LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikka

Ilkka Husu

VIILUNKUIVAAJAN TUOTANTOTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Työn tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen
Professori Juha Varis

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Husu, Ilkka Kristian

Työn nimi: Viilunkuivaajan tuotantotehokkuuden kehittäminen

Laitos: Konetekniikka

Vuosi: 2013 Paikka: Mikkeli

Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
94 sivua, 45 kuvaa, 8 kaavaa, 4 taulukkoa, 3 liitettä

Tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen
Professori Juha Varis

Hakusanat: viilu, tuotantotehokkuus, likaantuminen, käyttöaste, pysähdys

Mekaanisen metsäteollisuuden tuotteiden kiristyvä globaali kilpailu ja jatkuva kustannusten kasvaminen kiristyvillä markkinoilla aiheuttavat jatkuvaa tuotannon tehostamisen tarvetta. Käyntiaikojen maksimoinnilla ja tuotantokoneiden käyttöasteen nostamisella haetaan hintaetua sekä toimituskapasiteetin maksimointia kilpailussa asiakkaista myös tulevaisuutta silmälläpitäen. Vanerin tuotantoprosessiin osaprosessina kuuluva viilun kuivaus on tehtaan tuotannon pullonkaula. Kuivauskoneen tuotannollisten häiriöiden syiden selvittämisillä ja käyntiajan lisäämisellä on suora tuotannollinen vaikutus.

Tutkimuksessa löydettiin mahdollisia parannuskohteita tuotantolaitteisiin. Käsiteltävän aiheen ollessa aiemmin kirjallisuudessa käsittelemätön, jouduttiin kehitys- ja parannustoimenpiteissä tekemään suoraviivaisia syy- ja seuraussuhteisiin perustuvia ratkaisuja. Vaihtoehdoista etsittiin toiminnaltaan mahdollisimman yksinkertaisia sekä hankinta- ja käyttökustannuksiltaan kustannustehokkaita ratkaisuja.

ABSTRACT

Author: Husu, Ilkka Kristian

Subject: Development of veneer dryer production efficiency

Department: Mechanical Engineering

Year: 2013 Place: Mikkeli

Master's Thesis. Lappeenranta University of Technology.

94 pages, 45 pictures, 8 formulas, 4 tables, 3 appendixes

Supervisors: Docent Harri Eskelinen
Professor Juha Varis

Keywords: plywood, production efficiency, contamination, utilization rate, pause

The intensifying global competition and the continual increase of costs of mechanical forest industry products causes needs for production rationalization on the increasingly competitive market. Veneer drying, one of plywood production sub-process, is production bottleneck. Maximizing both operating time and utilization rate of the drying machine causes direct price advantage and maximize supply capacity to the competition of customers also in the future. Investigating causes which effects down times and increasing the production time has a direct positive effect to the production.

In this research were founded possible developments for the production machinery. The subject in this matter is untreated on the literature, so development of solutions for improved operations had a linear cause-consequence relationship. Options on the operation were sought as simple as possible as well the acquisition and operating costs are cost-effective solutions.

ALKUSANAT

Ei enää koskaan. Näin päätin vuonna 1999 edellisestä oppilaitoksesta valmistuttuani – ja sama tilanne taas ajankohtainen.

Tämä diplomityö on tehty UPM Woodin Pelloksen vaneritehtaiden suosiollisella avustuksella. Vaivaa, päänraapimista ja kokeilemalla saatuja ratkaisuja sisältävä lopputyö on yksissä kansissa. Matkalle tuli yrityksen ja erehdyksen kautta saatuja ratkaisuja sekä yllättäviäkin tuloksia.

Eräs suuri ajattelija on lausunut sanat: ”Opiskelussa pätee usein sama asia kuin matkustelussa - tärkeintä ei ole perille pääseminen, vaan matkalla oleminen”. Aikaa opiskeluihin ja tähän työhön kului eri odotettua enemmän; tuliko hiomalla parempi, se jääköön lukijan ratkaistavaksi.

Vilpittömät kiitokset työnantajalle resursseista ja ajasta, joita sain työhöni käyttää. Tutut ihmiset organisaatioissa sekä neuvot, joita sain kokeneimmilta asiantuntijoilta, myötävaikuttivat suuresti saatuihin ratkaisuihin. Heille nöyrin kiitos, huomioiden myös ne henkilöt, jotka tekemättä sen suurempaa numeroa tiedostaan, auttoivat asioiden ja ratkaisujen selvittämisessä.

