

# Jakosahan purunpoiston tehostaminen

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Puutekniikka  
2024  
Marcus Söderlund

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Marcus Söderlund	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Syksy 2024
	Sivumäärä 55	
Työn nimi <b>Jakosahan purunpoiston tehostaminen</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Puutekniikka		
Toimeksiantajaorganisaatio UPM Kymmene Oyj Seikun saha		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millä tavalla sahalinjan jakosahan purunpoistoa voitaisiin tehostaa. Tehokas purunpoisto on tärkeää, sillä sahalinjalta myöhempiin tuotantovaiheisiin kulkeutuva puru ja pöly aiheuttaa työterveyshaittoja sekä ongelmia tuotannossa. Työn toimeksiantaja oli UPM Kymmene Oyj Seikun saha Porissa. Sahalinja on vuonna 2001 valmistunut Veisto Oy:n toimittama neljän yksikön profiloiva sahalinja.</p> <p>Työn teoriaosassa keskityttiin pölyn ja purun aiheuttamiin haittoihin, pölyn- ja purunpoistojärjestelmiin, sekä purunpoiston tehostamisen vaihtoehtojen kartoittamiseen. Toimenpiteiden vaikuttavuuden todentamiseksi kehitettiin kaksi mittausmenetelmää.</p> <p>Purun liike jakosahan sisällä mallinnettiin käyttäen avuksi käynnin aikana suoritetuja kuvauksia. Mallinnuksen perusteella jakosahassa tehtiin muutoksia, ja muutosten jälkeen vaikuttavuutta arvioitiin kuvauksilla sekä mittauksilla. Jakosahalta tuorelajitteluun kulkeutuvan purun määrä väheni merkittävästi, mittauksen perusteella 78 %.</p>		
Asiasanat Saha, jakosaha, purunpoisto, pölynpoisto		

## Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Marcus Söderlund	Thesis, UAS	Autumn 2024
	Number of Pages	
	55	
Title of Publication		
<b>Improving rip saw chip extraction</b>		
Degree, Field of Study		
Engineer (UAS), Wood Technology		
Organisation of the client		
UPM Kymmene Oyj Seikku sawmill		
Abstract		
<p>The aim of the thesis was to find ways to improve chip extraction on a rip saw. Efficient extraction is important, because chips and dust that end up in the next production stages cause work safety hazards and problems in production. The client is UPM Kymmene Oyj Seikku sawmill in Pori, Finland. The sawline is a single pass profiling sawline with four units, delivered by Veisto Oy in 2001.</p> <p>The theoretical part of the thesis focuses on the negative effects of sawdust and chips, dust- and chip extraction systems and the mapping of practical options to improve chip extraction. Two measurement methods were developed to evaluate the effects of the changes that were made.</p> <p>The movement of chips and sawdust inside the rip saw was modelled by filming the inside of the machine while in operation. Some structural changes were made based on the modelling, and the effectiveness of the changes was evaluated by conducting another set of filming and measurements. The amount of chips that were conveyed to the next part of the sawmill was reduced drastically, by 78%.</p>		
Keywords		
Sawline, rip saw, dust extraction, chip extraction		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Seikun sahan sahausprosessi .....	2
3	Puupölyn hallinta .....	8
3.1	Puru ja pöly .....	8
3.2	Puupölyn muodostuminen .....	8
3.3	Pölyn ja purun aiheuttamat ongelmat .....	9
3.4	Pölynpoistojärjestelmät.....	10
3.4.1	Poistoilmamäärä ja virtausnopeus .....	12
3.4.2	Tilavuusvirran määrittäminen.....	14
3.4.3	Kaappausnopeus ja imusuulakkeiden sijoittelu .....	15
4	Tutkimuksen toteutus.....	17
4.1	Tutkimuksen lähtökohdat.....	17
4.2	Kohdesahan pölynpoistojärjestelmä .....	17
4.2.1	Imulinja 1 .....	19
4.2.2	Siirtolinja.....	22
4.3	Purunpoiston tehostaminen .....	23
4.3.1	Imurit .....	23
4.3.2	Harjalaitteet .....	24
4.3.3	Ilmaveitset ja puhaltimet .....	27
4.3.4	Muut menetelmät.....	28
4.4	Tutkimusolosuhteiden hallinta .....	29
4.5	Mittausmenetelmä 1: visuaalinen tarkastelu .....	30
4.6	Mittausmenetelmä 2: putoavan purumäärän mittaus .....	31
5	Toimenpiteet.....	33
5.1	Purun liikkeen mallinnus jakosahassa .....	33
5.2	Jakosahan muutostyöt.....	38
6	Tulokset.....	42
6.1	Jakosahan toiminta muutosten jälkeen .....	42
6.2	Visuaalinen tarkastelu sivusiirtopöydällä: tulokset .....	46
6.3	Putoavan purumäärän mittaus: tulokset.....	50
6.4	Henkilöstön mielipiteitä muutosten jälkeen .....	50
7	Yhteenveto .....	51
	Lähteet .....	53

## 1 Johdanto

Tutkimuksen tavoitteena on vähentää sahalinjan jakosahasta tuorelajitteluun päätyvän purun ja puupölyn määrää jakosahaan tehtävillä teknisillä muutoksilla. Puutuoteteollisuudessa on viimeisen vuosikymmenen aikana kiinnitetty erityisesti huomiota puupölyn aiheuttamiin terveyshaittoihin. Puupöly aiheuttaa lisäksi haittaa työturvallisuudelle ja tuotannon sujuvuudelle sekä se lisää suorasti ja epäsuorasti tuotannon kustannuksia. Tasoille ja lattioille kertyvä puru ja pöly aiheuttavat jatkuvaa siivoustarvetta, ja esimerkiksi sensorien eteen kasautuva pöly aiheuttaa suoranaisia pysäytyksiä tuotantoon. Työterveydellisistä haitoista on hyvä mainita, että työterveyslaitoksen ylläpitämään työperäisten sairauksien rekisteriin (TPSR) kirjattiin vuosina 2008–2016 yhteensä 253 puupölyn aiheuttamaa ammattitautiepäilyä sekä 62 ammattitautia, sisältäen nuhan, astman, homepölykeuhkon, toksisen oireyhtymän, erilaiset ihottumat sekä nenäontelon tai nenän sivuontelon syövät. (Työturvallisuuskeskus 2020). Kohdesahalla on tehty toimenpiteitä puupölyaltistuksen minimoimiseksi erityisesti vuosien 2017 ja 2019 aikana suoritettujen työhygieenisten selvitysten löydösten vuoksi. Selvityksissä todettiin puupölyaltistuksen olevan tietyissä työpisteissä merkittävää.

Työn toimeksiantaja on UPM:n Seikun saha Porissa. Saha käyttää raaka-aineena pelkätään kuusta. Tuotantokapasiteetti on noin 380 000 m<sup>3</sup> sahatavaraa vuodessa, ja vuonna 2023 käytettiin noin 790 000 m<sup>3</sup> kuusitukkia, eli yhden sahatavarakuution tuottamiseen käytetään noin 2,1 m<sup>3</sup> tukkia. Tukista kaikki käytetään hyödyksi, ja laadukkaan sahatavaran määrä pyritään maksimoimaan. Sivutuotteena syntyy vuoden aikana yhteensä 410 000 m<sup>3</sup> kuorta, purua ja haketta. (UPM 2024.) Kuori ja puru myydään viereiselle lämpölaitokselle energiaksi ja hake myydään sellun ja paperin tuotantoon. Tuotantomäärät ovat niin suuria, että pienetkin määrät karkuun pääsevää purua kertaantuvat suuriksi määriksi tuntien tai päivien kuluessa. Esimerkiksi purua syntyy sahauksessa noin 30 000 kg tunnissa (UPM 2024). Väärässä paikassa kuluja ja terveyshaittaa aiheuttava puru on siis talteen kerättyä voittoa tuottavaa raaka-ainetta.

Tutkimusaihe tuli puheeksi keskustelussa toimeksiantajan edustajan kanssa tammikuussa 2024. Ongelma on tunnistettu sahalla jo kauan aikaa sitten, ja sen eteen on tehty useita projekteja vuosien varrella. Näitä projekteja ei ole kuitenkaan saatu vietyä kokonaan loppuun. Nyt tavoitteena on kerätä pölynpoistojärjestelmästä kaikki tieto yhteen, tunnistaa ongelmat ja kehittää ratkaisuehdotuksia. Oleellisimmat tutkimuskysymykset ovat: Miksi pölyä ja purua kulkeutuu jakosahalta prosessin myöhempisiin vaiheisiin? Miten sitä voidaan vähentää? Kerätyn tiedon pohjalta tehdään pölynpoistojärjestelmään muutoksia, joiden vaikutusta mitataan vertaamalla koneesta ulos kulkeutuvan purun ja pölyn määrää ennen ja jälkeen muutoksia.

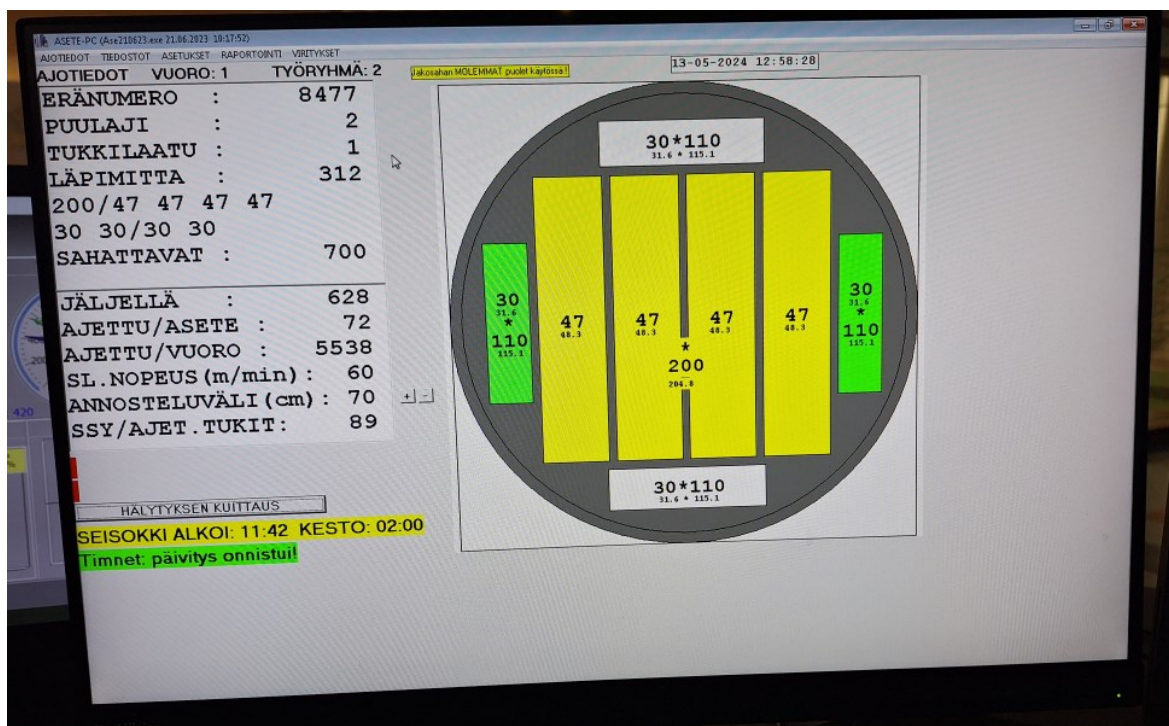
## 2 Seikun sahan sahausprosessi

Seikun sahalla sahatavaran valmistus alkaa tukkien vastaanottamisesta ja lajittelusta. Tukit tuodaan lajittelukentälle pääosin puunkuljetusautolla, josta ne nostetaan kuormaajalla joko suoraan lajittelulaitoksen vastaanottopöydälle tai maahan odottamaan lajittelua. Lajittelulaitoksessa tukit kulkevat ensin operaattorin ohi, ja sen jälkeen kuljettimilla metallinpaljastimen, röntgen- ja lasermittareiden läpi tukkilokeroihin. Lajittelussa tapahtuvan mittauksen avulla tukeille voidaan määrittää ennalta asetettujen lajittelusääntöjen mukainen tukkiluokka (Virta 2017, 68). Tukkiluokka auttaa tekemään päätöksiä siitä, millaista sahatavaraa tukista sahataan (Virtanen 2017, 59).

Lajittelun jälkeen tukit nostetaan tukkipihalle kasoihin, teloihin, odottamaan sahausvuoroaan (Ojala 2017, 64). Tuotannonsuunnittelija käyttää tietoja asiakastilauksista ja tukkien ominaisuuksista hyväksi määritellessään kullekin päivälle sahausohjelman. Sahausohjelmasta käy muun muassa ilmi kussakin erässä sahattava tukkiluokka, sahausasete ja kapalemäärä. (Virtanen 2017, 59–60.)

Tukit siirretään tukkikentältä sahan tyypillisesti kuormaajalla (Ojala 2017, 67). Seikun sahalla käytössä olevien kuormajien kouran pinta-ala on noin 4,4 m<sup>2</sup>. Tukin keskipituudella 4,7 m ja muuntokertoimella 1,5 on täyden kuorman tilavuus noin 13,5 m<sup>3</sup>. Kuormaaja laskee tukit vastaanottopöydälle, josta ne siirtyvät kuljettimilla mittauslaitteen läpi kuorimakoneeseen. Tukit käännetään ennen kuorimakonetta kaartopöydällä niin, että ne tulevat kuorimakoneeseen latvapää edellä. Kuorimakoneessa tukeista irrotetaan kuori, jotta sahatavara ja sivutuotteena syntyvä hake pysyvät kuorettomina ja liian paksut tyvet jyrsitään eli redusoidaan jotta ne sopivat sahalinjan maksimimittoihin (Tynkkynen 2017, 73–81). Kuori ja jyrsitetty puumateriaali tippuvat kuorimakoneen alla olevalle kuljettimelle, joka vie materiaalin murskaimen kautta energialaitokselle johtavalle pitkälle kuljetinmatolle. Kuoritut tukit jatkavat matkaa välipöydän kautta mittauskuljettimelle, jossa ne kuvataan vielä kerran juuri ennen tukinpyörittäjää. Tukinpyörittäjä on laite, joka pyörittää tukit asetteen mukaisen sahausksen kannalta optimaaliseen asentoon (Ropilo & Kauppinen 2017, 91).

Sahan valvomo sijaitsee Seikussa sahalinjan alkupäässä. Kunkin sahauserän aluksi valvomossa työskentelevä operaattori syöttää koneelle sahausasetteen (Kuva 1). Asetteessa on näkyvissä muun muassa eränumero, tukin läpimittaluokka ja sahausasete sivulaudoille ja sydäntavaralle.



Kuva 1. Sahausasete

Ensimmäisessä sahakoneessa, pelkkahakkurissa, tukista haketetaan sivut tasaiseksi. Tukista tulee tässä vaiheessa pelkka, jonka tasaiset pinnat toimivat seuraavien koneiden ohjauspintoina (Ropilo & Kauppinen 2017, 93). Seikun sahalla pelkkahakkurissa syntynyt hake tippuu avoimen lattian läpi sahalinjan alapuolella kulkevalle kuljetinhihnalle, joka kuljettaa materiaalin alashalle.

Sahalinjan toinen koneyksikkö, pelkkasaha 1, suorittaa sivulautojen sahauksen ja särmäyksen tuottaen samalla laatuvaatimukset täyttävää haketta. Hakekursossa on pintaa silittävä pyöröterä, joka jättää puuhun tasaisemman jäljen kuin haketusterä. Pyöröterä tuottaa purua kuten pyörösahanterät. Lopputuloksena saadaan tarvittaessa kaksi pintalautaa molemmilta puolilta pelkkaa hyvällä saannolla sekä pintalaadulla. (Ropilo & Kauppinen 2017, 94.) Seikun sahalinjalla myös pelkkasahoissa menetellään siten, että syntynyt hake ja puru tippuvat lattian läpi kuljetinhihnalle.

Juuri sahatut sivulaudat tiputetaan omalle kuljettimelleen ennen pelkankääntäjää, joka nimensä mukaisesti kääntää pelkan 90 astetta toiselle kyljelleen. Näin pelkka menee kolmannen sahakoneeseen, pelkkasaha 2:n, sopivassa asennossa toisten sivulautojen sahaamiseksi. Myös näiden sivulautojen vajaan särmäiset reunat haketetaan ja syntynyt hake ja puru tippuvat kuljetinhihnalle.

