

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan tiedekunta

Annika Karjalainen

HAVUVIILUN VALMISTUKSEN MÄRKÄ- JA KUIVAVIILU- SAANTOJEN KEHITTÄMINEN

Työn tarkastajat:

Professori, TkT Risto Soukka

Laboratorioinsinööri, TkL Simo Hammo

TIIVISTELMÄ

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Annika Karjalainen

Havuviilun valmistuksen märkä- ja kuivaviilusaantojen kehittäminen

Diplomityö

2018

64 sivua, 4 taulukkoa, 14 kuvaajaa, 33 kuvaa.

Tarkastajat: Professori, TkT Risto Soukka

Laboratorioinsinööri, TkL Simo Hammo

Hakusanat: havuviilu, saanto, materiaalitehokkuus, hävikki, sorvaus, kuivaaja

Työssä tarkasteltiin havuviilun valmistusta UPM Jyväskylän vaneritehtaalla. Tarkastelun taustalla on tarve tehostaa puuraaka-aineen käyttöä viilun valmistuksen saantotavoitteiden saavuttamiseksi. Lisäksi havuviilun valmistuksessa käytettävien kuusitukkien hinnankelitys sekä puun mahdolliset saatavuushaasteet tulevaisuudessa korostavat materiaalitehokkuuden merkitystä havuviilun valmistuksessa. Tarkastelu toteutettiin keskittyen viilun sorvauksen ja kuivauksen osaprosessien seurantaan, prosesseissa muodostuvaan viiluhävikkiin sekä märkä- ja kuivaviilusaantoihin.

Työn tulosten perusteella voidaan todeta, että viilun sorvauksessa ja kuivauksessa muodostuvaan viiluhävikkiin vaikuttaa puuraaka-aineen heikko laatu, viilun valmistusta edeltävien osaprosessien toiminta, koneiden ja laitteiden häiriöt ja toimivuus sekä operaattoreiden työskentelytavat. Viiluhävikin vähentämiseksi sekä saantojen kehittämiseksi tarvitaan erilaisia toimenpiteitä, kuten esimerkiksi kolmannen kosteusluokan käyttöönotto sorvauksessa. Työn tuloksena löydettiin kehitysehdotuksia sorvaus- ja kuivausprosesseihin materiaalitehokkuuden parantamiseksi.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Degree Programme in Environmental Technology

Annika Karjalainen

Development of green end and dry veneer yields in spruce veneer production

Master`s Thesis

2018

64 pages, 4 tables, 14 graphs, 33 pictures.

Examiner: Professor, D. Sc. (Tech.) Risto Soukka

Laboratory Manager, Lic. Sc. (Tech) Simo Hammo

Keywords: spruce veneer, yield, material efficiency, loss, lathe work, dryer

The study examined the production of spruce veneer at UPM Jyväskylä plywood mill. The reason for this review was the need to optimize the use of wood material in veneer production to achieve the required yield. The importance of optimizing wood usage was also highlighted because spruce log prices are increasing and the availability of logs can be more limited in the future. The review was carried out by focusing on spruce veneer lathe work and dryer processes, veneer loss and yield of green end and dry stacked veneers.

The results of this study showed that there are various reasons that affect the formation of veneer losses in lathe work and dryer processes. The reasons include the poor quality of wood material, the quality of the processes preceding veneer production, the disruptions and operability of machines and apparatus and the operator's working methods. Reducing the veneer losses and to develop the yields requires numerous actions like for example in lathe work to introduce the third moisture class of veneer. As a result of this study suggestions as solutions for optimizing material efficiency in lathe work and dryer processes were discovered.

ALKUSANAT

Diplomityö on tehty UPM Plywood Oy:n Jyväskylän vaneritehtaalle vuoden 2018 aikana. Haluan kiittää diplomityön teon mahdollistamisesta Tero Hannosta ja Jouni Hännistä sekä kiittää tehtaan henkilökuntaa rakentavasta yhteistyöstä. Kiitos professori Risto Soukalle työni hyvästä ohjauksesta. Diplomityössä olen pystynyt hyödyntämään aiempaa koulutusta sekä työkokemustani ja samalla oppimaan aivan uutta.

Aloitin ympäristötekniikan opinnot joulukuussa 2015. Aika on kulunut nopeasti ja tuntuu uskomattomalta kirjoittaa näitä alkusanoja. Tämä on ollut huikea matka ja osaamista kannatti todellakin lähteä kehittämään, sillä tästä on hyvä jatkaa kohti uusia haasteita.

Kiitos vanhemmilleni opintojen mahdollistamisesta ja vahvasta perustasta, josta on ollut hyvä ponnistaa kohti toiveita, unelmia ja tavoitteita.

Ystävät, kiitos kaikista niistä elämän iloista, joita olemme yhdessä kokeneet. Niistä olen saanut energiaa elämään ja opintoihin.

Jyväskylässä 19.11.2018

Annika Karjalainen

SISÄLTÖ

Tiivistelmä

Abstract

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 1.1 | Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset..... | 7 |
| 1.2 | Työn rajaukset..... | 8 |
| 2 | TUOTANTOTEHOKKUUS | 9 |
| 2.1 | Materiaalitehokkuus | 9 |
| 2.2 | Kokonaistehokkuus | 11 |
| 2.2.1 | Käytettävyys | 12 |
| 2.2.2 | Nopeus | 12 |
| 2.2.3 | Laatu | 13 |
| 2.2.4 | Elinjaksotuotto | 14 |
| 2.2.5 | Kokonaistehokkuus -luvun määrittäminen | 15 |
| 3 | VANERIN TUOTANNON TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT | 17 |
| 3.1 | Tuotteen ja toiminnan laatu..... | 17 |
| 3.2 | Puunkäyttösuhde ja saanto | 19 |
| 3.3 | Havupuu raaka-aineena | 20 |
| 3.3.1 | Puun rakenneviat | 23 |
| 3.3.2 | Puuraaka-aineen hinta ja saatavuus..... | 24 |
| 4 | HAVUVIILUN VALMISTUSPROSESSI | 27 |
| 4.1 | Haudonta | 27 |
| 4.2 | Kuorinta..... | 28 |
| 4.3 | Katkonta | 29 |
| 4.4 | XY-keskitys..... | 29 |
| 4.5 | Pyöristys | 30 |
| 4.6 | Sorvaus..... | 30 |
| 4.7 | Märkäleikkuri | 32 |
| 4.8 | Telakuivaus | 32 |
| 4.9 | Tuotantovaiheiden vaikutus viilusaantoon..... | 34 |
| 5 | MÄRKÄ- JA KUIVAVIILUSAANNON KEHITTÄMINEN SÄYNÄTSALON TEHTAALLA . | 37 |
| 5.1 | Sorvauksen viiluhävikki | 37 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2 | Märkäviilusaanto | 40 |
| 5.3 | Telakuivaajan viiluhävikki..... | 45 |
| 5.3.1 | Syöttöpää | 46 |
| 5.3.2 | Risteysasema..... | 47 |
| 5.3.3 | Pinkkaajat | 49 |
| 5.4 | Kuivaviilusaanto..... | 51 |
| 6 | TULOSTEN JA TOIMENPITEIDEN ANALYSOINTI..... | 53 |
| 6.1 | Sorvauksen viiluhävikin analysointi | 54 |
| 6.2 | Telakuivaajan viiluhävikin analysointi | 55 |
| 6.2.1 | Syöttöpää | 55 |
| 6.2.2 | Risteysasema..... | 56 |
| 6.2.3 | Pinkkaajat | 56 |
| 6.3 | Tulosten arviointi..... | 57 |
| 6.4 | Toimenpide-ehdotukset..... | 58 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 61 |
| 8 | YHTEENVETO | 63 |
| | LÄHTEET..... | 65 |

1 JOHDANTO

Metsäsektorin uusimman suhdannekatsauksen mukaan puutuoteteollisuuden raakapuun käyttö sekä tuotanto- ja vientimäärät ovat kasvussa Suomessa. Esimerkiksi rakennusalan kehitys Euroopassa nostaa havuvanerin tuotantomääriä. Kysynnän kasvu ei ole vahvistanut havuvanerin vientihintaa, koska kilpailu on kiristynyt ja vientituotteista on ylitarjontaa. Sen sijaan puutuoteteollisuuden raakapuun käytön kasvu on vauhdittanut raakapuun kantohintojen nousua sekä lisännyt epävarmuutta ja kilpailua raakapuun saatavuudelle. (Viitanen et al. 2017, 4, 5, 28, 30, 39. Hänninen et al. 2018.)

Puuraaka-aineen hintojen nousu, saatavuushaasteet sekä vaneria edullisemmin tuottavat maat haastavat suomalaisia yrityksiä kehittämään ratkaisuja raaka-aineen käytön tehokkaampaan hyödyntämiseen, koska vanerin tuotannossa puuraaka-ainekustannukset muodostavat kolmasosan kaikista kuluista. Materiaalin tehoton käyttö aiheuttaa yritykselle ylimäärisiä kustannuksia sekä tuhlaa arvokkaita raakapuuvaroja. Puuraaka-aineen käytön tehokkuutta seurataan vanerin valmistuksessa esimerkiksi saantoprosenteilla, mikä kertoo siitä, kuinka paljon vanerin valmistusprosessiin syötetystä puuraaka-aineesta saadaan hyödynnettyä esimerkiksi kuivaksi viiluksi.

Tässä työssä tutkitaan kuusiviilun valmistuksen raaka-aineen käytön tehokkuutta UPM:n Jyväskylän vaneritehtaalla, jonka tuotantokapasiteetti on 100 000 m³ vaneria vuodessa. Tehtaalla tuotetaan pinnoitettua ja pinnoittamatonta koivu- ja havuvaneria sekä sekavaneria, joita käytetään erilaisiin käyttökohteisiin rakentamisessa sekä parketti- ja kuljetusvälineiteollisuudessa. (Jyväskylä.)

Vaneria on tuotettu Jyväskylässä yli sata vuotta ja toiminnan jatkumisen edellytyksenä on aina ollut innovatiivisuus sekä asioiden ja tekemisen kehittäminen. Tulevaisuuden haasteina on raaka-aineen käytön tehokkaampi hyödyntäminen sekä yleisesti työn tuottavuuden parantaminen. (Jyväskylä.)

1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen taustalla on UPM:n käynnistämä Back to Yield -projekti, jolla pyritään puun käyttösuhteen parantamiseen, saamaan raaka-ainesäästöjä sekä tehostamaan tuotantoa. Projektin aihealueina on esimerkiksi viilun valmistuksen hyötysuhde sekä liimauksen määrä ja mittojen vaikutus hyötysuhteeseen.

Diplomityön tavoitteena on selvittää, miten kuusiviilun valmistuksen märkä- ja kuivaviilusaantoja voidaan kehittää paremmiksi. Tutkimuksessa tarkastellaan sorvaus- ja kuivausprosessien toimintaa sekä näissä prosesseissa muodostuvaa viiluhävikkiä seurantatutkimuksen avulla.

Seurantatutkimuksessa käytetään myös yrityksen sisäistä tiedonkeruujärjestelmää, joka sisältää tuotantodataa vanerin valmistuksesta. Prosessien seurannan yhteydessä keskustellaan tuotannon operaattoreiden sekä toimihenkilöiden kanssa.

Työn keskeisenä tavoitteena on löytää konkreettisia kehitysehdotuksia siihen, miten puuraaka-aine saadaan hyödynnettyä havuviilun valmistuksessa paremmin lopputuotteeksi eli vanerin valmistukseen sopivaksi kuivaksi viiluksi. Kehitysehdotusten avulla pyritään parantamaan havuviilun valmistuksen saantoja ja materiaalitehokkuutta sekä saamaan säästöjä materiaalikuluista.

1.2 Työn rajaukset

Työssä tarkastellaan 2.0 ja 2.6 mm paksuisten kuusiviilujen valmistusta havusorvilla ja telakuivaajalla keskittyen viiluhävikin muodostumiseen sekä prosessien toimivuuteen. Sorvauksen osalta tutkimus rajataan yhdelle sorville eli 4-sorville, joten märkäviilun tuotantomääriä ja saantoja tarkastellaan vain 4-sorvin osalta. Telakuivaajan kuivaviilun tuotantomäärien ja saantojen laskennassa tarkastellaan myös vain 4-sorvin tuottamia viiluja.

2 TUOTANTOTEHOKKUUS

Tuotannollisella tehokkuudella tarkoitetaan joko sitä, että tuotos saadaan tuotettua mahdollisimman pienellä panoksella, tai annetulla panoksella tuotetaan mahdollisimman suuri tuotos (Vihanto, M. 2016, 3). Tehokkuus kuvaa siis tuotetun arvon sekä toimenpiteiden ja kustannusten suhdetta tavoitteellisessa toiminnassa (Saari, S. 2006, 154, 162 - 163).

Tuotannon tehokkuuden parantaminen edellyttää sitä, että tehokkuutta voidaan mitata. Tehokkuuden fyysisten ja taloudellisten suureiden eli tunnuslukujen avulla saadaan relevanttia tietoa yrityksen kohdeasiasta. (Saari, S. 2006, 162 – 163.) Tunnuslukujen avulla pystytään seuraamaan toimintaa sekä asettamaan toiminnalle tavoitteita. Keskeisiä toiminnan ohjauksen tunnuslukuja ovat avainkoneiden käyttösuhteet sekä tuottavuus, saanto sekä virheellisten tuotteiden määrä. Tehokkaan tuotannon kilpailuetuna on esimerkiksi hyvä raaka-aineiden hallinta. (Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009, 398 – 399.)

Tuotannossa materiaalitehokkuus voi tarkoittaa materiaalipanoksen pienentämisen lisäksi muun muassa energiankulutuksen minimoimista ja logistiikan tehostamista. Kun teollisuuden prosesseja optimoidaan kustannustehokkuuden parantamiseksi, nousee materiaalitehokkuus tässä yhdeksi merkittäväksi tekijäksi. (Elinkeinoelämän keskusliitto EK. 2008, 7 – 8.)

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään materiaalitehokkuutta sekä teollisuuden puunkäyttöä ja puun saatavuutta. Lisäksi tarkastellaan tuotannon tehokkuuden mittaamiseen kehitetyistä laskentamalleista kokonaistehokkuutta sekä elinjaksotuottoa.

2.1 Materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuuden yhtenä määritelmänä voidaan pitää tuotettujen tuotteiden ja niiden tuottamiseen käytettyjen materiaalien suhdetta. Materiaalitehokkuuden parantamisella tarkoitetaan sitä, että samaa materiaalipanosta kohden saadaan tuotettua entistä suurempi määrä tuotteita. (Lilja, L. & Saramäki, K. 2012, 12). Materiaalitehokkuuden parantamisen tavoitteena on kilpailukykyisten tuotteiden valmistaminen vähentämällä raaka-aineen käyttöä, jolloin säästetään luonnonvaroja, ympäristöä sekä rahaa (Elinkeinoelämän keskusliitto EK. 2008, 7).

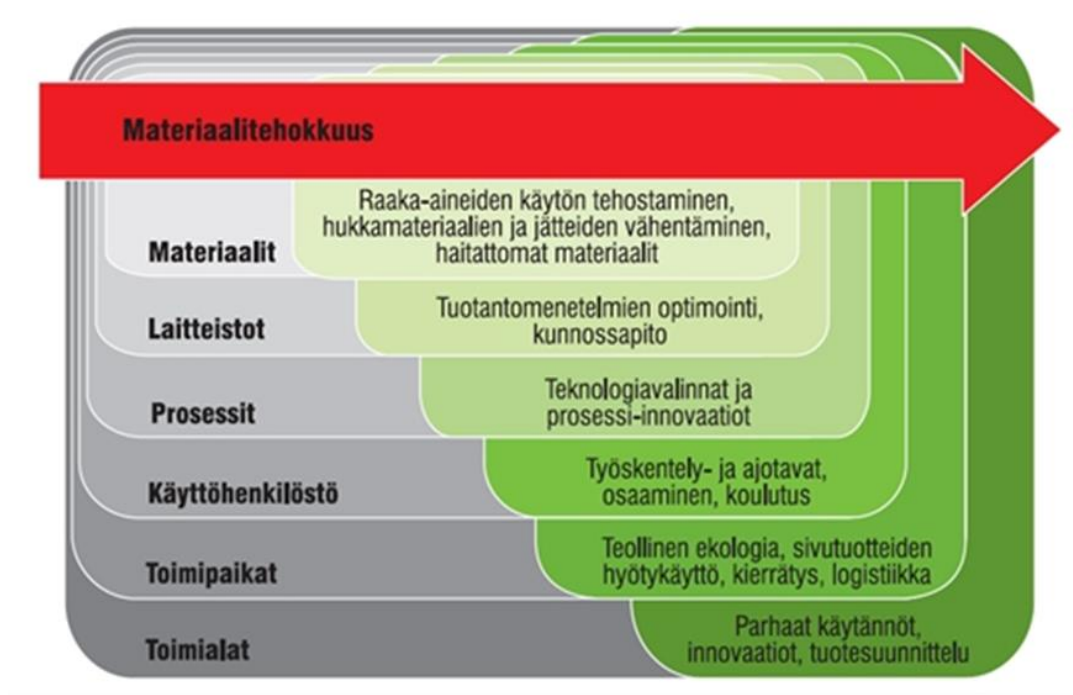
Materiaalitehokkuuden nähdään olevan osa ekologista ja taloudellista tehokkuutta, jotka ovat yrityksen tärkeitä menestystekijöitä globaalissa kilpailussa (Elinkeinoelämän keskusliitto EK. 2008, 26). Yrityksille materiaalitehokkuus on ensisijaisesti talouskysymys, sillä pienempi materiaalipanos vähentää tuotantokustannuksia ja parantaa kilpailukykyä. Toisaalta luonnonvarojen kestävämpi käyttö ja ympäristönäkökulmat aletaan nähdä myös business -mahdollisuuksina. (Hippinen, I., Österlund, H., Eskola, P., Suomi, U. 2012, 9.)

Yritys tarvitsee materiaalitehokkuuden kehittämiseksi ja siihen liittyvän päätöksenteon tueksi mittareita, joista saadaan tietoa materiaalitehokkuustoimien vaikutuksesta tuotannon taloudellisuuteen. Yksinkertaisimmillaan tällaisia mittareita on raaka-aineiden ominaiskulutus sekä -jättemäärät eli materiaalivirtoja mitataan syötteiden ja tuotosten avulla. Nämä mittarit antavat materiaalitehokkuuden arvioinnille hyvän perustietopohjan. (Hippinen et al. 2012, 9, 15.) Toimenpiteet ja muutokset, jotka kohdistuvat fyysisiin materiaalivirtoihin ja, jotka parantavat talouden tilannetta sekä luonnonvarojen riittävyyttä, pidetään lähtökohtaisesti materiaalitehokkuutta edistävinä toimina (Hippinen et al. 2012, 14).

Materiaalitehokkuuteen voidaan vaikuttaa toiminnan eri tasoilla (Kuva 1.) sekä kaikissa tuotannon vaiheissa esimerkiksi niin, että:

- Tuotannosuunnittelussa huomioidaan tuotannon vaihtelut.
- Raaka-aineet varastoidaan oikein.
- Tuotantotyölle on selkeä ohjeistus, tuotantotyöntekijöitä koulutetaan sekä laadunvalvontaa tehostetaan poikkeamien seurantaan. Seurannan tuloksena saadaan työkaluja poikkeamien ennaltaehkäisyyn.
- Tuotannon laitteiden kunnossapito on säännöllistä.
- Tuotannon jälkeen tuotannon sivuvirrat hyötykäytetään. (Materiaalitehokkuus muoviteollisuudessa).

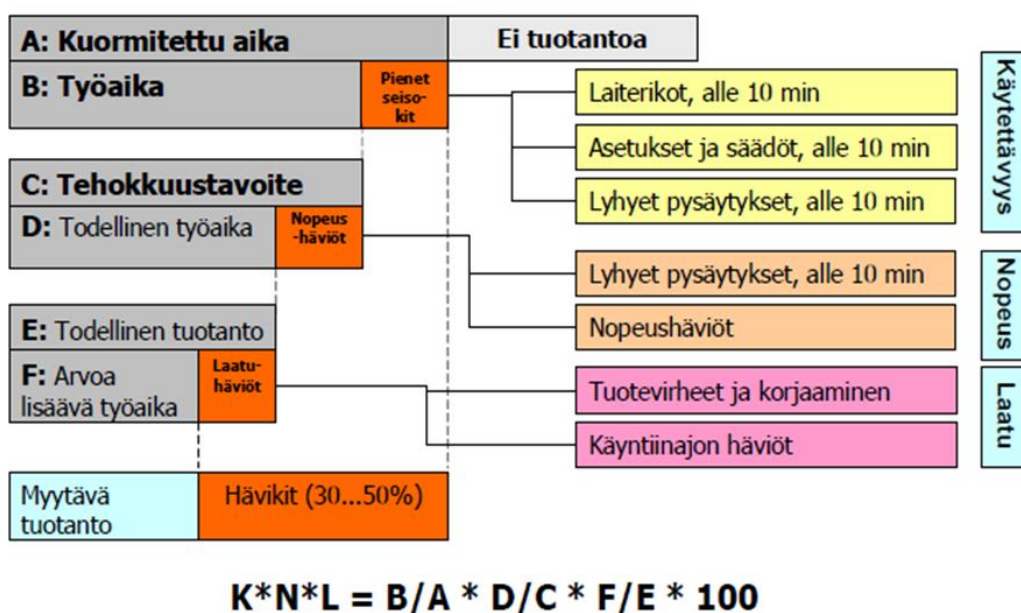
Merkittäviksi tekijöiksi materiaalitehokkuuden parantamisessa nousevat tuotannosta vastaavat henkilöt sekä kaikki tuotantotyöntekijät, jotka vaikuttavat suuresti siihen, miten materiaalitehokas toiminta sujuu (Hippinen et al. 2012, 15). Lisäksi tuotannon hävikkisyiden selvittäminen ja syiden korjaaminen esimerkiksi laatujärjestelmän avulla sekä hylkytuotteiden palauttaminen takaisin prosessiin on tärkeä osa materiaalin käytön tehokkuuden edistämisessä (Lilja, L. et al. 2012, 45).



Kuva 1. Materiaalitehokkuuden kehittämiskeinoja (Materiaalitehokkuus).

2.2 Kokonaistehokkuus

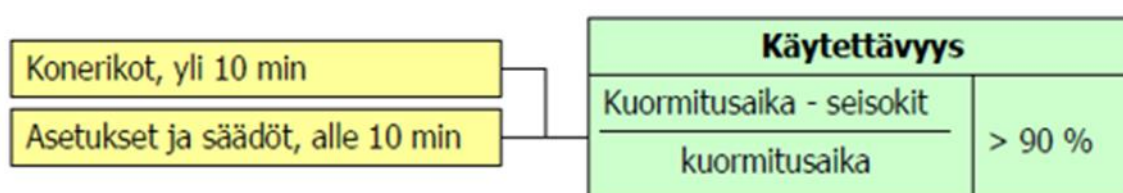
Tuotannon tehokkuuden yhtenä tunnuslukuna käytetään kokonaistehokkuutta eli OEE -luku (Overall Equipment Effectiveness), joka on suomeksi KNL (käytettävyys, nopeus ja laatu). Kokonaistehokkuudella mitataan tuotannon toimintaa ja mittariston luomiseksi tarvitaan pohjatietoja tuotannosta. Kullekin mittariston osa-alueelle lasketaan suhdeluku, jotka lopuksi kerrotaan keskenään ja tulokseksi saadaan kokonaistehokkuuden luku prosentteina (Kuva 2.).



Kuva 2. Tuotantoajan hävikki (Villanen. 2013).

2.2.1 Käytettävyys

Käytettävyydellä sekä käyttövarmuudella tarkoitetaan koneiden ja laitteiden luotettavaa, häiriötöntä sekä keskeytymätöntä toimintaa (Taipale 1998, 13). Käyttövarmuudella tarkoitetaan myös kunnossapidon toimivuutta tietyn toiminnon suorittamisessa määrättyllä aikavälillä, joten käyttövarmuuteen vaikuttaa toiminta- ja kunnossapitovarmuus sekä kunnossapidettävyys. Käyttövarmuudella on suora vaikutus tuotannon määrään ja yrityksen kannattavuuteen, sillä käyttöhäiriöt tarkoittavat menetettyä tuotantoa ajallisesti, laadullisesti sekä rahallisesti. (Taipale 1998, 9.)



Kuva 3. Käytettävyys (Villanen. 2013).

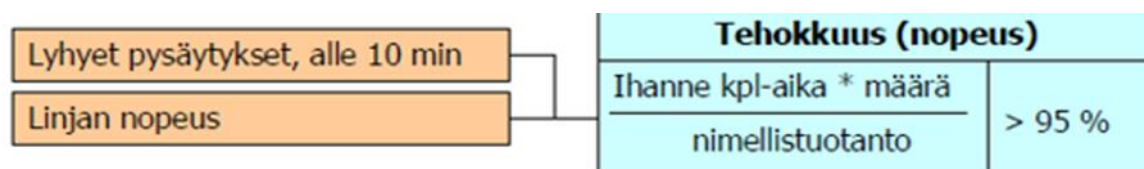
Käyttövarmuus ei tarkoita vain yksittäisten laitteiden toimivuutta vaan se tarkoittaa koko tuotantolaitoksen toimivuutta. Käyttövarmuuden mittarina toimii käytettävyys, joka kuvaa järjestelmän toimivuutta ilman tuotantokatkoksia. Käytettävyys saadaan laskettua niin, että toteutuneesta ajoajasta vähennetään seisokkiaika ja suhteutetaan erotus suunniteltuun kokonaisajoaikaan (Kuva 3.).

$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{Ajoaika} - \text{seisokkiaika}}{\text{kokonaisajoaika}} \quad (1)$$

Korkea käytettävyysluku kertoo laitteiden ja koneiden toimivuudesta sekä kunnossapidon onnistumisesta.

2.2.2 Nopeus

Nopeudella tarkoitetaan tehokkuutta eli, missä ajassa tuotantomäärä on valmistettu. Esimerkiksi muodossa kpl/min ja se suhteutetaan tavoiteltuun tuotantomäärään tietyssä ajassa esimerkiksi kpl/min.