Lappeenrannan teknillisen yliopistolle haluan antaa kiitoksen laadukkaasta opetuksesta ja ymmärryksestä työn ohessa opiskelevan tarpeille. Kiitos ohjaajalleni Harri Eskeliselle innovatiivisesta perusopetuksesta sekä ohjauksesta tässä työssä.

Suurin kiitos kuitenkin kotiväelle, jotka joutuivat elämään mukana myös silloin, kun hypoteeseja koeteltiin.

Mikkelissä 31.12.2013

Ilkka Husu

Sisällys

ALKUSANAT **4**

LYHENNELUETTELO 7

1. JOHDANTO **8**

1.1. TUTKIMUKSEN TAUSTA 9
1.2. Tutkimusongelma *9*
1.3. TAVOITTEET 10
1.3.1 Tutkimuskysymykset *11*
1.3.2 Hypoteesi *11*
1.4. TUTKIMUSMETODIT 11
1.5 RAJAUKSET 12

2. JOHDANTO **13**

2.1. UPM VANERILIIKETOIMINTA 15
2.1.1. Pelloksen vaneritehtaat *15*
2.1.2. Pellos 3 ..... *16*

3. VANERIN VALMISTUSPROSESSI **16**

3.1. HAVUPUU RAAKA-AINEENA 17
3.2. VIILUJEN KOSTEUSJAKAUMA 20

4. VIILUN KUIVAUS **22**

4.1. KUIVAAMINEN TELAKUIVAAJALLA 23
4.2. KUIVAUSKONELINJAN RAKENNE 24
2.1.2. Syöttölaite *24*
2.1.3. Kuivauskone *25*
2.1.4. Purkauslaite *27*
2.1.5. Risteysasema *29*

3. KUIVAUSKAPASITEETIN RIITTÄVYYS JA VAIKUTUS LOPPUPROSESSIIN **31**

3.1. KUSTANNUSVAIKUTUS 32

4. KUIVAUSKONEEN PUHDISTUSTOIMENPITEET **33**

5. LIKAANTUMISEN AIHEUTTAJAT **35**

5.1. KUORINTA 35
5.1.1. KUORINNAN AIHEUTTAMIEN VAURIOIDEN EHKÄISEMINEN 38
5.2. SORVAUS 39

6. LIKAANTUMISEN VAIKUTUKSET KUIVAUSKONEESEEN **41**

6.1. RATKAISUJA KUIVAUSTEHON SÄILYTTÄMISEEN 42
6.1.1. Tray-tasolla viilun puhdistaminen *42*
6.1.2. Tray-tason puhalluksen parantaminen *43*
6.2. MÄRKÄPINKKAUS 44

7. VIILUJEN KUIVAUSKONEEN LIKAANTUMISEN ESTÄMINEN **47**

7.1. ENERGIATEHOKKAAT PUHALLUKSET 48
7.1.1. Reikäputki *49*
7.1.2. Lattapuhallussuutin *49*
7.1.3. Ilmaveitsi omalla puhaltimella *49*
7.1.4. Ilmaveitsi paineilmalla *49*
7.2. KUSTANNUSVERTAILU ERI PUHALLUSMENETELMILLÄ 50
7.3. MELUALTISTUS 51
7.4. PUHALLUSLAITTEEN VALINTA 52
7.5. ILMAVEITSEN ILMAN KULUTUS 52
7.5.1. Ilmaveitsen asennus syöttölaitteeseen *53*

7.6. ILMAN POISTOJÄRJESTELMÄ 54
7.6.1. Puhallin 55
7.6.2. Imuvaikutus 57
7.6.3. Keräysjärjestelmän imuputkiston kapasiteetti 58
7.7. PUHALLUSILMAN KÄSITTELY 60
7.7.1. Sykloni 61
7.8. ILMAVEITSEN JA POISTOPUHALTIMEN ENERGIAKUSTANNUS 63

