näiden lavojen lajittelua ei voi verrata Forssan jatkolajittelun kategorioihin eikä laskea koko pilotin tarkkaa saantoprosenttia.

Keskeisiä havaintoja:

- Naulojen poiston jälkeen osa laudoista halkesi, jolloin ne siirtyivät lyhyempiin tai jatkokäsittelyä vaativiin luokkiin.
- Rikkonaiset kappaleet eivät enää päätyneet Forssassa jatkokäsittelyyn, koska ne oli karsittu jo Porvoossa.
- Forssassa ei ollut käytössä jatkokäsittelyyn (esim. tässä maalin poistoon) tarvittavia välineitä/koneita, mistä syystä sitä ei voitu suorittaa siellä
- Kartoituslajittelussa havaittiin, että TTS:n purku- ja lajitteluhenkilöstölle ennakoon laadittu tarkempi ohjeistus (mitä mitataan, mihin luokkaan mikäkin kappale kuuluu) helpotti työtä huomattavasti ja vähensi tulkinnanvaraa.

### 6.4 Dokumentointi

- Pituudet ja poikkileikkaukset mitattiin käsin.
- Kosteutta mitattiin pistokokein.
- Kuvia otettiin Whatsapp-kanaviin ja Pictue-sovellukseen.

## 6.5 Materiaalin jatko-ohjautuminen Forssan jälkeen

- Yksi täysi kierrätyspuulava toimitettiin **Vantaalle** jatkolajitteluun ja jatkokäsittelyyn/arvioon.
- Täysi hirsilava kuljetettiin **Rajamäkeen**.
- Sekajätelava ohjattiin lajittelun kautta polttoon Forssassa
- Osa puusta toimitettiin:
  - **LAB:iin** laboratoriotesteihin (mm. lujuus, käsittelyaineet)
  - Mahdollisesti **Vankkapuulle** höylättäväksi (esim. sisäpaneelin raaka-aineeksi).
  - Myös hirsirunko halutaan hyödyntää, joten sille etsitään jatkokäsittelykohdetta sekä tahoja joka käsittelyn tekee

## 6.6 Vantaalle toimitettu erä

Testierän jälkeen loput kierrätyspuut toimitettiin Vantaalle ja Vantaalla jatkokäsittelyä/lajittelua jatkettiin. Lajittelutulokset eivät kuitenkaan ole täysin vertailukelpoisia, koska lajittelu- ja käsittelymenetelmät saattoivat poiketa toisistaan.

Kuntoon ja soveltuvuuteen liittyviä havaintoja:

- Yleinen kunto osoittautui monin kohdin heikoksi.
- Osa hirsi- ja sahatavarasta oli lahoa, vääntynyttä tai runsaasti naulattua.
- Pintakäsittely- ja metallijäämiä esiintyi paljon.
- Arviolta noin 15 % koko purkumassasta soveltui kierrätykseen ilman jatkokäsittelyä; loppuosaa vaatii esimerkiksi naulojen ja pintakäsittelyn poistoa.

## 7 Metsäkeskuksen visuaalinen lujuuslajittelu

Metsäkeskus toteutti erillisen visuaalisen lujuuslajittelun Forssassa:

- Määrä: noin 0,5 m<sup>3</sup> (noin 210 kg)
- Kosteus: 11–15 % (mitattiin joka kymmenennestä kappaleesta)
- Tiheys: noin 420 kg/m<sup>3</sup>
- Menetelmä: INSTA 142 -standardin mukainen lujuuslajittelu
- Kesto: noin 2 tuntia
- Resursointi: 2 henkilöä (1 lajittelija, 1 kirjaaja).