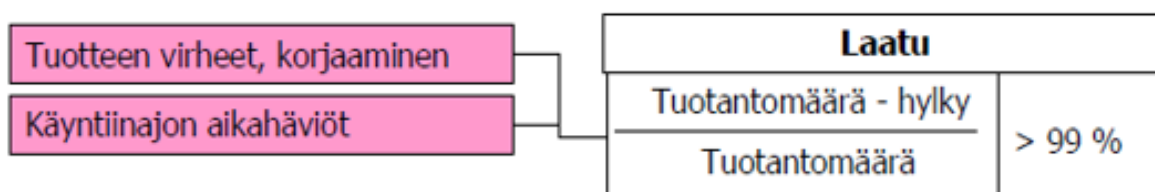
Kuva 4. Nopeus (Villanen. 2013).

$$Nopeus = \frac{tuotantomäärä/aika}{tavoite\ tuotantomäärä/aika} \quad (2)$$

Nopeuteen vaikuttaa laitteen lyhyet pysäytykset esimerkiksi sellaiset pysäytykset, mitkä aiheutuvat linjaston ruuhkan takia. Tässä tapauksessa pysäytykset ei siis johdu siitä, että laite olisi rikki. (Villanen. 2013).

2.2.3 Laatu

Tuotannossa tapahtuvat virheet aiheuttavat yritykselle lisäkustannuksia sekä häiriöitä suunniteltuun toimintaan. Tuotannon virheet vaikuttavat esimerkiksi yrityksen toimitusvarmuuteen (Haverila et al. 2009, 357).



Kuva 5. Laatu (Villanen. 2013)

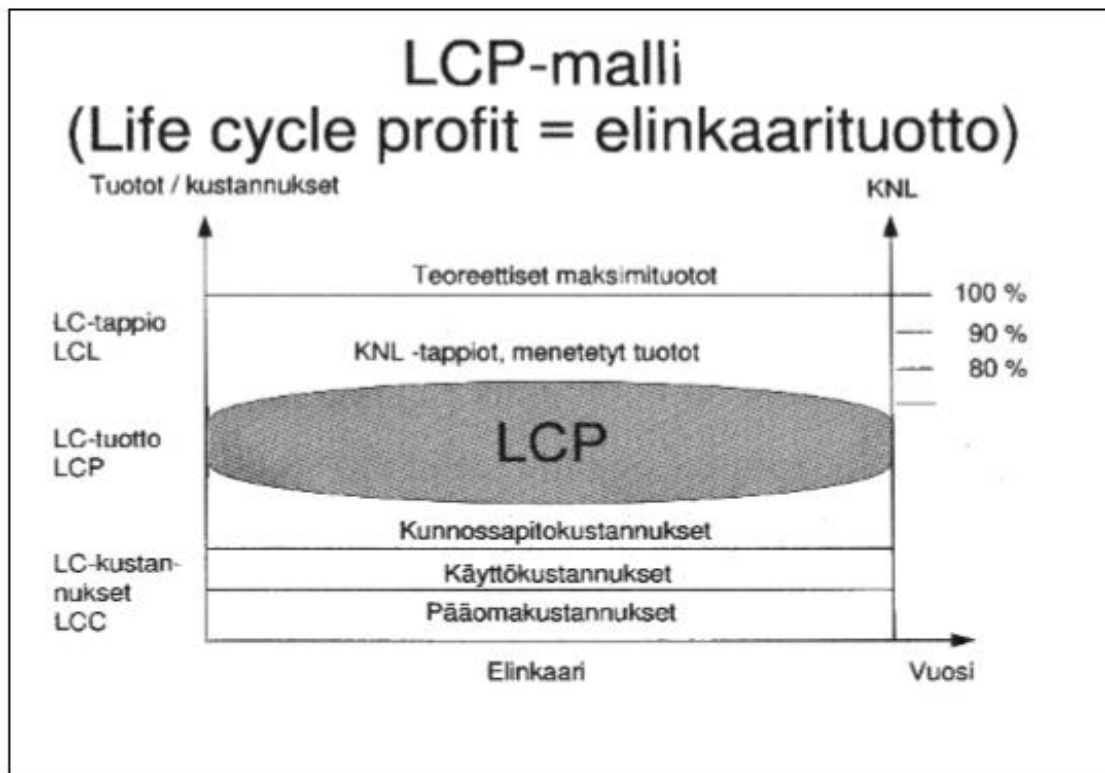
$$Laatu = \frac{Hyväksytty\ tuotantomäärä}{Kokonaistuotantomäärä} \quad (3)$$

Laadunvalvonnassa, valmistusprosessien ohjauksessa ja laadun kehittämisen apuvälineenä on olennaista, että laatu on määritelty konkreettisesti selkeiden kriteerien ja raja-arvojen avulla. Määrittelyn avulla selkeytetään, mitkä tuotteet hyväksytään ja, mitkä joudutaan hylkäämään. Myös valmistusprosessien laaduntuottokykyä voidaan mitata prosessille asetettujen raja-arvojen avulla. Toimintaprosessien laatu vaikuttaa tuotteiden laatuun (Haverila et al. 2009, 372).

2.2.4 Elinjaksotuotto

Life Cycle Profit (myöhemmin LCP) tarkoittaa suomennettuna elinjaksotuottoa. LCP-laskennassa huomioidaan prosessin tai laitteen elinjaksion aikana saatavat tuotot elinjaksokustannusten lisäksi. Elinjaksokustannukset koostuvat tuotteen käyttöiän aikaisista kustannuksista raaka-aineen hankinnasta tuotteen käytöstä poistoon. Näitä kustannuksia on esimerkiksi valmistus- ja kunnossapitokustannukset. (Taipale 1998, 17.)

LCP -laskennassa tarvitaan tietoja laitteiston vuotuisista kunnossapito- ja käyttökustannuksista sekä kiinteistä ja muista kuluista. Kunnossapitokustannukset tarkoittavat ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon kustannuksia ja käyttökustannukset tarkoittavat laitteiston käyttöön liittyviä lisäkustannuksia mm. raaka-aineita ja palkkoja. Kiinteät kulut tarkoittavat hallintokustannuksia ja muut kulut aiheutuvat koneiden seisokkiajoista. Näiden kustannuslajien lisäksi laskennassa tarvitaan laitteen hankintakustannukset sekä vuotuiset tuotot, joka laskeaan kokonaistehokkuuden avulla eli $K \times N \times L$ (käytettävyys-, nopeus- ja laatukerroin). (Taipale 1998, 21 - 22.) Laskennan periaate on esitelty kuvassa 6.



Kuva 6. Life cycle profitin eli elinkaarituohton periaate (Taipale. 1998, 19).

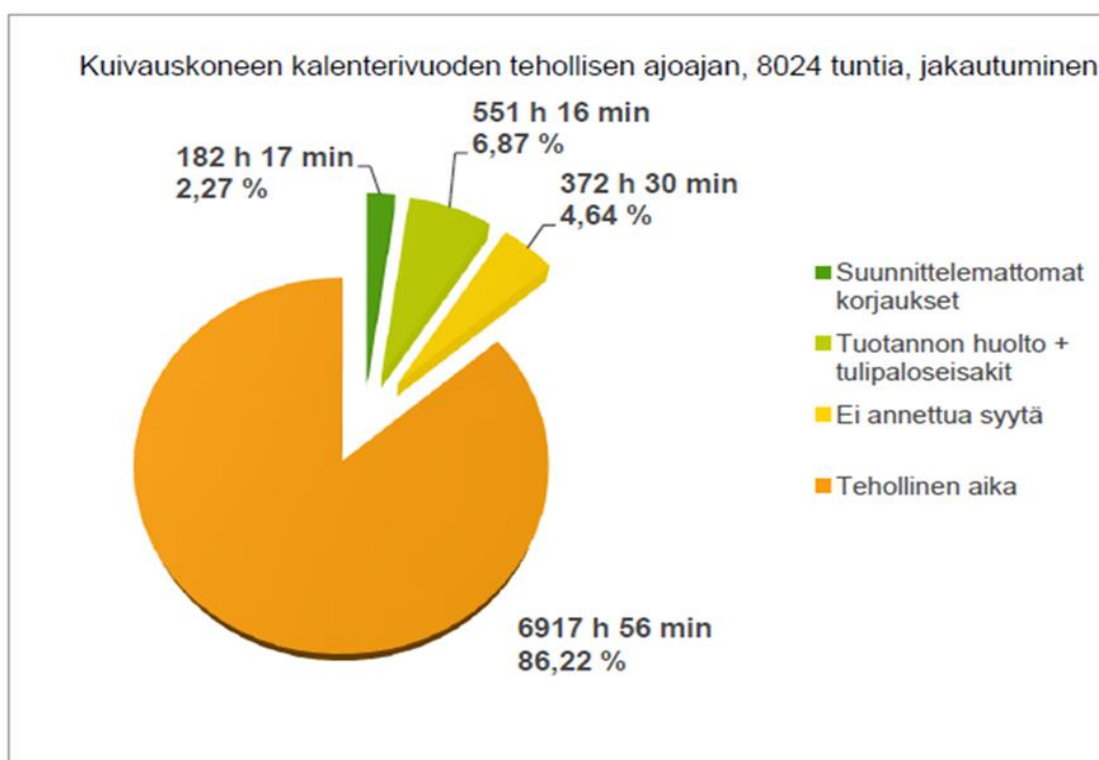
LCP-laskentamallin kehittämiseen tarvitaan todellista käyttökokemustietoa tuotantolaitoksesta. Tietoa käytetään toiminta- ja kunnossapitovarmuuden analysointiin. LCP-analyysissä

otetaan huomioon laadusta johtuvat tuotannonmenetykset ja kapasiteetin vajaakäyttö. (Taipale 1998, 24.)

Laitteen käynnistys seisokin jälkeen aiheuttaa kustannuksia, kun tuotteen laadussa saattaa olla vaihtelua ja tuotteita päätyy hylkyyn. Esimerkiksi eräässä tuotantolaitoksessa laakeriviat aiheuttivat vuosittain suunnittelemattomia seisokkeja 41 % kaikista seisokeista. Kun laakerivikojen synty saatiin kuriin ottamalla käyttöön keskusvoitelujärjestelmä, käytettävyys nousi 1,25 % ja tuotantoon saatiin 93 lisätuntia. Rahamääräisesti käytettävyyden lisäys tuotti case-tapauksessa miljoonien lisätuoton. (Taipale 1998, 34.)

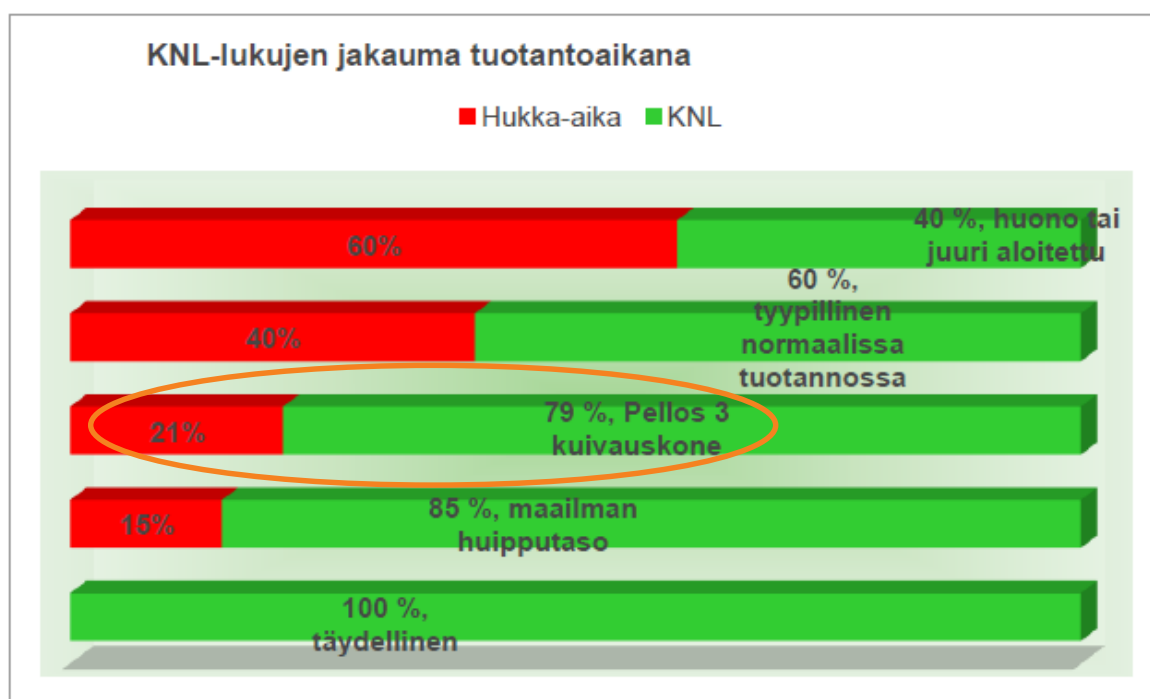
2.2.5 Kokonaistehokkuus -luvun määrittäminen

Ilkka Husu tutki 2013 diplomityössään vaneritehtaan viilun tuotantotehokkuutta keskittyen telakuivauskoneen toimintaan. Hän tutki kuivauskoneen tuotannollisia häiriöitä, koneen tehollista ajoaikaa sekä eri syistä johtuvia koneseisakkeja (Kuva 7.). Lisäksi Husu määritteli kuivauskoneen KNL -luvun (Kuva 8.), jota hän vertasi eri toimialojen vastaaviin lukuihin. KNL -luvun laskenta osoittautui haasteelliseksi, koska laskennassa tarvittavia numeerisia arvoja oli vaikea määrittää tarkasti ja varmasti. Laskentaa varten esimerkiksi nopeuden maksimiarvoksi sovittiin viilun maksimi tuotantopäivien keskiarvo. (Husu, I. 2013, 68 – 69.)



Kuva 7. Vaneritehtaan telakuivaajan tehollisen ajoajan jakautuminen (Husu, I. 2013, 68).

Kuivauskoneen tehollisen ajoajan seisakit Husu luokitteli eri kategorioihin, kuten esimerkiksi tuotannon huoltoon ja kunnossapidollisiin häiriöihin, joita on muun muassa tulipalojen ja ruuhkien aiheuttamat pysäytykset. Alle kaksi minuuttia kestävät ”Ei annettua syytä” -häiriöt aiheuttavat tuotannon pysähdyksiä vuositasolla huomattavan osan. Näiden lyhyiden pysähdysten selvittämiseksi Husu laati kuivaajan operaattoreille häiriöiden seuranta-kaavakkeen. Viikon mittaisen seurannan tuloksena kuivauskoneen lyhyiden pysähdysten syyt selvisivät, joista suurimpana syynä oli risteysaseman purkuhäiriö. Häiriöiden vähentämiseksi Husu esitti parannusehdotuksena vasteen asentamista purkauskuljettimien telojen väliin. (Husu, I. 2013, 70, 72 - 73, 76.)



Kuva 8. Pellos 3 -tehtaan telakuivaajan KNL -luku verrattuna yleiseen KNL -asteikkoon. (Husu, I. 2013, 69).

3 VANERIN TUOTANNON TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Suomalaisen vanerituotannon haastajina ovat halvemman kustannustason maat kuten Etelä- ja Pohjois-Amerikka sekä Kiina. Kiina on maailman suurin vanerin valmistajamaa ja se vaikuttaa myös suomalaisen vanerin valmistukseen. Vanerin tuotannossa onkin pyrittävä pitämään yllä kustannuskilpailukykyä kilpailijoihin nähden tuotannon tehokkuuden, luotettavuuden ja tuotteiden laadun jatkuvalla parantamisella. (Varis et al. 2017, 37.)

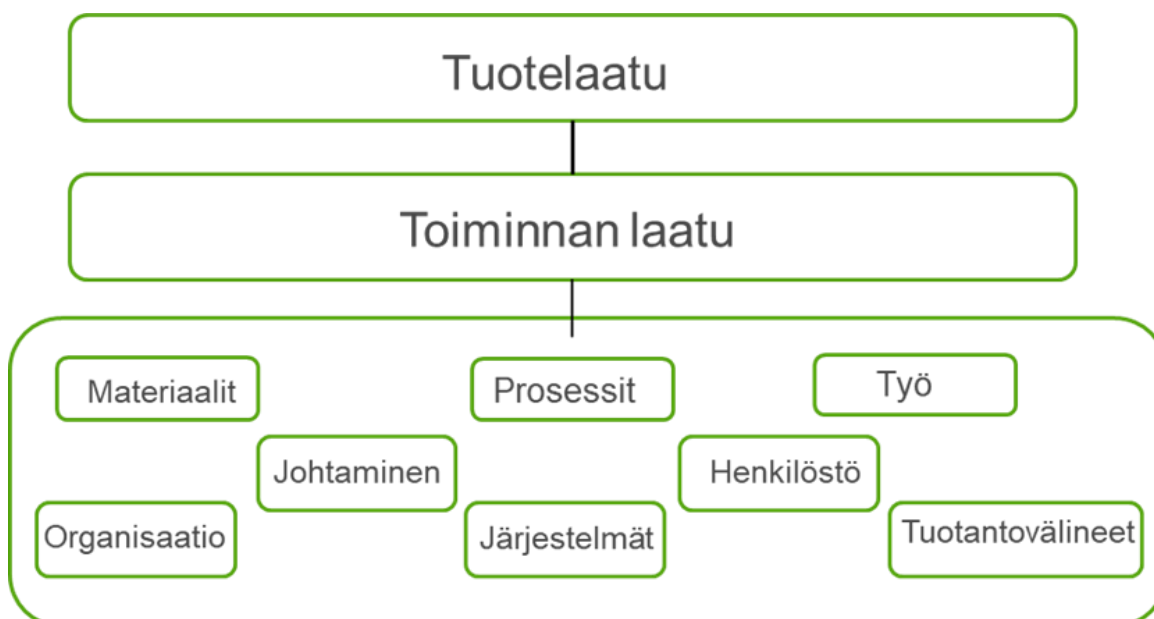
Luonnonvaroista valmistettavien raaka-aineiden hinnat ovat nousussa, joten yrityksille on olennaista, että käytettävästä raaka-aineesta mahdollisimman suuri osa saadaan hyödynnettyä varsinaiseen lopputuotteeseen. Tässä luvussa syvennytään vanerin tuotannon tehokkuuteen vaikuttaviin tekijöihin kuten toiminnan laatuun, hävikin muodostumiseen, puunkäyttösuhteeseen sekä puuraaka-aineen ominaisuuksiin, hintaan ja saatavuuteen. Tarkastelussa painotetaan havuvanerin valmistusta.

3.1 Tuotteen ja toiminnan laatu

Toiminnan laadulla tarkoitetaan sitä, että tuotannon työvaiheille ja osaprosesseille laaditaan ohjeistukset sekä järjestetään toiminta niin, että yrityksen määrittelemä tuotteiden laatutaso tulee täytetyksi (Voutilainen 2002, 191). Toiminnan korkealla laadulla saadaan merkittäviä kustannussäästöjä (Haverila et al. 2009, 375). Kuvassa 9 on esitetty toiminnan ja tuotteen laatuun vaikuttavia asioita.

Laatukäsite tarkoittaa tuotteen fysikaalisia ominaisuuksia sekä toiminnan laatua, jotka kuvaavat yrityksen tehokkuutta tuottaa haluttua laatua. Tuotteen ja toiminnan laatua tarkkailaan sisäisellä laadunvarmistuksella, jolla tavoitellaan toiminnan laadun optimointia. (Koponen 2002, 186-187.) Laatu syntyy hyvästä johtamisesta, toimivista tekniikoista ja prosesseista sekä työntekijöistä (Lecklin 2006, 214).

Vastuu toiminnan ja tuotteen laadusta kuuluu jokaiselle työntekijälle. Henkilöstön kouluttamisella on tärkeä rooli toiminnan laadun sekä työntekijöiden asenteiden kehittämisessä. Henkilöstö on otettava mukaan toiminnan kehittämiseen ja heidän tietämystään muutoksista ja niiden vaikutuksista on lisättävä. (Haverila et al. 2009, 379 - 380.)



Kuva 9. Tuotteen ja toiminnan laatuun vaikuttavat asiat (Muokattu lähteestä Haverila, 2009, 374).

Tuotannon työpisteiden ja osaprosessien välillä on sisäinen asiakkuus. Jokaisen työntekijän tulisi suhtautua työhönsä niin, ettei seuraavaan vaiheeseen toimiteta huonolaatuisia tuotteita. Huonolaatuisen tuotteen siirto seuraavaan työvaiheeseen lisää turhan työn määrää, mikä nostaa kustannuksia eikä laadullisten virheiden syytä saada selvitettyä eikä korjattua vaan huonolaatuisten tuotteiden tuotanto jatkuu. Usein tällaisissa tapauksissa ei ole kyse tiedonpuutteesta vaan asenteesta, johon voidaan vaikuttaa lisäämällä tietoa laadun merkityksestä. Työntekijä vaikuttaa eniten yrityksen kustannuksiin raaka-aineen oikealla käsittelyllä. (Voutilainen 2002, 190, 203.)

Tuotannossa aiheutuu laadullista ja ajallista hävikkiä sekä työvaihehävikkiä. Laadullinen hävikki aiheutuu koneiden, materiaalien ja työtapojen laatu- ja työstövirheistä. Ajallinen hävikki aiheutuu tuotannon seisahduksista eli kone- ja laitehäiriöistä. Ja työvaihehävikissä työntekijä tekee lopputuloksen kannalta tarpeetonta työtä. Työvaihehävikkiin vaikuttaa eniten työntekijän motivaatio ja kiinnostuksen sekä yhteistyön puute muiden työntekijöiden kanssa. (Tuominen 2010, 26 – 27.)

Teknisiä virheitä ovat esimerkiksi erilaiset pintojen työstövirheet, halkeamat, väärä kosteus ja kosteuspoikkeamat. Esimerkiksi vanerintuotannossa teknisenä virheenä voi ilmetä sorvauskarkeutta, jolloin puun syyt repeytyvät irti. Sorvauskarkeutta voi ehkäistä optimoidulla haudonnalla ja sorvauksen leikkuunopeudella sekä terävillä ja oikein terotetuilla terillä.

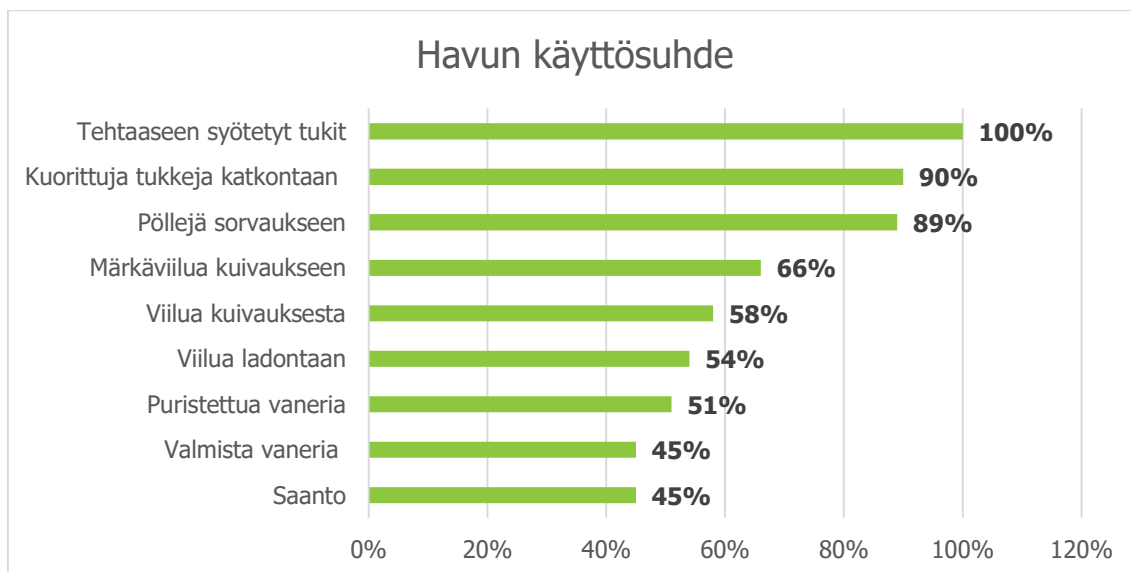
Koska puun ominaisuuksille ei voida tehdä paljon, on tuotannon taloudellisuuden kannalta jokaisessa prosessissa oltava oikeanlaiset laatuvaatimukset. (Isomäki 2002, 41 - 42.)

Tuotannossa muodostuva hävikki sekä työstö- ja käsittelyvirheet eli tekniset virheet ovat poikkeamia, joiden määrää on pyrittävä pienentämään jatkuvalla prosessien kehittämisellä. Vähentääkseen tuotannon laatuvirheitä eli hävikin määrää, on virheen juurisyy löydettävä, se on poistettava ja syyn toistuminen pyrittävä estämään. Hävikin poistaminen tuotannosta vaatii tuotannon jatkuvaa kehittämistä ja järjestelmällistä ajattelua. Järjestelmällisen ajattelun myötä ymmärretään ongelmia ja niiden ratkaisemista. Yksi jatkuvan kehittämisen menetelmä on DMAIC, määrittele, mittaa, analysoi, kehitä ja seuraa, jonka osa-alueita ovat nykytilanteen ymmärtäminen, tulevaisuuden tavoite on selkeä sekä tiedon raportoiminen niin, että se tukee toiminnan tai prosessin kehittämistä ja hävikin minimointia. (Tuominen 2010, 23, 11.)

3.2 Puunkäyttösuhde ja saanto

Yksi vaneritehtaan tuotannon tehokkuuden tunnusluku on puunkäyttösuhde, joka kertoo kuinka monta kuutiota (m^3) kuorellisia tukkeja tarvitaan yhden valmiin vanerikuution (m^3) tuotantoon. Pieni käyttösuhdeluku kertoo tehokkaasta puun hyödyntämisestä (UPM eKnow-Ply). Esimerkiksi maailmanluokan tasolla havuvanerin valmistuksen raaka-ainetehokkuus on $2,00 m^3$ puuta/ m^3 valmista vaneria (Varis et al. 2017, 40). Käyttösuhde kuvaa siis vanerintuotannon materiaalitehokkuutta, jolla säästetään energiaa, työkustannuksia ja raaka-ainetta. Ja, kun saadaan säästöjä, yrityksen toiminta on kannattavampaa ja kestävämpää.