8. SUODATTAMINEN 63

9. KÄYNTIASTEEN MAKSIMOINTI 64

9.1. KOKONAISTEHOKKUUS 65
9.2. KUIVAUSKONEEN KÄYTTÖAIKA 67
9.3. HUOLTOPÄIVIEN VAIKUTUS 69
9.4. TEHOLLISEN AJOAJAN JAKAUTUMINEN 70
9.5. RUUHKIEN SYNTYMISEN SYYT 74
9.6. KUIVAUSKONEEN AJOPARAMETRIEN VAIKUTUS RISTEYSASEMAAN 75
9.6.1. Parannusehdotus 76

10. TEHOLLINEN TUOTANTOVIIKKO 76

10.1. HUOLTOPÄIVÄN PITUUDEN VAIKUTUS TUOTANTOON 78

11. POHDINTA 81

11.1. OBJEKTIIVISUUS 81
11.2. RELIABILITEETTI JA VALIDITEETTI 82
11.3. VIRHE- JA HERKKYYSTARKASTELU 82
11.4. AVAINTULOKSET 83
11.5. TULOSTEN UUTUUSARVO 84
11.6. JATKOTUTKIMUSAIHEET 84

LÄHDELUETTELO 86

LIITTEET 92

Lyhenneluettelo

m_w	Puussa olevan veden massa
m_o	Puun massa
Parenkyymisolu	Puun pinnassa olevia, ravintoaineita varastoivaa solukkoa.
VDA	Visual Defect Analyzer, kamerakuvaan perustuva viilun virheanalysointi
MVA	Micro Wave Analyzer, mikroaaltoihin perustuva viilun kosteusanalysointi
Konvektio	Lämpövirtausta liikkuvassa nesteessä tai kaasussa ja erityisesti nesteestä kiinteään pintaan tai päinvastoin.
$LA_{eq\ 8h}$	Sallittu melun altistumisen pitkäaikaisarvo
$LC_{peak,\ max}$	Sallittu melun altistumisen huippuaikaisarvo
KNL	Kokonaistehokuusmittari KNL = Käytettävyys x Nopeus x Laatu
Vaneri	Syysuunnaltaan ristikkäin liimattu puuviilu
LVL	Laminated Veneer Lumber, viilusta tehty puupalkki
Puhallin	Laite, jonka ensisijaisena tehtävänä on kaasun siirto.
Dippeli	Laite, joka siirtää viilun eri tasoille.
SLPM	Standardilitra per minuutti
Tehdasraportointi	Automaattinen tuotannon seurantaohjelma
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä
Häiriöilmoituskanta	Tiedonkeruujärjestelmä, johon kirjataan tuotannollisia tapahtumia
Saumauslinja	Vajaamittaisen viilun jatkamiseen tarkoitettu konelinja

1. Johdanto

Suomalainen metsäteollisuus on elänyt suuren rakennemuutoksen aikaa 2000-luvulla. Kustannuksien karsiminen on johtanut tuotteiden heikon kannattavuuden myötä tuotantolaitosten sulkemisiin, henkilöstön irtisanomisiin ja pakottanut jäljelle jäävien prosessien kehittämiseen. Kasvua ja kannattavuutta on haettu myös lanseeraamalla uusia tuotteita ja nostamalla automaatioastetta, samalla kun huonommin tuottavien tuotteiden valmistamisen kannattavuutta on tarkasteltu kriittisemmin. Vuoden 2008 lopulla alkanut yleismaailmallisen lama vaikeutti toimintaympäristöä edelleen.

Metsäteollisuus käy läpi rakennemuutosta, joka johtuu pääosin toimintaympäristön globalisoitumisesta ja yhteiskunnan muutoksista. On arvioitu, että nykyisiin tuotteisiin perustuvan tuotannon määrä Suomessa laskee lähivuosina merkittävästi. Tällöin myös metsäteollisuuden on uusiuduttava, niin kustannusrakenteen, kuin myös tuotteidensa osalta. Metsäteollisuuden tulevaisuuden näkymät lepäävät ennen muuta korkean jalostusarvon omaavien tuotteiden ja täysin uusien tuotteiden varassa. [1 s.3]

Maailmankaupan globalisoitumisen kautta ovat eurooppalaiset metsäteollisuuden toimijat saaneet kilpailijoita mm. Etelä-amerikkamaisista ja Aasialaisista tuottajista. Trooppisesta havupuusta tuotettu vaneri on merkittävä kilpailija Euroopan markkinoilla UPM:n tuotteille. Raaka-aineen huokea hinta, matalammat palkkakulut sekä tehokas logistiikka aiheuttavat kilpailutilanteen kiristymistä markkinoilla. Kustannustehokkuuden ja tuotantoprosessien jatkuva parantaminen on merkittävässä osassa tulevaisuuden kilpailukyvyssä asiakkaista, joille voidaan tarjota kustannustehokkaasti valmistettua vaneria.