Seikun sahan sahalinjan viimeinen kone on jakosaha (Kuva 2). Jakosahassa sahattavassa pelkassa on jäljellä lähinnä puun sydänosa. Sydäntavarakappaleista käytetään nimitystä ex log, esimerkiksi 4 sydäntavarakappaleen pelkka on 4 ex log. (Virtanen 2017, 59.) Seikun sahan jakosahassa on sisäkkäisissä akseleissa yhteensä 8 pyörösahanterää, neljä vierekkäin ylhäällä ja samoin alhaalla. Ylä- ja alapuoliset terät ovat hieman peräkkäin ja pystysuunnassa limittäin, jotta pelkka sahautuu kokonaan halki. Terien väliset etäisyydet määritellään sahausasetteessa ja terät säätyvät automaattisesti oikeaan asemaan. Käytännössä terien asemointiin tehdään kuitenkin erän alussa hienosäätöjä linjalla tehtyjen mittausten perusteella. Teriä joudutaan yleensä liikuttamaan joitain millien kymmenesosia sisään- tai ulospäin, riippuen siitä, miten hyvin sahattujen kappaleiden mitattu paksuus ja muut dimensiot vastaavat tavoitetta. Jakosahassa syntyy sivutuotteena pelkästään purua. (Ojala 2024.) Puru on keskimäärin kuivempaa kuin muissa sahakoneissa, johtuen sydänpuun alemmasta kosteudesta (Marjomaa & Uurtamo 1996, 13–15).



Kuva 2. Jakosaha

Jakosahalta sydäntavarat kulkevat kuljettimella tuorelajittelun hajotuspöydälle, josta niiden matka jatkuu sivusuuntaan erilaisia kuljettimia pitkin. Tuorelajittelu on suuri laitos, jossa jokainen sahatavarakappale mitataan ja kuljetetaan samankokoisten kappaleiden kanssa samaan lokeroon (Valkonen 2017, 118). Seikun sahalla sydäntavaraa ei tässä vaiheessa lajitella laadun mukaan, mutta sivulaudat kuvataan, laadutetaan ja sahataan tarvittavilta osin järeällä moniteräisellä lautatrimmerillä (Kuva 3). Trimmerissä laudasta sahataan huonot osat pois päädyistä, tai laudan ollessa liian oksainen tai vajaasärmäinen, se sahataan kokonaan n. 30 cm pätkiksi. Syntyneet pätkät tippuvat alas lautatrimmerin alla olevalle kuljetinmatolle, joka kuljettaa ne märkähakkurille. Märkähakkuri hakettaa pätkät ja siirtää syntyneen hakkeen alasaan lajittelulaitteistolle käsiteltäväksi. Trimmerin sahauksesta aiheutuva puru imetään erillisillä puruputkistolla ja puhaltimella samoihin sykloneihin kuin sahalinjan purut.



Kuva 3. Tuorelajittelun lautatrimmeri

Yleisesti sahoilla käytetystä tukkimäärästä noin 45–50 % saadaan hyödynnettyä sahatavarana, jonka lisäksi syntyy 28–32 % haketta, 10–15 % purua ja 10–12 % kuorta. Sahausprosessissa pyritään saamaan sahatavaraa mahdollisimman hyvällä käyttösuhteella, jotta mahdollisimman suuri osa tukista voidaan hyödyntää sahatavarana. (Ropilo & Kauppinen 2017, 100.) Arvokkain sivutuote on hake, jonka osuus sahojen liikevaihdosta on noin 11 %, kuoren osuuden ollessa noin 3 % ja purun noin 5 %. (Merivuori 2017, 30.) Sivutuotteiden, kuten hakkeen, kuoren ja purun määrä tulee oletettavasti ohjaamaan entistä enemmän tukkilajittelua ja mittausta tulevaisuudessa. Niiden osuus sahan myyntituotoista on noin 15 %. (Ojala 2017, 103.)

Sahalinjan alapuolella sijaitsee alasahan laitteisto, jonka seulan tehtävä on erotella alasahalle tippuva materiaali hake- tai purujakeisiin (BMH Wood Technology 2000). Seikun alasahan seulan on toimittanut BMH Wood Technology, ja se on rakennettu samaan aikaan kuin sahalinja, vuonna 2001. Sahakoneissa muodostuva hake ja puru siirtyvät alasahalla hihnakuuljettimella levitysrullastolle, joka levittää materiaalin tasaiseksi matoksi Pocket Roll-seulalle. Seula erottelee materiaalista hienoimmat jakeet eli purun ja tiputtaa sen ketjukuljettimelle, jota pitkin puru kulkeutuu pitkälle kuljetinhihnalle kohti lämpölaitosta. Pocket

Rollin ylite siirtyy OPTI-kiekkoseuloille, joka tiputtaa akseptin hakkeen alas hihnakuljettimelle. OPTI-kiekkoseulojen ylite siirtyy täyränniin, joka kuljettaa sen märkähakkurille. Märkähakkuri hakettaa ylisuuret kappaleet ja lähettää ne ruuvikuljettimella uudelleen seulottavaksi, jolloin myös ne kulkeutuvat joko hake- tai purujakeisiin. (BMH Wood Technology 2000.)

### 3 Puupölyn hallinta

#### 3.1 Puru ja pöly

Opinnäytetyössä käsitellään termejä pölynpoistojärjestelmä ja purunpoistojärjestelmä. Tutkimuksen aikana huomattiin, että työympäristön arkipuheessa termejä käytetään helposti ristiin, eikä aina ole täyttä selvyyttä siitä, kumpaa, pölyä vai purua, yritetään poistaa. Määritelmällisesti purulla tarkoitetaan pölyn- ja purunpoistojärjestelmissä partikkelia, jonka koko on yli 0,5 mm, ja pölyllä partikkelia, jonka koko on 0,5 mm tai vähemmän (SFS-EN 12779 2015). Pölynpoiston merkitys on teollisuudessa korostunut viime vuosikymmenen aikana lainsäädännön takia, ja alan kirjallisuudessa keskitytäänkin usein sen altistumiseen liittyviin riskeihin ja imulaitteistojen ominaisuuksiin (Työturvallisuuskeskus 2020). Purunpoisto taas on toimeksiantajan näkökulmasta tärkeää, sillä ylimääräinen puru aiheuttaa monenlaisia ongelmia tuotannon ja työturvallisuuden kannalta.

Käytännössä molempien poistaminen on tarpeellista ja teollisessa mittakaavassa välttämätöntä (Magoss ym. 2022, ix). Puupölyä ei muodostu ainoastaan välittömästi työstettäessä, vaan myös siksi, että työstössä sahatavaraan kiinnittyneet osittain irronneet lastut tai purukokkareet irtoavat myöhemmissä käsittelyvaiheissa. Poistamalla purua vähennetään siis myös puupölyn määrää, ja tehokkaalla pölynpoistojärjestelmällä luodaan perusta lainsäädännön vaatimukset täyttävälle, turvalliselle työympäristölle. (Työturvallisuuskeskus 2020, 15.)

Tämän tutkimuksen toimeksianto oli selvittää ja vertailla, millä tavalla jakosahan purunpoistoa voidaan tehostaa. Edellä mainituista syistä tämä pitää sisällään selvityksen myös pölynpoistojärjestelmän kunnosta sekä erilaisten vaihtoehtojen kartoittamisesta purun poistamiseksi.

#### 3.2 Puupölyn muodostuminen

Puuta työstäessä pölyä muodostuu, kun

- puulastu murtuu työstössä tai sen jälkeen ja murtumapinnasta irtoaa pieniä kappaleita
- työstetty lastu on pienen syöttönopeuden vuoksi niin ohutta, että se irtoaa pölynä
- lastu jää kiinni työstettävän kappaleen pintaan ja osuu uudelleen terään murskausten pieniksi kappaleiksi
- työstettyyn pintaan jää osittain irronneita lastuja, jotka irtoavat myöhemmissä käsittely- tai työvaiheissa

(Työturvallisuuskeskus 2020, 14–15).

Työstön yhteydessä syntyvän pölyn määrä kasvaa keskimääräisen lastunpaksuuden alittaessa 0,1 mm (Työturvallisuuskeskus 2020, 14). Lastunpaksuus muodostuu kaavan 1 mukaisesti:

$$h_m(\text{mm}) = 1000 \frac{u}{n \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \quad (1)$$

jossa

- $h_m$  = lastunpaksuus (mm)
- $u$  = syöttönopeus (m/min)
- $n$  = teräpään kierrosluku (1/min)
- $z$  = hampaiden lukumäärä
- $h$  = työstösyvyys
- $D$  = teräpään halkaisija

(Työturvallisuuskeskus 2020, 15).

Seikun sahalla teränopeuden valintaan vaikuttaa ensisijaisesti tuotantotehokkuus ja terien rasiuksen sietokyky. Valittu teränopeus perustuu kokemukseen terien kulumisesta ja kestosta. Ajossa olevan tukin koko vaikuttaa linjanopeuteen, eli nopeuteen, jolla tukit kulkevat sahakoneiden läpi. Jakosahassa syöttönopeus on noin 10 % suurempi kuin linjan ajonopeus. (Ojala 2024.)

### 3.3 Pölyn ja purun aiheuttamat ongelmat

Osa muuttuu mekaanisen rasiuksen ja hankauksen takia lopulta pölyksi, joka laskeutuu tasoille ja saattaa nousta ilmavirtausten vaikutuksesta ilmaan hengittyyväksi puupölyksi (Työturvallisuuskeskus 2020, 15). Purun ja pölyn hallinta on myös paloturvallisuuden ja pölyräjähdyksen estämisen kannalta välttämätöntä (Németh ym. 2024, 1).

Pölynhallinnan yleiset periaatteet tulevat työturvallisuuslaista, jonka mukaan työnantajan on jatkuvasti tarkkailtava työympäristöä ja työtapojen turvallisuutta (Työturvallisuuskeskus 2020). Kohdesahalla työstettävästä kuusesta syntyy havupuupölyä. Sitä ei perinteisesti ole pidetty yhtä haitallisena terveydelle kuin lehtipuupölyä, mutta viimeaikaisen tutkimuksen valossa sen on kuitenkin todettu aiheuttavan ammattitauteja puutuotealalla työskenteleville.

Tavallisimpia terveyshaittoja ovat hengitysteiden sekä silmien ärsytysvaikutukset. (Työturvallisuuskeskus 2020, 5.)

Ilman laadun vähimmäisvaatimukset määritellään haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien (HTP-arvon) avulla. Tutkimustieto haitallisista pitoisuuksista antaa syytä pyrkiä alentamaan altistustasoja, sillä puupölyn on huomattu aiheuttavan oireita joillekin jo HTP-arvoja alhaisemmillä pitoisuustasoilla. (Työturvallisuuskeskus 2020, 5.) Suomessa puupölylle on asetettu HTP-arvo 2 mg/m<sup>3</sup> hengittyvän pölyn kahdeksan tunnin keskipitoisuutena (Työturvallisuuskeskus 2020, 4), mutta yleinen ohje hyvälle sisäilman laadulle teollisuudessa on ilman pitoisuustaso 10 % HTP-arvosta (Tähti 2002, 30–32). Vuoden 2007 jälkeen rakennetuissa ja sen jälkeen kunnostetuissa laitoksissa tavoitearvo on 1 mg/m<sup>3</sup> (Työturvallisuuskeskus 2020, 4). Kohdesahalla vuosina 2017 ja 2019 tehtyjen työhygieenisten mittausten perusteella puupölyaltistuminen on ensimmäisen selvityksen pohjalta tehtyjen teknisten muutostenkin jälkeen merkittävää, rimoituksen työntekijällä 90 % 2 mg/m<sup>3</sup> HTP-arvosta (Työterveyslaitos 2019).

Sahalla tehdyissä katselmuksissa todettiin, että kulkuväylille kertyvä puru aiheuttaa liukastumisvaaraa ja ahtaissa paikoissa siivoaminen voi aiheuttaa riskin kompastumisesta, horjahtamisesta tai muusta vahingosta. Eräs esimerkki on kohdesahalla sattunut tapaus, jossa työntekijä otti ruuhkanpurkutilanteessa harha-askeleen aukkoon, joka oli purun ja lastujen peitossa (UPM 2024). Seikussa puru aiheuttaa myös ylimääräistä kulumista kuljetinhinnoille ja se voi aiheuttaa tuotantopysähdyksiä esimerkiksi häiritsemällä erilaisten sensoreiden ja mittareiden toimintaa (UPM 2024). Lisäksi kuivaamalla tehdyssä katselmuksessa huomattiin, että sinne asti kantautuva puru häiritsee kuivausprosessia tukkien kuivauslaitteen lämmönvaihtimia sekä viemärointejä.

### 3.4 Pölynpoistojärjestelmät

Puupölyn poistamiseksi paras ja ainoa varteenotettava tapa on poistaa se imulaitteilla mahdollisimman lähellä sen syntypaikkaa. (Magoss ym. 2022, ix). Pölynpoistojärjestelmät koostuvat tyypillisesti samankaltaisista peruskomponenteista. Meynard (2018) jakaa pölynpoistojärjestelmän pääkomponentit neljään osaan: imusuulake, pölynpoistoputkisto, puhallin ja suodatin. Jotta näistä osista voidaan muodostaa toimiva kokonaisuus, järjestelmän suunnittelussa tulee huomioida tiettyjä avainkohtia. Meynard (2018) listaa näitä pölynpoistojärjestelmien tärkeitä suunnittelulähtökohtia, jotka ovat riittävän kuljetusnopeuden varmistaminen, järjestelmän ilmavirtojen tasapainotus, oikean tehosen puhaltimen valinta, tukosten muodostumisen estäminen sekä sopivan suodatinjärjestelmän valinta. (Meynard 2018, 2.)

Riittävä kuljetusnopeus on ensimmäinen ja tärkein suunnittelulähtökohta, sillä mikäli pölyä ei kyetä kuljettamaan, sitä ei myöskään kyetä keräämään. Raskaat, kosteat tai vaihtelevan muotoiset kappaleet asettavat haasteita pölynpoistojärjestelmän kuljetusnopeuksille, sillä niiden kuljettamisessa on tärkeää saavuttaa ilmannopeus, jossa kappaleet pysyvät kokonaan ilmassa kannateltuna koko kuljetuksen ajan. Mikäli järjestelmä ei kykene tähän, materiaalia alkaa helposti kertymään putken seinämiin, ja putkistoon aiheutuu tukoksia. (Meynard 2018, 2.) Tukosten estäminen pölynkuljetuskanavissa on huomioitu myös edellytyksenä kiinteästi asennettavien puupölyn- ja purunpoistolaitteistojen turvallisuusstandardeissa SFS-EN 12779 2015.

Järjestelmän ilmavirtojen tasapainottamisella tarkoitetaan sitä, että jokaisesta putkiston haarasta imettävä ilmamäärä ja kuljetusnopeus on tasattu siten, että ne vastaavat kohteen tarpeita. Putkistot, mutkat, suulakkeet ja haarat aiheuttavat painehäviötä, joka puhaltimen on voitettava liikuttaakseen ilmavirtaa jokaisen haaran päästä. (Meynard 2018, 3.) Kun kyseessä on imukanava, ilman liikkeestä johtuva dynaaminen paine jakautuu haarojen kesken tasan (Mäkinen ym. 2023, 18) ja myös ilmavirta jakautuu niiden kesken tasaisesti (Meynard 2018, 3). Haaroissa on yleensä kuitenkin eroavaisuuksia, koska putkisto joutuu kulkemaan eripituisia ja mutkittelevia reittejä jokaiselle imukohteelle. Tasapainottaminen voidaan tehdä suunnitteluvaiheessa laskemalla jokaiselle putkiston haaralle painehäviö, ja valitsemalla jokaiseen haaraan osat, joissa painehäviö saadaan tasapainotettua. Tyypillisempää kuitenkin on, että putkisto ja haarat rakennetaan hieman tarvetta suuremmaksi, ja pienimmän vastuksen haarojen ilmavirtaa rajoitetaan erilaisilla supistimilla tai sulkulaitteilla suulakkeen yhteydessä. (Meynard 2018, 4.)