Kuvassa 10 on esitetty vaneritehtaan puuraaka-aineen käyttösuhde prosessivaiheittain. Kuorintavaiheessa raaka-ainetta on käytettävissä 100 prosenttia ja seuraavassa vaiheessa, katkonnassa, tukkeja on 90 prosenttia. Tämä tarkoittaa sitä, että kuorintavaiheessa puusta pysytään hyödyntämään 90 prosenttia seuraavaan vaiheeseen eli katkontaan ja loput 10 prosenttia tukista on kuorta ja muuta hävikkiä, jotka päätyvät sivutuotteeksi. Valmista vaneria -kohdassa käyttösuhde on 45 prosenttia eli 100 prosentista puuraaka-ainetta on saatu valmistettua 45 prosenttia valmista vaneria eli käyttösuhdeluvuksi saadaan $1/0,45 = 2,22 m^3$ puuraaka-ainetta/ m^3 valmista vaneria.



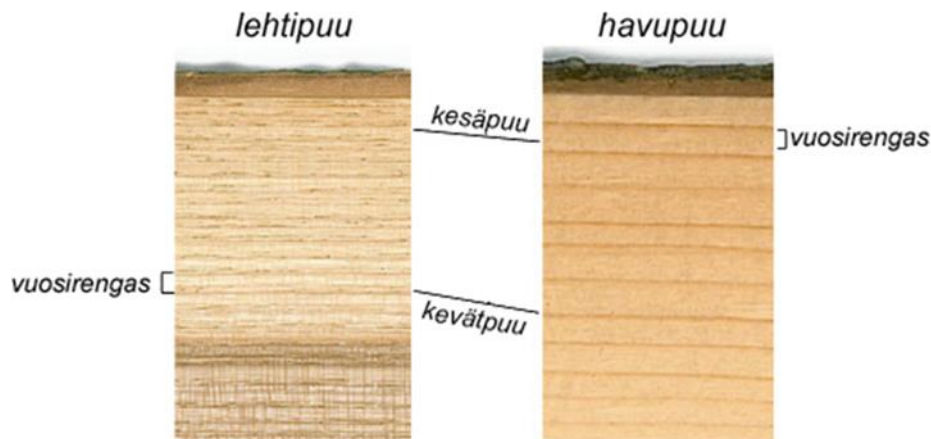
Kuva 10. Havupuun keskimääräiset käyttösuhdet vaneritehtaalla (Muokattu lähteestä Varis et al. 2017, 47).

Saanto tarkoittaa kullekin osaprosessille asetettua tuotantotavoitetta, joka lasketaan osaprosessin lopputuotteen määrä suhteutettuna kuorellisten tukkien määrään esimerkiksi kuiva-viilukuutiot jaettuna alkuperäisellä materiaalipanoksella. Saantotavoitteet ilmoitetaan prosenttilukuina. Kuvassa 10 esitetyt uusimmat saantotavoitteet perustuvat vanerin valmistuslaitteistoja valmistavan Raute Oyj:n laitteistojen kapasiteetteihin.

3.3 Havupuu raaka-aineena

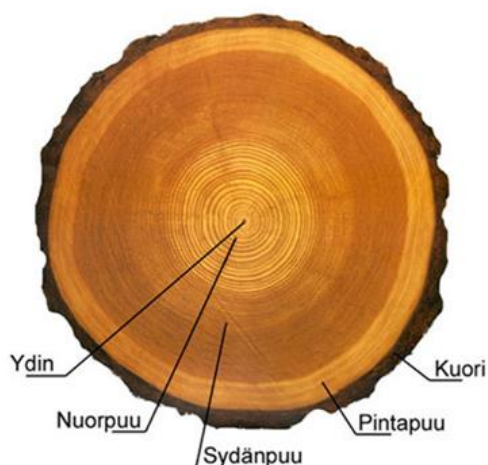
Puun perusrakenteeseen, muotoon ja kasvuun vaikuttavat geneettiset tekijät sekä ympäristötekijät eli kasvupaikka ja ilmasto. Jatkojalostuksen kannalta on tärkeää tuntea puun rakenne sekä sen ominaisuudet. (Jääskeläinen, A-S. & Sundqvist, H. 2007, 12.) Puusta puhuttaessa nousee usein esiin myös monia erilaisia termejä, kuten kevät- ja kesäpuu sekä pinta- ja sydänpuu, joita avataan seuraavaksi.

Suomessa puun kasvu on nopeinta kasvukauden alkaessa eli keväällä. Nopean kasvun vaiheessa havupuihin muodostuu kevätpuuta, joka toimii johtosolukkona. Kasvun hidastuessa puuhun muodostuu tukisolukkoa eli kesäpuuta. Kevät- ja kesäpuun osuuksiin vaikuttaa merkittävästi kasvukauden olosuhteet. (Jääskeläinen et al. 2007, 13.) Kuvassa 11 näkyy, miten kevät- ja kesäpuu näkyy lehti- ja havupuun poikkileikkauksessa.



Kuva 11. Kevät- ja kesäpuun ero lehti- ja havupuussa (Kevät- ja kesäpuu. PuuProffa).

Puun ydintä ympäröi puuaines eli ksyleemi, joka muodostuu pitkulaisista puusoluista. Puuaines muuttuu juuresta latvaan sekä ytimestä pintaan. Esimerkiksi joidenkin puulajien poikkileikkauksista on havaittu osia, joissa on muuta puuosaa tummempi väri tai, että osan kosteuspitoisuus eroaa pintapuusta. Tätä osaa kutsutaan sydänpuuksi, jonka ydinsäteiden tylppysolut ja mahdolliset pitkittäistylppysolut ovat kuolleita eikä ne enää kuljeta vettä. (Jääskeläinen et al. 2007, 13 - 15. Kärkkäinen, M. 2003, 109.) Havupuilla rungon kosteuden vaihteluun vaikuttaa eniten pinta- ja sydänpuun ero, sillä sydänpuun muodostumiseen liittyy voimakas kosteuden aleneminen pintapuuhun verrattuna (Kärkkäinen, M. 2007, 132).

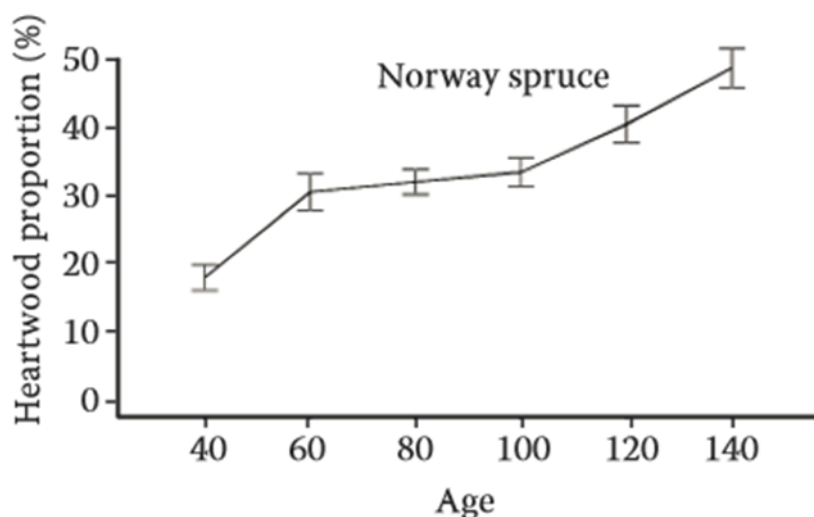


Kuva 12. Puun perusrakenne. (Rungon kerrokset).

Pintapuun ydinsäteet muodostuvat elävistä tylppysoluista, joiden puun solujen aineenvaihdunnassa tapahtuvat muutokset käynnistävät sydänpuun muodostumisen aineenvaihdunnan muutosten on arvioitu vaikuttavan sydänpuun muodostumisen alkamiseen. Esimerkiksi puun tylppysolujen kuollessa havupuilla tapahtuu erilaisia reaktioita kuten aspiraatiota eli

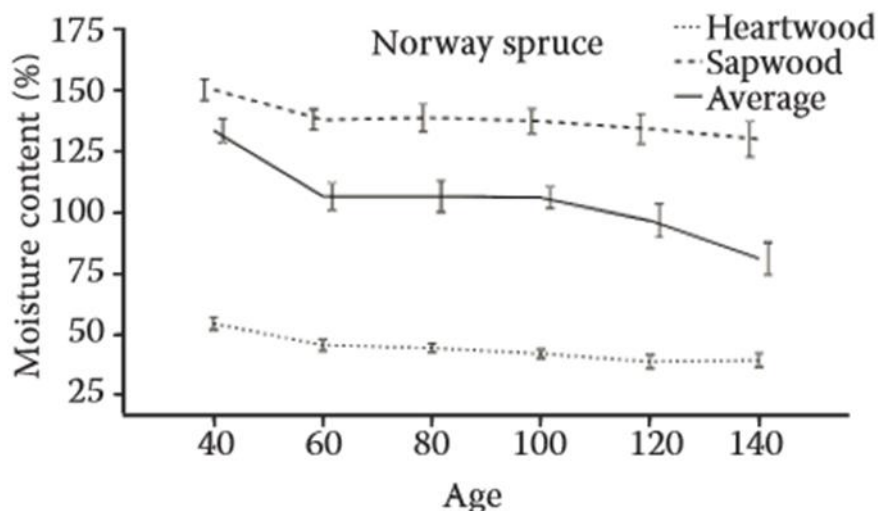
rengashuokosten sulkeutumista ja solujen tukkeutumista, kun tylppysolut tunkeutuvat tra-keidien onteloihin. (Jääskeläinen et al. 2007, 32 – 33.) Kuusella pinta- ja sydänpuu eroavat toisistaan kosteuspitoisuudeltaan sekä kemialliselta koostumukseltaan (Jääskeläinen et al. 2007, 32). Kemiallinen muuttuminen tarkoittaa sydänpuussa sitä, että siihen on kerääntynyt uuteaineita. Esimerkiksi havupuilla sydänpuuhun kertyy pihka-aineita. (Kärkkäinen, M. 2003, 110.)

Vuonna 2013 Millers tutki sydänpuun osuuden kasvua havupuissa puun vanhetessa sekä sitä, miten sydänpuu vaikuttaa puun kosteuteen. Tutkimuksessa tarkasteltiin Latviassa kasvaneita havupuita, jotka olivat 37 -143 vuotta vanhoja. Millersin tutkimuksen lopputulok-sena on, että kuusella sydänpuun osuus kasvaa puun ollessa 40 -60 vuoden iässä, minkä jälkeen sydänpuun kasvu hidastuu ja sadan vuoden iässä kasvu taas lisääntyä voimakkaasti (Kuva 13.).



Kuva 13. Kuusen iän vaikutus sydänpuun osuuteen (Millers. 2013, 297).

Kuusella keskimääräinen kosteus on korkeampi kuusen ollessa nuori eli 0-40 -vuotias. Kuusella keskimääräinen kosteuspitoisuus laskee voimakkaimmin puun ollessa 40 -60 -vuotias (Kuva 14.). Esimerkiksi 40 -vuotiaalla puulla keskimääräinen kosteuspitoisuus on noin 134 % ja 60 -vuotiaalla puulla kosteuspitoisuus tippuu 107 %. Kosteuspitoisuuden muuttuessa puun vanhetessa pintapuun kosteus muuttuu 150 % - 138 % ja sydänpuun kosteuspitoisuus tippuvat 54 % - 45 % ja samalla sydänpuun osuus kasvaa 18 % - 30 %. Sydänpuun osuuden kasvaessa puun ollessa 40 -vuotias, laskee myös puun keskimääräinen kosteuspitoisuus. Eli, mitä vanhempaa puuta käytetään, sitä suurempi on sydänpuun osuus suhteessa pintapuuhun. (Millers 2013, 298 – 299.)



Kuva 14. Kuusen kosteuspitoisuus puun iän mukaan (Millers. 2013, 298).

3.3.1 Puun rakenneviat

Puun rakenneviat aiheuttavat haasteita puun jatkojalostamiselle. Esimerkiksi tukin lenkous (Kuva 15.) hankaloittaa viilun sorvausta, sillä lenkoa pöllä on vaikea keskittää sorville. Keskitysvaikeuden lisäksi pöllille on tehtävä iso pyöristys, että viilumatosta saadaan yhtenäinen. Tukin lenkous tarkoittaa sitä, että tukki on koko pituudeltaan käyrä.



Kuva 15. Tukin lenkous (Puun laatu).

Puun kosteuskäyttäytyminen aiheuttaa puun kutistumista, turpoamista ja muodonmuutoksia. Muodonmuutokset ja puun kosteuden lasku puun syiden kyllästymispisteen alapuolelle aiheuttaa puuhun sisäisiä jännityksiä, jotka vaikuttavat esimerkiksi puun halkeiluun (Kuva 16). Ja puun kutistumisesta aiheutuu puun kieroutumista, kuperuutta sekä syrjä- ja lapevääräytystä. (Kärkkäinen, M. 2003, 205. Kärkkäinen, M. 2007, 307.) Puun kosteuspitoisuus vaihtelee ympäröivän ilman kosteuden mukaan, joten on tärkeää pyrkiä pitämään puutavaran kosteus mahdollisimman tasaisena kuljetuksen ja varastoinnin aikana ennen puun jatkojalostusta (Puun kosteuskäyttäytyminen. 2011, 1, 3).



Kuva 16. Tukissa pintahalkeama (Tukkipuu).

Kun puu korjaa kasvusuuntaansa, puhutaan reaktiipuusta. Kasvusuunnan korjaus voi johtua esimerkiksi lumen painosta, jolloin puu pyrkii oikaisemaan kaltevan asennon niin, että suurin osa tyven paksuuskasvusta keskittyy rungon toiselle puolelle. Reaktiopuu eroaa solukoltaan sekä mekaanisilta ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan normaalipuusta ja sen rakenteesta. Reaktiopuu lisää puun heterogeenisyyttä, joka hankaloittaa puun jatkojalostusta. Havupuun reaktiopuuta kutsutaan puristuspuuksi eli lylyksi (Kuva 17). Puristuspuu on väriltään tummaa ja se on ainekseltaan kovaa. Lisäksi aineksen tiheys on noin 50 prosenttia suurempi kuin normaalipuun. (Jääskeläinen et al. 2007, 58, 61, 63.)

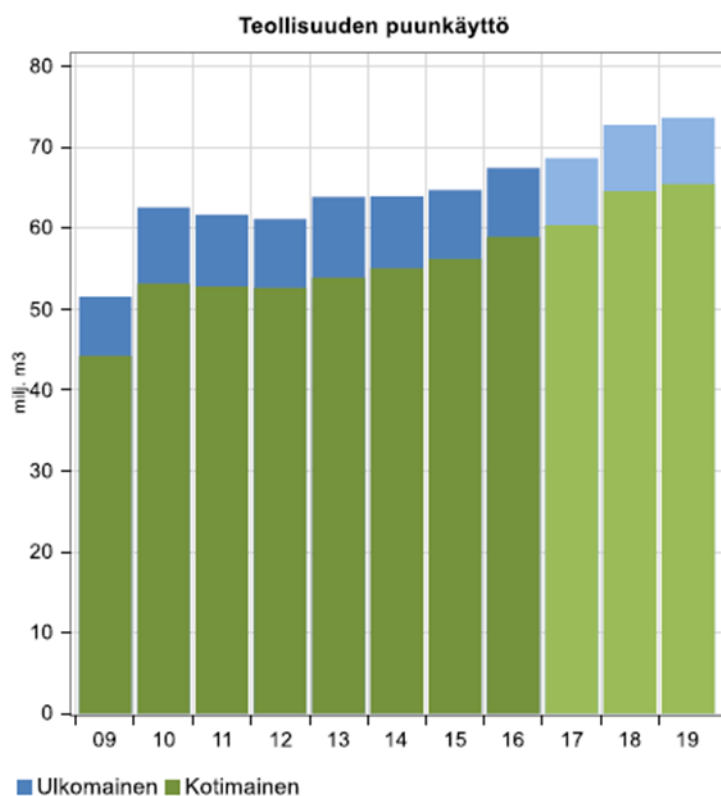


Kuva 17. Lylypuu (Puun laatu.)

3.3.2 Puuraaka-aineen hinta ja saatavuus

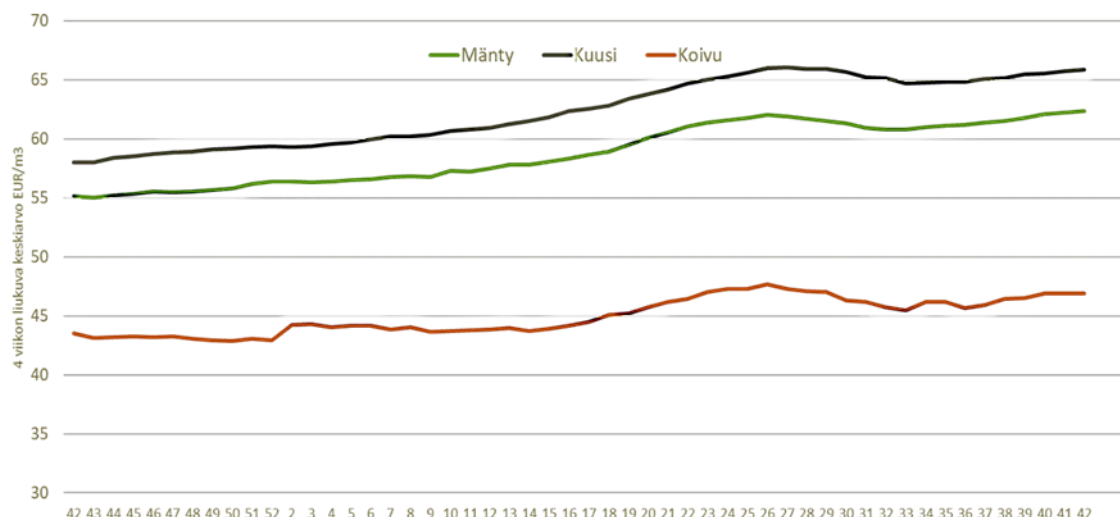
Kansainvälisen politiikan myötä maailmaa haastavat megatrendit, kuten ilmastonmuutos, väestönkasvu sekä kaupungistuminen, muokkaavat myös suomalaisen puun käyttöä. Teollisuuden puunkäytössä kotimaisen puun osuus nousee vuosi vuodelta ja tuontipuun osuus laskee (Kuva 18.) (Horne et al. 2018.)

Puun saanti teollisuuden käyttöön nojaa entistä enemmän yksityisiin metsänomistajiin. Vuoden 2018 metsäalan suhdannekatsauksessa on havaittu, että metsäomistajien suhtautuminen metsien hoitoon on muuttumassa. Metsäomistajat eivät enää arvosta metsien tuottamaa taloudellista arvoa metsänhoidossa vaan he painottavat enemmän metsien virkistyskäyttöä ja sen säilymistä. Lisäksi yhä harvemmat metsänomistajat ovat enää riippuvaisia hakkuutuloista eikä heillä ole toisaalta selkeää kuvaa metsistään ja siitä, mitä metsille pitäisi tehdä. (Hänninen et al. 2018.) Tämä luo haasteita teolliseen käyttöön tarvittavan puun saatavuuteen sekä materiaalin tehokkaampaan käyttöön tuotannossa.



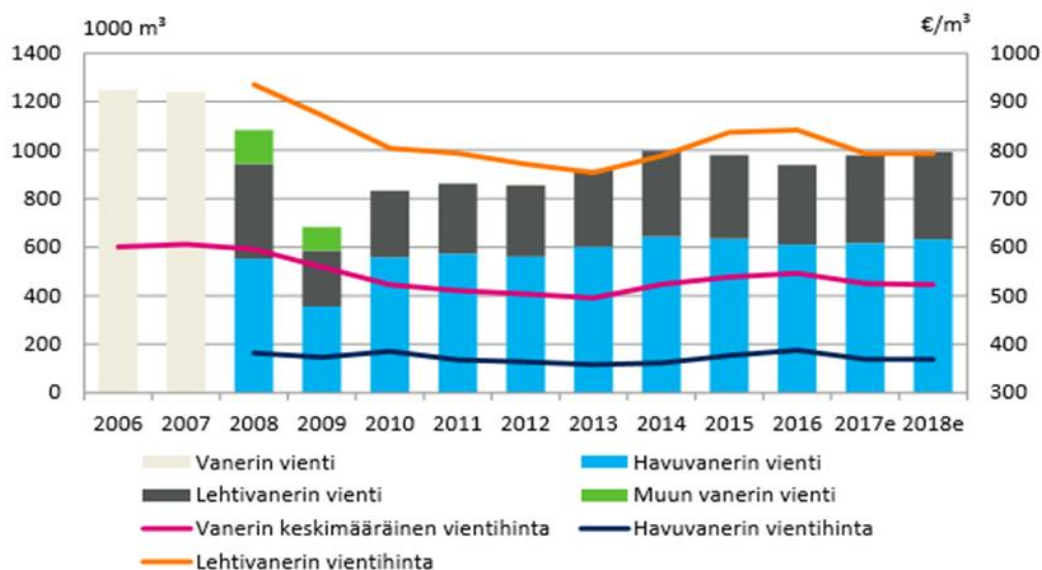
Kuva 18. Puunkäyttö teollisuudessa vuosittain (Horne et al. 2018.)

Havuviilu valmistetaan kuusipöleistä, joiden kantohinnat ovat kehittyneet vuodesta 2015 alkaen yhä korkeammiksi (kuva 19). Vuonna 2017 kuusitukin hinta nousi 2 -4 prosenttia, johon vaikutti erityisesti kysynnän kasvu sekä hyvin sateinen sää, joka vaikeutti puunhakuita. Vuonna 2018 kantohinnan nousuksi ennustetaan 3 prosenttia. (Metsäsektorin suhdannekatsaus 2017-2018, 51, 53.)



Kuva 19. Tukkupuun kantohinnat 2017-2018 (Rautavirta, M. 2018).

Vanerin vientihintojen kehitys on ollut maltillisempaa kuin raakapuun kantohintojen kehitys (kuva 20). Vientihintojen ennustetaan kehittyvän vuonna 2018 noin 0 -2 prosenttia, johon vaikuttaa kysynnän kasvu sekä inflaatio. Lisäksi vanerin kansainväliseen hintatasoon vaikuttaa voimakkaasti myös kiinalaisen vanerin hintataso, koska Kiina on maailman suurin vanerin viejämaa. Kiinalaisen vanerin hinta on noussut syksystä 2017 lähtien raaka-ainekustannusten kasvaessa sekä Kiinan valuutan vahvistuessa dollariin nähden. (Horne, P., Haltia, E., Valonen, M., Sajeva, M. & Kniivilä, M. 2018.)



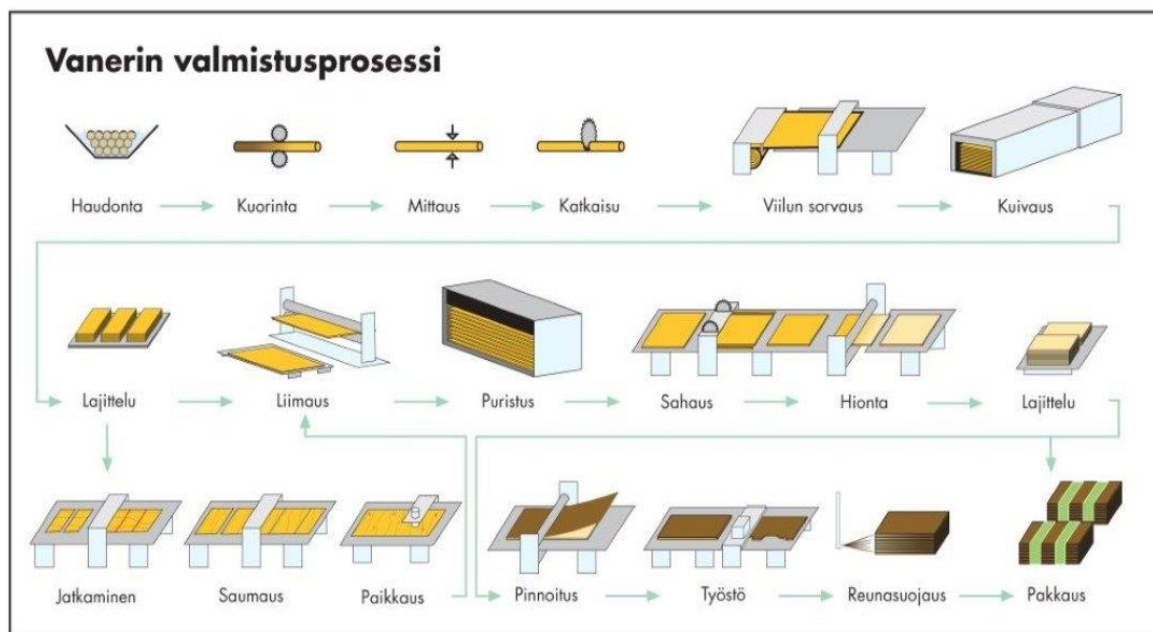
Vanerin viennin määrä ja viennin yksikköarvo 2006–2018e vuoden 2016 hinnoin (tukkuhintaindeksi 1949=100).
Lähteet: Tulli, Tilastokeskus ja Luke.

Kuva 20. Vanerin vientimäärät ja -hinnat (Viitanen et al. 2017, 30).

4 HAVUVIILUN VALMISTUSPROSESSI

Tuotantoprosessi tukista viiluksi ja viilusta vaneriksi on monivaiheinen tuotantoketju, joka muodostuu useasta osaprosessista (kuva 21). Koko prosessi alkaa tukkien haudonnalla, jonka jälkeen kuori saadaan irtoamaan niistä paremmin. Kuorinnan jälkeen tukit katkotaan sorvaukseen sopivaksi pölliiksi. Pölliästä sorvataan viilumattoa, joka leikataan viiluarkeiksi ja arkit kuivataan.