Pitkät tuotantosarjat ja keskeytymätön tuotanto alentavat tuotantokustannuksia yksikkötasolla, riippumatta tuotannon toimialasta. Korkea tuotantotehokkuuden aste edellyttää koneiden ja laitteiden toimintaa niiden maksimikapasiteetilla niin, että tuotteet täyttävät niille määritellyt laatuvaatimukset.

1.1. Tutkimuksen tausta

Työssä esitellään havuvanerin valmistusprosessin osaprosessina viilun kuivaus. Merkittävin ero perinteiseen vanerin valmistukseen on siinä, ettei missään prosessin vaiheessa tuotteeseen kosketa ihmiskäsin vaan koneet ja laitteet tekevät kaiken työn. Vanerityöntekijöistä on tullut operaattoreita, jotka kontrolloivat ja valvovat prosessia.

Kuivauslinja on ollut tuotannon pullonkaula tehtaan valmistumisesta 2002 saakka. Tuotantomäärää on kasvatettu tehtaan olemassaoloajan luomalla mahdollisimman optimaaliset kuivaussarjat, nostamalla voimalaitokselta saatavan höyryn painetta ja lämpötilaa niin korkealle kuin kuivauskoneessa olevien pattereiden painekesto antaa myöden sekä lisäämällä höyrynsiirtoputken kapasiteettia putkikokoa kasvattamalla. Lisäksi voimalaitokselta lähtevään höyrylinjaan on lisätty vesitys, jolloin höyryn siirtämä energiamäärä on maksimoitu.

Huoltopäivän sykli on tulipaloriskin ja tehokkuuden laskemisen takia havaittu järkevimmäksi suorittaa kerran viikossa. Jos likaantumista pystytään vähentämään niin, että huoltopäivien tuntimääräistä kestoa voidaan vähentää tai harventamalla huoltopäivien väliä, on sillä koko tehtaan tuotantokapasiteettiin nostava vaikutus.

1.2. Tutkimusongelma

Viilun kuivauskoneen tuotantotehokkuus laskee kerran viikossa pidettävän, noin kahdeksan tuntia kestävän huoltopäivän jälkeen. Syynä sekä siivoushuoltoon että tehokkuuden laskemiseen on kuivauskoneen likaantuminen eri tekijöistä johtuen.

Kuivauskoneen likaantumisen seuraukset ja sen vaatimat toimenpiteet tiedetään hyvinkin tarkasti, itse likaantumisen eliminoimiseen ei ole tehty tutkimusta tai haettu parempia toimintamalleja.

Tehdasraportoinnista (liite 1) huomataan, että kuivaaja pysähtyy alle kaksi minuuttia kestäviin lyhytpysähdyksiin ilman, että pysähdykseen johtavaa syytä kirjataan ylös jatkotoimenpiteitä varten. Summaamalla pysähdysten kesto, saadaan huomattava aika, jolloin tietyllä ajanjaksolla kuivausprosessi on

pysähdyksissä. Juurisyyn tutkimista lyhytpysähdyksiin johtavista tapahtumista ei ole tehty, vaikka niihin kuluva aika on tiedostettu.

1.3. Tavoitteet

Tuotannon tehostaminen ja kustannusten karsiminen ovat jatkuvia tavoitteita, joihin kaikessa yritystoiminnassa pyritään. Innovaatiot, mukautuminen ja joustavuus ovat keinoja, joista on tullut menestyvän organisaation tunnusmerkkejä. Organisaatiolta vaaditaan kykyä oppia, uudistua jatkuvasti ja sopeutua alati muuttuvaan kilpailuympäristöönsä. [2 s.250]

Tavoitteena on löytää toimivia ratkaisuja arkkileikattujen kuusiviilujen kuivauskoneen kuivaustehokkuuden nostamiseen. Tutkimuksessa selvitetään kuivaajan likaantumiseen johtavia tekijöitä sekä keinoja likaantumisen vaikutuksen estämiseen.