Riittävän tehokkaan puhaltimen valintaan vaikuttaa haluttu ilmanpoistomäärä, poistettavan kiinteän materiaalin määrän ja laadun perusteella määritelty kuljetusnopeus, sekä järjestelmän osien aiheuttama kokonaispainehäviö. Puhaltimet ovat alttiita tukkeutumaan suurista vaihteluista kerättävän materiaalin määrässä, joten puhaltimen mitoituksessa tulisi ottaa huomioon maksimaalinen materiaalkuorma. Puhaltimen on kyettävä ylittämään putkiston, haarojen, mutkien, suulakkeiden ja suodattimen tuottama vastapaine, ja liikuttamaan haluttu määrä ilmaa riittävällä nopeudella järjestelmän läpi, vaikka toisinaan järjestelmään tulisi suunniteltua suurempia määriä kiinteää materiaalia. Esimerkiksi taajuusmuuttajan käyttö puhaltimen tehon hallinnassa voi tällaisissa käyttökohteissa olla hyödyllistä, jotta puhallinta voidaan käyttää täydellä teholla vain silloin kun poistettavan materiaalin määrä niin edellyttää. (Meynard 2018, 4.)

Putkiston tukoksia voi aiheutua monista syistä, esimerkiksi huonosti suunnitellusta putkistosta, poistettavan materiaalin ylisytöstä, vuodoista putkistossa, seinämiin kertyneen

materiaalin takia tai suodattimen tukkeutumisesta (Meynard 2018, 5). Putkiston suunnittelussa tulee huomioida putkiston koon kasvattaminen haarojen liitoskohdissa mahdollisimman vähän ilmavirtaa häiritsevillä liitoksilla ja vuotokohdat ja tukkeutuneet osat tulisi vaihtaa. Suodattimen tukkeutuminen johtuu usein alapuolelle asetetun keräysastian tukkeutumisesta, kun materiaalia kerääntyy reunoille muodostaen tukoksia. (Meynard 2018, 7.)

Kohteeseen sopivan suodattimen tulee kyetä suodattamaan partikkelit ilmavirrasta, pysymään puhtaana sekä purkamaan kiinteä materiaali keräysastiaan tai siirtolaitteeseen. Suodattimen tulee luonnollisesti kyetä myös päästämään läpi tasaisella tahdilla ilmavirtaa, eikä sen aiheuttama vastus saa ylittää puhaltimen kykyä tuottaa painetta. Sykloni on tehokas suodatin suurille materiaalikappaleille, kuten puulastuille ja purulle. (Meynard 2018, 7.)

Tiivistettynä voidaan sanoa, että toimivassa pölynpoistojärjestelmässä on suulake lähellä pölyn muodostumispaikkaa, ja suulakkeen läpi virtaava ilmamäärä ja sen nopeus on oltava riittävä kaappaamaan ilmasta pölyn ja tavoitellut partikkelit sekä kuljettamaan ne suodattimeen, joka voi sijaita joko ennen tai jälkeen puhallinta. Putkistossa on vallittava riittävä ilmannopeus tukosten estämiseksi, ja suodatin on mitoitettava ilmamäärälle sopivaksi, jotta se kykenee erottelemaan ilmasta partikkelit. Yleensä järjestelmät mitoitetaan hieman tarvetta tehokkaammiksi, ja riittävä ilman nopeus putkiston joka osassa tasapainotetaan vasta asennuksen jälkeen supistusrenkaita ja muita mekaanisia apuvälineitä käyttäen. (Meynard 2018, 2.)

### 3.4.1 Poistoilmamäärä ja virtausnopeus

Tämän opinnäytetyön kannalta keskeisimpiä asioita ovat nykyisen pölynpoistojärjestelmän kunnan ja riittävyuden arviointi. Sahalinjan pölynpoistojärjestelmän kuntoa arvioitiin kokonaisvaltaisesti, mutta erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, täyttävätkö kuljetusnopeudet sekä poistoilmamäärät puupölyn kuljettamiselle asetetut suositukset ja standardit, ja onko järjestelmässä mahdollisia tukoksia aiheuttavia ongelmakohtia.

Sahalinjan koneissa poistoilmamäärä perustuu laitevalmistajan ilmoittamiin suosituksiin, ja usein pölynpoistojärjestelmän toimittava urakoitsija valitsee suositukset täyttävän järjestelmän (Hemminki 2024). Tyypillinen poistoilmamäärä sahalinjalla käytettävälle jakosahalle on 4000–6000 m<sup>3</sup>/h (Työturvallisuuskeskus 2020, 20). Kohdesahan koneista ei ole saatavilla alkuperäistä mitoituspohjaa, mutta tyypillisesti vastaavien koneiden poistoilmamääräksi on määritelty vähintään 5000 m<sup>3</sup>/h (Hemminki 2024).

SFS-EN 12779:2015-standardi määrittelee kiinteästi asennettavien puupölyn- ja purunpoistolaitteistojen kuljetusnopeudet 15 % kosteudessa olevalle puupölylle (Taulukko 1). Nopeus on pölylle vähintään 12 m/s ja purulle 15 m/s, kun kiinteän materiaalin määrä kanavassa on

pieni. Kanavassa kulkevan kiinteän materiaalin määrää pidetään pienenä, kun sitä on alle 50 g ilmaukuutiota kohden ja suurena, kun se on 50–150 g/m<sup>3</sup>. Näille materiaalimäärille on omat arvonsa taulukossa. Lisäksi jatkuvaan materiaalin siirtämiseen tarkoitettu kana- vassa käytetään taulukon suurimpia arvoja. (SFS-EN 12779 2015.)

**Table 4 — Minimum conveying air velocity of wood waste with a moisture content ≤ 15 %**

Minimum conveying air velocity	dust	chips	shavings
low material load < 50 g m <sup>-3</sup>	12 ms <sup>-1</sup>	15 ms <sup>-1</sup>	18 ms <sup>-1</sup>
high material load < 150 g m <sup>-3</sup>	15 ms <sup>-1</sup>	18 ms <sup>-1</sup>	21 ms <sup>-1</sup>
conveying system	18 ms <sup>-1</sup>	22 ms <sup>-1</sup>	25 ms <sup>-1</sup>

Taulukko 1. Kuljetusnopeus puumateriaalille pölynpoistokanavassa (SFS-EN 12779:2015)

Amerikkalainen työterveyttä- ja turvallisuutta edistävä organisaatio American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) määrittelee vastaavasti myös suositellut kul- jetusnopeudet (Taulukko 2). Märkä puru ja puupöly kuuluu raskaiden pölyjen kategoriaan, jonka suositeltu vähimmäissiirtonopeus on 20 m/s (ACGIH 1998, 3–19). Tällä nopeudella puru voi kulkea koko matkan putkistossa ilmassa kannateltuna, ja tukkeutumien muodostu- minen minimoituu (Meynard 2018, 2).

**TABLE 3-2. Range of Minimum Duct Design Velocities**

Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors, gases, smoke	All vapors, gases, and smoke	Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1000–2000 fpm)
Fumes	Welding	2000–2500
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2500–3000
Dry dusts & powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	3000–4000
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	3500–4000
Heavy dusts	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shake-out, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4000–4500
Heavy or moist	Lead dusts with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transite pipe cutting machines, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4500 and up

Taulukko 2. Kuljetusnopeudet pölynpoistokanavissa eri materiaaleille (ACGIH 1998)

### 3.4.2 Tilavuusvirran määrittäminen

Ilmavirtojen mittaukseen soveltuvia menetelmiä ja laitteita on useita, ja soveltuvan menetelmän valintaan vaikuttavat monet tekijät. Konekohtaisten ilmavirtojen määrittelyyn käytetään kuitenkin pääasiassa kanavasta tehtäviä mittauksia. Sopivalla mittalaitteella voidaan mitata kanavasta paikallinen virtausnopeus, jolloin virtausnopeuden ja kanavan poikkipinta-alan tulolla voidaan määrittää kanavan tilavuusvirta. (Siren 1995, 211.) Virtausnopeutta voidaan mitata esimerkiksi paine-eroon perustuvalla pitot-staattisella putkella tai erilaisilla mekaanisilla tai anturin jäähtymiseen perustuvilla anemometreillä. (Mäkinen ym. 2023, 30–34.)

Putkivirtausmittauksissa on otettava huomioon nopeuden ja paineen jakautumista putkessa. Ilma ei virtaa kanavan poikkipinnassa tasaisella nopeudella, vaan nopeusjakaumaan vaikuttaa kanavan seinämän vastus, kanavan mutkat, haarat ja muut häiriötekijät. (Sirén 1995, 212.) Sopivan mittauskohdan löytyessä tulee ottaa useita mittaustuloksia kanavan poikkipinnan eri pisteistä, jotta saadaan keskiarvo mittauskohdassa vallitsevasta nopeusjakaumasta (Sirén 1995, 235).

Mittauskohdan tulisi sijaita niin kaukana viimeisestä ylävirran puolella vaikuttavasta häiriölähteestä kuin mahdollista, jotta nopeusjakauma kanavassa olisi ehtinyt tasaantua. Mittauskohdan olisi hyvä olla myös pienen suojaetäisyyden päässä alavirran puolella olevista häiriölähteistä. Karkeana suosituksena voidaan pitää 10–20 kanavan halkaisijan mittaa ylävirran suuntaan ja 3–5 kanavan halkaisijan mittaa alavirran suuntaan. (Sirén 1995, 214.) Tällaisesta mittauskohdasta voidaan kanavan poikkipinta-alan eri mittauspisteiden määrää rajata 6–10 kappaleeseen ja yhdelle halkaisijalle, mittauksen suhteellisen epätarkkuuden pysyessä kohtuullisena (Sirén 1995, 241).

Mittaukset suoritettiin Trotec BA30WP kuumalanka-anemometrillä (Kuva 4). Se koostuu mittalaitteesta ja älypuhelimeen ladattavasta sovelluksesta, joka tallentaa mittaustapahtumat ja ilmaisee samalla mittauksella ilmavirran nopeuden, lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden. Kun laitteelle on syötetty kanavan halkaisija, se laskee automaattisesti myös tilavuusvirran. Mittarin etuna on sen käytön helppous ja riittävä mittausalue sekä mittatarkkuus. Anturi vaatii 13 mm reiän kanavan seinämään, jolloin se ei aseta rajoitteita mittauskohdan valinnalle. Mittari ottaa mittaustuloksia kaksi kertaa sekunnissa koko mittaustapahtuman ajan, joten samasta reiästä pystytään yhdellä kertaa ottamaan kymmeniä mittaustuloksia kanavan poikkipinnan eri kohdista. Näin muodostuva keskiarvo antaa hyvän kuvan kanavan paikallisen virtausnopeuden keskiarvosta. Mittausalueen ollessa 0–30 m/s se soveltuu hyvin pölynpoistojärjestelmän nopeuksiin. Rajoituksen asettaa kuitenkin anturin herkkyyys. Kanavassa ei voi kulkea kiinteää materiaalia mittaustapahtuman aikana, jotta anturin lanka ei

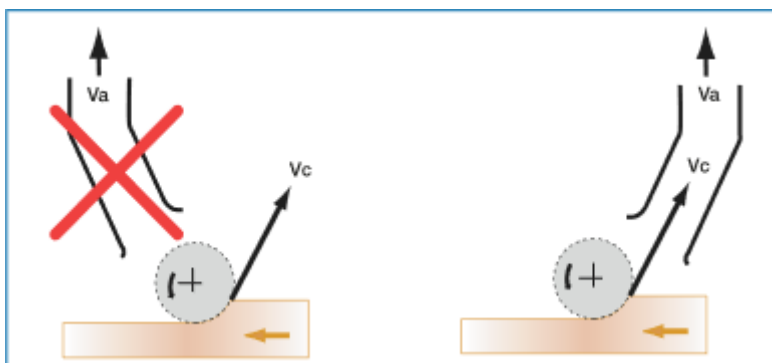
katkea. (Trotec.) Mittaukset toteutettiin tämän vuoksi hetkinä, jolloin sahaus ei ollut käynnissä.



Kuva 4. Trotec BA30WP kuimalanka-anemometri (Trotec)

### 3.4.3 Kaappausnopeus ja imusuulakkeiden sijoittelu

Työstössä syntyvä puru suihkuua kehänopeudella tangentiaalisesti työstävästä terästä, jolloin sen vauhti ja massa riittää tempaamaan mukaansa suuria ilmavirtoja (Työturvallisuuskeskus 2020, 20). Näiden ilmavirtojen joukosta on haasteellista kaapata pölyä tai purua, sillä imulla ei voida muuttaa nopeasti liikkuvan purusuihkun suuntaa (Työturvallisuuskeskus 2020, 23). Poistosuulakkeet tulisi sen vuoksi sijoittaa niin, että purusuihku suuntautuu suoraan niitä kohti, ja mielellään mahdollisimman lähelle pölyn- tai purun lähdettä (Kuva 5).



Kuva 5. Poistohuuvan sijoittelu purusuihkun suhteen (INRS 2018)

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH 1998, 3–16) määrittelee pienimmät suositellut kaappausnopeudet erilaisille olosuhteille ja poistettaville materiaaleille. Kaappausnopeus on vapaa suomennos ACGIH:n käyttämästä “capture velocity”-termistä, jolla kiinteän materiaalin poistamiseen tarvittavan ilmavirran nopeutta. Kaappausnopeuteen vaikuttaa kaapattavan materiaalin paino, liikenopeus, sekä kaappaustilassa vallitsevat ilmassojen liikkeet. Suurella nopeudella hyvin suurinopeuksiseen ilmaan vapautettava märkä sahanpuru sopii parhaiten kategoriaan, jossa kaappausnopeudeksi ehdotetaan olosuhteitten mukaan 500–2000 jalkaa minuutissa, eli noin 2,5–10 metriä sekunnissa. Asteikon yläpäättä suositellaan käytettäväksi, mikäli kaappaustilassa vallitsevat ilmavirrat ovat nopeassa liikkeessä ja laitteen käyttöaste on suuri. (ACGIH 1998, 3–16.) Olosuhteet sahakoneen sisällä antavat perusteen käyttää asteikon yläpäättä, joten tavoiteltavana kaappausnopeutena voidaan pitää vähintään 10 m/s. (Taulukko 3).

Range of capture velocities		
Condition of Dispersion of Contamination	Example	Capture Velocity, fpm
Released with practically no velocity into quiet air.	Evaporation from tanks; degreasing, etc.	50-100
Released at low velocity into moderately still air.	Spray booths; intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100-200
Active generation into zone of rapid air motion.	Spray painting in shallow booths; barrel filling; conveyor loading; crushers	200-500
Released at high initial velocity into zone at very rapid air motion.	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500-2000

Taulukko 3. Kaappausnopeudet (ACGIH, 1998)

Purusuihkun hidastamiseen voidaan käyttää pysäytyslevyjä tai ketjuja, jolloin purun mukaansa tempaamat ilmavirrat hidastuvat, purun kaappaaminen helpottuu ja sahakoneen sisältä ulos pyrkivät ilmavirrat vähenevät (Työturvallisuuskeskus 2020, 17).

## 4 Tutkimuksen toteutus

### 4.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Toimeksianto ja tutkimussuunnitelma loivat selvät raamit tutkimuksen toteuttamiselle. Vaikka pölyn- ja purunpoistolaitteistolle tehtiin tutkimuksen aikana myös muita muutostöitä, kohdistettiin tutkimuksellinen osa vain jakosahaan. Ensimmäiseksi tutustuttiin sahalinjan ominaisuuksiin ja pölyn- ja purunpoistolaitteiston toimintaan, arvioitiin pölynpoistojärjestelmän kunto ja riittävyys, sekä perehdyttiin tarkemmin purun liikkeeseen jakosahan sisällä ja sieltä ulos. Sen jälkeen selvitettiin vaihtoehtoja purun poistamisen tehostamiseksi. Samaan aikaan päätettiin tutkimustavat, joilla muutosten vaikuttavuutta voitaisiin mitata tai vähintään todentaa. Kun menetelmät oli päätetty, suoritettiin kontrollimittaukset ja -kuvaukset, jotka loivat pohjan tulosten vertailulle. Muutokset valittiin ja toteutettiin 1.6.2024 – 1.9.2024 välisenä aikana, jonka jälkeen suoritettiin loppumittaukset ja kuvaukset.

### 4.2 Kohdesahan pölynpoistojärjestelmä

Sahalla suoritetussa katselmuksessa selvitettiin sahalinjan pölynpoistolaitteiston rakenne. Laitteisto on sijoitettu saharakennuksen eteläpuolelle ulkotilaan (Kuva 6), ja se koostuu kolmesta kokonaisuudesta: Imulinja 1, Imulinja 2 sekä siirtolinja. Imulinja 2 ei vaikuta jakosahan pölynpoistoon, joten sitä ei tarkastella tässä tutkimuksessa. Laitteisto on rakennettu samaan aikaan kuin sahalinja, vuonna 2001. Jokaisessa työstävässä koneessa on omat kohdepoistot, jotka imevät pois purun ja pölyn, joka ei ehdi tippua sahakoneen sisältä alasahan kuljettimille tai sahakoneen sisällä oleville tasoille. Tavoiteltavaa on, että kaikki sivutuotteet kulkeutuvat alasahan kautta eteenpäin, ja pölynpoistojärjestelmä toimii vain varmistuksena sille, ettei hienojakoisin aines pääse leijaillemaan tuotantotiloihin.