Kuivauksen jälkeen alkaa viilun jalostaminen vaneriksi. Viiluarkkeja jatketaan, saumataan ja paikataan sekä ladotaan ja liimataan levyksi eli vaneriksi. Levyt puristetaan, jonka jälkeen ne sahataan määrämittaan ja pinta viimeistellään hiomalla sileäksi tai vaneri pinnoitetaan, jonka jälkeen se sahataan ja reunamaalataan. Seuraavissa alaluvuissa perehdytään havuviilun valmistusprosessiin tukkien haudonnasta viilun kuivaukseen.



Kuva 21. Vanerin valmistusprosessi kokonaisuudessaan (eKnowPly).

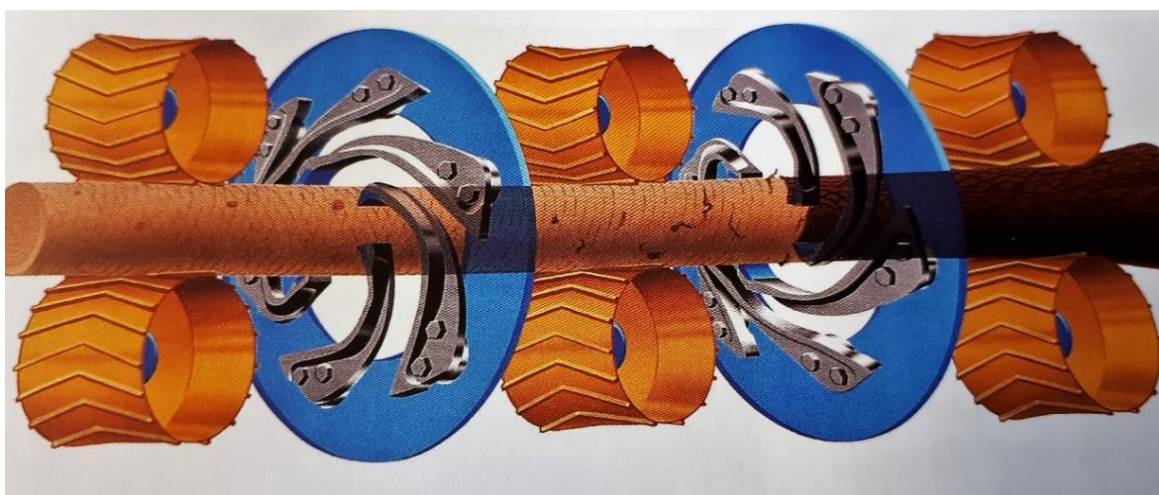
4.1 Haudonta

Haudonnassa tukkeja lämmitetään ja niiden kosteutta nostetaan, jotta puuainees on riittävän elastista sorvausta varten. Kosteuden ansiosta puusta saadaan sorvattua pinnaltaan sileää ja lujaa viilua. Ja lämmön ansiosta puusta saadaan sorvattua käyttökelpoista viilua (Koponen 2002, 30).

Haudonnassa on huomioitava puun kosteustekniset ominaisuudet. Puun pituussuunnassa kosteus ja lämpö liikkuvat kolminkertaisella nopeudella poikittaissuuntaan verrattuna. Tästä johtuen tukin päät lämpiävät ja kostuvat sisäosaa nopeammin, josta aiheutuu tukin päiden halkeilua. Toisena huomioitavana kosteusteknisenä ominaisuutena on se, ettei puun sorvausominaisuus eli muovautuvuus parane kosteuden noustessa yli puun syiden kyllästymispisteen eli yli 30 %. Kuitenkin puun kosteuden on oltava vähintään 30 %, jotta puuaines on muokattavissa eli sorvattavissa. Onnistunut haudonta täyttää vaneritukkien laatuvaatimukset sekä sorvausvaatimukset. (Koponen 2002, 30 - 31, 44.)

4.2 Kuorinta

Kuori poistetaan tukista kapeina suikaleina kuorimakoneella. Samalla pöllistä saadaan poistettua epäpuhtaudet ja pöllä kulkee metallinpaljastimen läpi. Tällä tavoin vältetään sorvin terien vahingoittumiselta. (UPM eKnowPly.)



Kuva 22. Tugin kuorinnan periaate (Varis et al. 2017, 53).

Kuorinnalle on asetettu teknisiä vaatimuksia, esimerkiksi kuorinnan jälkeen tukin pinnan on oltava mahdollisimman puhdas kuoresta eikä puun pintaosa saa olla vahingoittunut, sillä pintaosa on puun arvoikkainta ainesta (Koponen 2002, 33).

Kuorinnassa materiaalihukka on vakio eli sorville syötettyihin pöllikuutioihin tehdään laskennallinen 10 prosentin lisäys, joka tarkoittaa kuoren osuutta. Kuori käytetään omassa energiantuotannossa tai myydään polttohakkeena. Kuorinnan jälkeen katkonnan ja sorvauksen sivutuotteet haketetaan sellun raaka-aineeksi.

4.3 Katkonta

Ennen katkontaa tukkien mitat, laatu sekä viat mitataan tukkimittarilla, josta tiedot siirtyvät tietokoneelle. Mittatietojen avulla tietokone antaa optimaaliset katkaisuvaihtoehdot tukille (Koponen 2002, 35).

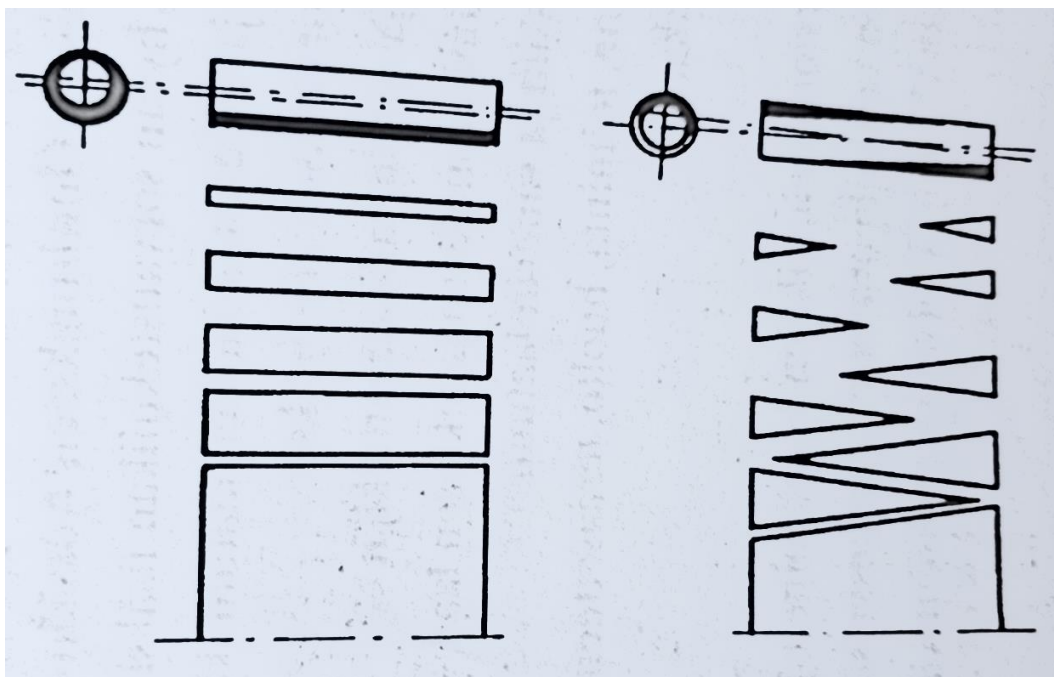
Tukit katkotaan sorvausmittoihin eli 1300, 1600 ja 2600 mm. Havulla pöllinpituus on yleensä 2600 mm. Katkaisulla optimoidaan sorvattavan viilun laatu ja määrä, jolla vastataan viilun tilauskantaan. Lisäksi katkaisun tavoitteena on minimoida raaka-ainekulutusta. Tähän tavoitteeseen pyritään sillä, että pölli katkotaan parhaalla mahdollisella tavalla kokonaisuudessaan sorvimittoihin. (UPM eKnowPly.)

Katkonnassa on hallittava pöllin laaturvirheet kuten halkeama, lahous sekä muotovirhe eli lenkous, mikä vaikuttaa eniten viilun saantoon. Katkontasahaus on tehtävä tarkasti ja kohtisuorasti pöllin pituusakseliin nähden. Lisäksi pöllin ajo mittavastettava vasten on tehtävä pehmeästi, ettei pölli pompahda vasteesta irti ja aiheuta vajaamittaista pölliä. (UPM eKnowPly.)

4.4 XY-keskitys

XY-keskittäjä mittaa ensin pöllin halkaisijan, jonka jälkeen mittakarvat kiinnittyvät mahdollisimman lähelle pöllin keskipistettä. Seuraavaksi mittakarvat pyörittävät pölliä lasermittauksen ajan, minkä avulla saadaan laskettua pöllille optimaalisin sorvausasento. Asento saadaan laskettua pöllin sisään mahtuvan suurimman ympyrälieriön avulla. Lisäksi XY-keskittäjän anturilaitteisto mittaa sorviin syötetyt kuutiot. (Varis et al. 2017, 56.)

Keskitys vaikuttaa merkittävästi viilun saantoon. Pienelläkin keskitysvirheellä aiheutuu viiluarkkien menetyksiä (Kuva 23.), esimerkiksi halkaisijaltaan 200 mm pöllin keskitysvirheen ollessa 3 mm aiheutuu 6 prosentin materiaalihukka. (UPM eKnowPly.)



Kuva 23. Keskityksen onnistuminen näkyy viilumatossa (Koponen 2002, 46).

4.5 Pyöristys

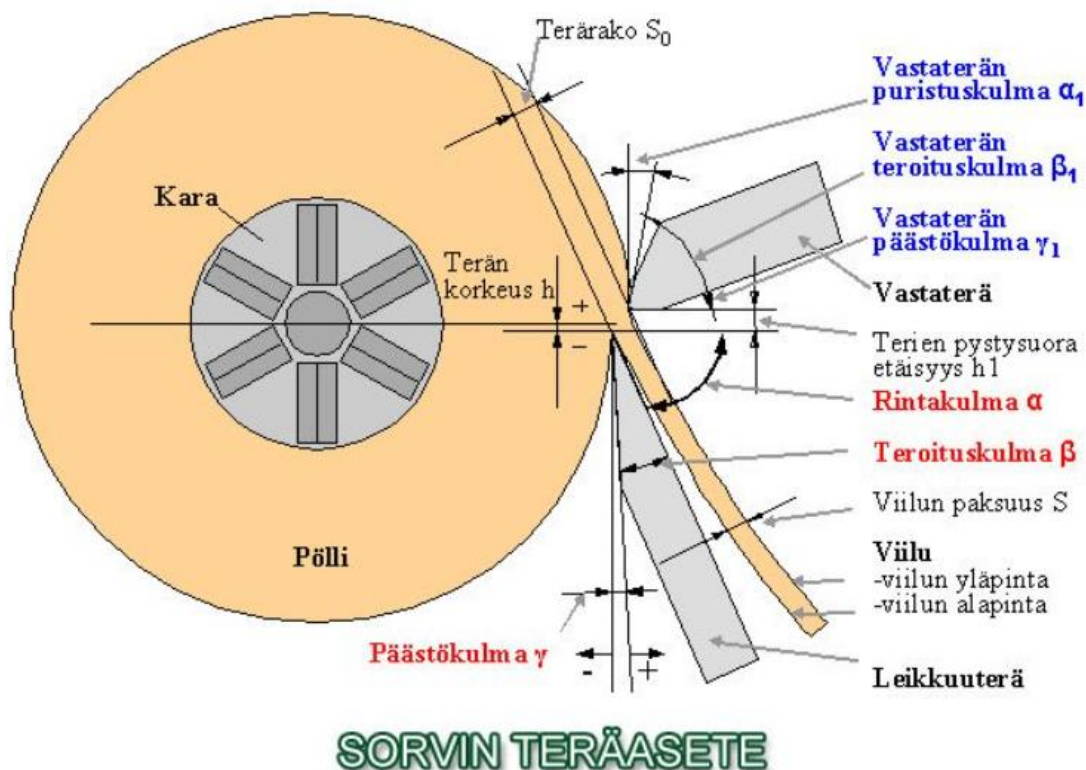
Pyöristyksellä tasataan pölin pinnan epätasaisuus ennen sorvausta, että saadaan optimoitua ehjän viilumaton saanto. Pyöristyksellä pölin pinnasta otetaan saman paksuinen viilukerros kuin viilumaton paksuus on eli havulla 2,1 mm tai 2,7 mm (UPM eKnowPly). Pyöristystä tehdään siihen asti, kunnes viilu on kutakuinkin yhtenäistä (Koponen 2002, 41).

Sorvaajat voivat muuttaa pyöristuksen parametreja eli sorvauskierroksien määrää ja pyöristyspaksuutta, mutta pääsääntöisesti pyöristys tehdään kaikkiin pölleihin samalla asetteella. Pyöristysasete tulee suoraan keskittäjältä.

4.6 Sorvaus

Sorvaus on vanerin tuotannon kulmakivi, jolla on merkittävä vaikutus valmiin vanerin käytävyyteen ja sitä myöten koko tuotannon taloudellisuuteen ja kannattavuuteen (Koponen 2002, 48). Sorvauksessa pölin pinnasta saadaan vuoltua viilua vasta- ja leikkuuterän avulla (Kuva 24.). Sorvauksessa puu plastisoituu eli se kestää muodonmuutoksen paremmin. Puun plastisoituminen johtuu sorviterien puristavista voimista (Koponen 2002, 42). Puristus syntyy siitä, että terärako on pienempi kuin viilun paksuus. Puristuksella saadaan laadullisesti parempaa viilua. (Varis et al. 2017, 59.)

Sorvauksen yhteydessä viiluun muodostuu myös veto- ja puristusjännityksiä, mitkä aiheuttavat halkeamia erityisesti viilun alapinnalle. Halkeilun muodostumista pienentää vastaterän käyttö. (Koponen 2002, 42.)



Kuva 24. Sorvin teräasete (UPM eKnowPly).

Sorvauksen yhtenä oleellisena vaatimuksena on teräasetteen sopivuus puulajille, sillä sorvausvikoja aiheuttaa väärä puristusaste, tylsät terät ja virheelliset teräasetteet. Teräasete vaikuttaa viilun lopulliseen sorvauslaatuun. (Varis et al. 2017, 59 - 60.)

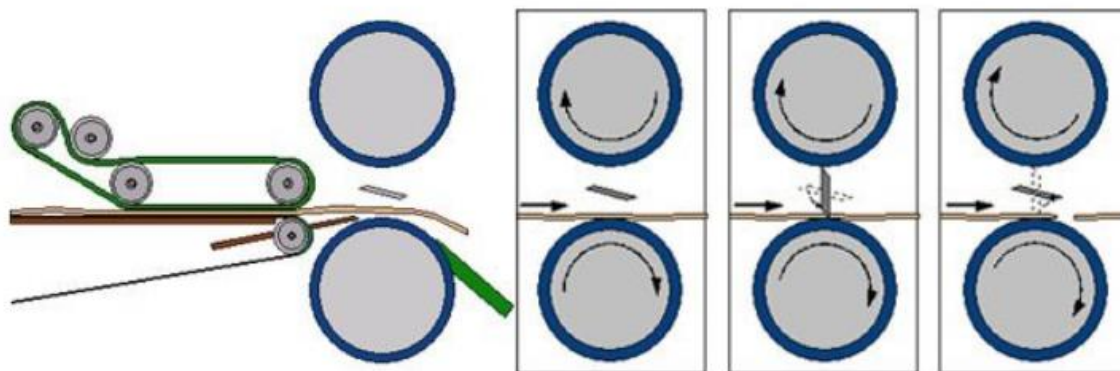
Tyypillisimpiä sorvausvirheitä on:

- **Karkea viilun pinta:** Syynä voi olla, että puristusaste on ollut liian matala/terä on ollut tylsä tai teräasete ei ole ollut oikeanlainen tai puun kosteus ja lämpö ei ole ollut sopivalla tasolla.
- **Viilu aaltoilee:** Teräkulma on ollut vääränlainen tai terä on liian alhaalla tai puun kosteus ei ole ollut riittävä.
- **Viilussa on kuorta:** Tukki on ollut lenko ja/tai pyöritys on jäänyt vajaaksi.

Sorvin muut häiriöt: Jos teriä ei vaihdeta 10 000 jm:n (juoksumetrin) täytyttyä vaan ne vaihdetaan esimerkiksi vasta 17 000 jm:n jälkeen, viilusta tulee lenkoa eli liian löysää. Lenkoa viilua ei voi jatkaa vaan se vääntyy kuljettimien väliin jatkoslinjalla ja päättyy näin ollen hävikkiin. (Koponen, 2002.)

4.7 Märkäleikkuri

Ennen märkäleikkuria viilumaton laatu ja kosteus määritellään kosteusantureiden ja kameroiden avulla niin, että leikatut viiluarkit lajitellaan kosteusluokittain märkään tai kuivaan viilukuormaan (UPM eKnowPly). Automaattisen konenäköjärjestelmän avulla tavoitellaan käyttökelpoisen viilun mahdollisimman tarkkaa talteenottoa (Varis et al. 2017, 60).

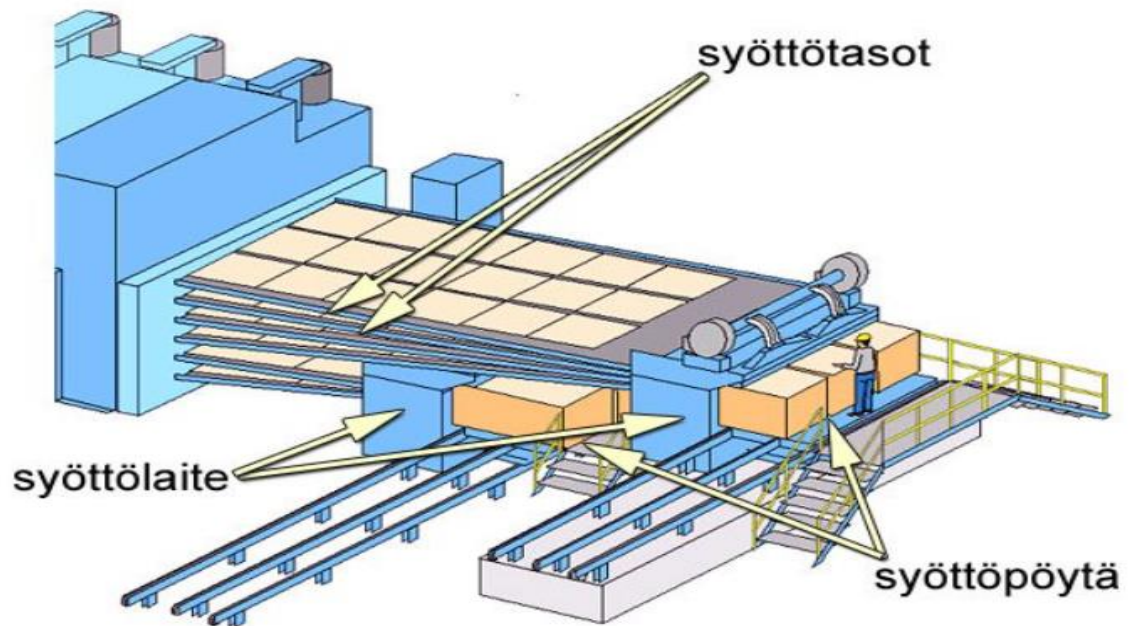


Kuva 25. Märkäleikkuri (UPM eKnowPly).

Kameratekniikan avulla analysoidaan viilumaton yksityiskohdat sekä viat, kuten reiät, halkeamat, kuoret ja lahot. Analyysin perusteella saadaan optimoituja viilumaton leikkauskohdat (kuva 25). Leikkauksen yhteydessä otetaan huomioon viilun kosteuspitoisuus, sillä kosteammat viilut kutistuvat enemmän kuin kuivemmat. Leikatut viilut kulkevat kuljettimia pitkin pinkkaajille. (Varis et al. 2017, 60 - 62.)

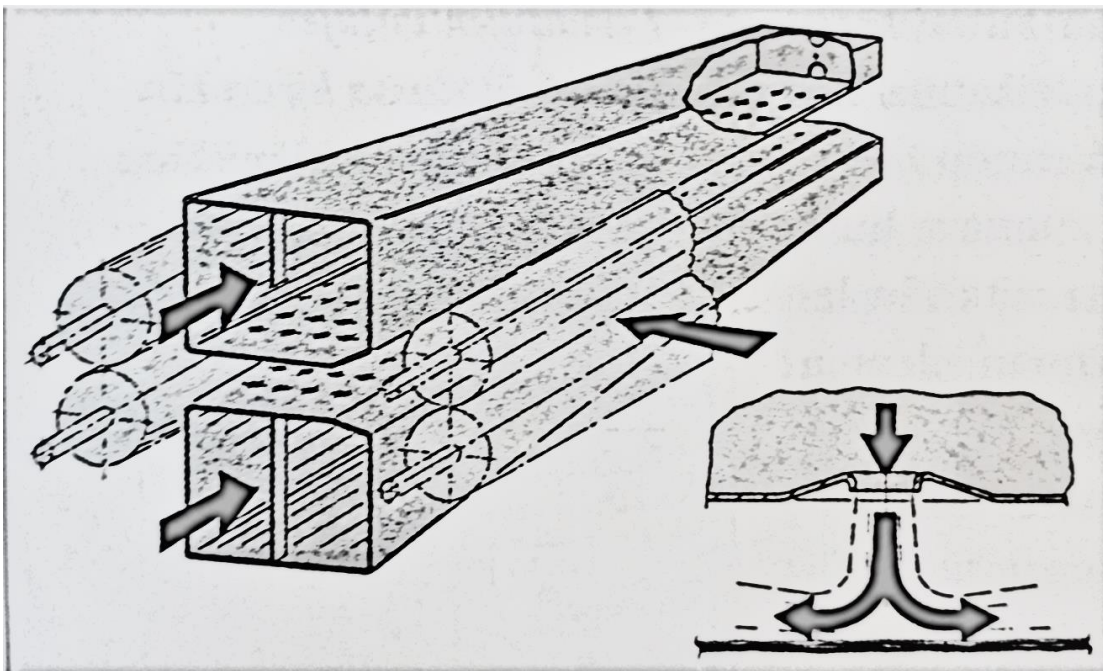
4.8 Telakuivaus

Kuivattavat viiluarkit syötetään pituussuunnassa rinnakkain telakuivaimeen (kuva 26), jossa viilut ensiksi lämpenevät ja sen jälkeen alkavat kuivua. Kuivauksen lopussa arkit jäädytetään, viilujen kosteuserot tasaantuvat ja kuivausjännitykset pienenevät (Koponen, 2002, 51). Telakuivaajan loppupäässä on konenäköön perustuva laatulajittelu, joka lajittelee viilut laatuokkiin. Loppupäässä mitataan myös kuivan viilun kosteus, jolla varmistetaan onko viilu tavoitekosteudessa, havulla 6-8 %. (Varis et al. 2017, 63, 67.) Telakuivaajalla kuivauskutistuma on noin 7-8 %.



Kuva 26. Telakuivaajan alkupää eli syöttöpää. (UPM eKnowPly).

Telakuivaajassa on kiertoilmapuhallin, lämmönvaihtopatteri, suutinpuhalluslaitteet ja viilua kuljettavat telat (Kuva 27.). Ilmaa puhalletaan suutinlaatikoista viilun pinnoille. Puhalluksessa pyörteisyyttä ja ilmannopeutta siirtävät kosteutta viilun pinnoilta ilmaan. (Koponen 2002, 55.)



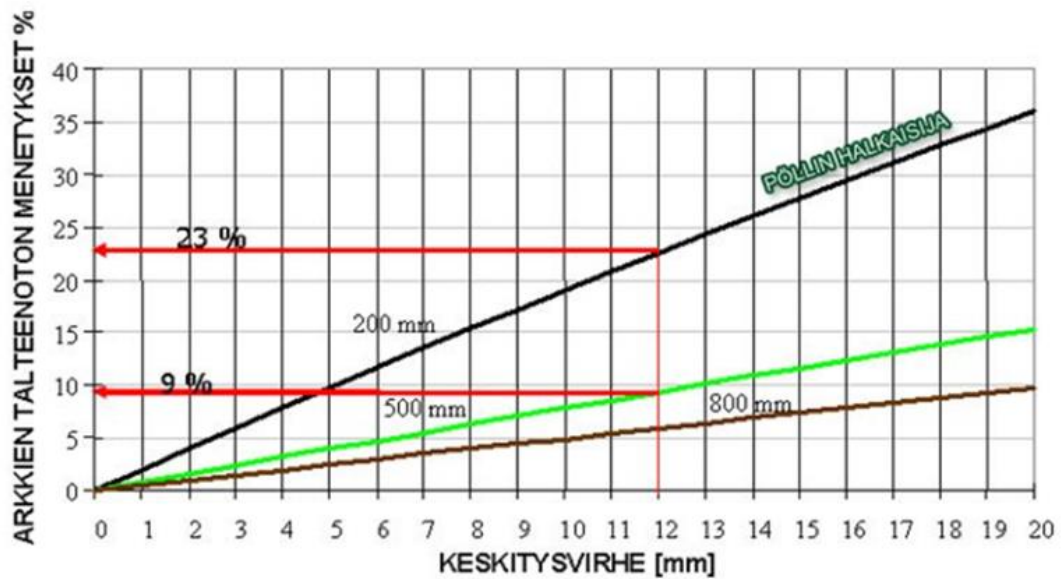
Kuva 27. Suutinlaatikot ja viilua kuljettavat telat (Koponen 2002, 55).

Seuraavat työvaiheet määrittelevät vaatimukset, jotka viilun on täytettävä kuivauksen jälkeen. Viilun pinnan on oltava mahdollisimman tasainen ja sen kosteuspitoisuuden on oltava tasainen. (Koponen 2002, 49.)