Kappale nro	C30	C24	C18	Hylky	Pituus (cm)	Dimensio	Puulaji	Kosteus %	Ominaisuuden raja-arvo
1	X				202	50*100	Kuusi		
2	X				226	50*100	Kuusi		
3		X			247	50*100	Kuusi		Lapeoksa
4		X			184	50*100	Kuusi		Oksasumma
5	X				166	50*100	Kuusi		
6		X			117	50*100	Kuusi		Lapeoksa
7		X			148	50*100	Kuusi		Lapeoksa
8		X			163	50*100	Kuusi		Lapeoksa
9			X		184	50*100	Kuusi		oksasumma
10		X			290	50*100	Kuusi	12,7	So-mek.vaurio
11		X			272	50*100	Kuusi		SO
12			X		291	50*100	Kuusi		So+ mek.vaurio
13				X	204	50*100	Kuusi		SO
14			X		221	50*100	Kuusi		LO
15			X		184	50*100	Kuusi		SO
16			X		294	50*100	Kuusi		Muotov. kiero
17	X				268	50*100	Kuusi		
18		X			172	50*100	Kuusi		SO
19				X	222	50*100	Kuusi		Purkuv.
20			X		219	50*100	Kuusi	11,4	LO
21				X	279	50*100	Kuusi		purkuv.
22		X			240	50*100	Kuusi		SO
23		X			320	50*100	Kuusi		LO
24		X			230	50*100	Kuusi		Purkuv.
25			X		190	50*100	Kuusi		Oksasumma
26			X		200	50*100	Kuusi		Oksasumma
27	X				213	50*100	Kuusi		purkuv.
28			X		455	50*100	Kuusi		SO
29		X			201	50*100	Kuusi		Oksasumma
30			X		286	50*100	Kuusi	13,9	SO
31	X				288	50*100	Kuusi		
32			X		230	50*100	Kuusi		SO
33			X		227	50*100	Kuusi		purkuv.
34	X				200	50*100	Kuusi		
35		X			212	50*100	Kuusi		SO
36			X		260	50*100	Kuusi		LO
37		X			304	50*100	Kuusi		SO
38		X			380	50*100	Kuusi		purkuv.
39	X				240	50*100	Kuusi		
40				X	226	50*100	Kuusi	11,5	poikaoksa/ vin
41			x		219	50*90	kuusi		So
42	x				201	50*180	kuusi		

Edellä olevassa Metsäkeskuksen tekemässä raportissa selviää testattujen kappaleiden lujuusluokat, pituudet, dimensio, puulaji, mahdollinen kosteusprosentti ja ominaisuudet kuten erilaiset oksat.

Yksi erittäin yleinen tapa lujuuslajitella sahatavaraa on C-lujuusluokat. Niitä on yhteensä kymmenen, joista C14...C30 voidaan lajitella joko visuaalisesti tai koneellisesti, ja lujuusluokat C35...C50 vain koneellisesti. C24 on yleisin rakennustarvikeliikkeistä löytyvä lujuusluokka, sillä se tarjoaa vaadittavan lujuuden yleisimpiin rakennuskohteisiin

Kosteusmittaus tehtiin piikkimittarilla, jossa kaksi piikkiä/elektrodia työnnetään puuhun. Mittari mittaa puun sähköistä vastusta, joka vaihtelee kosteuden mukaan, ja antaa tuloksen kosteusprosenttina. Mittari on kalibroitava jokaiselle puulajille erikseen. Tässä testauksessa kaikki testattavat kappaleet olivat kuusta.

Tähän lujuuslajitteluun valikoitui kappaleet, joiden dimensio eli koko on 50x100 mm. Yleisesti lujuuslajittelu voidaan tehdä kappaleille, joka on vähintään 22 mm paksu ja 45 mm leveä. Taulukosta voimme huomata, että vain neljää kappaletta lukuun ottamatta kaikki testikappaleet menevät vähintään C18 lujuusluokkaan, ja osa jopa luokkaan C30. Tämä kertoo puumateriaalin olevan hyväkuntoista.

Ominaisuudet, kuten oksat, voivat vaikuttaa puun lujuusluokkaan, mutta eivät välttämättä määritä sitä yksiselitteisesti. Esimerkiksi kaavion perusteella kappaleet, joissa on lapeoksa, sijoittuvat yleensä C24-lujuusluokkaan. Kuitenkin oksan aiheuttama lujuuden heikkeneminen riippuu erityisesti sen suhteellisesta koosta, eli SO-arvosta (suhteellinen oksaisuus), joka kuvaa oksan halkaisijan suhdetta laudan leveyteen. Tämän vuoksi yksittäinen ominaisuus, kuten oksan tyyppi, ei yksinään riitä lujuusluokan määrittämiseen, mutta oksan sijainnilla sekä koolla on iso merkitys.