Kuva 6. Sahalinjan pölynpoistolaitteisto

Siirtolinjan purkutupkesta tehtyjen mittausten mukaan pölynpoistojärjestelmän kautta kulkeutuu pois vain noin 0,5 % muodostuneesta pölystä ja purusta, noin 90 kg/h verrattuna n. 23 000 kg alasahan kautta kulkevaan määrään (Taulukko 4). Mittaukset suoritettiin vain kahdesta erilaisesta asetteesta eivätkä edusta kanavassa kulkevaa keskiarvoa eikä maksimiuormaa, mutta ne antavat kuitenkin karkean suunnan materiaalin määrästä kanavassa. Samalla saatiin kuva järjestelmässä kulkevan materiaalin laadusta. Valtaosa materiaalista on alle 3 mm halkaisijaltaan olevaa purua, mutta silmämääräisen tarkastelun perusteella kanavan läpi todettiin toisinaan kulkevan myös lastuja, joiden pituus voi olla kymmeniä senttejä.

Siirtolinjan purun määrä ja koostumus		
Koostumus	Määrä (g)	%
>45mm	0	0.00%
>38mm	0	0.00%
>13mm	5	2.04%
>7mm	10	4.08%
>3mm	47	19.18%
<3mm	183	74.69%
yht.	245	g
Tunti keskiarvo	90	kg

Taulukko 4. Purun määrä ja koostumus siirtolinjassa

Puhaltimet ja kanavat ovat alttiita tukkeutumaan suurista vaihteluista kerättävän materiaalin määrässä, ja kanavassa kulkevan materiaalin määrä ja laatu vaikuttavat tavoiteltuun kuljetusnopeuteen (Meynard 2018; SFS-EN 12779:2015). Sahalinjan imukanavissa huomattiin esiintyvän merkittäviä piikkejä hetkellisessä materiaalmäärässä esimerkiksi siivouksen yhteydessä, ja imusuulakkeiden kautta järjestelmään huomattiin kulkeutuvan pölyn ja purun lisäksi lastuja. Näistä syistä todettiin, että pölynpoistojärjestelmässä on hyvä tavoitella vähintään 21 m/s kuljetusnopeutta (ACGIH 1998; SFS-EN 12779:2015).

#### 4.2.1 Imulinja 1

Imulinjan 1 rakenne selvitettiin katselmuksilla. Imulinjassa on kolme erottelusyklonia, yksi puhallin sekä putkisto jokaiselta sahakoneelta puhaltimeen ja sen kautta sykloneihin. Jokaisessa sahalinjan koneessa on neljä suulaketta, kaksi alalahan puolella ja kaksi yläkerrassa sahalinjan puolella, pois lukien jakosaha, jossa alahalla on vain yksi imusuulake. Lisäksi alalahan märkähakkurissa on yksi poistosuulake. Imusuulakkeet ovat kooltaan noin 30x20cm, ja ne on liitetty putkiston päälinjaan 200 mm pikaliitettävillä purunpoistoputkillä. Yhteensä putkistossa on siis 16 haaraa, ja ne yhdistyvät lopulta päälinjaan, jonka halkaisija on 800 mm. Sahalinjalla suulakkeet on koneissa sijoitettu hieman sen linjan alapuolelle, jossa pelkka kulkee ja sitä työstetään. Alahalla suulakkeet ovat koteloinnin yläosassa. Poistoilmamäärä on puhaltimen tyyppikilven mukaan noin 42 000 m<sup>3</sup>/h.

Alkuperäisestä poistoilmamäärästä ei ole tietoa, mutta tyyppikilvestä päätellen poistoilman määrä on mitoitettu noin 10 000 m<sup>3</sup>/h konetta kohden. Imusuulakkeet on koneissa sijoitettu pääsääntöisesti sahattavan pelkan tason alapuolelle, mahdollisesti siksi, että ilmavirta koneen sisällä suuntautuisi alaspäin ja ohjaisi näin myös pölyä ja purua kohti alahalla. Kaikki puru ei kuitenkaan pääse tippumaan alahalle, vaan kertyy sahakoneiden sisällä oleville

tasoille sekä sahatavaran pintoihin kiinni. Sahalinjan katselmuksissa huomattiin, että koneiden sisäosia puhdistetaan paineilmalla teränvaihdon ja muiden huoltojen yhteydessä, mutta pelkan päälle kertynyt puru kulkeutuu välittömästi laitoksen muihin osiin. Visuaalinen tarkastelu sahalinjalla osoitti, että purua voi olla kasoina suuriakin määriä pelkan päällä. Tuorelajittelun lokeroilla tehty silmämääräinen tarkastelu osoitti, että kostean sahatavaran muillekin pinnoille jää kiinni irtonaisia partikkeleita, jotka mahdollisesti irtoavat myöhemmissä käsittelyvaiheissa, tai nousevat kuivuttuaan ilmavirtojen mukana ilmaan.

Imulinjassa 1 tehtyjen mittauksien mukaan sen toiminta on riittävän tehokasta täyttämään laitteelle asetetut suositukset niin ilmamäärän kuin kuljetusnopeuden osalta (Taulukko 5). Mittaukset suoritettiin aluksi päälinjasta, mutta mittauskohdan nopeusjakaumaan liittyvien epävarmuuksien vuoksi mittaus suoritettiin uudelleen kahdesta pienemmästä päähaarasta. Mittaukset suoritettiin lopulta mahdollisimman suorista osuuksista Sirénin (1995) suosittelemien ohjeiden mukaisesti. Kukin mittauskerta kesti vähintään 20 sekuntia, ja anturia liikutettiin kanavan poikkipinta-alassa kanavan seinämästä keskiosaan ja läpi vastakkaiselle seinämälle ja takaisin. Näin menetellen mittauspisteitä tuli koko kanavan halkaisijan mitalta vähintään 40 kpl.

Ilmamäärät eivät jakautuneet päähaarojen kesken tasan, mikä oli merkki tasapainotuksen puutteesta, mutta mittausten yhteistulos vahvisti ensimmäisen mittauksen kokonaisilmamäärän, joka oli noin 50 000 m<sup>3</sup>/h. Taaemmasta päähaarasta, joka johtaa jakosahalta ja pelkkasaha 2:lta puhaltimelle, mitattiin jopa 40 m/s kanavanopeuksia. Sahan kunnossapitoasentajien mukaan kanavasta on joitain vuosia sitten poistettu supistusrenkaita, joiden tarkoitus on todennäköisesti ollut järjestelmän tasapainottaminen. Sekä ilman määrä- että nopeus on molemmissa päähaaroissa ja niille johtavien sahakoneiden imuhaaroissa ja suulakkeissa riittävä sekä kaappaamaan että kuljettamaan pölyä ja purua (ACGIH 1998; SFS-EN 12779:2015), joten imulinjalle ei nähty tarpeelliseksi tehdä muutoksia.

Mittauskohde	PVM	Kanavan halkaisija m	Mitattu ilmamäärä (m <sup>3</sup> /h)	Tyypillinen ilmamäärä (Työterveyslaitos) m <sup>3</sup> /h	Mitattu ilman nopeus (m/s)	Min. ilman nopeus (SFS EN 12779:2015) (m/s)
Mittaus 1	30.touko	0,8	53020,0		29,3	
Mittaus 2	30.touko	0,8	46867,5		25,9	
Mittaus 3	30.touko	0,8	55553,4		30,7	
Keskiarvo: Imulinja 1			<b>51813,7</b>	<b>16000-24000</b>	<b>28,6</b>	<b>21,0</b>
Mittaus 1	13.kesä	0,5	22831,5		32,3	
Mittaus 2	13.kesä	0,5	22124,7		31,3	
Mittaus 3	13.kesä	0,5	21559,2		30,5	
Keskiarvo: Imulinja 1, PS1+PH			<b>22171,8</b>	<b>8000-12000</b>	<b>31,4</b>	<b>21,0</b>
Mittaus 1	13.kesä	0,5	29122,6		41,2	
Mittaus 2	13.kesä	0,5	28627,8		40,5	
Mittaus 3	13.kesä	0,5	26860,6		38	
Keskiarvo: Imulinja 1, PS2+JS			<b>28203,6</b>	<b>8000-12000</b>	<b>39,9</b>	<b>21,0</b>

Taulukko 5. Imulinja 1, ilmamäärä ja kuljetusnopeus

Mittaukset suoritettiin myös jakosahan haaroista. Yläsahan puolella sijaitseville imusuulakkeille johtavissa 200 mm kanavissa mitattiin paikalliset kanavanopeudet 33,7 m/s sekä 35,5 m/s, joka merkitsee keskimäärin 3900 m<sup>3</sup>/h poistoilmamäärää per imusuulake. Jakosahalta poistuu siis arviolta noin 12 000 m<sup>3</sup>/h yli 30 m/s kaappausnopeudella, joka on enemmän kuin riittävä täyttämään pölynpoistolle asetetut suositukset.

Pelkkasahoissa huomattiin, että imulinjan toimintaa häiritsee imusuulakkeiden tukkeutuminen, kun pitkät lastut jäävät suulakkeen ritilään kiinni. Ongelma pyrittiin ratkaisemaan nostamalla imusuulake pelkan tason yläpuolelle, jolloin raskaammat suuret lastut eivät imeytyisi ritilään kiinni. Sahalinjan henkilöstön havaintojen mukaan ratkaisu toi toivotun tuloksen.

Imulinjan kanavat olivat hyvässä kunnossa, sillä ne on tarkastettu vuonna 2023, jolloin myös tukkeutuneet kanavan osat vaihdettiin uusiin. Imulinjan puhaltimeen suoritettiin tarkastus, ja sen juoksupyörässä ja muissa osissa ei havaittu näkyviä vaurioita. Imulinjan kolme syklonia tarkistettiin tukosten ja kertymien varalta. Syklonien sulkusyöttimet ovat laitteita, jotka purkavat syklonissa olevan materiaalin siirtolinjalle paineettomasti. Sulkusyöttimien kumisiivet on vaihdettu vuonna 2023. Sulkusyöttimien todettiin olevan syklonin kokoon nähden epätavallisen pieniä. (Hemminki 2024.) Tämä saattaa aiheuttaa tukkeutumista, mikäli materiaalin syötössä esiintyy suuria piikkejä (Meynard 2018, 4).

Kokonaisuutena imulinjan 1 todettiin olevan jakosahan kannalta riittävä pölynpoistojärjestelmä, eikä sen muutoksilla tai tehostamisella saavutettaisi merkittäviä parannuksia jakosahalla esitettyyn ongelmaan. Laitteiston ylläpito on kuitenkin tärkeää, sillä sen

tukkeutuminen voisi aiheuttaa ilmanlaadun heikkenemistä sahalinjalla lisääntyneen pölymäärän takia.

#### 4.2.2 Siirtolinja

Siirtolinja on pölynpoistojärjestelmän viimeinen osa. Sen tehtävä on kuljettaa kaikilta sykloneilta sulkusyöttimien kautta purkautuva puru ja pöly pienemmälle syklonille, josta puru ja pöly taas tippuu puruhihnalle. Puruhihnaa pitkin pöly ja puru kulkeutuu energialaitokselle. Siirtolinjan tukkeutuminen pysäyttää myös imulinjat 1 ja 2, joten sen toiminta vaikuttaa myös jakosahan pölyn- ja purunpoiston toimintaan.

Siirtolinja koostuu puhaltimesta, syklonista ja suljetusta kanavajärjestelmästä. Puhaltimen tyyppikilven mukainen ilman siirtomäärä on 3400 m<sup>3</sup>/h. Puhaltimeen johtaa syklonien alta purua keräävä 200 mm syöttökanava, joka jatkuu puhaltimelta syklonille. Syklonin purkuilma ohjataan 250 mm paluukanavaan, joka kiertää takaisin syklonien alkupäähän supistuen 200 mm syöttökanavaksi. 200 mm kanavassa on siis jatkuva materiaalsiirto, kun taas 250 mm kanavassa on normaalitilanteessa vain syklonin erottelemaa puhdasta ilmaa.

Sahalla käytyjen keskustelujen perusteella siirtolinjassa on esiintynyt tukoksia erityisesti talvikuukausina. Kanavat tutkittiin vuotojen ja tukkeutumien varalta, ja löydettiin useita vuoto-kohtia, jotka johtuivat kanavan seinämän puhki kulumisesta ja epätiiviyistä liitoskohdista. Myös syklonien sulkusyöttimien alla olevista kaukaloista löydettiin vuotoja ja murtumia. Puhaltimeen suoritettiin myös tarkastus, ja sen juoksupyörän todettiin olevan pahasti vaurioitunut (Kuva 7).



Kuva 7. Siirtolinjan puhaltimen vaurioitunut juoksupyörä

Puhaltimen valmistajayritys ei ole enää toiminnassa, joten varaosan etsiminen vaati hieman selvitystyötä. Lopulta puhaltimelle löydettiin uusi sopiva juoksupyörä ja se vaihdettiin syyskuussa sahan kunnossapito henkilöstön toimesta. Jo aiemmin oli tilattu urakoitsija vaihtamaan vuotavat kanavan osat, sekä valmistamaan rikkinäisten sulkusyöttimien kaukaloiden tilalle uudet.

Toimenpiteiden jälkeen siirtolinjasta otettiin ilmanvirtamittaukset. 200 mm syöttökanavasta mitattiin paikallinen kanavanopeus 24,8 m/s, sekä 250 mm paluukanavasta 17,7 m/s. SFS-EN 12779:2015 määrittelee purun siirtoon tarkoitetussa kanavassa minimisiirtonopeudeksi 22 m/s, ja 25 m/s kun kanavassa kulkee myös puulastuja. Siirtolinjan purkuaukosta tehdyissä tutkimuksissa todettiin purun olevan kooltaan valtaosin alle 3 mm. Mitattu siirtonopeus 24,8 m/s on siis normaalioloissa riittävä nopeus, mutta toisinaan läpi kulkevien lastujen määrän kasvaessa hetkellisesti suureksi kanava ja puhallin saattavat olla alttiita tukkeutumaan. Asiaa voi pahentaa talviset olosuhteet, jos kostea puru ja lastut eivät pysy ilmavirran kannatuksessa ja pääsevät jäätymään kanavien tai syklonin seinämiin kiinni. Lisäksi paluukanavan 17,7 m/s kanavanopeus saattaa aiheuttaa tukoksia tilanteissa, joissa siirtolinjan sykloni ei kykene erottelemaan kaikkea sykloniin tullutta materiaalia.

### 4.3 Purunpoiston tehostaminen

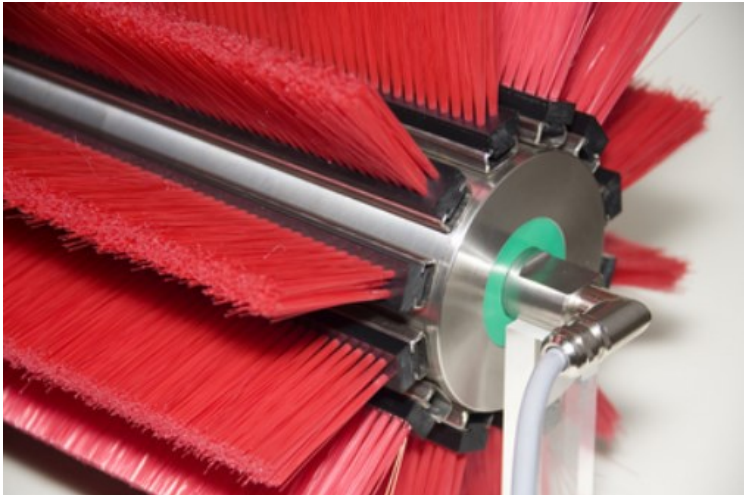
Sahalinjalla tapahtuvan purunpoiston tehostamiseen liittyvää kirjallisuutta ei ole paljontaan tarjolla. Purun imulaitteistojen tutkimisen lisäksi kartoitettiin, miten purun tippumista alasahalle voitaisiin tehostaa. Ideoita etsittiin netistä ja ajatuksia kerättiin sahalla käytyjen keskustelujen avulla. Purunpoistoprojektiin liittyen järjestettiin myös kehityspalaveri 4.6.2024, jossa läsnä olivat sahalinjan työryhmien tiimivetäjät, kunnossapidon tiimivetäjät, sekä kunnossapidon ja tuotannon toimihenkilöstöä.