Kuusella on suippomaiset vesisolut, jonka takia kuusi kuivuu melko hitaasti. Kuivausaikaa voi lyhentää kuivausilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden on säädöillä. Mutta liian kuuma lämpötila aiheuttaa viilun tummumista ja liian alhainen kosteus kuivattaa viilun kopuraiseksi. Lisäksi kuusen pinta- ja sydänpuun kosteuserot ovat suuret. Pintapuun kosteuspitoisuus on noin 120 % ja sydänpuulla vastaava luku on noin 45%. (Koponen 2002, 53.) Havuviilun tavoitekosteus on 6 -8 %.

4.9 Tuotantovaiheiden vaikutus viilusaantoon

- **Haudonnassa** puu saadaan lämmitettyä ja oksat pehmitettyä, joten sorvin teräväuriot ja pöllien spinoutit eli karoista kesken sorvauksen pyörähtämiset vähenevät. Myös tuotannon häiriöiden määrä vähenee ja samalla sorvaushukka pienenee. (Varis et al. 2017, 50.) Viilun laatu heikkenee, mikäli tukkeja haudotaan liian korkeassa lämpötilassa tai tukkeja haudotaan optimilämpötilassa liian pitkään, jolloin puun syyt irtoavat toisistaan ja sorvauksessa viilun pinta on karheaa. Haudonnassa tukkeihin saattaa aiheutua jännityksiä, mitkä yhdessä puun kasvujännitysten kanssa voivat aiheuttaa puuhun ytimeistä lähteviä halkeamia eli sisähalkkeamia. (Kärkkäinen, M. 2003, 291.)
- **Kuorinnassa** kuori poistetaan jälsikerrokseen asti niin, ettei puun pinta vahingoitu, sillä pintaviilu on laadullisesti parempaa (Varis et al. 2017, 52).
- **Pöllin keskitys** vaikuttaa merkittävästi viilun saantoon. Kuvassa 28 näkyy, miten paljon pienikin keskitysvirhe vaikuttaa viilun saantoon. Halkaisijaltaan 200 mm pöllissä viiden millimetrin keskitysvirhe aiheuttaa noin 10 prosentin viilun menetykset.



Kuva 28. Pöllin keskitysvirheestä aiheutuva materiaalihukka (UPM eKnowPly).

- **Pyöristyksen** osuus on sorville syötetyistä pölleistä normaalisti 6 - 7 prosenttia. Pyöristyksellä ei ole tarkoitus puhdistaa pöllin pintaa täysin sileäksi. Tällä tavoin säästetään arvokasta pintaviilua.
- **Sorvauksessa** tavoitteena on, että raaka-aineesta saadaan mahdollisimman hyvä saanto ja, että viilu täyttää sille asetetut teknisen laadun kriteerit. Laatuksineen on viilun poikittaislujuus, paksuus, pinnansileyys ja tasomaisuus, jotka vaikuttavat olennaisesti lopputuotteen laatuun ja seuraavien työvaiheiden viilun käsittelyyn ja hävikin muodostumiseen. (Varis et al. 2017, 55.)
- **Märkäleikkuri** leikkaa viilumaton arkeiksi hyödyntäen koko viilumaton mahdollisimman tarkasti leikaten virheet pois viilusta.
- **Pinkkaajalla** märkäviilut pinotaan kuormiksi. Tärkeää on, että imukuljettimet ovat kunnossa, jotta raskaat märät viilut pysyvät imussa eivätkä tipahtele ennen aikojaan linjalle.
- **Kuivaus:** Viilun halkeamat sekä vääntymät aiheutuvat kuivauksessa ja erityisesti kuusi taipuu kuivattaessa. Vääntymiä aiheuttaa myös poikkeamat puun syyrakenteessa (Isomäki 2002, 23, 44). Mikäli alkukosteudessa on suurta vaihtelua sydän- ja pintapuun välillä, on tasaisen loppukosteuden saavuttaminen haastavaa (Isomäki 2002, 56). Tärkeimpiä kuivaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat puun ominaisuudet, kuivaamon lämpötila ja

kuivausvoima, jolla tarkoitetaan puun todellisen kosteuden suhdetta tasapainokosteuteen (Isomäki 2002, 52, 57). Mitä kuivempi on puu tavoiteltu loppukosteus, sitä enemmän puussa ilmenee muotovikoja (Kärkkäinen, M. 2003, 206).

5 MÄRKÄ- JA KUIVAVIILUSAANNON KEHITTÄMINEN SÄYNÄTSALON TEHTAALLA

Tutkimusmenetelmänä on tuotannon seuranta sekä yrityksen sisäiset tiedonkeruujärjestelmät, joista saatiin koostettua tietoa havuviilun valmistuksesta. Tuotannon seurannan yhteydessä haastateltiin vapaamuotoisesti tehtaan toimihenkilöitä sekä operaattoreita, joilta kerätään tietoa sorvaus- ja kuivausprosessien toiminnasta.

Telakuivaajan ja sorvin seuranta tehtiin normaaleina tuotantopäivinä touko-heinäkuussa sekä lokakuussa eikä tutkimusta varten tuotantoa muutettu tai tehty ennalta järjestettyjä koeajoja. Tiedonkeruusta kerätty data on vuoden 2018 tammi-heinäkuun ajalta. Joten tutkimuksen esiselvitys perustuu tammi-heinäkuussa toteutuneen tuotannon tarkasteluun. Tuotannossa käytettävää puuraaka-ainetta ei ole valikoitu eikä siihen ole tehty mitään erikoisjärjestelyjä sorvausta ja kuivausta edeltävissä työvaiheissa kuten haudonnassa tai katkonnassa. Viilun valmistuksen seurantatutkimuksella selvitetään, miten viiluhävikkiä muodostuu havusorvilla ja telakuivaajalla. Kun viiluhävikistä saadaan koostettua tietoa, syvennyttään tutkimaan, mitkä tekijät vaikuttavat eniten hävikkiä aiheuttavien syiden taustalla. Kuten esimerkiksi, mitkä tekijät vaikuttavat sorvauksessa korkkautumiseen eli pölliin irtoamiseen karoista.

Prosessien seurannan lisäksi yrityksen sisäisistä tiedonkeruujärjestelmistä saaduista tiedoista koostetaan excel-laskentataulukoita sorvauksen ja kuivauksen tuotannosta. Tietojen avulla analysoidaan prosessien saantotasojä. Sorvauksen tiedot kerättiin PlyNetin pölli- ja purilasraportista, sorvauksen vuororaportista sekä sorvauksen ja märkäleikkurin yhteisraportista. Lisäksi PlyNetin sorvaustietoja verrattiin PLY Tehdasraportoinnista saataviin tuotantotietoihin. Telakuivaajan tiedot koostettiin PLY Tehdasraportoinnista.

5.1 Sorvauksen viiluhävikki

Sorvauksen viiluhävikin tutkimus perustuu yrityksen sisäisistä tietokannoista PlyNetistä ja PLY Tehdasraportoinnista koostetuista tiedoista, jotka on kerätty Excel-taulukoihin. Taulukot 1 - 3 ovat esimerkkinä, muut Excel-tiedostot ovat salassapidettäviä. Viiluhävikin seuranta on tehty sorvauksen osalta näin, koska sorvausprosessissa muodostuvan viiluhävikin seuranta reaaliaikaisesti on lähes mahdotonta automaattisesti toimivan sorvausprosessin nopeampaisuuden takia eikä hävikkiin putoavan viilun määrää pysty silmämääräisesti arvioimaan. Tutkimuksen aikana sorvausprosessin toimintaa seurattiin myös paikan päällä,

jonka yhteydessä keskusteltiin sorvaajien kanssa prosessista, puuraaka-aineesta sekä yleisesti työskentelystä. Sorvauksen viiluhävikin tietoja kerättiin tammi -heinäkuulta 2018, että saatiin näkemys sorvausprosessin mahdollisista kuukausittaisista tuotannon vaihteluista.

| Sorvi 4 | 2.5. | 3.5. | 4.5. | 5.5. |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Kuorelliset tukit, m3 (10 % lisäys pöllit-m3) | 300,63 | 28,38 | 159,94 | 125,51 |
| Katkonta | 8,20 | 0,77 | 4,36 | 3,42 |
| Syötetyt pöllit, m3 | 273,3 | 25,8 | 145,4 | 114,1 |
| Sorvattu, m3 | 253,93 | 23,82 | 134,21 | 106,53 |
| Viilumatto, m3 | 212,4 | 21,1 | 114,3 | 89,1 |
| Märkä pinkattu viilu, m3 | 191,7 | 17,6 | 100 | 81 |
| Saanto, m3 (märkä pink.-m3/kuor. tukit) | 63,8 % | 62,0 % | 62,5 % | 64,5 % |
| Saantotavoite | 66 % | 66 % | 66 % | 66 % |
| | | | | |
| Hävikki, m3 | 81,6 | 8,2 | 45,4 | 33,1 |
| Pyöritys (syöt.pöllit-sorvattu) | 19,4 | 2,0 | 11,2 | 7,6 |
| Purilas | 16,4 | 1,7 | 10,0 | 6,9 |
| Märkäleikkuri (viilumatto-pinkattu viilu) | 20,7 | 3,5 | 14,3 | 8,1 |
| Korkkaus+muut hävikit | 25,15 | 0,99 | 9,91 | 10,57 |
| Korkkanneiden pöllien määrä, kpl | 175 | 16 | 68 | 47 |

Taulukko 1. Esimerkki tiedonkeruujärjestelmistä kerätystä havusorvin tuotantodatasta.

Tiedonkeruujärjestelmistä koostetun datan avulla saadaan laskettua sorvauksessa aiheutuva hävikki pyörityksen, purilaan, leikkaushukan sekä korkkaamisesta aiheutuvan viiluhävikin osalta. Kuusitukkien käyttömäärät saadaan sorvilta kulutuskirjauksina, joihin tehdään laskennallinen 10 prosentin kuorilisäys. Kuusen kuorellisten tukkien kuukausittaiset käyttömäärät on varmistettu tehtaan puunhankintaosaston esimieheltä. Tiedonkeruujärjestelmissä ajoittain ilmenneiden tuotantotietojen tallentumisongelmien takia viiluhävikin laskennassa on jätetty pois sellaiset sorvauspäivät, joiden tiedot on olleet vaillinaiset. Esimerkiksi, jos sorvatut -m3 tiedot puuttuivat.

Pöllien pyörityksen osuus lasketaan syötettyjen pöllikuutioiden ja sorvattujen kuutioiden erotuksena. Syötetyt pöllikuutiot ovat katkonnasta sorville syötettyjä pöllejä, joiden seuraava vaihe on pyöritys.

$$\text{Pyöritys: } \text{syötetyt pöllit, m}^3 - \text{sorvatut pöllit, m}^3 \quad (4)$$

Pyöristyksestä pöllit siirtyvät suoraan sorvattaviksi. Sorvin jälkeen viilumatto leikataan arkeiksi märkäleikkurilla. Märkäleikkuri tasaa viilumaton alkupään ja, mikäli pyöristys on jäänyt vajaaksi, leikkuri leikkaa viilumaton alkupäästä rikkonaisen viilun pois. Myös muut viilumatossa olevat viat kuten viilussa olevat lahot kohdat, koppuraiset viilut, halkeamat ja kaksinkerroin taittuneet viilut leikataan pois märkäleikkurilla. Viilumaton loppupäästä leikataan pois myös ne osat, joista ei saada enää täysimittaisia viiluarkkeja. Märkäleikkurin aiheuttama hävikki on laskettu viilumattokuutioiden ja pinkattujen viilukuutioiden erotuksena. On toki huomioitava, että leikattuja viiluja saattaa tipahdella imukuljettimilta ennen pinkkaria ja nämä hävikkiviilut lasketaan tässä tapauksessa myös leikkaushukaksi.

$$\text{Leikkaushukka: viilumatto } m^3 - \text{pinkattu viilu } m^3 \quad (5)$$

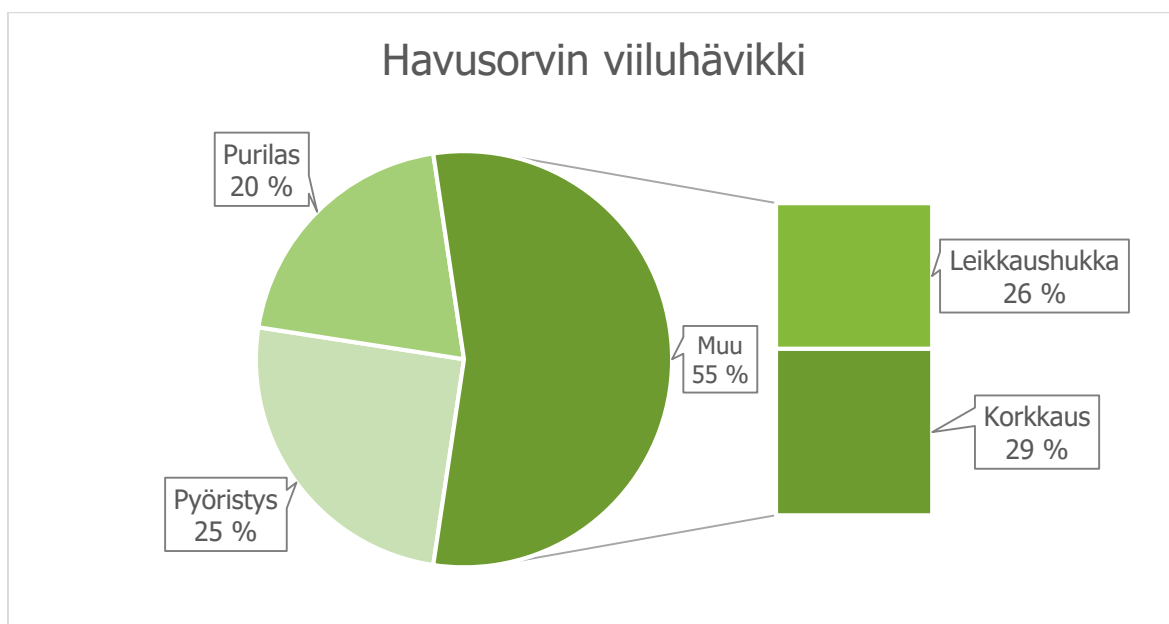
Sorvausjäännöksen eli purilaan halkaisija vaihtelee havupuulla pääsääntöisesti 72 -74 mm välillä. Purilas on muodoltaan lieriö, joten sen tilavuus voidaan laskea lieriön tilavuuskaavalla. Kaavassa säde eli r on purilaan säde. Laskennassa käytetään kunkin päivän purilaan keskihalkaisijan sädettä, joka saadaan tiedonkeruujärjestelmästä. Kaavassa h eli pituus tarkoittaa purilaan pituutta, joka kuusipölleillä on pääsääntöisesti 2,6 metriä. Pöllien kappalemäärällä tarkoitetaan päiväkohtaista sorvattujen pöllien määrää, josta on vähennetty korkaneiden pöllien määrä. Eli sorvattujen pöllien määrästä on vähennetty kaikki ne pöllit, joiden purilaan halkaisijan koko ylittää päivän keskihalkaisijan koon. Tämä tieto on saatu PlyNet-tiedonkeruun spinout -raportista.

$$\text{Purilas (m}^3\text{): } ((\pi r^2) \times h) \times \text{pöllien kpl} \quad (6)$$

Muu sorvauksessa muodostuva hävikki pyöristuksen, märkäleikkurin ja purilaan jälkeen on pääsääntöisesti pöllin korkkauksia. Korkkaus tarkoittaa sitä, että pöllit hyppää pois karoista, jonka jälkeen sorvausta ei voida jatkaa ja pöllit tippuu hävikkiin. Korkkaushävikki on laskettu sorvauksen kokonaishävikkimäärän (m^3) ja edellä laskettujen hävikkimäärien erotuksena.

$$\text{Korkkaus: kok. hävikki } m^3 - (\text{purilas} + \text{pyöristys} + \text{märkäleikkuri}) \quad (7)$$

Kuvaajassa 1 on yhteenveto sorvauksen 2,1 ja 2,7 mm viiluhävikistä, joka on kerätty tammiheinäkuulta 2018. Sorvauksen kokonaishävikkimäärät sekä viiluhävikin; pyöristys, purilas, leikkaushukka sekä korkkaus, määrät on laskettu yhteen tammi-heinäkuulta. Viiluhävikin jakautuminen on saatu laskemalla viiluhävikkimäärän osuus sorvauksen kokonaishävikkimäärästä.



Kuvaaja 1. Sorvauksen viiluhävikin jakautuminen tammi-heinäkuu 2018.

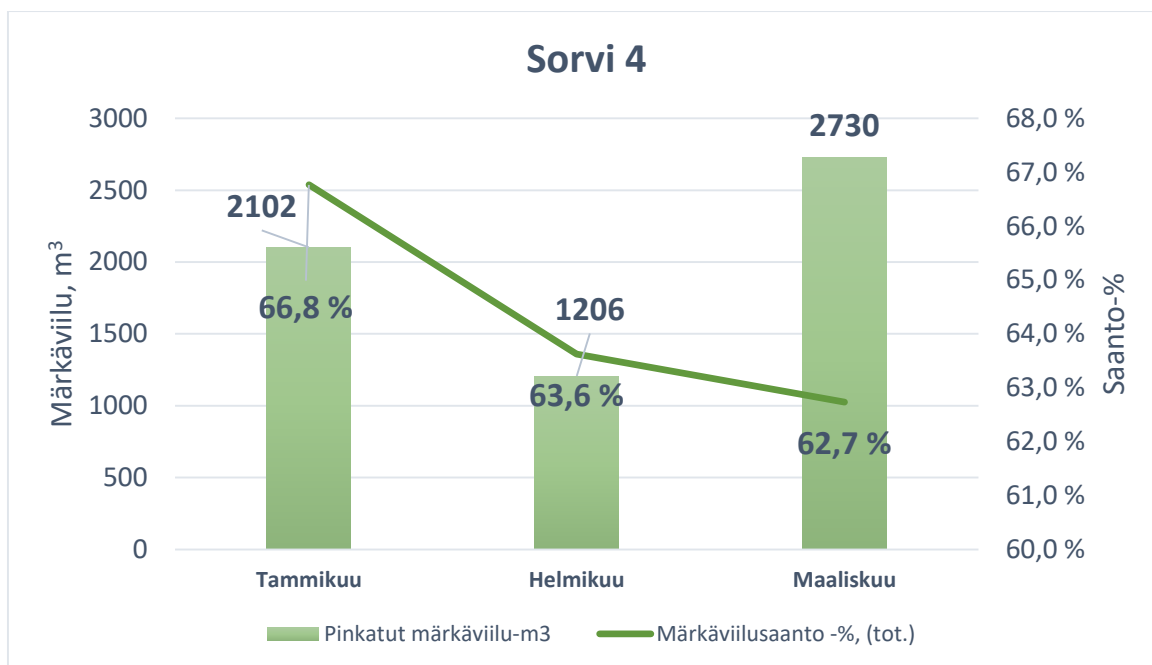
5.2 Märkäviilusaanto

Kuvaajissa 2 ja 3 on havusorvin eli sorvi 4:n märkäviilun tuotantomäärät sekä saannot tammi-heinäkuulta 2018. Kuukausittainen saantoprosentti on laskettu niin, että kuukaudessa tuotettu märkäviilun kokonaiskuutiomäärä on jaettu sorvauksessa kuukaudessa käytettyjen kuorellisten tukkien kuutiomäärällä. Sorvaukseen syötettyjen pöllien kuutiomäärään on tehty laskennallinen 10 prosentin lisäys, joka vastaa kuorintaan ja katkontaan kuluva osaa tukista. Tällä tavoin saadaan kuorellisten tukkien kuutiomäärä, koska vanerin tuotannossa osaprosessien lopputuotteiden määrät suhteutetaan kuorellisten tukkien määrään, josta saadaan tulokseksi osaprosessin saanto. Havun märkäviilusaannon tavoitteena on 66 prosenttia.

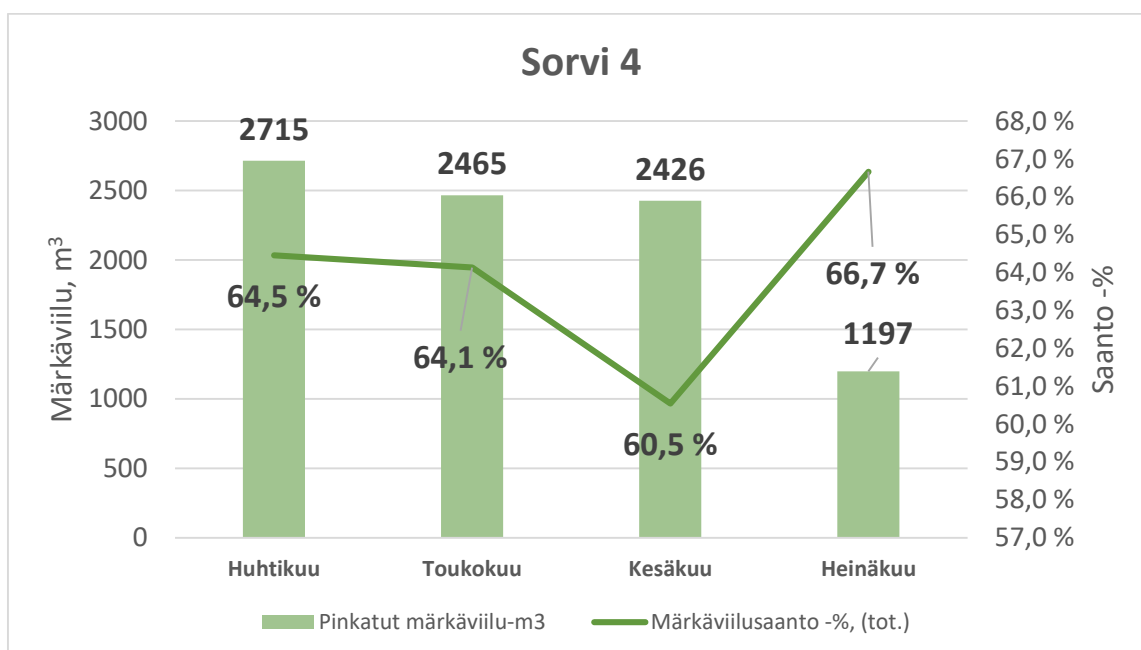
Kaikilta tarkasteluajanjakson päiviltä tammi -heinäkuulta on saatavissa märkäviilun tuotantomäärät sekä sorvaukseen syötettyjen pöllien määrät, joten tuotantomäärien ja saantojen laskennassa on kaikkien sorvauspäivien tiedot. Tiedot perustuvat tiedonkeruujärjestelmistä saataviin tuotantotietoihin, joissa havaittiin ajoittain puutteita erilaisista syistä johtuen. Näitä tiedonkeruussa ilmentyviä häiriöitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa syvällisemmin vaan tiedonkeruun tarkentamiseksi ja häiriöiden selvittämiseksi esitetään erillisen tutkimuksen tekemistä.

Kuukausittaiset märkäviilun tuotantomäärät vaihtelevat 1197 m³:sta - 2730 m³. Alhaisimmat märkäviilun tuotantomäärät on helmi- ja heinäkuussa, jolloin tuotannossa on pidetty talvi- ja kesälomat. Sorvauksen saanto on alimmillaan tarkastelujakson aikana ollut kesäkuussa

60,5 prosenttia ja ylimmillään tammikuussa 66,8 prosenttia. Kerättyjä tietoja analysoidaan alla tarkemmin vain ylimmän ja alimman saantotason kuukausien eli tammikuun ja kesäkuun osalta.



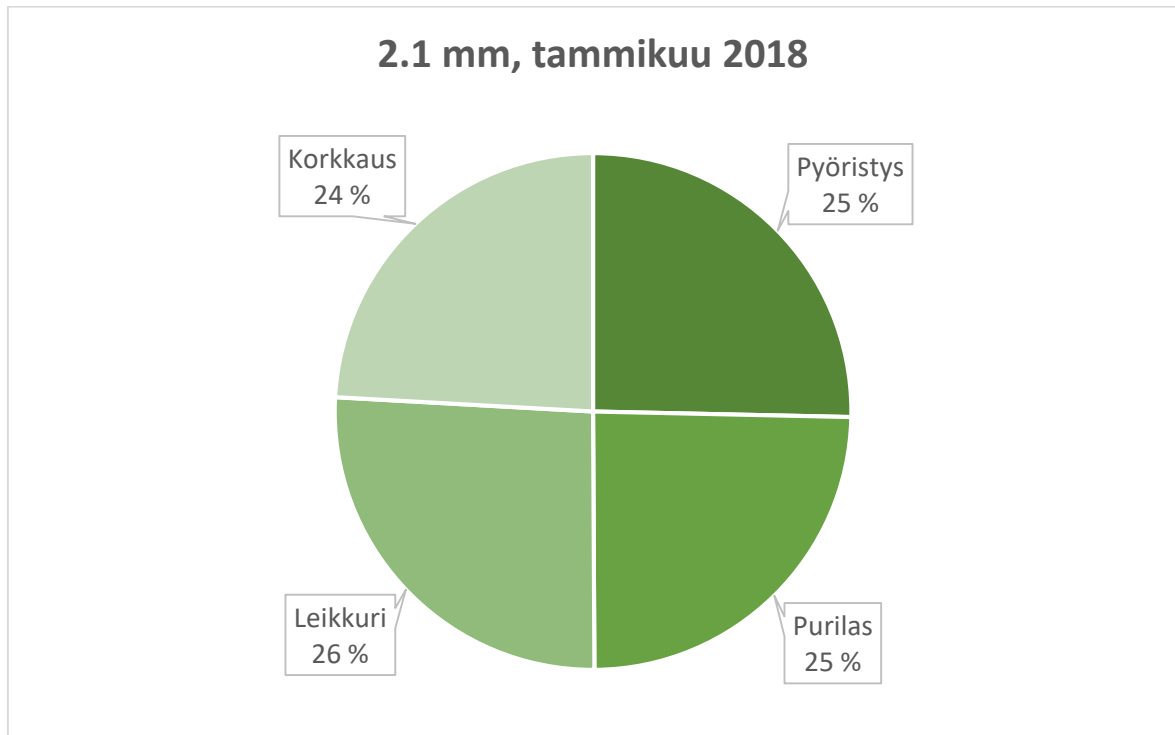
Kuvaaja 2. Sorvi 4:n märkäviilun saantotaset tammi-maaliskuussa 2018.