Kuva 19: Piikkimittari-kosteus testi.

## 8 Jatkohyödyntäminen

Taulukko 3: materiaaliryhmät ja jatkokäyttö

Materiaali-ryhmä	Soveltuvuus uudelleenkäyttöön	Tarvittavat toimenpiteet	Taloudellinen / käytännöllinen tila
Runkotavara	Hyvä	Naulojen poisto, tarvittaessa kevyt höyläys	Tärkein ja realistisin fraktio; muodostaa arvoketjun ytimen
Lautatavara	Haastava	Höyläys ja pintakäsittelyn poisto	Tarvitsee lisää tutkimusta; käsityömäärä ja hävikki voivat olla suuria
Paneelit	Epäselvä / kehittyvä	Mahdollinen jalostus (esim. viilu, lamellit)	Jatkokäyttö ja markkina vielä avoin kysymys

## 9 Päästödata ja työajanseuranta

Päästödatan ja työajan seurantaan varten kerättiin ja ehdotettiin seuraavia tietoja:

- Kaivinkoneen kulutus:
  - noin 5–6 l/h
  - koko purun polttoainekulutus: yli 360 litraa dieseliä
  - AdBlue-kulutus: noin 20 litraa.
- Purkupuun kuljetus Porvoosta Forssaan:
  - matka: 154 km
  - päästö: noin 124 kg CO<sub>2</sub>e.
- Laserkeilauksen työaika Porvoossa:
  - yhteensä noin 4h
  - 2 henkilöä kerrallaan
- Purkajien työaika Porvoossa:
  - yhteensä noin 88 h
  - 2–3 henkilöä kerrallaan (1 konekuski ja 1–2 käsinpurkajaa)
- Syntypaikkalajittelun työaika Porvoossa:
  - yhteensä noin 15 h
  - 2–4 henkilöä kerrallaan

- Jatkolajittelun työaika Forssassa:
  - yhteensä noin 8 h
  - 3–4 henkilöä kerrallaan.
- Visuaalisen lujuuslajittelun työaika Forssassa:
  - noin 2 h
  - 2 henkilöä.

#### Suositus päästödatan ja työajanseurannan kehittämiseksi:

- Yhtenäinen työaikakirjaus per seinä/työvaihe.
- Työkoneiden käyttötuntien ja polttoaineen kulutuksen dokumentointi automaattisesti tai tankkauskohtaisesti.
- Kuljetusmatkojen dokumentointi (km, ajoneuvoluokka) vakionuotoisella lomakkeella.

#### Kädenjälki (periaate):

- Hyötöpuun talteenotto vähentää polttoon menevän puun määrää ja korvaa neitseellistä puuta.
- Nettovaikutus riippuu saannosta ja jatkokäsittelyprosessin päästöistä.

## 10 Keskeiset opit

### 10.1 Laserkeilaus

Laserkeilaus osoittautui hyödylliseksi erityisesti määrälaskennassa ja materiaalien kartoituksessa, sillä se tuottaa mittatarkan 3D-kuvan myös kohteissa, joissa alkuperäiset piirustukset ovat puutteelliset tai virheelliset. Menetelmä kuitenkin tallentaa vain näkyvät pinnat, joten rakenneavaukset ja kuntotutkimukset ovat edelleen välttämättömiä. Pistepilvestä tehtävä mallinnus on työlästä ja perusteltua vain, jos tuloksena syntyvää mallia hyödynnetään esimerkiksi inventointiin, purkusuunnitteluun tai uudelleenkäyttösuunnitteluun. Laserkeilaus on raskas työkalu silloin, kun tavoitteena on pelkkä materiaalmäärien arviointi, mutta sen tuottama digitaalinen kaksosmalli voi tukea purkutöiden simulointia ja suunnittelua.