Tuotantoprosessissa ilmenevää jatkuvaa parantamista voi tapahtua vasta kun prosessi on riittävän vakaa. Prosessin jatkuvaan parantamiseen keskittymällä voi organisaatio saavuttaa haluamansa taloudelliset tulokset pitkällä aikavälillä. Jatkuvan parantamisen ydin piilee koko organisaation asenteessa ja ajattelutavassa. Jatkuvan parantamisen periaatteiden mukaisesti kustannuksia pyritään alentamaan ja toimintaa tehostamaan jatkuvilla pienillä kehitystoimilla. Periaatteen soveltaminen edellyttää koko organisaation sitoutumista ja toimintaa yhteisten päämäärien ja tavoitteiden saavuttamiseksi. [2 s.252]

Osaprosessit, jotka vaikuttavat ennen kuivausprosessia, tutkitaan ja havainnoidaan niistä mahdollisesti löytyvät vaikuttavat tekijät likaantumista silmällä pitäen. Samalla esitetään parannuskohteita tai toiminnallisia muutoksia olemassa oleviin koneisiin ja laitteisiin. Koneisiin rakennettavat laitteistot suunnitellaan niin, että ne pystytään valmistamaan tehtaan omalla korjaamolla käyttäen mahdollisimman paljon valmiina olemassa olevia komponentteja. Laitteistojen kustannusvaikutus määritetään käyttökustannuksia silmällä pitäen.

Kuivauskoneen teholliseen ajoaikaan vaikuttavia tekijöitä selvitetään tehdasraportoinnin analysoinnin sekä seurantatutkimuksen kautta. Tietoja

analysoimalla selvitetään syy-seuraussuhteen kautta ongelmakohtien juurisyyt, jotka vaikuttavat alentavasti tuotantomäärään.

Toimintamallin kehittäminen sellaiseksi, että laitteistot nostavat tuotantotehokkuutta eivätkä aiheuta prosessin keskeyttämistä missään vaiheessa, on tässä tutkimuksessa ratkaistavia ongelmia.

1.3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tulisi löytää erilaisia toiminnallisia ratkaisuja tuotantomäärän nostamiseen ilman, että itse viilun valmistuslaitteistojen toimintatapaan taikka perustoimintoihin tehdään muutoksia. Tehollisen tuotantoajan lisäämiseen tähtäävät toimenpiteet ovat oletusarvoisesti korkein potentiaalikohde, jolla kapasiteettia voidaan lisätä.

Kirjallisuus ei tunne kyseisen ongelman käsittelyä taikka varhaisempia ratkaisuja, joita jalostamalla käyttöön sopivaksi saataisiin valmiita vastauksia.

1.3.2 Hypoteesi

Tutkimusta ohjaavana hypoteesina on todentaa, että viilujen puhdistuslaitteistojen lisäämisellä ja tehokkaalla käytöllä on mahdollista nostaa verrattuna nykyiseen tuotantomäärän. Tulokset ovat havainnoitavissa tuotettujen yksiköiden määrän kasvamisena.

Toisena hypoteesina on todentaa kerätyn datan ja seurantatutkimuksen kautta viilujen kuivauskoneen pysähdysten syiden selvittämisellä ja korjaavilla toimenpiteillä saada lisääntyneen käyntiajan kautta lisätuotantoa.

1.4. Tutkimusmetodit

Kuivauskoneen likaantumiseen vaikuttavia tekijöitä kuorinnasta kuivaukseen asti puretaan valmistusprosessin eri vaiheissa ja pyritään löytämään parannuskohteita. Samalla selvitetään toimivimpia ja kustannustehokkaimpia ratkaisuja ongelmien poistamiseen tai minimoimaan negatiivisia vaikutuksia. Valittavien ratkaisujen toimivuutta sekä kustannustekijöitä arvioidaan pitkällä ajanjaksolla huomioiden operaattoreiden näkökohdat.