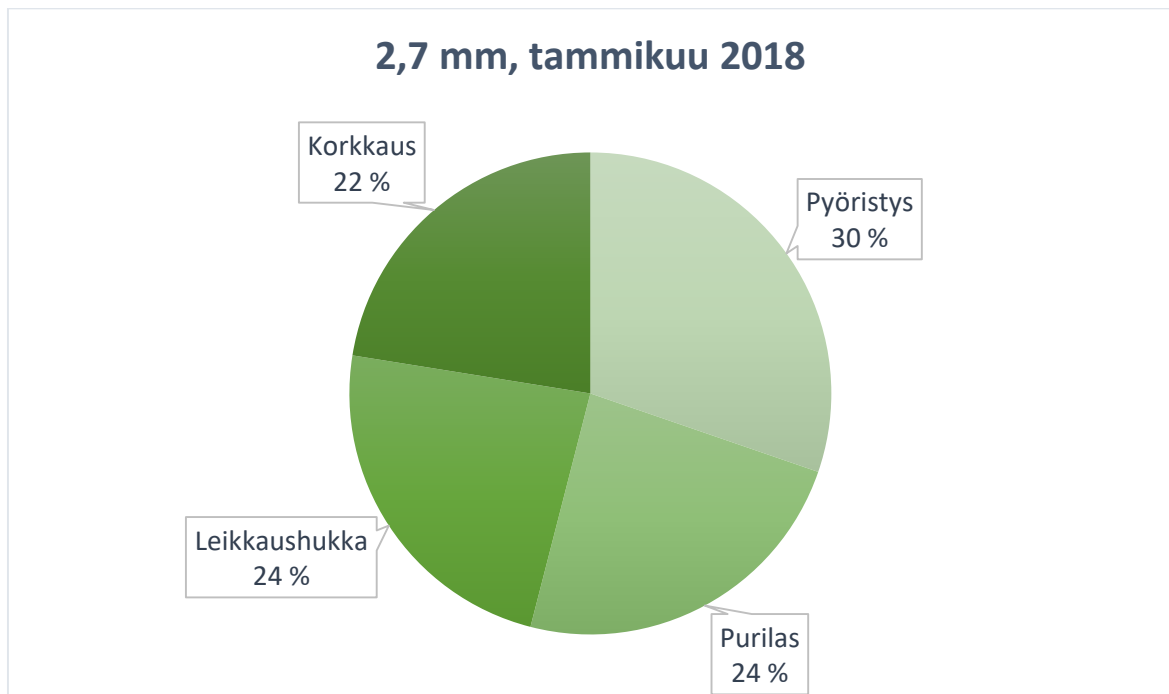
Kuvaaja 3. Sorvi 4:n märkäviilusaannot huhti-heinäkuussa 2018.

Tammikuun märkäviilusaanto on 66,8 prosenttia. Tammikuussa 2,1 mm viilun suurin sorvaushävikki muodostui märkäleikkurilla (26 %) ja pyörityksestä (24 %) (Kuvaaja 4.). Ja

2,7 mm viulun sorvaushävikki muodostui pyörityksestä (30 %) ja märkäleikkurilta (24 %) (Kuvaaja 5.).



Kuvaaja 4. Sorvauksen viiluhävikki (2,1 mm) tammikuulta 2018.



Kuvaaja 5. Sorvauksen viiluhävikki (2,7 mm) tammikuulta 2018.

Pyörityksellä pöllin pinnasta otetaan samanpaksuinen kerros pois kuin viilumaton paksuus on eli 2,1 mm tai 2,7 mm. Pyörityksellä pöllin pinta tasoitetaan sorvausta varten, että viilumatto olisi mahdollisimman ehjä maton alusta alkaen. Pyörityksen osuuden ollessa suuri,

tarkoittaa se yleensä sitä, että pöllejä on pyörästetty enemmän kuin yhden kierroksen verran. Isomman pyörästyksen tarve voi johtua esimerkiksi siitä, että tukit ovat olleet lenkoja. Lenkoja tukkeja on haastavaa keskittää sorville ja tällöin joudutaan tekemään isompi pyörästys, jonka jälkeen viilumatto on oletettavasti ehjempi alusta asti, mutta samalla arvokkaan pinta-viilun osuus pienenee.

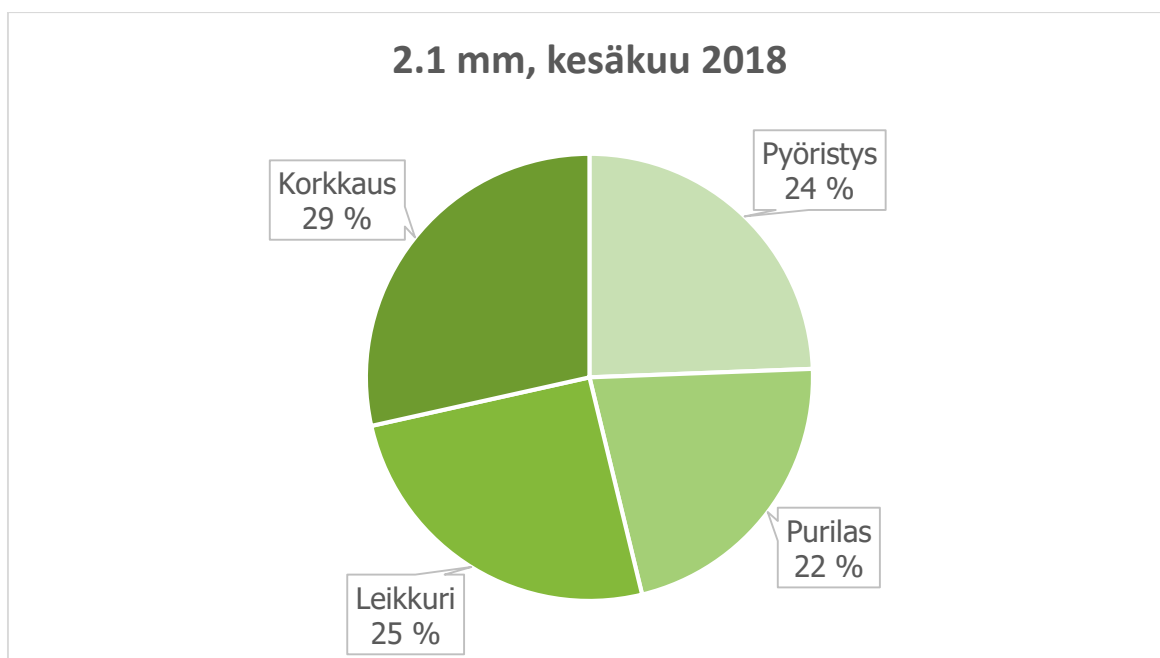
Korkkausten osuus tammikuun hävikistä on melko pieni, mikä tarkoittaa sitä, että sorvaukseen syötetyt pöllit on pystytty hyödyntämään hyvin. Koko kuukauden osalta pyörästyksen osuudet sorvaukseen syötetyistä pölleistä vaihtelee päivien mukaan 6,33 -10,4 prosentin välillä ja korkkausten osuudet vaihtelevat 3,5 -9,7 prosenttiin.

Taulukossa 2 on tammikuun sorvaustietoja, josta nähdään pyörästyksen, leikkurin ja korkkausten osuudet kahden alimman sekä ylimmän saannon päivän osalta eri viilun paksuuksilla. Tammikuun 16. päivä 2,1 mm märkäviilun saanto on yli tavoitetason 66,6 % ja päivän sorvaushävikkiä aiheutti eniten märkäleikkuri. Kun taas tammikuun 18. päivä 2,7 mm märkäviilun saanto on 63,5 % ja päivän suurin sorvaushävikki on muodostunut korkanneista pölleistä, joita on päivän aikana ollut yhteensä 70 pöllä ja laskennan mukaan se tarkoittaa noin 10 m³ (purilaan osuus huomioitu).

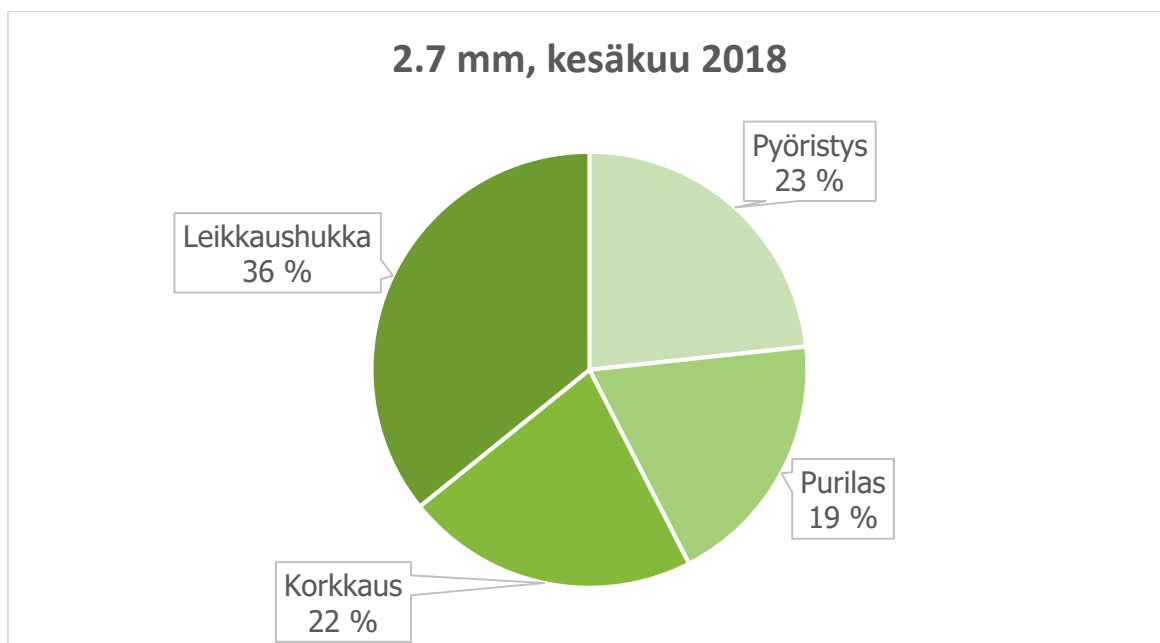
| Sorvi 4 | 8.1. | 16.1. | 18.1. | 31.1. |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Kuorelliset tukit, m3 (10 % lisäys pöllim3) | 123,86 | 127,53 | 133,62 | 201,50 |
| Syötetyt pöllit, m3 | 112,6 | 115,94 | 121,47 | 183,18 |
| Sorvattu, m3 | 104,17 | 107,96 | 112,06 | 170,37 |
| Viilumatto, m3 | 87,77 | 93,69 | 93,72 | 147,25 |
| Märkä pinkattu viilu, m3 | 79,84 | 84,93 | 84,91 | 134,19 |
| Saanto, m3 (märkä/kuor. tukit) | 64,5 % | 66,6 % | 63,5 % | 66,6 % |
| Saantotavoite | 66 % | 66 % | 66 % | 66 % |
| Viilun paksuus, mm | 2,1 | 2,1 | 2,7 | 2,7 |
| Hävikki, m3 | 32,76 | 31,01 | 36,56 | 48,99 |
| Pyörästys | 8,43 | 7,98 | 9,41 | 12,81 |
| Purilas | 8,01 | 7,19 | 8,14 | 11,84 |
| Leikkurihukka | 7,93 | 8,76 | 8,81 | 13,06 |
| Korkkaus | 8,39 | 7,08 | 10,2 | 11,28 |
| Pyörästyksen osuus syötetyistä pölleistä | 7,5 % | 6,9 % | 7,7 % | 7,0 % |
| Leikkurin osuus syötetyistä pölleistä | 7,0 % | 7,6 % | 7,3 % | 7,1 % |
| Korkkausten osuus syötetyistä pölleistä | 7,5 % | 6,1 % | 8,4 % | 6,2 % |

Taulukko 2. Tammikuun sorvaustietoja.

Alimmillaan märkäviilusaanto on kesäkuussa, jolloin saanto on 60,5 prosenttia. Kesäkuussa 2,1 mm viilun suurin sorvaushävikki muodostui korkkauksista (29 %) ja märkäleikkurilta (25 %) (Kuvaaja 6). Kun taas 2,7 mm viilun ylivoimaisesti suurin sorvaushävikki muodostui märkäleikkurista (36 %) ja toisena hävikkisyynä oli pyöristys (23 %) (Kuvaaja 7).



Kuvaaja 6. Sorvauksen viiluhävikki (2,1 mm) kesäkuu 2018.



Kuvaaja 7. Sorvauksen viiluhävikki (2,7 mm) kesäkuu 2018.

Taulukossa 3 on kesäkuun sorvaustietoja saantotavoitteen ylittäneiltä sekä alittaneilta päivistä. Kesäkuun 1. päivä märkäviilusaanto on 67,4 % ja 20. päivä saanto on vain 62,6 %, jolloin korkkaushävikkiin on päätyneet reilut 10 % sorvaukseen syötetyistä pölleistä. Kuun

12. päivä saanto on vieläkin alhaisempi vain 55,2 %, jolloin korkanneiden pöllien osuus sorvaukseen syötetyistä pölleistä on 20 % ja kappalemääräisesti korkanneita pöllejä on 167. Verrattuna kesäkuun 25. päivään korkanneiden osuudessa on valtava ero, sillä 25.6 korkkausten osuus on vain 2,4 %.

| Sorvi 4 | 1.6. | 20.6. | 12.6. | 25.6. |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Kuorelliset tukit, m3 (10 % lisäys pölli-m3) | 75,83 | 27,98 | 151,69 | 199,25 |
| Syötetyt pöllit, m3 | 68,94 | 25,44 | 137,9 | 181,14 |
| Sorvattu, m3 | 63,92 | 23,51 | 126,95 | 169,4 |
| Viilumatto, m3 | 55,15 | 19,51 | 92,54 | 153,96 |
| Märkä pinkattu viilu, m3 | 51,09 | 17,51 | 83,79 | 136,91 |
| Saanto, m3 (märkä pink. viilu/kuor. Tukit) | 67,4 % | 62,6 % | 55,2 % | 68,7 % |
| Tavoitetaso | 66 % | 66 % | 66 % | 66 % |
| Viilun paksuus, mm | 2,1 | 2,1 | 2,7 | 2,7 |
| Hävikki, m3 | 17,85 | 7,93 | 54,11 | 44,23 |
| Pyöristys, m3 | 5,02 | 1,93 | 10,95 | 11,74 |
| Purilas, m3 | 4,3 | 1,3 | 6,74 | 11,04 |
| Leikkaushukka, m3 | 4,06 | 2 | 8,75 | 17,05 |
| Korkkaus, m3 | 4,4 | 2,7 | 27,67 | 4,40 |
| Pyöristyksen osuus syötetyistä pölleistä | 7,3 % | 7,6 % | 7,9 % | 6,5 % |
| Leikkurin osuus syötetyistä pölleistä | 5,9 % | 7,9 % | 6,3 % | 9,4 % |
| Korkkausten osuus syötetyistä pölleistä | 6,4 % | 10,5 % | 20,1 % | 2,4 % |

Taulukko 3. Kesäkuun sorvaustietoja.

5.3 Telakuivaajan viiluhävikki

Telakuivaajan viiluhävikkiin liittyvää dataa ei ole saatavilla suoraan tiedonkeruujärjestelmästä, sillä telakuivaajan tietoina järjestelmään kirjautuu vain kuivaajaan syötetyt viilut sekä tuotetut kuivaviilukuutiot. Näillä tiedoilla ei voida tehdä yksityiskohtaista laskentaa siitä, miten paljon ja missä kohdissa viiluhävikkiä muodostuu, joten telakuivaajan hävikkitiedot on kerätty kuivaajan seurannalla. Kuivaviilun tuotantotiedot on koostettu tiedonkeruujärjestelmästä saaduista tiedoista.

Kuivaajan viiluhävikin tarkastelussa on pääsääntöisesti seurattu 2,6 mm viilun kuivausta. Kuivauksen seuranta on tehty normaaleina tuotantopäivinä ja päivät on valikoitunut sattumanvaraisesti, jolloin kuivattavana viiluna on ollut 2,6 mm viilua. Seurantaa varten ei ole tehty koeajojärjestelyjä ja seurantaa tehty tälleittäin, joka tarkoittaa kolmea viilu kuormaa. Kuivaajan seuranta on jaksotettu, koska kuivaajalla seurantaa on tehtävä kolmessa eri pis-

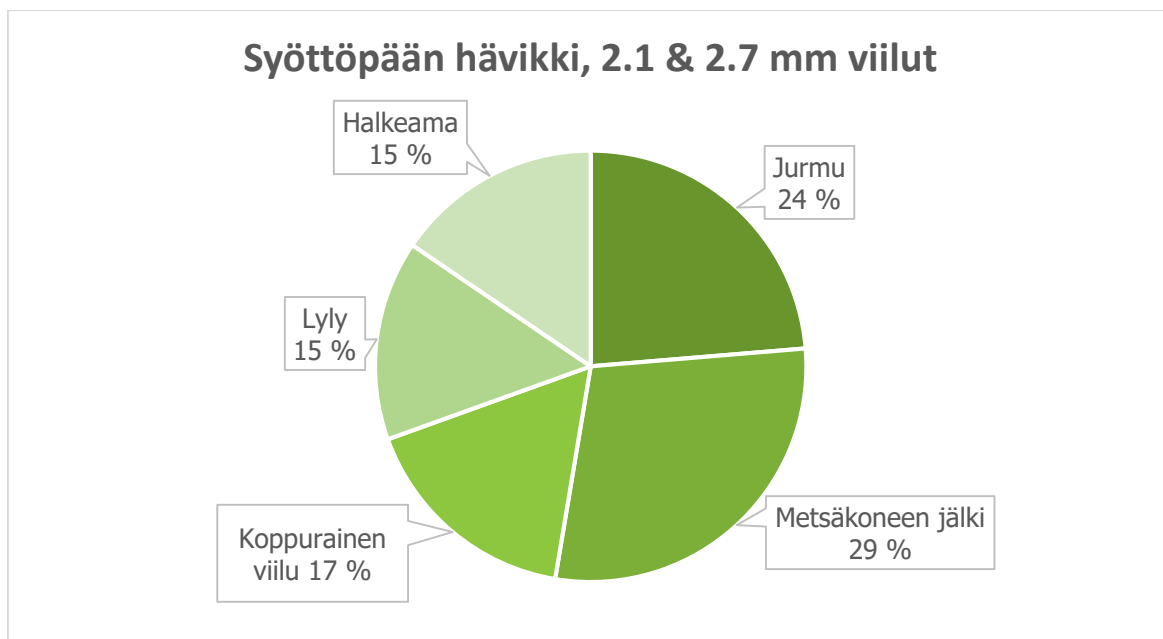
teessä eikä seuranta voi tehdä samanaikaisesti. Syöttöpään seuranta on tehty kesällä ja loppupään seuranta on tehty syksyllä. Syöttöpään seuranta on tehty operaattoreiden toimesta iltta- ja yövuorojen aikana.

5.3.1 Syöttöpää

Telakuivaajalla kuivataan märkiä ja kuivia kuormia yleensä tälleittäin, mikä tarkoittaa kolmen viilukuorman kokonaisuutta. Yhdessä tällissä viiluja on keskimäärin 900 kappaletta. Syöttöpään heinäkuussa (2. - 6.7.2018) pidetyn seurantaviikon aikana kuivaajaan syötettiin viilua 385 m³. Hävikkiin viiluja heitettiin syöttöpäässä 677 kappaletta, joka vastaa noin 6,5 m³.

Syöttöpään hävikiksi kirjattiin kaikki ne viilut, jotka operaattori heitti hakkurivaunuun. Kuivaajassa 8 on koottuna telakuivaajan syöttöpään hävikkisyöt heinäkuun seurantaviikon ajalta. Päivien ja vuorojen välillä oli isoja eroja hävikkiin heitettyjen viilujen määrissä. Seurannan ajan vähiten hävikkiin päätyneitä viiluja kertyi vuorossa 3 kappaletta ja eniten 216 kappaletta.

Viiluhävikki kirjattiin ylös hylkäämissyyn mukaan ja yleisimmät syyt ovat työkoneen jälki, jurmu, viilun koppuraisuus sekä halkeama. Eniten hävikkiä aiheuttaa telakuivaajan syöttöpäässä työkoneen jälki, millä tarkoitetaan metsäkoneen jälkiä (Kuva 29). Toiseksi isoimpana hävikkisyynä on jurmu eli sorvimakkara, mikä aiheutuu oksan tai muun puuroskan jäädessä kiinni sorvin terään painaen viilun pintaan painauman. Lisäksi hävikkiä aiheuttaa reaktiopuu eli lyly, viilun halkeamat sekä viilun koppuraisuus. Pääsääntöisesti telakuivaimen syöttöpäässä hävikkiin päätyvien viilujen syyt ovat aiheutuneet kuivaajaa edeltävissä työvaiheissa; puunkorjuun, haudonnan, katkonnan tai sorvauksen yhteydessä.



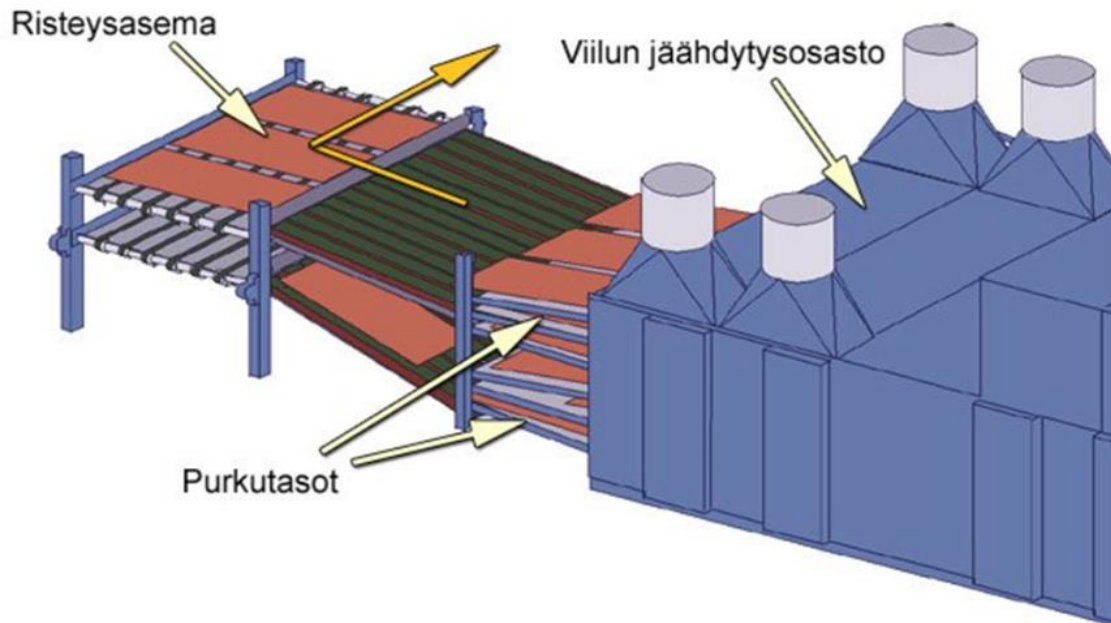
Kuvaaja 8. Telakuivaajan syöttöpään hävikkisyys.



Kuva 29. Metsäkoneen jälkiä viiluissa.

5.3.2 Risteysasema

Telakuivaajan loppupään eli risteusaseman ja pinkkaajien seuranta ajoittui loka-marraskuun vaihteeseen (30.10 - 7.11.2018). Risteusasemalla seurattiin sekä kuivien että märkien kuormien (2.6 mm) ajoa, joista kuivien kuormien ajossa muodostui seurannan ainut hävikki (4 kpl viiluja). Risteusaseman vähäisen viuluhävikin määrän takia seurantapisteltä ei ole koostettu hävikkikuvaajaa.



Kuva 30. Telakuivaajan purku-/ loppupää (eKnowPly).

Hävikkiä aiheutti kopperaiset ja rikkoutuneet viilut, jotka jäävät jumiin linjalle esimerkiksi jääden hihnojen väliin (kuva) ja aiheuttavat viilujen ruuhkautumista (Kuva 31.). Tällöin operaattorit pysäyttävät linjan ja poistavat viilut risteusasemalta. Myös sellaiset viilut joudutaan poistamaan, mitkä eivät ole rikkoutuneet tai muuten viallisia.



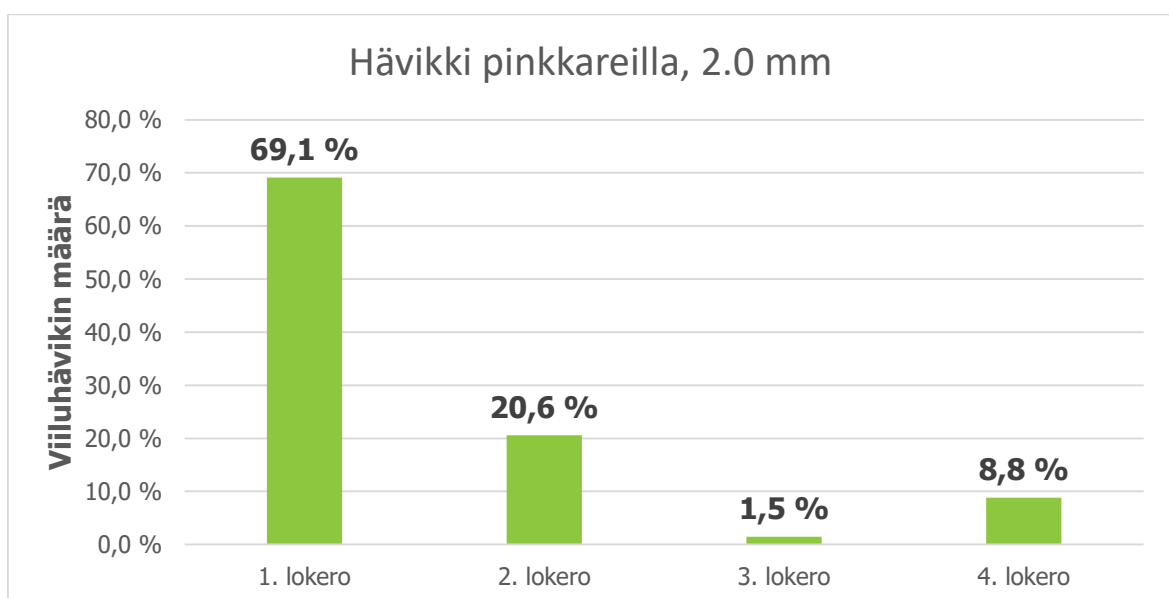
Kuva 31. Viilu revennyt ja jäänyt jumiin hihnojen väliin.