#### 4.3.1 Imurit

Käsityökaluissa ja pienemmissä koneissa purusuihku suunnataan tyypillisesti suoraan imu-sulakkeeseen, ja kaikki syntyvä puru ohjataan imukanavia pitkin pois työpisteeltä (Työturvallisuuskeskus 2020, 20). Seikun sahalinjalla puru pyritään poistamaan tiputtamalla se alasahalle ja kuljettamalla se kola- tai hihnakuljettimilla eteenpäin. Menetelmä poistaa tehokkaasti valtaosan syntyneestä purusta, ja lopun purumäärän poistossa voidaan käyttää mm puruimuria. Vaikka puruimurin tarkoituksena ei olisi kaapata kaikkea työstössä syntyvää purua, sopivan tehoisella imurilla ja oikein sijoitetuilla sulakkeilla on mahdollista vähentää koneesta pois kulkeutuvan purun määrää (Työturvallisuuskeskus 2020, 20).

### 4.3.2 Harjalaitteet

Joissakin sahakoneissa on käytössä pyöriviä harjoja, joiden tarkoitus on harjata puun pinnalta irtomainen purumateriaali alas. Vastaavia käytetään yleisesti mm. kuljetinhihnojen harjaukseen (Euro-Kumi), ja käytössä on joko rumpumoottorillisia hihnaharjoja (Kuva 8) tai kulmavaihteella ja sähkömoottorilla toimivia hihnaharjoja (Kuva 9).



Kuva 8. Rumpumoottorillinen hihnaharja (Procon)



© eurokumi.com

Kuva 9. Hihnaharja kulmavaihteella ja sähkömoottorilla (Euro-Kumi)

Kehityspalaverissa nostettiin esiin, että harjalaitteiden valinnassa ja suunnittelussa huomioitavia asioita ovat ainakin harjaksen materiaali ja vahvuus, harjasten vaihdettavuus, harjan pyörimisnopeus sekä harjan aseointi suhteessa harjattavaan materiaaliin. Sahalinjalla kulkevan pelkan koko ja syöttönopeus vaihtelee, joka asettaa haasteita harjalaitteen suunnittelulle. Harjan tulisi kyetä liikkumaan ylös ja alas pelkan koon muuttuessa, jotta harjaspaine pysyy suhteellisen tasaisena, eikä pelkka pääse törmäämään laitteen runkoon.

Sahakoneita valmistavan yrityksen suunnittelijan mukaan pyörivien harjalaitteiden käyttö ei nykyään ole enää yleistä, sillä sahalinjoiden linjanopeudet ovat kasvaneet suuriksi ja harjakoneiden harjasmateriaalit joudutaan vaihtamaan liian usein.

Tutkimuksen aikana vierailtiin myös muissa UPM:n sahalaitoksissa, joissa on tai on aikaisemmin ollut käytössä harjalaitteita. Ensimmäisessä laitoksessa oli käytössä harjakone, joka on toiminut jo vuosikymmeniä (kuva 10). Sen pyörimisnopeus oli noin 200 rpm ja se oli asennettu telineeseen, jonka korkeusasema muuttuu sahakoneen ulosvetorullien tahdissa. Laitoksen sahalinja on rakennettu 1980-luvulla, jolloin vastaavien laitteiden käyttö on ollut yleisempää. Harjaa huolletaan arviolta kerran vuodessa, eikä se aiheuta häiriötä tuotantoon. Toisaalta sen harjaustuloksesta ei ollut selkeää näyttöä erityisesti talviseen aikaan, jolloin puru on tiukemmin kiinni puussa.



Kuva 10. Harjalaitte UPM:n sahalaitoksessa

Toisessa sahalaitoksessa oli ollut käytössä harjalaite erillisellä muuttuva-asetteisella telineellä. Pian käyttöönoton jälkeen laite aiheutti pysäytyksiä ja häiriöitä tuotantoon, eikä harjauksen hyödyllisyydestä saatu selvää näyttöä.

Harjalaitetta harkittiin myös kohdesahan jakosahan purunpoiston tehostamiseen. Rajoittavia tekijöitä olivat kuitenkin harjalaitteen koko ja muuttuva-asetteisen telineen käytännön toteutuksen vaikeus. Jakosahan sisälle sijoitettuna laitteen ilmaan nostama pöly olisi ohjautunut imusuulakkeisiin ja puru olisi tippunut alashalle, ja muuttuva-asetteisuus olisi voitu toteuttaa ulosvetotelojen avulla (kuva 11).



Kuva 11. Jakosahan ulosvetotelat (vasemmalla) ja sydäntavarakuljetin

Tilan puutteen vuoksi laite olisi täytynyt sijoittaa sydäntavarakuljettimen päälle, jakosahan ulkopuolelle, jonne olisi pitänyt toteuttaa oma muuttuva-asetteinen teline, kotelointi kohdepoistoineen ja reitti harjatun purun tippumiselle. Harjalaitteen käyttö saattaa hyvin suunniteltuna olla toimiva ratkaisu, mikäli onnistutaan valitsemaan kulutusta kestävä ja helposti vaihdettava harjasmateriaali, ja laitteen muuttuva-asetteisuuteen liittyvä automatiikka ja mekaniikka saadaan toimimaan tavalla, joka ei aiheuta vaaraa tuotannolle.

### 4.3.3 Ilmaveitset ja puhaltimet

Kohdesahan sahakoneissa on käytössä puhaltimia, jotka puhaltavat sahatun pelkan pintaa ulosvetotelojen jälkeisessä tilassa (kuva 12). Puhaltimien havaittiin toimivan kohtalaisen hyvin irtonaisen purun irrottamisessa, mutta tutkimuksen aikana ei pystytty tutkimaan niiden tehoa jäätyneen purun irrottamisessa.



Kuva 12. Pelkan puhdistus puhaltimella

Suurempaa painetta tuottava puhallin kykenee puhaltamaan suuremman määrän ilmaa pienemmän suuttimen läpi. Jatkuvuusyhtälö määrittelee, että virtauksessa ainetta ei voi syntyä eikä hävitä. Putkivirtauksessa tämä tarkoittaa sitä, että putkeen sisään mennyt massavirta tulee täsmälleen samansuuruisena ulos, kunhan putkessa ei ole vuotoja. Tästä syystä virtauksen nopeus kasvaa, kun putken poikkipinta-ala pienenee, ja vastaavasti ilmavirran nopeus hidastuu, kun putken poikkipinta-ala kasvaa. Suuttimen koon pienentyessä ilmavirran nopeus siis kasvaa, mikäli puhallin kykenee tuottamaan riittävästi painetta saman tilavuusvirran ylläpitämiseksi. (Sirén, 1995, 215.) Kohdesahalla käytössä olevat puhaltimet tuottavat tyyppikilven mukaan maksimissaan 2900 m<sup>3</sup>/h tilavuusvirran.

Ilmaveitsiä valmistavan yrityksen mukaan puhdistamiseen voidaan käyttää myös huomattavasti pienempää ilman tilavuusvirtaa, kun käytetään paljon suuremman ilman nopeuden aikaan saavia ilmaveitsiä (Silvent). Ilmaveitsillä tarkoitetaan suuttimia, joilla saadaan aikaiseksi pneumaattinen kaapimisvaikutus ilman mekaanista kosketusta. Ilmaveitsiä käytetään yleisesti liian puhaltamiseen pois pinnoilta. Ilmaveitsien erilaisia suuttimia on saatavissa moniin eri käyttökohteisiin. Mallin valintaan vaikuttaa mm. puhalluksen tarkoitus, ilma-veitsen ja kohdepinnan välinen etäisyys, puhalluksen tarvittava leveys, käytettävissä oleva ilmanpaine sekä paineilman runkoverkoston putken sisähalkaisija. (Silvent.)

Seikun sahalla on aiemmin kokeiltu purunpoiston tehostamista ilmaveitsillä. Ilmaveitset asennettiin pelkkasahan sisälle, ja niiden tarvitsema ilma otettiin paineilmajärjestelmästä. Paineilmajärjestelmän tai ilmaveitsille johtavan putkituksen alimitoituksen vuoksi riittävää vaikutusta ei saatu aikaiseksi, ja ilman tuottoon kokeiltiin sahakoneen päälle asennettua sivukanavapuhallinta. Tämäkään ratkaisu ei tuottanut toivottua tulosta. Tutkimusta suorittaessa ilmaveitsien havaittiin olevan yhä asennettuna, mutta vain osittain toimintakuntoisia.

Ilmaveitsiä ja puhaltimia harkittiin jakosahan purunpoiston tehostamiseen. Ilmaveitsistä päätettiin luopua, sillä sahalinjan paineilmajärjestelmään ei ole edellisen kokeilun jälkeen tehty muutoksia, jotka antaisivat syyn odottaa parempaa puhdistustulosta jakosahassa. Olemassa olevia puhaltimia kuitenkin päätettiin hyödyntää.

#### 4.3.4 Muut menetelmät

Purunpoistoprojektin alkupalaverissa nostettiin esille idea myös paineveden käytöstä purun irrottamisessa. Menetelmää harkittiin, koska vettä käytetään koneissa muutenkin, mutta sitä ei kokeiltu paineveteen liittyvien epävarmuuksien takia. Seikun sahalinjan jakosahan terien jäähdyttämiseen käytetään vesivoitelujärjestelmää.

Palaverissa todettiin, että kuljetinhihnojen puhdistuksessa käytettävät kaavarit voisivat myös periaatteessa soveltua purun kaapimiseen puun pinnalta. Harjalaitteiden tapaan arvioitiin, että suunnittelussa tulisi huomioida materiaalin kulutuskestävyys, sopivan paineen säilyttäminen sekä korkeusaseman muuttuminen linjalla kulkevan pelkan korkeuden mukaan. Sahakoneita valmistavan yrityksen mukaan kaavaimia käytetään toisinaan vetotelojen puhdistuksessa.

#### 4.4 Tutkimusolosuhteiden hallinta

Tulosten vertailun mielekkyyden vuoksi oli välttämätöntä pitää olosuhteet mittaustilanteissa jakosahaan tehtyjä muutoksia lukuun ottamatta mahdollisimman muuttumattomana. Oleellista oli, että kaikki mittaukset ja vertailut tehtäisiin silloin, kun ajettavana oli teoreettisesti saman verran purua tuottava asete. Toisaalta muodostuvan purun laatuun vaikuttavia seikkoja on useita, eikä niitä ole aina mahdollista täysin hallita. Jakosahassa muodostuva lastunpaksuus on riippuvainen puun syöttönopeudesta, terän pyörimisnopeudesta, hammasmäärästä ja terän kunnosta. Toisaalta myös puun kosteudella, vuodenajalla, pölynpoistolaitteiston toiminnalla sekä sahakoneen sisäseiniin ja vetoteloihin kertyneen purun määrällä saattaa olla vaikutusta siihen, miten puru käyttäytyy ja kulkeutuu ulos koneesta.

Testejä varten päätettiin valita paljon purua tuottava asete, jotta vaikutusten arviointi olisi huomattavampaa. Jakosahassa normaalitilanteessa muodostuvan purun määrään vaikuttaa vain sahausraon tilavuus ja niiden lukumäärä. Sahausraon tilavuus metriä kohti voidaan laskea yksinkertaisesti terän paksuuden, sahattavan kappaleen korkeuden sekä sahausraojen lukumäärän tulona. Testiajankohtina käytössä oli ainoastaan 3,0 mm terärunko, jolloin teräpalkan paksuus on 4,5 mm. Käytännössä sahausraon leveyteen vaikuttaa kuitenkin myös terän huojunta, joka huomioidaan sahalla lisäämällä terän paksuuteen 0,5 mm. Näin sahausraoksi laskutoimituksissa käytettiin arvoa 5,0 mm.

Toisaalta kokeen sujuvoittamiseksi on tärkeää, että valittu asete on melko usein käytössä, ja että se ei olisi erityisen herkkä aiheuttamaan tuotantohäiriöitä, mikä saattaisi heikentää mittaustulosten luotettavuutta. Sahausraon tilavuus olisi jakosahan kapasiteetin kannalta suurin asetteella, jossa pelkan korkeus on 225 mm ja sydäntavarakappaleita sahataan viisi kappaletta eli 5 ex log, jolloin sahausrajoja syntyy neljä. Tällöin sahausrajoja metriä kohden olisi  $225 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \times 4 = 0,0045 \text{ m}^3 = 4,5 \text{ l}$ . 5 ex log asetteita ajetaan kuitenkin vain hyvin harvoin, ja 225 mm sahatavaraa hieman harvemmin kuin 200 mm sahatavaraa. Tämän vuoksi referenssiasetteeksi valittiinkin mikä tahansa 200 mm korkea 4 ex log – sydäntavara-asete, jolloin sahausrajoja metriä kohden syntyy yhteensä  $200 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \times 3 = 0,003 \text{ m}^3 = 3 \text{ l}$ .

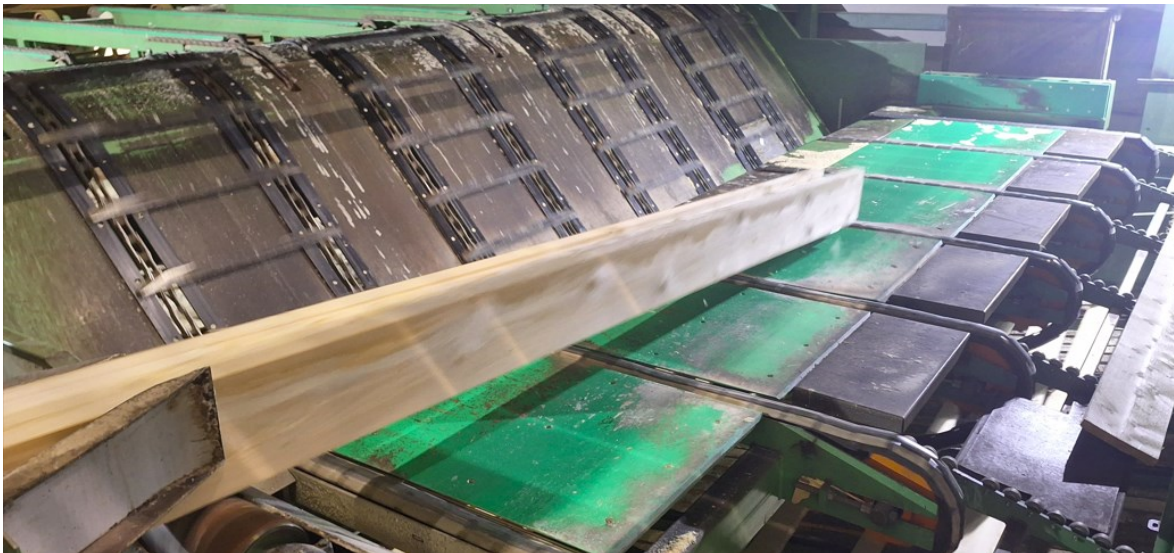
Puun syöttönopeus, terän kierrosluku, hammasmuoto- ja määrä sekä terän kunto vaikuttavat työstössä syntyvän lastun paksuuteen ja laatuun. Terän hammasmuoto ja hampaiden lukumäärä ei testin aikana muuttunut, eikä jakosahan kierroslukua kohdesahalla muuteta syöttönopeuden muuttuessa. Syöttönopeus otettiin testauksessa huomioon siten, että sydäntavara-asetteen lisäksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman samankokoinen tukki- luokka, josta asete sahattiin, jotta syöttönopeus ei muuttuisi paljon eri mittausten välissä. Kuudesta testimittauskerrasta neljässä sahalinjan ajonopeus oli 60 m/min, ja kahdessa 50

m/min, jolloin jakosahassa syöttönopeus oli vastaavasti 66 m/min ja 55 m/min, sillä jakosahassa syöttönopeus kasvaa 10 % suhteessa sahalinjan nopeuteen tuotannon tasaimiseksi. Lisäksi terän kunto huomioitiin tekemällä testit pian terän vaihtamisen jälkeen, jolloin terä ei vielä ole ehtinyt kulua. Samalla tämä antoi mahdollisuuden puhdistaa koneen terätila ja ulosvetotelat paineilmalla, jotta aiemmin koneen osiin tarttuneella purulla ei olisi vaikutusta tuloksiin.