### 10.2 Purku

Purkumenetelmien vertailu osoitti, että käsiavusteinen konepurku oli sekä tehokkain että materiaalimyötäväin tapa purkaa pilottikohde. Käsiurku hidasti työskentelyä huomattavasti eikä parantanut puutavaran ehjyyssastetta. Purkutulokseen vaikutti paljon myös koneenkuljettajan osaaminen — hallittu, materiaalimyötävä purku paransi saantoa. Pilotissa havaittiin lisäksi, että rakenteelliset

ratkaisut, kuten sisäverhouksen naulaus suoraan hirsirunkoon, rajoittivat materiaalin säilymistä enemmän kuin purkumenetelmä. Naulojen poiston yhteydessä osa laudoista halkeili, mikä korostaa tarvetta kehittää menetelmiä ja mahdollisesti automaatiota vaurioiden minimoimiseksi.

### 10.3 Syntypaikkalajittelu

Syntypaikkalajittelussa havaittiin, että erottelu suoraan seinästä purkamalla lisää hajoamisriskiä ja hidastaa työnkulkua. Materiaalin lajittelu maassa osoittautui merkittävästi toimivammaksi ja turvallisemmaksi tavaksi. Pilotissa testattu 6–7 kategorian laaja luokittelu vei runsaasti tilaa ja aikaa, eikä tuottanut parempaa lopputulosta, koska tarkka lajittelu oli tehtävä joka tapauksessa myöhemmin laitoksessa. Suosituksena on siirtyä kolmeen karkeaan syntypaikkakategoriaan (runkotavara, lautatavara, ei uudelleenkäytettävä), mikä yksinkertaistaa työmaavaihetta ja vähentää virheherkkyyttä.

### 10.4 Lajittelu

Forssassa jatkolajittelu voitiin tehdä hallituissa olosuhteissa, mikä mahdollisti tarkemman ja turvallisemman luokittelun kuin työmaalla. Korkeiden puukasojen käsittely todettiin työturvallisuusriskiksi, ja kasojen levittäminen koneella ennen lajittelua oli välttämätöntä. 8-kategoriamalli osoittautui toimivaksi jatkokäsittelyvaiheessa, sillä sen avulla pystyttiin arvioimaan materiaalivirtoja, tunnistamaan runkotavaran taloudellinen merkitys ja arvioimaan pinnankäsittelytarpeita. Pintakäsittelyjen tunnistaminen oli keskeistä, koska se määritteli, voidaanko puuta käyttää sisä- vai ulkokohteissa ja tarvitaanko höyläystä.

### 10.5 Materiaalisaanto ja arvopotentiaali

Pilotissa puretun puun kokonaismäärä oli 8420 kg, josta alle puolet arvioitiin periaatteessa uudelleenkäyttökelpoiseksi. 3060 kg oli materiaalia, joka kelpasi jatkolajitteluun, ja 5360 kg oli puupitoista rakennusjätettä. Runkotavara säilyi purku- ja lajitteluprosesseissa selvästi parhaiten ja muodostaa realistisimman perustan taloudellisesti kannattavalle uudelleenkäytölle. Lautatavara sisemmästä ulkoverhouksesta hajosi purussa, mikä heikensi sen uudelleenkäyttöpotentiaalia. Paneelien ja lautojen jatkokäyttö on mahdollista, mutta arvo syntyy vasta jalostuksen kautta ja laatuvariaatio on suurta.

### 10.6 Tiedon keruu ja dokumentointi

Pilotissa kävi ilmi, mitkä datapisteet ovat helposti kerättävissä ja missä kohtaa tiedonkulku katkeaa. Työvaiheiden kestot, puutavaran ehjyysosuudet, mitat ja pintakäsittelyjen erot saatiin dokumentoitua luotettavasti. Sen sijaan kilogrammamäärät seinittäin, nippujen alkuperän seuranta ja naulapoiston jälkeisen laadun arviointi osoittautuivat vaikeiksi, osin siksi että merkinnät eivät pysyneet kuljetuksessa ja osin siksi, että punnitusta ei tehty ennen kuljetusta. Dokumentointi oli kohtuullisen kattavaa, mutta liian tarkka syntypaikkalajittelu lisäsi virheriskiä ja hajotti tietoa eri formaatteihin. Jatkossa tarvitaan yhtenäinen dokumentointipohja, pysyvät nippumerkinnät ja kevennetty työmaadokumentointi.