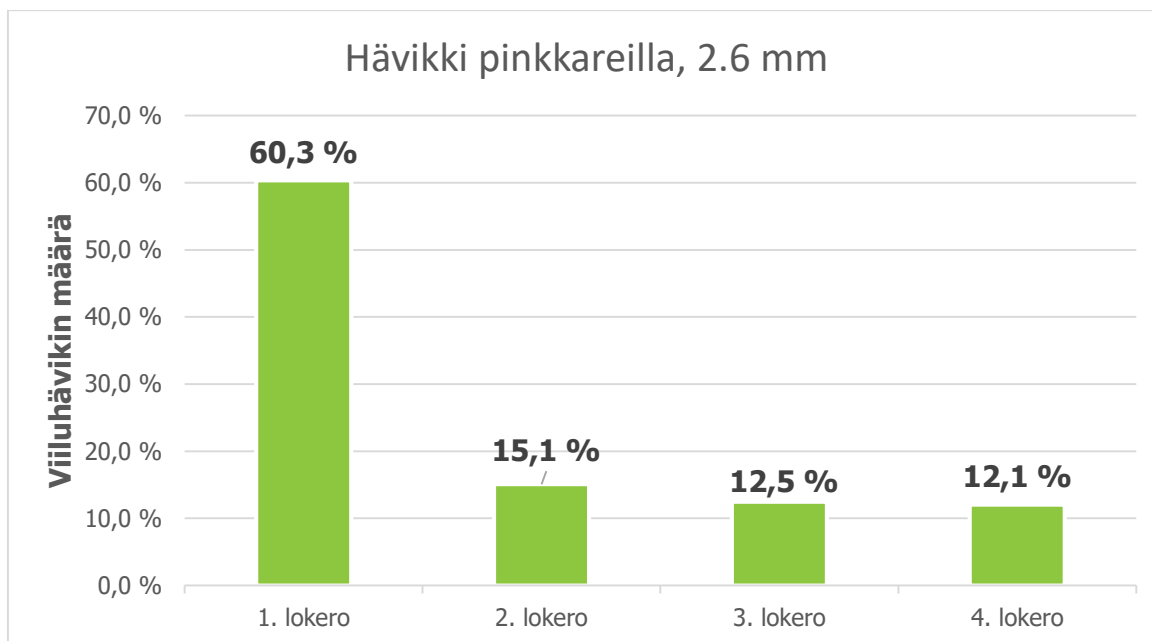
Kuva 32. Ruuhka risteysasemalla.

5.3.3 Pinkkaajat

Pinkkaajilla viiluhävikki on kirjattu lokeroittain, koska pinkkaajilla viiluja päätyy hävikkiin neljässä eri kohdassa. Lokerot on numeroitu linjastolla sijainnin mukaan. Molemmilla viilun paksuuksilla (2.0 ja 2.6 mm) sekä märällä ja kuivalla tällillä eniten viiluhävikkiä muodostui 1. ja 2. lokeroon eli pinkkauslinjan etupäähän (Kuvaajat 9 ja 10).



Kuvaaja 9. Pinkkareiden viiluhävikin osuudet lokeroittain.



Kuvaaja 10. Pinkkareiden viiluhävikki lokeroittain.

Viilun tippuessa 1. lokeroon on yleisimmin syynä on se, että viilu on liian märkä tai kaksi viilua on syötetty päällekkäin kuivaajaan, jolloin viilut on jäänyt myös liian märäksi. Lisäksi kuivalla tällillä hävikkiä 1. ja 2. lokeroon aiheuttaa viilujen rikkoutuminen. Toisen lokeron viiluhävikin syinä on rikkoutuneet viilut, imusta tippuvat viilut ja se, että viilu ei ole oikealla kohdalla pinkkaajassa ja pinkkarin suksi tiputtaa viilun viiluhävikkiin.

Kolmanteen lokeroon tippuvien viilujen hävikkisyynä on se, että ne tippuvat imukuljettimilta. Imusta tippuminen johtuu siitä, että viilu on kopperainen tai rikkonainen eikä siinä ole tarpeeksi imupintaa. Neljänteen lokeroon eli perälaatikkoon tippuu sellaiset viilut, jotka ovat rikkonaisia tai viilun laatu on huono tai, jos viilut kulkevat linjastoon nähden vinossa. Vinossa kulkevissa viiluissa ei ole yleensä mitään vikaa, mutta ne päätyvät hävikkiin. Lisäksi yhtenä perälaatikkoon tippuvien viilujen hävikkisyynä on ajoittain se, että kosteuslajittelukameran kohdalle on tippunut oksan tai viilun pala (Kuva 33). Tällöin linjasto ajaa kaikki viilut hävikkiin perälaatikkoon, koska kamera lukee oksan tai viilun palan viilussa olevaksi virheeksi.

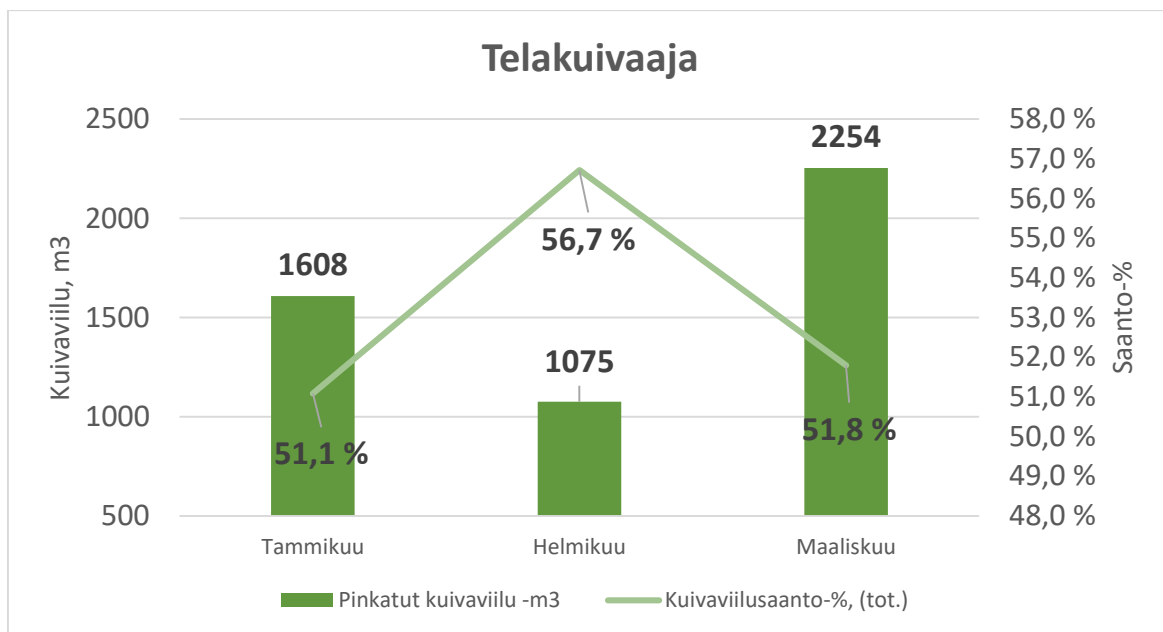


Kuva 33. Kosteuslajittelukameran kohdalle tippunut oksa, joka aiheutti viilujen päätyamisen perälaatikkoon hävikkiin.

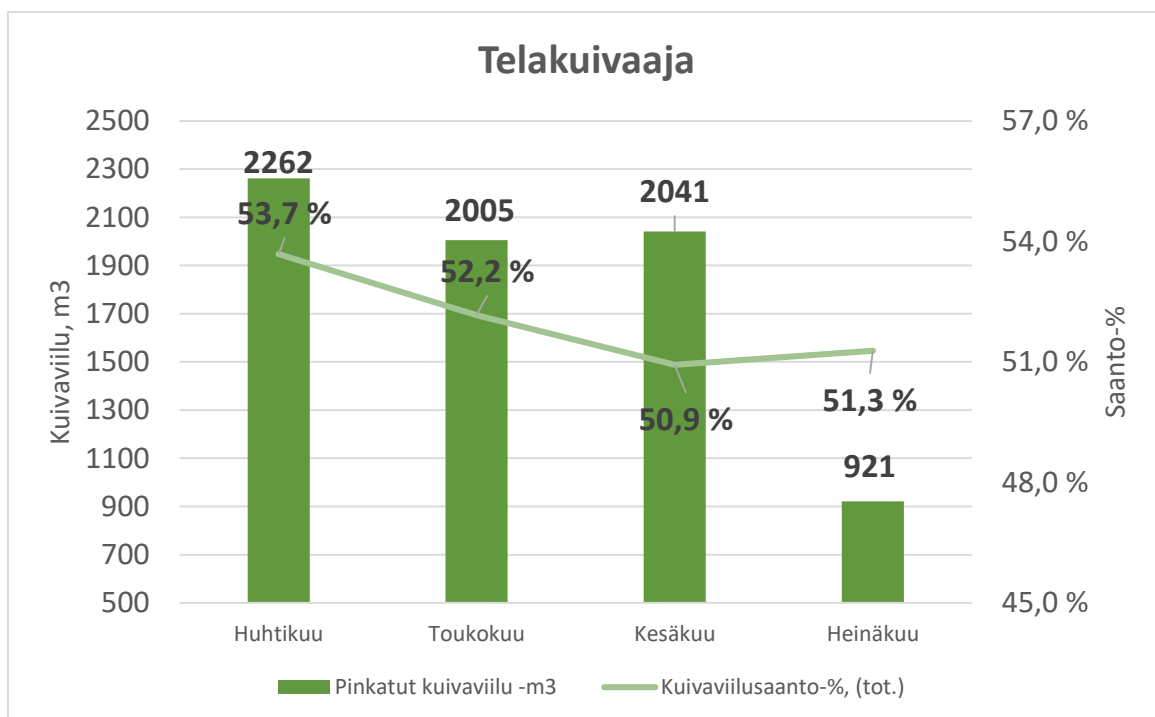
5.4 Kuivaviilusaanto

Kuivaviilusaannot vaihtelivat 50,9 -56,7 prosenttiin. Kuivaajan saantotavoitteeksi on määritetty 58 prosenttia. Alimmillaan saanto on kesäkuussa 50,9 % ja korkeimmillaan helmikuussa 56,7 %. Telakuivaajalla kuivaviilua tuotettiin tarkastelujakson aikana 912 -2262 m³ kuukaudessa. Enimmillään kuivaviilua on tuotettu huhtikuussa 2262 m³ ja alimmillaan heinäkuussa 912 m³. Heinäkuun tuotantomäärään vaikutti tuotannon kesäloma, joka alkoi kuun puolessa välissä. Kuivaajan tuotantomäärät on kerätty tiedonkeruujärjestelmistä.

Telakuivaajalla tuotantomäärät vaihtelevat kuukausittain melko paljon, koska kuivaajan tuotantomäärät riippuvat niin kuivaajan kuin sorvauksen toimivuudesta sekä siitä, onko välivarastossa kuivattavia viiluja puskurina esimerkiksi sorvauksen häiriöiden varalle. Kuukausittainen saantoprosentti on laskettu niin, että kuukaudessa tuotettu kuivaviilun tuotettu kokonaiskuutiomäärä on jaettu kuukaudessa käytettyjen kuorellisten tukkien kuutiomäärällä eli sorvaukseen syötettyjen pölliön m³-määrä, johon on tehty laskennallinen 10 -prosentin kuorilisäys.



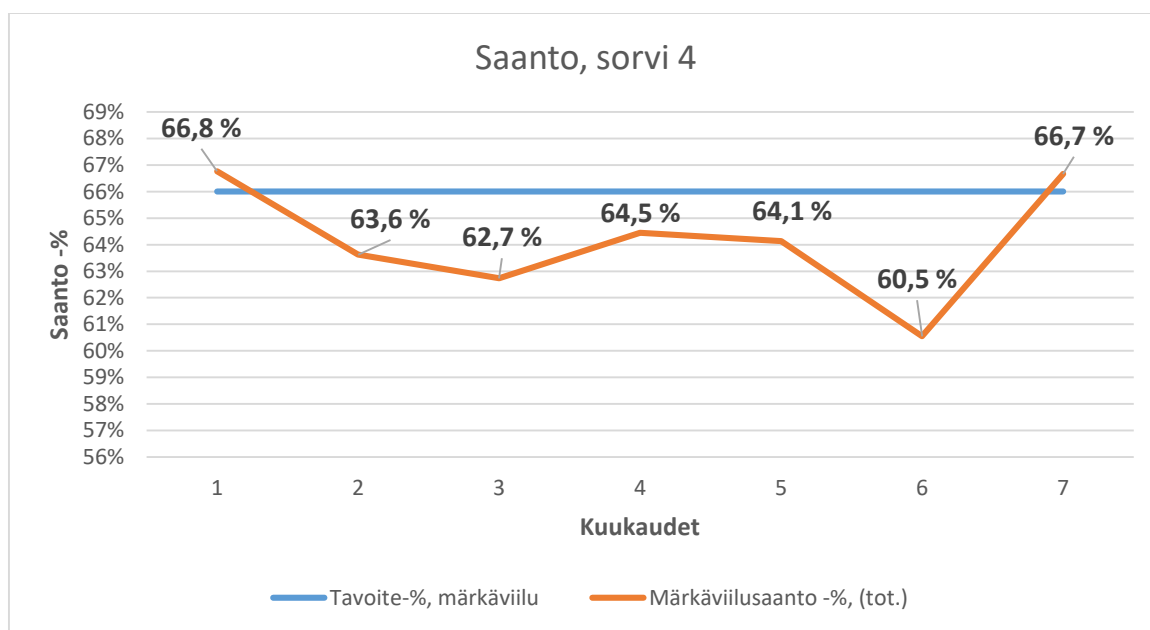
Kuvaaja 11. Kuivaviilusaanto tammi-maaliskuussa 2018.



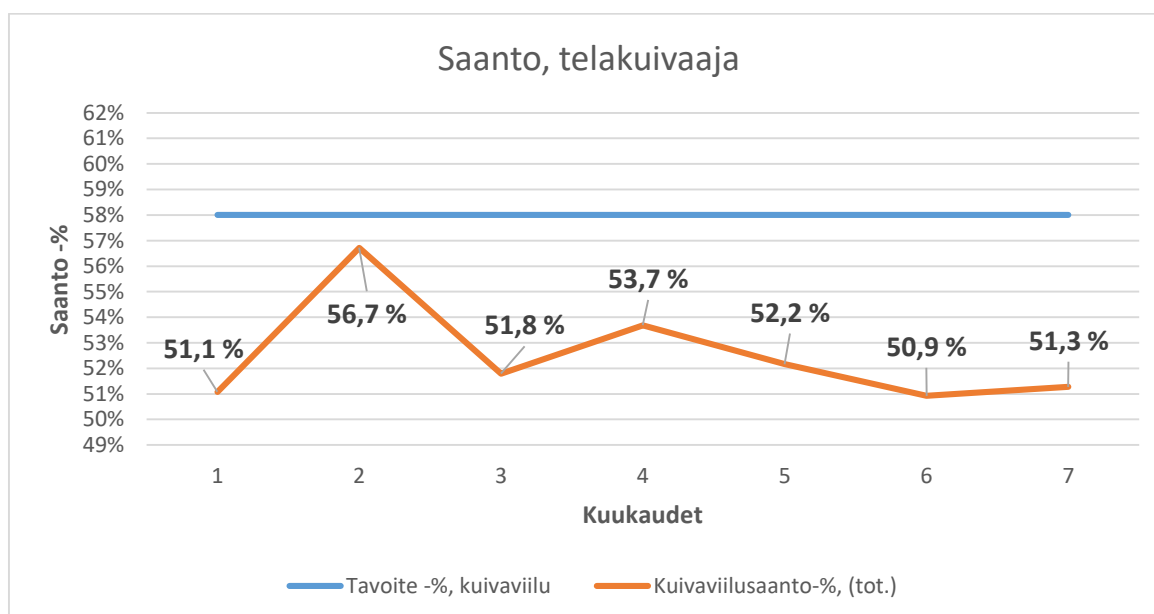
Kuvaaja 12. Kuivaviilusaanto huhti-heinäkuussa 2018.

6 TULOSTEN JA TOIMENPITEIDEN ANALYSOINTI

Työn keskeiseksi tulokseksi saatiin tietoa sorvauksen ja telakuivauksen toiminnasta sekä viiluhävikin syistä. Kerätyn aineiston pohjalta analysoidaan sorvaus- ja kuivausprosessien toimintaa sekä tehdään kehitysehdotuksia prosesseille, että havuviilun tuotannossa lähestytään asetettuja saantotasojä ja tehostetaan puuraaka-aineen käyttöä. Alla olevissa kuvaajissa 13 ja 14 on yhteenveto tammi-heinäkuun toteutuneista saantotasosta sorvauksessa ja kuivauksessa.



Kuvaaja 13. Sorvauksen saantotasot tammi - heinäkuussa 2018.



Kuvaaja 14. Telakuivaajan saannot tammi - heinäkuussa 2018.

Sorvauksessa ylettiin tammi- ja heinäkuun osalta sorvauksen saantotavoitteen yli. Muiden kuukausien saannot jäivät tavoitteen alle 1,5 -5,5 prosenttia. Tuotantomäärällisesti se tarkoittaa sitä, että alimman saannon kuukautena kesäkuussa märkäviilua olisi pitänyt pinkata 224 m³ enemmän saantotavoitteen saavuttamiseksi. Vastaavasti huhtikuussa märkäviilua olisi pitänyt pinkata 67 m³ enemmän, että saantotavoitteeseen olisi päästy.

Telakuivaajalla saannot jäivät tavoitetasosta (58 prosentista) 1,3 -7,1 prosenttia. Alimmillaan saanto oli kesäkuussa (50,9%) ja tuolloin kuivaviilua olisi pitänyt saada pinkattua 279 m³ enemmän, että saantotavoitteeseen olisi yletty. Korkeimmillaan saanto on 56,7 prosenttia helmikuussa, jolloin kuivaviilua olisi pitänyt tuottaa 24 m³ enemmän tavoitesaannon täyttämiseksi.

Saantotasoihin vaikuttaa oleellisesti sorvaus- ja kuivausprosessien toimivuus, prosesseissa muodostunut viiluhävikki sekä operaattoreiden työskentely. Sorvauksessa yksi merkittävin saantoon heikentävästi vaikuttava hävikkisyys on korkkaus, koska korkanneita pöllejä ei voida hyödyntää korkkauksen jälkeen. Telakuivaajalla viiluhävikkiä aiheutti eniten metsäkoneen jäljet viilussa, liian märäksi jääneet viilut sekä viilujen koppuraisuus.

6.1 Sorvauksen viiluhävikin analysointi

Pöllin korkkaaminen:

- Sorvin karat: Jos karojen kourat/piikit ovat kuluneet tai poikki, niiden pito huononee ja pöllit irtoavat niistä helpommin. Myös karojen puhtaus vaikuttaa korkkaamiseen, kun karojen kouriin kertyy puun osia, karat eivät pääse uppoamaan tarpeeksi syvälle pöllin päihin.
- Teräasete: Sorvin puristusasteen ollessa liian tiukalla pöllit korkkaantuvat.
- Puuraaka-aine: Vanhojen kuusitukkien sydänpuun solukko ei ime vettä, joten puuaines jää haudonnasta huolimatta kuivaksi ja pöllit korkkaantuvat herkemmin. Päistä haljenneet pöllit aiheuttaa viilun päihin halkeamia ja pöllit saattaa haljeta tai korkata.

Pyöristys:

- Mikäli pyöristystä joudutaan tekemään enemmän kuin normaalisti on yleisimminkin syynä pöllin muotovirhe eli pöllit on lenko tai pöllissä on piparkakkutyvi.

- Mikäli pyöristys jää vajaaksi, päättyy kuorellinen pintaviilu yleensä hakkuriin seuraavassa työvaiheessa eli telakuivaajalla. Vajaa pyöristys nostaa sorvauksen hyötysuhdetta ja saantoa, mutta huonontaa kuivauksen hyötysuhdetta ja saantoa.

Märkäleikkuri:

- Pyöristyksen onnistumisella on merkittävä vaikutus märkäleikkurin toimintaan. Pyöristyksen jäädessä vajaaksi joutuu sorvaaja tekemään viilumaton leikkauksen manuaalisesti ja näin ollen märkäleikkurilla syntyvän hävikin määrä kasvaa.
- Leikkuri toimii hyvin automaattisesti ja se leikkaa viilumaton aukkokohtat esimerkiksi reiät pois, mutta mikäli viilumatossa on metsää eli puun kuorta, leikkuri ei tunnista sitä virheeksi vaan leikkaa viilun arkeiksi.

6.2 Telakuivaajan viiluhävikin analysointi

Telakuivaajan eri osioiden viiluhävikin juurisyyt on kerrottu seuraavissa alaluvuissa. Hävikisyyt on esitelty suurimman hävikin syystä alkaen.

Kuusella puuaineksen kosteusvaihtelu on suurta pinta- ja sydänpuun välillä. Tämä aiheuttaa haastetta viilujen kuivaamiselle, koska havusorvilla kerätään viiluja vain kahteen kosteusluokkaan, märkiin ja kuiviin. Märän kuorman viiluja kuivataan korkeammassa lämpötilassa ja hitaammalla nopeudella kuin kuivan kuorman viiluja ja tällöin märässä kuormassa olevat ns. m2-kosteusluokan viilut kuivuvat liikaa ja kuivassa tällissä m2 -kosteusluokan viilut jäävät liian märäksi. Liian märäksi jäänyt viilu päättyy hävikkiin ja liian kuiva viilu rikkoontuu helposti kuivaajan imuhihnoilla tai pinkatessa.

6.2.1 Syöttöpää

Metsäkoneen jäljet viilussa:

- Metsäkoneen jäljet ovat märän tällin suurin hävikkisyyt.
- Tehtaalla metsäkoneen jälkien poistaminen pöllistä tarkoittaa sitä, että pöllää pyöristetään normaalia enemmän. Kuitenkaan kaikkia metsäkoneen jälkiä ei saada tällä tavoin poistettua.

Jurmu eli sorvausmakkara:

- Aiheuttaa hävikkiä sekä kuivassa että märässä tällissä.
- Vaatii tarkkuutta sorvaajalta, että havaitsee sorvin terässä olevan roskan.

Koppurainen viilu:

- Koppuraiset viilut ovat kuivan tällin suurin hävikkisyy.
- Viilun koppuraisuus johtuu puun veto- ja puristusjännityksistä, joita syntyy lähempänä sydänpuuta, koska viilun pitää oieta enemmän kuin pintapuusta sorvattun viilun.
- Koppuraisuuteen vaikuttaa myös se, jos sorvin puristusaste on liian tiukka eli, jos vastaterän ja leikkaavan terän rako on ahdas.
- Sorvin tukilaite painaa liikaa tai liian vähän.
- Sorvin leikkaavan terän päästökulman ollessa suuri, pölli tärisee ja viilusta tulee poimullista eli aaltoilevaa viilua.

Telakuivaajan syöttöpään hävikkimäärä riippuu operaattoreista, koska varsinaisesti hävikkiä syntyy vain, jos operaattori heittää viilua pois. Operaattorin tarkkuus sekä ymmärrys seuraavien työvaiheiden laatuvaatimuksista vaikuttaa hävikkiin ja tämä on merkittävin syy hävikin syntymiselle syöttöpäässä. Operaattoreiden käsitys viilun laatuominaisuuksista voi perustua operaattorin omille oletuksille eikä varsinaisille laatuvaatimuksille.

6.2.2 Risteysasema

Risteysasemalla kuivan tällin viilut hajoilevat ja jäävät jumiin hihnojen väliin. Tällöin kone pysäytetään ja risteysasemalla olevat viilut poistetaan linjalta. Kuivaajan pysäytykset aiheuttavat sen, että vielä kuivaajan sisällä olevat viilut kuivuvat liikaa. Liian kuivat viilut saattavat rikkoontua pinkkaajien imukuljettimilla. Märän tällin viilut kulkevat risteysasemalla hyvin.

6.2.3 Pinkkaajat**Märkä viilu:**

- Viilukuormissa suuri kosteusvaihtelu, joten telakuivaajan lämpötilan ja nopeuden säätö on haastavaa.
- Kaksi viilua ”liimautuu” päällekkäin syöttöpäässä, jolloin viilut eivät kuivu tavoittekosteuteen ja päätyvät hävikkiin. Vaatii syöttöpään operaattorin tarkkaavaisuutta.

Koppurainen viilu:

- Ei pysy imussa, koska viilussa ei ole tarpeeksi imupintaa (viilun pinta ei ole tasainen). Imujen tehon säätöjä tehtävä maltillisesti, ettei imut riko viiluja.

Ylikuivattu viilu:

- Telakuivaajan lämpötilan ja nopeuden säätö vaatisi päivitystä ja selkeät ohjeistukset telakoneen hoitajille.
- Kuivataan kahden kosteusluokan viiluja märkää ja kuivaa kuormaa. Telakuivaajan lämpötilan ja nopeuden säätö on haastavaa, sillä kuormissa viilujen kosteudet vaihtelevat suuresti.