Vuodenajan ja puun kosteuden vaikutusta tuloksiin ei pystytty täysin huomioimaan tässä tutkimuksessa. Ennen muutoksia tehdyt mittaukset tehtiin toukokuussa ja kesäkuun alussa, jolloin olosuhteet eivät olleet merkittävästi erilaiset verrattuna syyskuun olosuhteisiin. Talvi-kuukausina puun ollessa jäässä puru saattaa kuitenkin käyttäytyä hyvin eri tavalla. Sahalla henkilöstön kanssa käytyjen keskustelujen perusteella jäisen puun aikana puruongelma korostuu, kun puru tarttuu sahatavaran pintaan tiukasti, ja pysyy kiinnittyneenä koko tuotantoprosessin läpi. Usein puru irtaana puusta kuivaamossa lämpötilan noustessa, mutta ei pääse tippumaan ulos kuivattavana olevista kuormista kuin vasta tasaamalla, jossa kuormat puretaan ja lajitellaan omiin laatuluokkiinsa. Tutkimus sijoittui loppukevääseen ja alkusyksyyn, jolloin tätä jäätyneen purun käyttäytymistä ei ollut mahdollista tutkia.

#### 4.5 Mittausmenetelmä 1: visuaalinen tarkastelu

Jakosahan jälkeen sahatavara kuljetetaan sydäntavarakuljettimella tuorelajittelulaitokseen. Sydäntavarakuljetin on noin 20 metriä pitkä hihnakuljetin, joka kulkee jakosahalta tuorelajittelulaitokseen seinässä olevan aukon läpi. Tuorelajittelulaitoksessa sahatavara tippuu matolta sivusiirtopöydälle, josta se jatkaa matkaansa sivuttain kohti lajittelulokeroita. Dimensiolajittelun puolella on monia kohtia, joissa purua ja pölyä leijailee eri käsittelyvaiheista alemmille tasoille ja myös sahatavaran päälle, mutta tutkimuksen kannalta oleellisimmat kohteet olivat välittömästi sydäntavarakuljetinta seuraavat vaiheet, sillä niissä esiintyvä puru on lähtöisin lähes pelkästään jakosahasta. Sivusiirtopöytä on hyvä tarkkailukohde, sillä sen laaja tasainen pinta kerää nopeasti purua sille putoavasta sahatavarasta (Kuva 13).



Kuva 13. Sydäntavaran sivusiirtopöytä

Tässä kohdassa suoritettiin tasojen puhdistus paineilmalla sekä kohteen valokuvaus siivottuna. Valokuvien ottamista jatkettiin kahden minuutin välein kahdenkymmenen minuutin ajan. Jokaisella kuvauskerralla käytettiin edellä mainittuja periaatteita testiolosuhteiden hallinnasta, jotta pöydälle kertyvän purun määrä olisi mahdollisimman vertauskelpoinen ennen ja jälkeen muutoksia. Koe suoritettiin kolmella sahauserällä ennen muutoksia ja kolmella sahauserällä muutosten jälkeen. Näitä kuvia vertaamalla saa yleiskuvan siitä, onko muutoksilla ollut vaikutusta.

#### 4.6 Mittausmenetelmä 2: putoavan purumäärän mittaus

Jo ennen sivusiirtopöytää osa purusta tippuu sydäntavarakuljettimelle ja sen kääntöpyörän kohdalla alas tuorelajittelulaitoksen alempiin kerroksiin. Tässä kohdassa päätettiin mitata tietylle alueelle tippuvan purun määrä ennen ja jälkeen jakosahaan tehtäviä muutoksia. Kääntöpyörän alapuolella olevalle teräspalkille huomattiin kertyvän paljon purua, joten palkin päälle asetettiin keräysastia (Kuva 14).



Kuva 14. Putoavan purumäärän mittaus

Keräysastiana käytettiin tavallista 10 litran muoviämpäriä. Ämpäri sijoitettiin jokaisella mittauskerralla tarkasti samaan kohtaan. Keräysaika oli jokaisella mittauskerralla 30 minuuttia, ja mahdollisen sahalinjan häiriön sattuessa päätettiin aika pysäyttää, mikäli linja olisi pysähtyneenä. Häiriöitä mittausaikoina ei kuitenkaan tullut. Ämpäriin kertynyt puru punnittiin välittömästi mittauksen jälkeen alasahan hakenäytteiden punnitukseen tarkoitetulla digitaali-vaa'alla ja tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjaan.

## 5 Toimenpiteet

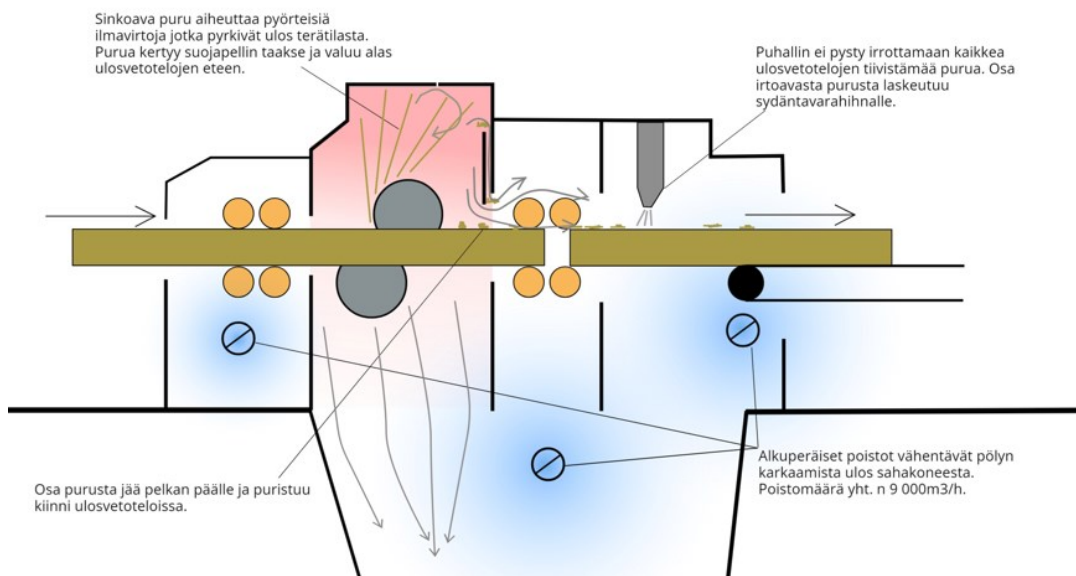
### 5.1 Purun liikkeen mallinnus jakosahassa

Purun liikettä jakosahan sisällä tarkkailtiin ulosvetotelojen huoltoluukusta sekä kuvaamalla teriä ja purusuihkua ajon aikana actionkameralla terätilassa. Kuvaukset toteutettiin teränvaihtotauon jälkeen siten, että kone puhdistettiin tauolla ja kamera ja kuvausvalo asetettiin koneen sisäseiniin magneettikiinnityksellä (Kuva 15). Kuvauksien tarkoitus oli selvittää, mihin terästä irtoava purusuihku suuntautuu, sekä löytyykö mahdollisia syitä sille, että purua siirtyy terätilasta ulosvetoteloihin ja pelkan päälle.



Kuva 15. Jakosahan kuvaus ennen muutoksia

Havainnekuvasssa (Kuva 16) näkyy jakosahan purun liike ennen muutoksia. Kuvassa näkyy pelkka, joka kulkee jakosahan läpi vasemmalta oikealle. Sahauksessa syntyvä puru sinkoaa suurella nopeudella viuhkamaisesti ylemmistä teristä kohti terätilan yläosaa, josta sillä ei ole ulospääsystä. Terätilan katossa on vuonna 2018 asennettu kohdepoisto purulle, mutta se on poissa käytöstä poistoilman käsittelyyn liittyvien ongelmien vuoksi.



Kuva 16. Jakosahan havainnekuva ennen muutoksia

Terätilan yläosaan syntyy voimakkaita ilmavirtauksia, jotka pyrkivät purkautumaan ympäröiviin tiloihin kuljettaen purua mukanaan. Valtaosa purusta tippuu alashalle, mutta terätilan seinässä olevan suojaPELLIN takaa ilmalla ja purulla on kulkuyhteys myös ulosvetotelojen suuntaan (Kuva 17). SuojaPELLIIN on kuvassa maalattu merkkäusvärillä raitoja.



Kuva 17. Purusuihku terätilan yläosassa

Suojapelti on kiinnitetty ulosvetoteloihin, ja se liikkuu pelkan korkeuden mukaan ylös ja alas. Sen taakse kertyy purua, joka valuu tasaisena virtana pelkan päälle ulosvetotelojen eteen. Purua tulee myös ulospuhalluksen kautta pelkan vierestä huomattava määrä ulosvetoteiloille, sekä kiinnittyy erityisesti pelkan yläpintaan (Kuva 18).



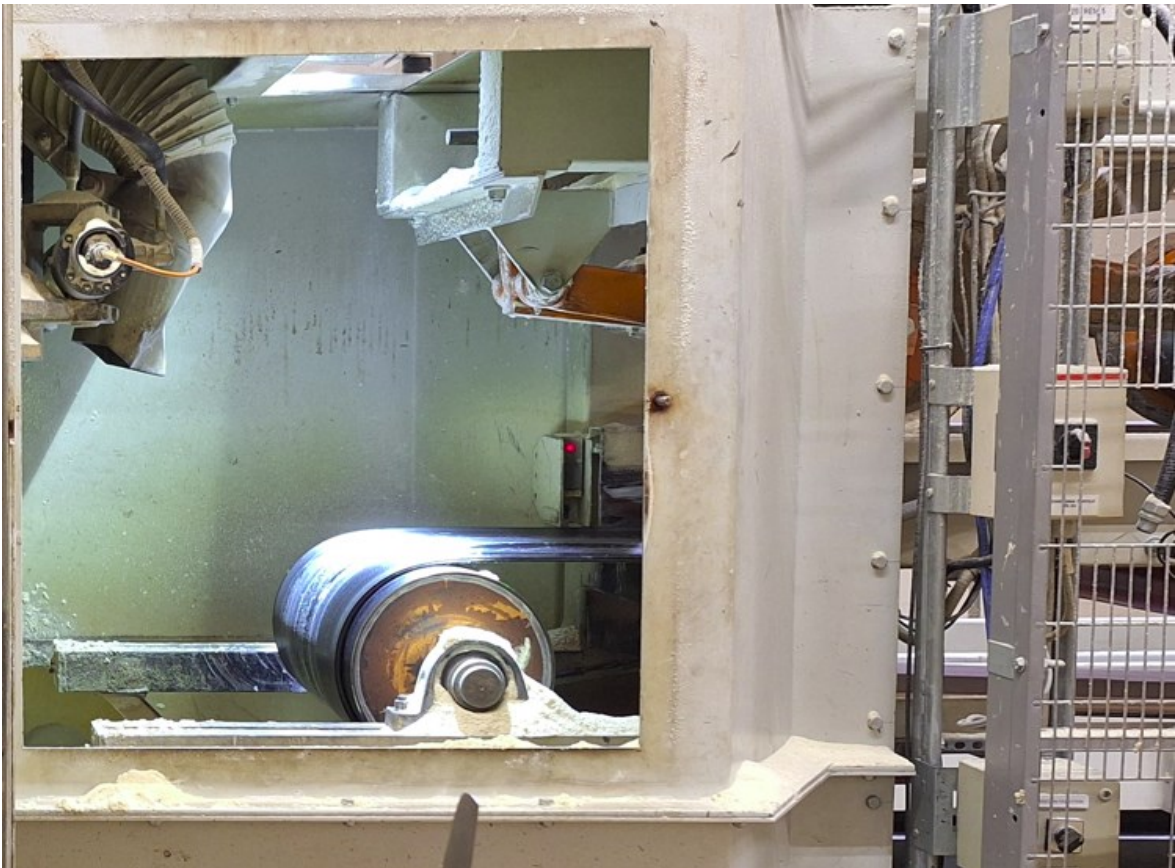
Kuva 18. Purun valuminen ulosvetotelojen eteen

Puru kiinnittyy ulosvetoteloihin ja painuu telan paineen vaikutuksesta puun pintaa vasten. Puru irttaa kokkareina ja kulkeutuu tyypillisesti tuorelajitteluun saakka. Ulosvetotelojen jälkeinen pelkan pintaa puhaltava suutin ei kykene irrottamaan kaikkia tiivistyneitä kokkareita (Kuva 19).



Kuva 19. Pelkan puhallin ennen muutoksia

Ongelmaan vaikuttaa myös sydäntavarakuljettimen sijoittelu jakosahan sisään, jolloin koneessa vapaana lejuva puru pääsee helposti laskeutumaan kuljettimen matolle ja sitä kautta tuorelajitteluun (Kuva 20). Yksi jakosahan sisällä olevista poistosulakkeista sijaitsi sydäntavarakuljettimen vieressä, joka arvioitiin vaikuttavan pölyn kerääntymiseen kuljettimen matolle.



Kuva 20. Sydäntavarakuljetin jakosahan sisällä

## 5.2 Jakosahan muutostyöt

Jakosahan päällä oli jo alkutilanteessa vuonna 2018 asennettu puruimuri. Imurin käyttö jäi vähäiseksi, sillä sen poistoilmavirrälle ei löydetty hyvää kohdetta. Alkuperäisessä suunnitelmassa poistoilma ohjattiin suoraan jakosahan alasaahan kotelointiin. Koteloon ei lisätty poistoilmavirtaa, joten alasahalle tippuvaa pölyistä ilmaa purkautui jakosahan sisältä niin yläsahalle kuin alasahalle. Putkistoon tehtiin myöhemmin muutos, jossa poistoilma ohjattiin samaan sykloniin kuin imulinjan 2 poistoilma. Syklonin kapasiteetti ei ollut riittävä käsittelemään molempien imulinjojen poistoilmaa, ja jakosahan imulinja otettiin pois käytöstä sulkeamalla yhteys sykloniin.

Puruimurin käyttöönoton mahdollistamiseksi imulinjalle tilattiin uusi sykloni suoraan puruhinnan päälle, siirtolinjan syklonin viereen. Suunnitelman toteuttaminen vaati noin 40 metriä uutta putkilinjaa sekä syklonin, maatalineen ja sovitteen tekemistä purukuljettimen päälle (Kuva 21).

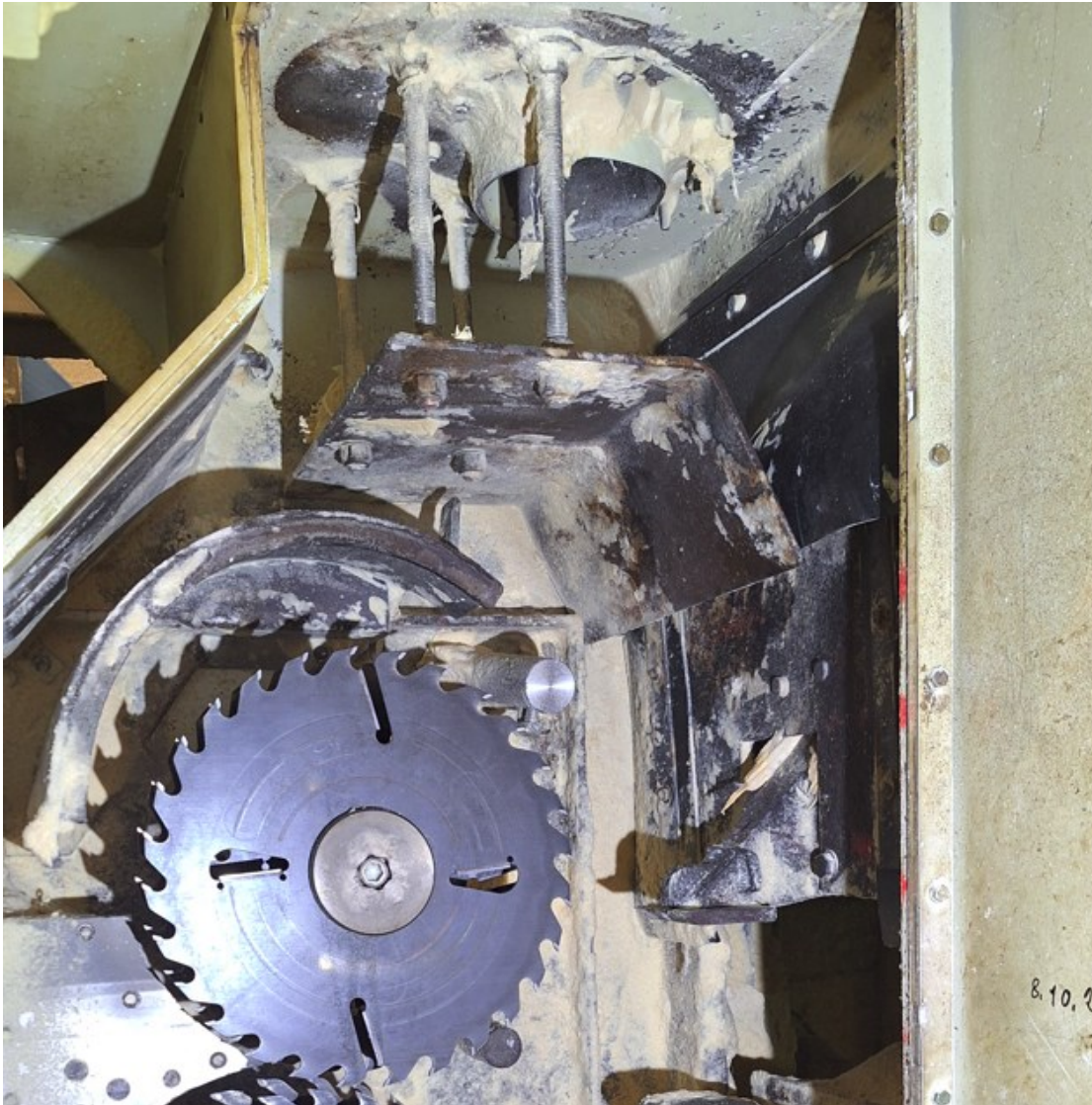


Kuva 21. Jakosahan imulinjan sykloni

Pian käyttöönoton jälkeen havaittiin, että uuden syklonin purkuilma höyrystyy voimakkaasti aikaisin aamulla, kun ilma on kylmää. Lämpökameralla mitattuna huomattiin koko kanavan ja syklonin olevan noin 37°C. Sahauksessa syntyy lämpöä, ja terien viilentämiseen käytetään vesivoitelua. Puruimuriin kulkeutuu hyvin kosteaa ja lämmintä ilmaa, joka höyrystyy jouduttuaan kosketuksiin kylmän ulkoilman kanssa. Riskinä on syklonin tai kanavan jäätyminen talvikuukausina erityisesti aamukäynnistyksessä, kun metalliset osat ulkona ovat jäätyneet, ja niihin ohjataan lämmintä, kosteaa ilmaa.