### Datapisteet, jotka oli helppo tunnistaa

- Työvaiheiden kestot → kellotettu ja kirjattu systemaattisesti
- Rikkoutuneen vs. käyttökelpoisen puun prosenttiosuudet
- Pituusluokat ja poikkileikkaukset Forssan jatkolajittelussa
- Pintakäsittely vs. pintakäsittelemätön (selkeä ero visuaalisesti)
- Lajittelun tilantarve (havaintona selkeä: erittäin suuri)

### Datapisteet, jotka olivat vaikeita työmaalla

- Tarkat kilogrammamäärät seinäkohtaisesti  
→ Punnitusta ei tehty ennen kuljetusta; niput sisälsivät sekalaisia jakeita.
- Nippujen alkuperän seuranta  
→ Nauhamerkinnät irtosivat kuljetuksessa.
- Rikkoutumisen syy (purkumenetelmä vs. rakenne)  
→ Pystyttiin arvioimaan vasta myöhemmin analyysissä.
- Naulojen poiston jälkeinen laatu  
→ Osittain havaittiin vasta Forssassa, ei työmaalla.
- Pintakäsittelyn tarkka laajuus  
→ Näkyy vain osittain, loput vasta höyläyksessä.

### Suosituksia dokumentointiin jatkossa

- Käytetään yhtenäistä dokumentointipohjaa, jossa kerätään: pituus, dimensiot, pintakäsittely, kunto, syntypaikka, työaika.
- Otetaan käyttöön pysyvä merkintä (niittikortti / QR-koodi) nippuihin.
- Syntypaikalla dokumentoidaan vain kolme karkeaa kategoriaa → se vähentää virheitä, säästää tilaa ja helpottaa datan jälkikäsitteilyä.
- Kuvien jälkikommentointi mahdollistetaan, jotta data ja kuva voidaan yhdistää.

## 10.7 Pilottityöskentely oppimisympäristönä

Purkupilotti ei ollut vain yksittäinen työmaa, vaan ennen kaikkea oppimisympäristö. Se toi esiin, mitä pilotointi käytännössä tarkoittaa purkukiertotaloudessa:

- **Pilotti sisältää väistämättä "epätäydellisiä" työvaiheita.**  
Kaikkia tehtäviä ei tehdä optimaalisimmalla tavalla, vaan tarkoituksella kokeillaan myös sellaisia ratkaisuja, joista epäillään etukäteen, ettei niistä synny parasta mahdollista tulosta (esim. käsinpurun testaus). Ilman tällaisia kokeiluja ei saada varmistettua, mitkä oletukset pitävät paikkansa ja mitkä eivät.

- **On tärkeää erottaa mutu ja todistettu tieto.**

Moni ennako-oletus (esim. “käsinpurku säästää puuta” tai “tarkka lajittelu työmaalla tuottaa paremman lopputuloksen”) oli olemassa jo ennen pilottia. Pilotti oli kuitenkin tärkeä, koska se muutti nämä oletukset mitatuksi tiedoksi, jota voidaan käyttää yhteisenä päätöspohjana – ei vain yksittäisen toimijan mielipiteenä.

- **Tehtävien suunnittelu etukäteen ohjaa oikeaan oppiin.**

Jos tehtäviä ei määritellä ja käydä läpi selkeästi etukäteen, työmaalla helposti “liu’utaan” takaisin totuttuihin toimintatapoihin. Porvoon kohdalla kartoituslajittelu ja etukäteen sovittu kategoriamalli auttoivat pitämään fokuksen uuden oppimisessa eikä vain “nykykäytännön toistamisessa”.

- **Merkittävää oppia syntyy myös silloin, kun tulos vahvistaa ennakoajatuksen.**

On inhimillistä kokea turhautumista, jos pilotti “vain todistaa sen, minkä jo tiesimme”. Purkukiertotalouden näkökulmasta on kuitenkin erittäin arvokasta, että nämä havainnot dokumentoidaan ja jaetaan – vasta silloin niistä tulee yhteistä tietopääomaa, eivätkä ne jää yksittäisten henkilöiden kokemuksen varaan.