6.3 Tulosten arviointi

Hävikin seuranta ei ollut mahdollista sorvilla reaaliaikaisesti, joten sorvin viiluhävikin selvitys perustuu tiedonkeruujärjestelmistä saatuun dataan. Tiedonkeruujärjestelmissä oli ajoittain puutteellisia tietoja tai joidenkin päivien tietoja ei ollut saatavilla ollenkaan. Sorvauksen hävikin laskennassa käytettiin vain sellaisten päivien tietoja, mitkä olivat kokonaisuudessaan saatavilla. Sorvauksen hävikkitiedot, märkäviilun tuotantomäärät sekä kuukausittaiset saannot perustuvat tiedonkeruujärjestelmistä saatuihin tietoihin, joissa on mahdollisia tiedonkeruun häiriöistä johtuvia puutteita. Sorvauksen laatua pystyttiin tarkkailemaan telakuivaajalla, jossa viilut syötettiin kuivaimeen käsin.

Telakuivaajan kuivaviilun tuotantomäärät ja kuukausittaiset saannot perustuvat tiedonkeruujärjestelmistä saatuihin tietoihin, joissa oli ajoittain puutteellisia tietoja. Kuivaajan seuranta tehtiin marraskuun alussa ennalta määräämättömänä viikkona, jolloin ei ollut 2,0 mm viilun kuivausta. Joten kuivaajalta ei ole saatavissa 2,0 mm viilun hävikkitietoja. Kuivaajan viiluhävikin seuranta perustuu silmämääräiseen havainnointiin, joka mahdollisesti alentaa viiluhävikin mittaustulosten luotettavuutta. Kuivaajan eri pisteiden seuranta pyrittiin jaksottamaan maksimissaan kahden tunnin mittaisiin osioihin, että havainnoitsijan tarkkaavaisuus pysyi tasaisena.

Telakuivaajalla syöttöpään hävikkiseuranta perustui myös operaattoreiden havaitsemiin viiluvikoihin ja vuoro kohtaisesti viiluhävikin määrissä oli isoja vaihteluita. Operaattorit ohjeistettiin tekemään viiluhävikin seuranta totuudenmukaisesti, mutta järjestetty hävikkiseuranta saattoi vaikuttaa poisheitettyjen viilujen määrään sekä niiden merkkaukseen, sillä seu-

rantaohjeiden noudattamisessa oli havaittavissa joidenkin operaattoreiden osalta motivaation puutetta. Näiden syiden takia telakuivaajan syöttöpään hävikkiseuranta tulokset eivät ole täysin luotettavia. Mikäli hävikkiä halutaan seurata telakuivaajalla tarkemmin, olisi kehitettävä ja otettava käyttöön mittausjärjestelmä, joka mittaa hävikin määrää syöttöpäässä. Mittausjärjestelmässä olisi hyvä olla myös hävikin syykoodisto esimerkiksi niin, että 1=jurmu, 2=halkeama päässä. Näin saataisiin tarkkaa dataa siitä, millaista materiaalia telalle on tullut. Ja, koska sorvauksesta tulleille vioille on määritelty syyt, voitaisiin korjata viat. Toki aina ei voida olla heti vaikuttamassa tuotantoon korjaavasti, mikäli viallisia viiluja kuivataan telalla välivarastoiduista kuormista.

6.4 Toimenpide-ehdotukset

Materiaalitehokkuuden sekä märkä- ja kuivaviilusaantojen kehittämiseksi toimenpide-ehdotukset jakautuvat sorvaus- ja kuivausprosesseissa muodostuvan hävikin minimointiin sekä työskentelytapojen selkeyttämiseen. Lisäksi yhtenä toimenpide-ehdotuksena on hävikin seurannan jatkaminen telakuivaajalla. Viiluhävikin vähentämiseksi tehdyt toimenpide-ehdotukset on koottu taulukkoon (Taulukko 4.).

Operaattoreiden työtapoja olisi hyvä yhtenäistää varsinkin laadunhallinnan, siivouksen ja kunnossapitotöiden osalta. Tutkimuksen yhteydessä kävi ilmi, että esimerkiksi sorvin huolto- ja siivoustöitä tehdään eri tavalla ja joidenkin operaattoreiden osalta huoltotyöt jäävät tekemättä. Kun koneen huolto ja siivous jää tekemättä, tuotanto vaikeutuu tai siitä saattaa aiheutua jopa prosessin seisahduksia. Esimerkiksi sorvilla viiluarkit ei pinkkaudu oikealle kohdalle, koska pinkkaajan valosilmä on likainen. Toimenpide-ehdotuksena työtapojen yhtenäistämiseksi on luoda selkeät To Do -listat työntekijöiden avuksi, että koneiden ja laitteiden ylläpito ja puhtaanapito olisi yhtenäistä esimerkiksi huollon/puhtaanapidon tarpeen perustuminen mittauksiin, tiettyyn käyttöaikaan tai säännöllisiin väliaikoihin. Lisäksi telakuivaajan syöttöpään laatuvaatimuksista voisi laatia selkeät kuvalliset ohjeet, millaiset viilut ovat hyväksyttäviä kuivausprosessiin ja millaiset viilut ei.

Tutkimuksen aikana ilmeni jonkin verran myös kommunikaatio-ongelmia operaattoreiden ja työnjohdon sekä kunnossapidon ja operaattoreiden välillä. Kommunikaatio-ongelmat saattavat viivästyttää tuotantoon vaikuttavien asioiden hoitamista ja lisäksi tällä tavoin saattetaan aiheuttaa lisää ongelmia, jos ei tiedetä, mitä kukin on tehnyt tai, onko korjattava/poikkeava asia saatu kuntoon. Tällaisissa tapauksissa kone tai laite saattaa rikkoontua uudestaan, materiaalia kuluu hukkaan sekä tehty työ menee hukkaan. Lisäksi aikaa kuluu uudestaan

saman asian korjaamiseen. Joten tiedonkulkua on parannettava korostamalla kommunikoinnin tärkeyttä kaikissa tuotannon vaiheissa.

Koneiden ja laitteiden häiriöt aiheuttavat aina hävikkiä, joko aika- tai materiaalihävikkiä tai molempia. Tällä hetkellä tuotannon tiedonkeruujärjestelmiin ei kirjaudu sorvauksen ja telakuivaajan häiriötietoja. Jos tiedonkeruu olisi tarkempi, voitaisiin kirjata häiriön tapahtumahetkenä häiriön syy, minkä perusteella häiriötä ja hävikkimäärien yhteyttä voitaisiin tarkastella. Lisäksi saataisiin selvitettyä, millaisia häiriöitä aiheutuu useimmiten ja, mitä niille voitaisiin tehdä, että välttyttäisiin niiltä. Lisäksi havuviilun tuotannon tärkeimmät tunnusluvut olisi hyvä koostaa viikottaiseen raporttiin, jonka avulla saadaan selkeytettyä tuotannon tavoitteita, ongelmia ja edistymistä ja lisättyä tietoa tuotannon operaattoreille. Tiedon jakaminen on tärkeä osa jatkuvaa kehittämistä, ongelmien käsittelyä ja työntekijöiden motivointia. Tietojen visuaalisella raportoinnilla autetaan myös tuotannon analysoimista, sillä raportoinnista nähdään selkeästi tuotannon poikkeavuudet sekä jatkuvan kehittämisen onnistuminen.

| Sorvi 4; hävikkisyys | Toimenpide-ehdotus |
|------------------------------------|--|
| Korkkaaminen | <p>Selvitys pyörivästä vastaterästä ja sen mahdollisesta investoinnista.</p> <p>Tukkien varastointiolosuhteiden vaikutus puuaineksen kuivumiseen.</p> |
| Jurmu | Selvitys jurmukamerasta ja sen mahdollisesta investoinnista. |
| Metsäkoneen jälki | Puunhuollon esimiehelle informointi → Asian vienti eteenpäin puunhankintaa. |
| Telakuivaus; hävikkisyys | Toimenpide-ehdotus |
| Koppuraiset ja rikkoutuneet viilut | <p>Kuivausprosessin optimointi; lämpötila, nopeus, ilmankosteus.</p> <p>Viilukuormien suuret kosteusvaihtelut → Kolmannen kosteusluokan käyttöönotto sorvauksessa</p> <p>Sorvausasetteiden optimointi.</p> |
| Liian märät viilut | <p>Märkien viilujen pinkkaus kuivaajan loppupäässä omaksi kuorimakseen ja kuivaus uudestaan.</p> <p>Sorvilla kolmannen kosteusluokan käyttöönotto.</p> |
| Metsäkoneen jälki | Selkeytettävä sorvauksen ja kuivauksen työntekijöille, missä määrin työkoneen jäljet ovat hyväksyttävissä. Viilujen laatuohjeistuksen päivitys. |

Taulukko 4. Yhteenveto viiluhävikin minimoimiseksi.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Raaka-aineiden hinnankehitys sekä kilpailu laadukkaasta materiaalista kasvaa. Metsäteollisuus on yksi isoimmista luonnonvaroja käyttävistä toimialoista, jonka sivutuotteet pystytään hyödyntämään suurelta osin muissa prosesseissa, kuten esimerkiksi polttohakkeena energiantuotannossa. On kuitenkin erityisen tärkeää, että metsäteollisuuden yritykset saavat hyödynnettyä puuraaka-aineen varsinaiseen tuotteeseen mahdollisimman hyvin ja tarkasti.

Raaka-aineen tehokkaalla käytöllä saadaan kustannussäästöjä, tuotannon tehokkuus sekä kannattavuus paranevat. Lisäksi säästetään arvokkaita luonnonvaroja, joita on rajallinen määrä. Materiaalitehokkuuden parantaminen haastaa yritykset miettimään erilaisia toimintatapoja ja kehittämään uusia innovaatioita liiketoiminnan turvaamiseksi. Materiaalien tehokkaampi hyödynnettävyys vaatii pitkäjänteistä työtä jokaiselta työntekijältä. Samalla se vaatii oikeanlaista viestintää, motivointia ja työskentelyn tukemista. On pystyttävä havaitsemaan tuotannon ongelmakohtia ja pyrittävä ratkaisemaan ne sekä kehittämään aivan uusia työskentelytapoja ja -rutiineja.

Tämän diplomityön tarkoituksena on ollut selvittää havuviilun valmistuksessa muodostuva raaka-ainehävikki ja siihen johtavat syyt. Selvitys on rajattu havuviilun valmistuksen sorvauksen ja kuivauksen osaprosessien tarkasteluun. Selvityksen taustalla on tarve kehittää havuviilun märkä- ja kuivaviilusaantoja lähemmäksi tavoitetasoja, koska puuraaka-aineen hinnat ovat nousussa ja raaka-ainekustannukset ovat vanerin tuotannon isoin kuluerä. Saannon kehittämällä haetaan kustannussäästöjä sekä kannattavuuden ja tuotannon tehokkuuden parantamista.

Sorvauksessa viiluhävikin pääsyyt olivat pöllien korkkaantuminen, märkäleikkuri ja pyöritys. Pöllien korkkaantuminen ja märkäleikkuri olivat suurimmat hävikin aiheuttajat kesäkuussa, jolloin märkäviilusaanto oli tarkastelujakson alhaisin 60,5 %. Tammikuussa märkäviilusaanto ylsi yli tavoitetason 66,8 %:n, jolloin suurimman viiluhävikin aiheutti pyöritys. Tutkimuksessa havaittiin, että pöllien korkkautumiseen vaikuttaa sorvin karojen kunto ja puhtaus, teräasete sekä pöllien laatu ja kosteus. Märkäleikkurin hävikkimäärään vaikuttaa kosteuslajittelukameran toimivuus, pöllien pyörityksen onnistuminen sekä sorvaajien työskentely. Sorvauksessa muodostuvan hävikin syiksi ei voida siis nostaa yksittäistä tekijää vaan kaikki edellä mainitut syyt vaikuttavat hävikin muodostumiseen. Saantotasoihin näh-

den oleellista on, mikä syy on aiheuttanut suurimman hävikin kuukaudessa. Tarkastelujakson perusteella voidaan todeta pöllien korkkaantumisen laskevan selkeästi sorvauksen saantotasoa.

Telakuivaajan seurannassa nousi esille myös useita viiluhävikkiin vaikuttavia asioita ja tekijöitä. Lisäksi kuivaajalla hävikkiä muodostuu kolmessa eri pisteessä, joka vaikuttaa myös osaltaan siihen, että viiluhävikkiin vaikuttavia tekijöitä on useita. Telakuivaajan syöttöpään viiluhävikin pääsyinä olivat metsäkoneen jäljet sekä jurmu eli sorvausmakkara. Risteysasemalla hävikkiä aiheutti viilujen koppuraisuus, joka johtui viilun ylikuivaamisesta tai sydänpuusta sorvatun viilun veto- ja puristusjännityksistä. Koppuraiset viilut rikkoutuivat hihnojen ja kuljettimien väliin aiheuttaen ruuhkia. Kuivaajan loppupäässä pinkkaajilla viiluhävikkiä aiheuttivat eniten liian märät viilut sekä imuhihnakuljettimilta tippuvat viilut. Telakuivaajan viiluhävikin muodostumiseen vaikutti kuivaajaa edeltävien osaprosessien onnistuminen, kuivattavien viilukuormien suuri kosteusvaihtelu, operaattoreiden työskentely sekä kuivaajan lämpötilan ja ilmankosteuden säädöt.

Viiluhävikin ja siihen johtavien syiden selvittäminen havuviilun sorvaus- ja kuivausprosesseissa oli haastavaa, sillä hävikkimäärissä ja hävikkisyissä oli suurta vaihtelua. Lisähaastetta tutkimukseen toi prosessien toiminta, sillä tutkimusta varten ei tehty koejärjestelyjä ja -ajoja. Joten prosessien seuranta ja viiluhävikin määrittäminen ei aina onnistunut suunnitellusti. Toisaalta tällä tavoin saatiin oikeellinen kuva tuotannon toimivuudesta.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että märkä- ja kuivaviilusaantojen kehittäminen vaatii erilaisia toimenpiteitä sorvaus- ja kuivausprosesseihin, mahdollisia uusia laiteinvestointeja sekä operaattoreiden työskentelytapojen päivittämistä ja selkeytystä. Sorvausprosesseissa olisi hyvä ottaa käyttöön kolmas kosteusluokka, jolloin märät pintaviilut pinkattaisiin omaan kuormaan, kuivat viilut omaansa ja näiden lisäksi omaksi kuormaksi pinkattaisiin sydänpuun väliset viilut. Tämä helpottaisi tekakuivaajan säätöjen tekoa, kun kuivattavien viilukuormien kosteuksissa ei olisi niin suuria vaihteluita. Mahdollisilla laiteinvestoinneilla vaikutettaisiin sorvausmakkaran eli jurmun sekä pöllien korkkausten vähenemiseen. Lisäksi saantojen kehittäminen ja materiaalitehokkuuden parantaminen vaativat pitkäjänteistä työskentelyä, johon jokainen työntekijä on pyrittävä sitouttamaan.

8 YHTEENVETO

Tässä diplomityössä tutkittiin havuviilun valmistusta sorvaus- ja kuivausprosesseissa sekä niissä muodostuvaa viiluhävikkiä ja hävikin syitä. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin tehtaalla käytössä olevan toisen havusorvin toiminnan seuranta, koska kyseisen sorvin käyttö on vähäinen. Tutkittava havusorvi on tehtaan havuviilun valmistuksen pääsorvi. Työn lähtökohdaksi oli tarve kehittää havuviilun märkä- ja kuivaviilusaantoja tavoitetason mukaisiksi ja saada kustannussäästöjä sekä parantaa tuotannon tehokkuutta. Prosesseissa muodostuvan viiluhävikin selvittämiseksi käytettiin yrityksen sisäisiä tiedonkeruujärjestelmiä ja seurattiin prosessien toimintaa. Lisäksi prosessien seurannan yhteydessä keskusteltiin tuotannon operaattoreiden sekä toimihenkilöiden kanssa. Tällä tavoin saatiin laajennettua tietoa havuviilun tuotannon toimivuudesta.

Työn tavoitteena oli selvittää, miten ja mistä syistä sorvauksen ja telakuivaajan viiluhävikki muodostuu, koska hävikkiin päätyneet materiaali vaikuttaa suoraan märkä- ja kuivaviilusaantoihin. Sorvauksen ja kuivaajan viiluhävikin selvitykset eroavat toisistaan, koska prosessit ovat erilaisia. Sorvauksen viiluhävikkimäärät ja -syyt saatiin selvitettyä pitkälti tiedonkeruujärjestelmistä saaduista tiedoista, joista hävikkimäärät saatiin laskettua tarkasti. Telakuivaajan viiluhävikin selvitys perustui prosessin seurannalle, koska tiedonkeruujärjestelmistä saadaan vain kuivaajaan syötetyt ja kuivaajalla tuotetut viilukuutiot. Kuivaajan viiluhävikistä ei tällä tavoin olisi saatu tarkkaa kuvaa, koska viiluhävikkiä muodostuu kuivaajalla useassa eri kohdassa ja jokaisessa kohdassa hävikkisyys ovat erilaisia. Kuivaajan hävikkimääristä ei saatu muodostettua yhtä tarkkaa laskentaa kuin sorvaajan hävikkimääristä, mutta tulosten perusteella saatiin tietoa kuivaajan viiluhävikin syistä.

Märkä- ja kuivaviilun tuotantomäärät, saannot sekä viiluhävikin määrät vaihtelivat kuukausittain verrattain paljon ja niihin vaikuttaneita asioita ja tekijöitä oli monia. Sorvauksessa kuukauden isoin hävikkisyys vaihteli pölliin korkkaamisten, märkäleikkurin sekä pyöristyksen välillä ja hävikkisyyille löytyi useita selittäviä tekijöitä. Näitä tekijöitä oli esimerkiksi sorvin karojen kunto, laitteiden häiriöt, puuraaka-aineen laatu sekä operaattoreiden työskentely. Telakuivaajalla viiluhävikkiä muodostuu kolmessa eri pisteessä syöttöpäässä, risteysasemalla sekä pinkkaajilla. Kuivaajalla viiluhävikin syyt vaihtelivat kuivattavan viilukuorman mukaan. Kuivaajan suurimpia hävikin aiheuttajia oli metsäkoneiden jäljet, viilujen epätasainen kosteus sekä koppuraisuus, joiden selittävinä tekijöinä oli esimerkiksi kuivausta edeltävien osaprosessien toiminta sekä kuivaajan lämpötilan, nopeuden ja ilmankosteuden säädöt.

Tämän tutkimuksen aikana havaittiin yrityksen tiedonkeruujärjestelmistä saatavissa tiedoissa olevan puutteita. Tiedonkeruu oli osittain myös hieman sekavaa, sillä tietoja täytyi etsiä saman järjestelmän sisällä monesta eri kohdasta. Tiedonkeruusta saatavia tuotantotietoja käsitellään päivittäin ja tietojen avulla analysoidaan tuotannon toimivuutta sekä pohditaan prosessien häiriöitä, mikäli tuotantoluvut poikkeavat normaalista/tavoitellusta tasosta. Tästä syystä tiedonkeruujärjestelmien tuottamassa datassa ei saisi olla puutteita ja järjestelmien häiriöt olisi syytä selvittää.

Lisäksi tutkimuksen aikana pohdittiin, että sorvauksen ja telakuivaajan kokonaistehokkuus olisi hyvä selvittää esimerkiksi kokonaistehokkuus -luvun avulla, että nähtäisiin mikä/mitkä kokonaistehokkuuden osa-alueet vaikuttavat eniten näiden prosessien toimivuuteen ja tehokkuuteen. Kokonaistehokkuus -laskentamallin avulla prosesseihin tehtävien toimenpiteiden ja muutosten vaikutuksia voitaisiin seurata paremmin. Muutenkin tuotantoa ja sen tehokkuutta olisi hyvä mitata selkeiden mittareiden avulla, että osaprosessien kehitystä ja muutoksia voitaisiin seurata tarkemmin.

LÄHTEET

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. p. Ylöjärvi: Infacts johtamistekniikka.

Hippinen, I., Österlund, H., Eskola, P., & Suomi, U. 2012. Materiaalitehokkuushankkeiden seurannan ja vaikutusarvioinnin kehittäminen. Esiselvitys 10/2012. [Motiva Oy:n nettisivut]. [Viitattu 1.11.2018] Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/materiaalitehokkuus/materiaalitehokkuushankkeiden_seurannan_ja_vaikutusarvioinnin_kehittaminen_esiselvitys.10757.shtml

Horne, P., Haltia, E., Valonen, M., Sajeva, M. & Kniivilä, M. 2018. Metsäsektori 2018/kevät. [Pellervon taloustutkimus nettisivut]. [Viitattu 10.8.2018] Saatavissa: <http://www.ptt.fi/ennusteet/metsaala.html>

Husu, I. 2013. Viilunkuivaajan tuotantotehokkuuden kehittäminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto. Diplomityö. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014030415884>

Hänninen, R., Viitanen, J., Kniivilä, M., Kohl, J., Mustonen, M., Kolström, T. 2018. Katse metsäalan tulevaisuuteen. [Luonnonvarakeskuksen julkaisuarkisto]. [Viitattu 30.8.2018] Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/541770>

Isomäki, O. 2002. Raaka-aineet ja aihiot. Helsinki: Opetushallitus.

Jyväskylä. UPM-Kymmene Oyj:n sisäinen tietokanta. [Viitattu 7.5.2018]

Jääskeläinen, A-S. & Sundqvist, H. 2007. Puun rakenne ja kemia. Helsinki: Otatieto/ Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd.

Lecklin, O. 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. 5. uud. p. Helsinki: Talentum

Lilja, R. & Saramäki, K. 2012. Materiaalien käytön tehokkuus ympäristölupamenettelyssä. Ympäristöopas. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymp.fi/download/none-name/%7B6463EC00-70E4-4617-901F-CF1E67716659%7D/27469>

Kevät- ja kesäpuu. [Pro Puu ry:n nettisivut]. [Viitattu 29.10.2018] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-rakenne/kevat-ja-kesapuu

Koponen, H. 2002. Puulevytuotanto. 3. uud. p. Helsinki: Opetushallitus.

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Helsinki: Metsälehti.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus.

Materiaalitehokkuus muoviteollisuudessa. [Motiva Oy:n nettisivut] [Viitattu 13.11.2018] Saatavissa: https://www.motiva.fi/yritykset/energia- ja_materiaalikatselmus/materiaalikatselmus/materiaalitehokkuus_muoviteollisuudessa

Materiaalitehokkuus. [Ilmasto-opas -nettisivut] [Viitattu 1.11.2018] Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/38393e35-469e-4b53-8a31-15fbebab897c/materiaalitehokkuus.html>

Elinkeinoelämän keskusliitto EK:n julkaisu. 2008. Materiaalitehokas toiminta säästää luontoa ja rahaa. [Viitattu 1.11.2018] Saatavissa: http://www.kennotech.fi/doc/EKn_materiaalitehokkuusjulkaisu.pdf

Millers, M. 2013. The proportion of heartwood in conifer (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies* [L.] H. Karst.) trunks and its influence on trunk wood moisture. Journal of Forest Science, 59, 2013 (8): 295-300. Saatavissa: https://www.agriculturejournals.cz/web/jfs.htm?type=article&id=29_2013-JFS

PlyNet Säynätsalo. Säynätsalon tehtaan sisäinen tiedonkeruujärjestelmä.

PLY Tehdasraportointi. UPM-Kymmene Oyj:n sisäinen tiedonkeruujärjestelmä.

Puun kosteuskäyttäytyminen. 2011. Tekninen tiedote. [Puuinfo Oy:n nettisivut] Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/kysymyksia-ja-vastauksia/puun_kosteuskayttaytyminen_lattia.pdf

Puun laatu. [Pro Puu ry:n nettisivut]. [Viitattu 13.9.2018] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-laatu

Rakenneviat. [Pro Puu ry:n nettisivut]. [Viitattu 6.9.2018] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puun-rakenne/rakenneviat

Rantala, S., Mustonen, M. & Katila, P. 2018 Metsät muuttuvassa maailmassa: Kansainväliset trendit ja keskeiset haasteet. [Luonnonvarakeskuksen julkaisuarkisto] [Viitattu 17.9.2018] Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/541129>

Rautavirta, M. 2018. Tukkipuun kantohinnat Suomessa 2017-2018. [Metsäteollisuus ry:n nettisivut] [Viitattu 23.10.2018] Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/puukauppa/>

Rungon rakenteet. [Pro Puu ry:n nettisivujen kuva-arkisto] [Viitattu 31.10.2018] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/proffin/images/stories/metsa/_Rungon-kerrokset.jpg

Saari, S. 2006. Tuottavuus: Teoria ja mittaaminen liiketoiminnassa: tuottavuuden käsikirja. Espoo: Mido

Taipale, V. 1998. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon. LCP-laskentamalli. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1920.pdf>

Tukkipuu. [Pro Puu ry:n nettisivut] [Viitattu 31.10.2018] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-laatu/tukkipuu

Tuominen, K. 2010. Lean. Tehoa ja laatua hukan vähentämiseen. 1. p. Helsinki: Readme

UPM eKnowPly. UPM-Kymmene Oyj:n sisäinen tietokanta. [Viitattu 12.4.2018]

Varis, R., Akkanen, I., Jännes, T., Kekki, M., Kiiski, T., Kortelainen, V-M., Lind-Kohvakka, S., Liski, K., Mäkinen, T., Pajuoja, H., Rainio, J., Räsänen, T., Silvennoinen, I., Tarvainen, I., Tornainen, P. & Tynkkynen, T. 2017. Puulevyteollisuus. Porvoo: Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys ry.

Vihanto, M. 2016. Taloudellisen tehokkuuden käsite. Luku 6. Instituutiotaloustieteen perusteet. [Viitattu 31.10.2018] Saatavissa: http://www.ace-economics.fi/kuvat/mvihanto_inst06.pdf

Viitanen, J. & Mutanen, A. 2017. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2017-2018. [Luonnonvarakeskuksen (Luke) nettisivut]. [Viitattu 10.8.2018] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-481-6>

Voutilainen, M. 2002. Tekniset ja taloudelliset perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

MUUT LÄHTEET

Kullaa, M. Resurssimestari, 2018

Meinander, E. Hankintaesimies, 2018

Mikkonen, K. Kehitysinsinööri, 2018

Nurkka, K. Projektipäällikkö, 2018

Oinonen, M. Sorvaaja, 2018

Tainio, J. Telakuivaajan hoitaja, 2018

Tuominen, J. Tuotannosuunnittelija, 2018

Vänttinen, A. Telakuivaajan hoitaja, 2018