Purun liikkeen mallinnuksen perusteella jakosahan terätilaan tehtiin lisäyksiä ja muutoksia. Terän ja puruimurin suulakkeen väliin suunniteltiin purunohjauspelti hidastamaan ja ohjaamaan purun liikettä (Kuva 22). Pelti valmistettiin 8 mm hardox-teräksestä, jotta se kestää mahdollisesta terävauriosta aiheutuneet iskut, ja suojaa samalla puruimurin suulaketta.

Purunohjauspellin tarkoitus on myös estää purun lentämisen suoraan suoja-pellin takana olevaan rakoon.



Kuva 22. Purunohjauspelti, kumilistat ja puruimurin suulake

Suoja-pelti tiivistettiin kumilistoilla ylhäältä ja sivuilta, jotta sinne ei pääse kertymään purua, joka hiljalleen valuu ulosvetotelojen eteen. Kumilistat asennettiin niin, että ne sallivat suoja-pellin liikkeen ylös ja alas ulosvetotelojen mukana.

Ulosvetojen jälkeisessä tilassa sijaitsevan pelkanpuhaltimen suutin muotoiltiin uudelleen paremmin suunnatun ja nopeamman ilmavirran aikaansaamiseksi. Puhaltimeen tehtiin myös puhdistus ja sen syöttöletku uusittiin. Suuttimen kärkeä supistettiin ja pidennettiin, jotta ilman nopeus kasvaisi, ja jotta päästään lähemmäs pelkan pintaa (Kuva 23). Suutin suunnattiin puhaltamaan ulosvetotelojen suuntaan, jotta teloista irtoava puru ei pääsisi

laskeutumaan puun pinnalle. Lisäksi suuntaus auttaa ilmavirtojen liikettä kohti terätilaa, jossa puruimurin takia vallitsee nyt alipaine.



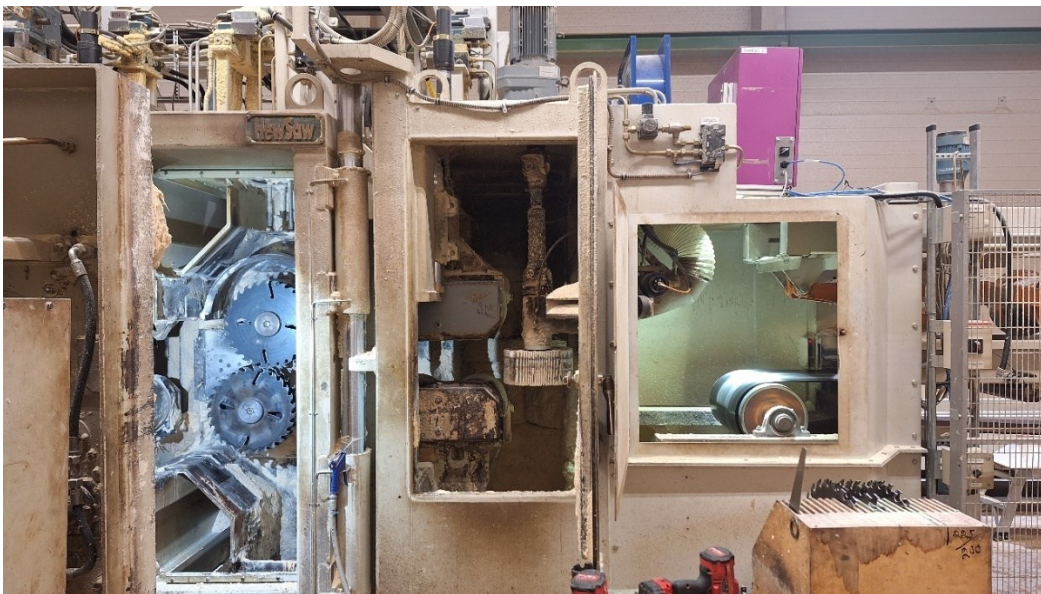
Kuva 23. Pelkanpuhaltimen suutin ja imusuulake

Lopuksi sydäntavarahihnan vieressä sijainnut imusuulake siirrettiin puhaltimen suuttimen läheisyyteen. Tarkoituksena oli, että puhaltimen ilmaan nostamalla pölyllä olisi mahdollisimman lyhyt matka imusuulakkeeseen, eikä se ehtisi leijailta sydäntavarakuljettimelle.

## 6 Tulokset

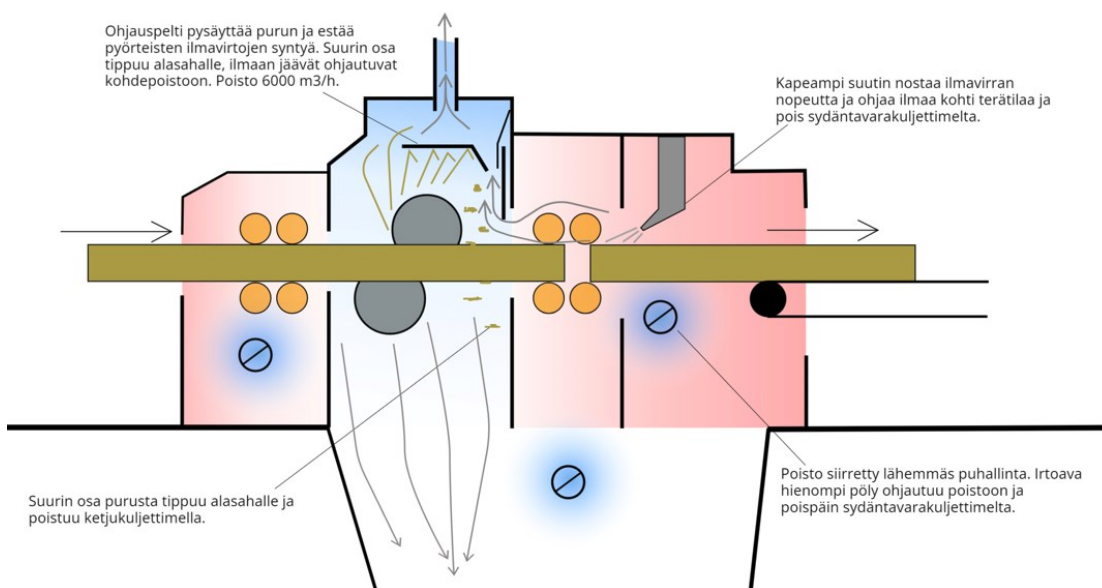
### 6.1 Jakosahan toiminta muutosten jälkeen

Jakosahaan tehdyt muutokset tuottivat paljon odotettuja tuloksia. Muutosten jälkeen suoritettiin kuvauksia ja testejä, joiden avulla purun liikettä pystyttiin arvioimaan (kuva 24).



Kuva 24. Jakosaha muutosten jälkeen. Vasemmalta: terätila, ulosvetotelat, sydäntavarakuljetin

Havainnekuvasssa (Kuva 25) on mallinnettu purun liikettä muutosten jälkeen.



Kuva 25. Jakosahan havainnekuva muutosten jälkeen

Terätilaan lisätty purunohjauspelti pysyttää purun liikkeen ylöspäin. Peltiin osuva puru suuntautuu eteen ja alaspäin, jolloin terän oma purusuihku kuljettaa sen suurella nopeudella terätilan takaseinään (Kuva 26). Seinään osuessaan puru jakautuu pelkan molemmin puolin ja ohjautuu joko imun mukana ylöspäin puruimuriin tai tippuu alashalle. Osa ylöspäin sinkoavasta purusta pääsee purupellin ohi takaosasta tai sivuilta, ja hidastuu osuessaan terätilan kattoon. Puruimurin aikaansaama kaappausnopeus on riittävä kuljettamaan sen pois koneesta. Poistuva ilmamäärä mitattiin 5400 m<sup>3</sup>/h ja maksimaalinen kaappausnopeus imu-suulakkeen suuaukolla 30,4 m/s.



Kuva 26. Terävä purusuihku terätilan etuseinään

Terätilaan aikaansaadulla alipaineella ja hidastetulla purumassalla saatiin muutettua ilmavirran kulkusuuntaa terätilan ja ulosvetotelojen välillä, jolloin purun ulospuhallusta ulosvetotelojen suuntaan ei enää juurikaan tapahdu. Purua ei myöskään enää kulkeudu suojapellin taakse (Kuva 27), sillä suojapellin ylä- ja sivuosat suljettiin kumilistoilla.



Kuva 27. Puhdas suojapellin takaosa

Terätilan seiniin ja rakenteisiin kertyy ajon aikana kuitenkin jonkin verran purua. Puru siivotaan teränvaihdon yhteydessä, jotta imurin ilmatiet pysyvät avoimena (Kuva 28). Suojapellin

tiivistämiseen tarkoitettu ylempi kumilista todettiin liian lyhyeksi tai joustavaksi. Se imeytyy ajon aikana puruimurin suulaketta kohti voimakkaan ilmavirran seurauksena. Jatkossa kumilista tullaan vaihtamaan paksumpaan materiaaliin.



Kuva 28. Terätilaan kertyvä puru

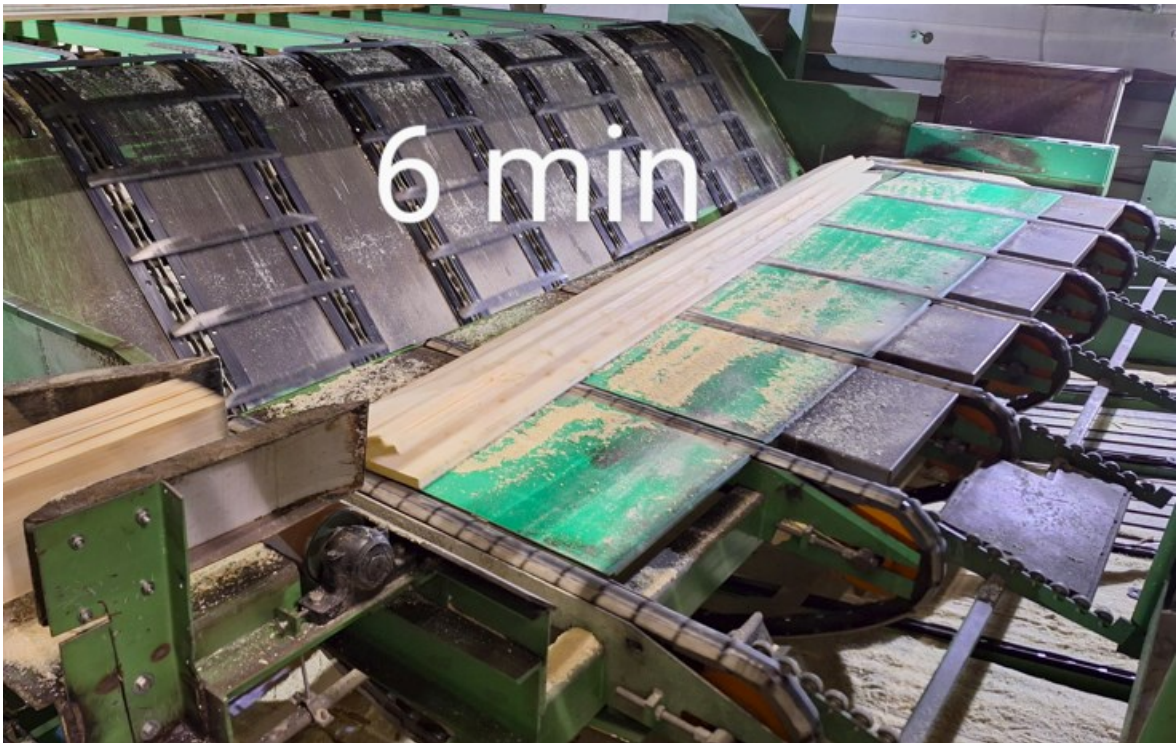
Ulosvetotelojen jälkeen sijaitsevan pelkanpuhaltimen suuttimesta tuleva ilmavirta irrottaa tehokkaammin pelkan pintaan painunutta purua sekä ohjaa ilmaa pelkkojen välissä kohti terätilaa (Kuva 29).



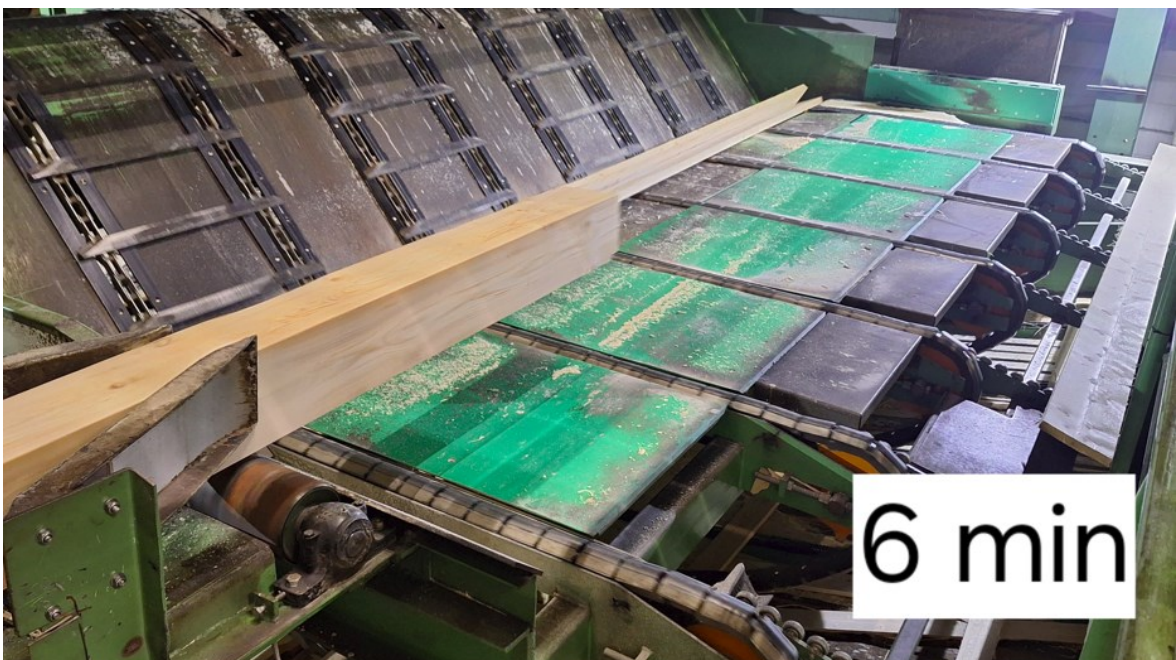
Kuva 29. Pelkanpuhallin puhaltaa kohti ulosvetoteloja

## 6.2 Visuaalinen tarkastelu sivusiirtopöydällä: tulokset

Tuorelajitteluun kulkeutuvan purun määrää mitattiin luvussa 4 kuvatulla tavalla ennen muutoksia ja muutosten jälkeen. Visuaalinen tarkastelu osoitti selviä muutoksia sivusiirtopöydälle kertyvän purun määrässä. Vertailuun otettiin kuvaukset 20.5 sekä 16.9 (kuvat 30, 31, 32 ja 33).