- **Oppiminen tapahtuu rajapinnoissa.**

Tärkeimmät oivallukset syntyivät usein rajapinnoissa: purku ↔ lajittelu, lajittelu ↔ jatkokäsittely, työmaa ↔ data. Esimerkiksi tarve “irrotettavat”-kategorialle tai ymmärrys merkintöjen katoamisesta kuljetuksessa nousivat esiin vasta, kun eri toimijat katsoivat samaa prosessia omasta näkökulmastaan.

Tämän pilotin perusteella voidaan todeta, että purkukiertotalouden kehittäminen vaatii suunnitelmallista pilotointia, jossa: sallitaan myös “epäoptimaaliset” työvaiheet, suunnitellaan etukäteen, mitä niistä halutaan oppia, ja varmistetaan, että havainnot jalostuvat yhteisiksi pelisäännöiksi seuraaville työmaille.



Kuva 12: Hirsien irrottamista.

## 11 Suositukset jatsoon

### 11.1 Suunnittelu ja purku

Purkusuunnittelu kannattaa jatkossa tehdä rakenteen perusteella. Seinien ja kerrosrakenteiden ennakkokartoitus määrittää, mitä purkumenetelmää kannattaa käyttää ja missä järjestyksessä. Purkutiimin osaaminen, erityisesti koneenkuljettajan työote, vaikuttaa suoraan materiaalin säilymiseen.

Keskeiset suositukset:

- Analysoi rakenteet etukäteen ja valitse purkumenetelmä tämän mukaan.
- Kouluta koneenkuljettajat materiaalimyötävään purkuun (nostot, tuennat, komponenttien käsittely).
- Käytä koneellista purkua ensisijaisesti silloin, kun ulkoverhous ei ole suoraan kiinni kantavassa rungossa.
- Jos sisempi ulkoverhous on naulattu kiinni hirsirunkoon, käsinpurku ei paranna materiaalisäilyvyyttä → turha työvaihe.
- Dokumentoi jokainen seinärakenne ennen purkua ja tee purkutapapäätökset vasta tämän jälkeen.

### 11.2 Lajittelu työmaalla

Työmaalla tehtävän lajittelun tulee olla mahdollisimman kevyt ja toistettava. Pilotin perusteella liian tarkka lajittelu kuluttaa tilaa ja aikaa, mutta ei paranna lopputulosta.

Suositteltu toimintamalli:

- Vakioi syntypaikkalajittelu kolmeen luokkaan: runkotavara / lautatavara / muu (energia/murske).
- Irrota puujakeet seinästä ensin suurina kappaleina.
- Tee tarkempi irrotus maassa, jossa hallittu käsittely vähentää rikkoutumista.
- Merkitse kasat pysyvillä tunnisteilla (niitettävä lappu + kuva + Pictue-merkintä).

### 11.3 Lajittelu ja jatkokäsittely keskuksessa

Tarkka lajittelu kannattaa aina tehdä keskitetysti, sillä siellä on sekä tilaa että oikeat työvälaineet puun luokitteluun ja mittaamiseen.

Toimintaperiaatteet:

- Siirrä pituus-, poikkileikkaus- ja pintakäsittelyperusteinen lajittelu keskitettyyn laitokseen.

- Varmista, että käytössä on:
  - katkaisusirkkeli, mittalaitteet, pihdit, vasarat
  - tila pintakäsittelyn ja kosteuden arviointiin.
- Käytä 8-kategoriamallia tai muuta standardoitua luokitusta, jotta materiaalivirtoja voidaan vertailla kohteiden välillä.
- Laadi laitokselle selkeä työjärjestys, layout ja dokumentointikäytännöt.

## 11.4 Runkotavaran jatkomarkkina

Runkotavara muodostaa purkukiertotalouden taloudellisen ytimen. Sen jatkohyödyntäminen kannattaa suunnitella jo ennen purkua, jotta lajittelu voidaan tehdä tehokkaasti.

Mahdollisia jatkokohteita:

- höylätty sisäpaneeli
- sormijatkettu runkotavara
- väliseinärangat
- lamellihirsi

Suositus: määrittele nimikkeet ja käyttökohteet ennen purkua → materiaali voidaan ohjata suoraan oikeaan jatkopolkuun.

## 11.5 Tekninen kehitys ja mittarointi

Tekniset kokeilut ja mittarointi ovat seuraavien pilotin keskeisiä kehityskohteita. Erityisesti naulojen ja pintakäsittelyn poistomenetelmien vertailua on syytä jatkaa.

Tärkeät toimenpiteet:

- Testaa seuraavassa pilotissa manuaalisen ja automaattisen naulapoiston sekä pintakäsittelyn poiston menetelmät.
- Hyödynnä laserkeilausta *ennen purkua* mm.:
  - materiaalmäärien arviointiin
  - saantoprosentin laskentaan
  - työmaan tilantarpeen suunnitteluun
  - visualisointiin raportointiin ja koulutukseen.
- Laadi standardoidut pohjat:
  - päästödatan keruulle (polttoaine, tunnit, matkat)
  - työajanseurannalle (seinittäinen/työvaihekohtainen kirjaus).

## 11.6 Dokumentointi

Dokumentoinnin tulee olla yhtenäistä, jäljitettävää ja keskitettyä. Pilotin perusteella suurin riski oli tiedon sirpaloituminen ja merkintöjen katoaminen.

Periaatteet:

- Käytä samaa dokumentointipohjaa kaikissa vaiheissa (pituus, dimensiot, pintakäsittely, kunto, syntypaikka, työaika).
- Kiinnitä jokaiseen nippuun pysyvä tunniste (niittikortti / QR).
- Vie kaikki kuvat ja muistiinpanot yhteen paikkaan, ei eri formaatteihin. Pilotissa tämä oli Pictue + Google Sheets.
- Dokumentoi työvaiheet (purku, lajittelu, koneajat, kulutus) vaihekohtaisesti.
- Liitä jokaiseen nippuun kuva + tunnus + lyhyt kuvaus.
- Kevennä syntypaikalla tehtävää dokumentointia: kerää vain kolme karkeaa luokkaa työmaalta.

## 12 Avoimet kysymykset

Pilotin perusteella avoimiksi jäävät erityisesti:

1. **Konekuljettajien koulutusohjeistus**
  - perusta skaalautuvalle, toistettavalle toimintamallille.
2. **Yhtenäinen dokumentointipohja seuraaville työmaille (kaikki toimijat)**
  - mahdollistaa tulosten vertailun ja prosessin kehittämisen.
  - datan kulku katkeamatta purusta loppukäyttöön
3. **Jatkokehitys: jatkokäsittelyprosessin automaatio (naulojen ja pintakäsittelyn poisto)**
  - vaikuttaa ratkaisevasti kustannustehokkuuteen ja saantoon
  - edellyttää teknologisia kokeiluja seuraavissa piloteissa.
4. **Puumateriaalien kierrätykseen soveltuvan infrastruktuurin kehitys**
  - jätteenlajitteluasemat
  - jälleenmyynti
5. **Paneeleille ja lautatarvoille kestävä jatkokäyttökohde**
  - ratkaisevaa taloudellisen mallin kannalta
  - vaikuttaa siihen, mihin asti jatkokäsittely on järkevää.

## 13 Yhteenveto

Purkupilotti osoitti, että uudelleenkäyttökelpoisen puun talteenotto on mahdollista ja teknisesti toimivaa, kun purku tehdään materiaalimyötävästi, syntypaikkalajittelu pidetään karkeana ja tarkempi lajittelu keskitetään erilliseen laitokseen. Runkotavara tarjoaa suurimman taloudellisen potentiaalin, kun taas lauta- ja paneelijakeet edellyttävät merkittävää jatkokäsittelyä ja selkeää markkinaa. Tulevien projektien onnistumisen kannalta ratkaisevia tekijöitä ovat rakenteiden ennakkokartoitus, koneenkuljettajien osaaminen, työmaan tilankäyttösuunnittelu sekä standardoidut lajittelu- ja dokumentointimallit. Paneeli- ja lautajakeiden jatkomarkkinoiden kehittäminen on keskeistä, mikäli koko materiaalipotentiali halutaan hyödyntää.

# DOUBLE ROUND

Raportti on tehty yhteistyössä Double Round Oy:n kanssa.