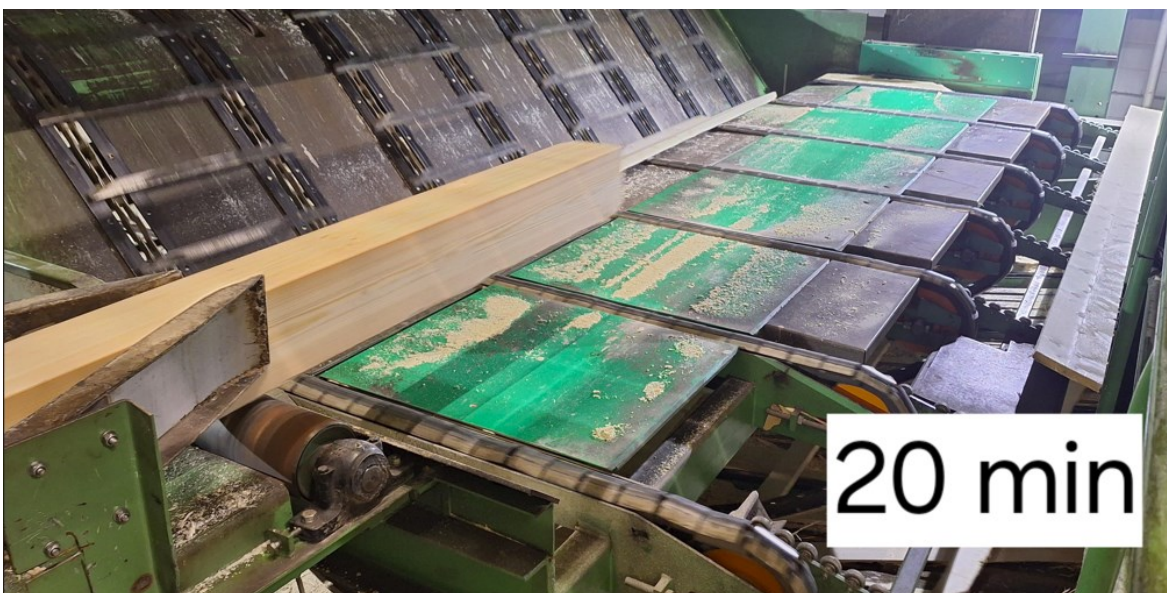
Kuva 30. Sivusiirtopöytä 6 min puhdistuksen jälkeen, 20.5.2024



Kuva 31. Sivusiirtopöytä 6 min puhdistuksen jälkeen, 16.9.2024



Kuva 32. Sivusiirtopöytä 20 min puhdistuksen jälkeen, 20.5.2024



Kuva 33. Sivusiirtopöytä 20 min puhdistuksen jälkeen, 16.9.2024

Sahatavaran päällä ei kulkeudu näkyviä purupaakkuja, joten pöydälle yhä kertyvä puru tulee todennäköisesti sahausrakoon kiinni jääneestä purusta. Kokonaisuutena määrä on kuitenkin vähentynyt. Vaikutus näkyy korostuneesti sydäntavarakuljettimen ja sivusiirtopöydän välissä sijaitsevalla pienellä tasolla (kuvat 34 ja 35).



Kuva 34. Välipöytä 20 minuuttia puhdistuksen jälkeen, 20.5.2024



Kuva 35. Välipöytä 20 minuuttia puhdistuksen jälkeen, 16.9.2024

### 6.3 Putoavan purumäärän mittaus: tulokset

Myös kerätyssä purumäärässä tapahtui huomattavia muutoksia. Ennen muutoksia tehdyissä mittauksissa ämpäriin kertyi 200 mm pelkalla ja 4 ex log-sydäntavara-asetteella keskimäärin 199 g purua puolessa tunnissa. Mittaukset tehtiin 13.5., 20.5. ja 10.6. Linjan ajonopeus oli mittauskerroilla 50–60 m/minuutti ja tukkiluokka 312 (30.5. ja 10.6.), ja 260 (20.5.). 10.6 mittauskerralla pelkanpuhallin oli käytössä vanhan mallisella suuttimella. Muutosten jälkeiset mittaukset suoritettiin 6.9., 16.9. ja 19.9. Linjan ajonopeus oli jälleen 50–60 m/min ja käytetty tukkiluokka 300, 290 ja 312. 6.9. mittauskerralla pelkanpuhallin oli pois käytöstä, ja 16.9. sekä 19.9. puhallin oli käytössä uuden suuttimen kanssa.

Puraa kertyi ämpäriin keskimäärin 44,3 g. Ämpäriin kertyvän purun määrä väheni keskiarvojen perusteella 78 %. Mittaustulokset tallennettiin mittauspöytäkirjaan (Taulukko 6).

Mittauspäivämäärä	Kellonaika	Eränumero	Tukkiluokka	Ajonopeus (m/min)	S.asete	Vaaka (g)
13.5.2024	13.27-13.57	8477	312	60	200/47 47 47 47	218
20.5.2024	15.03-15.33	8520	260	60	200/32 32 32 32	207
10.6.2024	13.05-13.35	8635	312	50	200/47 47 47 47	172
6.9.2024	13.26-13.56	9032	300	60	200/47 47 47 47	62
16.9.2024	10.25-10.55	9060	290	60	200/44 44 44 44	23
19.9.2024	12.40-13.10	9080	312	50	200/47 47 47 47	48

Taulukko 6. Mittauspöytäkirja ämpäriin kertyvän purun määrästä

### 6.4 Henkilöstön mielipiteitä muutosten jälkeen

Muutosten vaikuttavuudesta ei tehty mielipidekyselyä, mutta lukuisissa keskusteluissa tuli esiin havaintoja, joita henkilöstö oli tehnyt. Näkyvin muutos oli uusi sykloni, jonka ilmaan puhaltama vesihöyry aiheutti paljon keskustelua. Vesihöyryn arvellaan aiheuttavan jääty-misongelmia talvikuukausina. Tuorelajittelun ilmanlaadusta ja tasoille kertyvän purun määrästä oli tehty positiivisia huomioita, ja tuorelajittelussa siivousta suorittavan urakoitsijan työntekijä oli pannut merkille vähentyneen siivoustarpeen. Yrityksen turvallisuuden raportointiin tarkoitettuun järjestelmään kirjattiin yksi positiivinen havainto parantuneesta ilmanlaadusta sahalinjalla.

## 7 Yhteenveto

Pölyn- ja purunpoisto on sahalaitoksen toiminnassa aihe, joka jää helposti tuotannolle kriittisempien päätösten varjoon. Tutkimuksen aikana kävi kuitenkin selväksi, että se on jokaiselle sahalla työskentelevälle kiinnostava ja tärkeäksi koettu aihe. Purua ja pölyä muodostuu sahauksen yhteydessä valtavia määriä, joten pienetkin määrät pölyn- ja purunpoistojärjestelmästä ohi pääsevää materiaalia kertyvät nopeasti ongelmallisiksi kasoiksi, jotka kuivuttuaan vaikuttavat sisäilman laatuun, työturvallisuuteen, paloturvallisuuteen ja prosessin sujuvuuteen.

Tutkimuksessa keskityttiin vain yhden sahalinjan koneen purunpoiston parantamiseen. Tuloksien perusteella tehtävässä onnistuttiin hyvin, sillä jakosahalta tuorelajitteluun päätyvän purun määrä pieneni 78 %. Mittaustuloksiin liittyy jonkin verran epävarmuutta, sillä yrityksistä huolimatta kaikkia olosuhteita ei voida pitää täysin samanlaisina eri mittaajankohtien välillä. Toimeksiantajan kannalta tärkeintä kuitenkin oli projektin läpivienti ja selkeä muutos, ei niinkään muutoksen tarkka mittaaminen. Projekti onkin hyvä esimerkki siitä, että yksinkertaisilla ratkaisuilla voidaan saada hyviä tuloksia. Vastaavia menetelmiä voitaisiin soveltaa myös muihin sahakoneisiin, jotta esimerkiksi sivulautojen mukana tuorelajitteluun kulkeutuvan purun määrää voitaisiin vähentää.

Pölyn poistamiseen liittyvää teoreettista tietoa on runsaasti saatavilla. Kaikkea ei tässä tutkimuksessa hyödynnetty, joten tulos voisi olla vieläkin parempi, mikäli esimerkiksi puruimurin suulake olisi muotoiltu ja sijoitettu ACGIH (1998) ja INSR (2018) ohjeiden mukaan. Ehkä puruimuri voitaisiin mitoittaa suuremmaksi ja integroida koneen runkoon siten, että se kaappaa ja siirtää kaiken muodostuvan purun, jolloin alasahan kuljettimet jäisivät vain varmistuskeinoksi. Pölynpoistojärjestelmää kokonaisuutena tarkasteltaessa voitaisiin parantaa myös energiatehokkuutta erityisesti virtausnopeuksia optimoimalla tai lämmön talteenotolla. Järjestelmät, jotka syöttävät ilman takaisin tuotantotilaan, vaativat huolellisempaa paneutumista suodattimien valintaan hyvän ilmanlaadun takaamiseksi, ja useissa erityisesti kuivaa puupölyä käsittelevissä järjestelmissä pölyräjähdysten estäminen asettaa omia vaatimuksiaan.

Purulla on kaksi puolta. Oikein talteen kerättynä se voidaan nähdä arvokkaana sivutuotteena, jonka tulevaisuuden käyttökohteet tulevat todennäköisesti lisääntymään. Toisaalta väriin paikkoihin kertyneenä se on palonarka työterveysriski, joka haittaa tuotantoa. Sahakoneiden valmistajilla voisi olla mahdollisuus saavuttaa kilpailuetua purunpoistojärjestelmiä parantamalla. Jos karanneen purun vaikutusta sahausprosessiin tutkittaisiin kokonaisuutena, ymmärrettäisiin paremmin, miten se vaikuttaa esimerkiksi tuotteen laatuun, energiankulutukseen tai henkilöresursseihin. Toisaalta, jos purun keräykseen liittyvät ratkaisevat

muutokset voidaan toteuttaa rakenteellisesti sahakoneiden sisällä, se voidaan nähdä osana kiertotaloustavoitteet huomioivaa tuotekehitystä, joka edistää myös asiakkaan tavoitteita. Kaiken purun ja pölyn poistaminen ei liene mahdollista, mutta merkittäviä muutoksia voidaan saada aikaiseksi kohtuullisella työpanoksella. Purun- ja pölynhallinnan vaikutukset ovat merkittäviä, ja siihen liittyvien ongelmien ratkaisuun tulisi työpaikoilla ja alan yrityksissä käyttää enemmän resursseja.

## Lähteet

ACGIH. 1998. Industrial ventilation, a Manual of Recommended Practice. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Viitattu 26.8.2024. Saatavissa <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/acgih.manual.1998.pdf>

BMH Wood Technology. 2000. Toiminnankuvaus, projekti 37180. Yksityinen aineisto, UPM Kymmene Oyj. Ei saatavissa.

Euro-Kumi. Hihnaharja Euro 1. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://www.euro-kumi.com/hihnatarvikkeet/hihnaharja/>

Gan, K.S. & Ho, K.S. 1995. Dust Extraction System for a Sawmill. Timber Technology Bulletin. Saatavissa [https://info.frim.gov.my/infocenter\\_applications/web/pdf/ttb/TTBNO2.PDF](https://info.frim.gov.my/infocenter_applications/web/pdf/ttb/TTBNO2.PDF)

Hemminki, H. 2024. Asentaja, Vaasan Kuljetuskanavat Oy, Pori. Keskustelu 14.5.2024.

INRS, 2018. Conception des dispositifs de captage sur machines à bois. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206330>

Magoss, E., Sitkei, G., Kocsis, Z. 2022. Dust Extraction and Handling in the Wood Industry. Cham: Springer.

Mäkinen ym. 2023. Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus. Taitotalo. Viitattu 9.10.2024. Saatavissa [https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-01/Ilmavirtojen%20mittaus%20ja%20tasapainotus%20-opas\\_19.12.2023.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-01/Ilmavirtojen%20mittaus%20ja%20tasapainotus%20-opas_19.12.2023.pdf)

Marjomaa, J. ja Uurtamo, K. 1996. Puutavaran tilavuuspainon määrittäminen – Metsätehon raportti 007. Viitattu 09.09.2024. Saatavissa [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/1996/12/metsatehon\\_raportti\\_007.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/1996/12/metsatehon_raportti_007.pdf)

Merivuori, K. 2018. Suomen sahateollisuus 2000-luvulla ja sen merkitys kansantaloudessa. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 18–36.

Meynard, Eric. 2018. Six Key Considerations for Proper Dust Collection System Design. Viitattu 19.4.2024. Saatavissa <https://docslib.org/doc/9740286/six-key-considerations-for-proper-dust-collection-system-design>

Németh, G., Kocsis, Z., Magoss, E. 2024. Evaluation of wood chips terminal velocity and some morphological properties in a wind tunnel experiment. European Journal of Wood

and Wood Products. Viitattu 15.10.2024. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02123-w>

Ojala, P. 2017. Tukkien lajittelu. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 65–67 ja 101–104.

Ojala, P. 2024. Terä- ja laiteasettaja, UPM Seikun Saha, Pori. Keskustelu 25.04.2024.

Procon. Tommelmotor galerie. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://www.trommelmotor.de/galerie>

Ropilo, J. & Kauppinen, T. 2017. Sahausprosessi tukista sahatavaraksi. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 83–100.

Räsänen, T. & Pajuoja, H. 2018. Sahateollisuuden puuraaka-aine. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 37-57.

SFS-EN 12779. 2015. Safety of woodworking machines - Chip and dust extraction systems with fixed installation - Safety requirements. Osa 3. Terms, definitions, terminology, symbols and units. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Silvent. Ilmaveitset. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://www.silvent.com/fi/tuote-osasto/ilmaveitset/>

Silvent. Tehokkaat ja mukautetut ilmaveitset paineilmalla puhaltamiseen. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://www.silvent.com/fi/miksi-silvent/miten-tuotteemme-toimivat/tehokkaat-ja-mukautetut-ilmaveitset-paineilmalla-puhaltamiseen/>

Sirén, K. 1995. Ilmastointiteknikan mittaukset. Helsinki: Tietonova.

Tähti, E. 2002. Teollisuusilmastoinnin opas. 2. uusittu painos. Helsinki: Suomen Talotekniikan Kehityskeskus (TAKE).

Trotec. BA30WP-Hot-Wire-Anemometer-mit-Smartphone-Operation-101502-1567090715. Viitattu 18.9.2024. Saatavissa [BA30WP Hot Wire Anemometer mit Smartphone Operation | TROTEC](#)

Tynkkynen, T. 2017. Tukkien kuorinta. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 73–82.

Työterveyslaitos. 2019. Uusintamittaukset teknisten muutosten jälkeen Seikun sahalla Porissa 5.11.2019. Lausunto TYHYG 2019 402346. Yksityinen aineisto, UPM Oy. Ei saatavissa.

Työturvallisuuskeskus. 2020. Puupölyn hallinta puuteollisuudessa. Viitattu 09.04.2024.  
Saatavissa <https://ttk.fi/julkaisu/puupölyn-hallinta-puuteollisuudessa/>

UPM. 2024. Sisäiset tuotanto- ja turvallisuustietokannat. Ei saatavissa.

Valkonen, J. 2017. Dimensiolajittelu ja välivarastointi. Teoksessa Varis, R. (toim.)  
Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 118–126.

Virta, J. 2017. Tukkien mittaus ja lajittelu. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus.  
Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 67–72.

Virtanen, S. 2017. Sahan tuotannosuunnittelu. Teoksessa Varis, R. (toim.)  
Sahateollisuus. Helsinki: Kustannuspalvelu Kirjakaari Oy, 59–64.