Käyttöasteen poikkeamista kapasiteetista tutkittiin erilaisten pysähdysten tutkimisella ja syiden analysoimisella. Kyselylomakkeiden avulla selvitettiin juurisyitä sellaisille pysähdyksille, joille ei löytynyt selkeää syytä tehdasraportoinnista. Lisäksi pohdittiin koneratkaisuja, joilla pystytään eliminoimaan erilaisia häiriötilanteita kuivausprosessissa.

1.5 Rajaukset

Tutkimuksessa käsitellään kuusitukeista valmistetun sorvaamalla valmistetun viilun telakuivauskoneen tehokkuuden nostamiseen ja käyntiaikaa rajoittavien tekijöiden selvittämiseen.

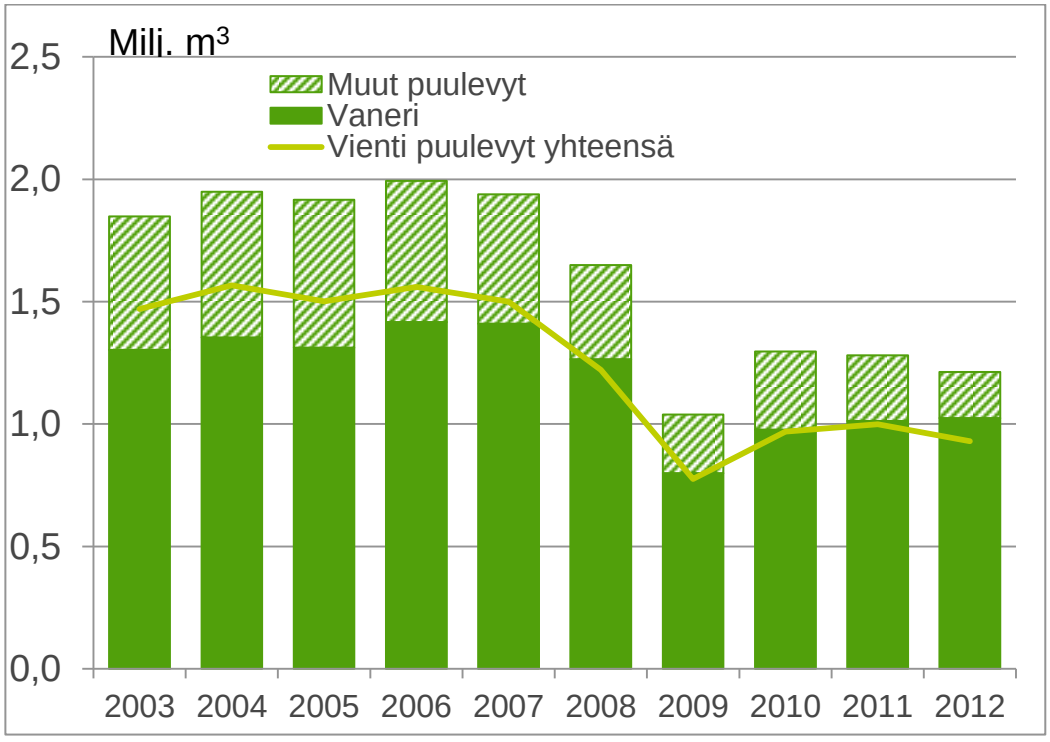
Sellaisten häiriösyiden, jotka ovat eliminoitavissa operaattoreiden toiminnalla tai joiden vaikutus on kokonaishäiriöaikaan vähäinen ajallisesti tai lukumääräisesti, ei käsitelty oletuksellisesti vähäisen saatavan hyödyn takia.

Joidenkin ongelmakohtien ratkaisut voivat olla sellaisia, että niitä ei haluta julkisesti esitettävän.

2. Johdanto

Vanerin valmistus alkoi Suomessa noin sata vuotta sitten. Useimmilla suomalaisilla vaneritehdaspaikkakunnilla oli ollut ennen vanerinvalmistusta sahoja ja lankarullatehtaita. Vanerin tekemisen oppi hankittiin pääasiassa Baltiasta, jossa Lutherin vaneritehdas Tallinnassa oli patentoinut kaseiiniliiman ja aloittanut koivuvanerin valmistuksen jo 1890-luvulla. Oli opittava uusi tekniikka: koivuviilun sorvaaminen, liimanlevittäminen viiluarkeille ja liimatun ladelman kuumapuristus. Viiluja ristikkäin liimaamalla syntyi lujaa levyä. [3]

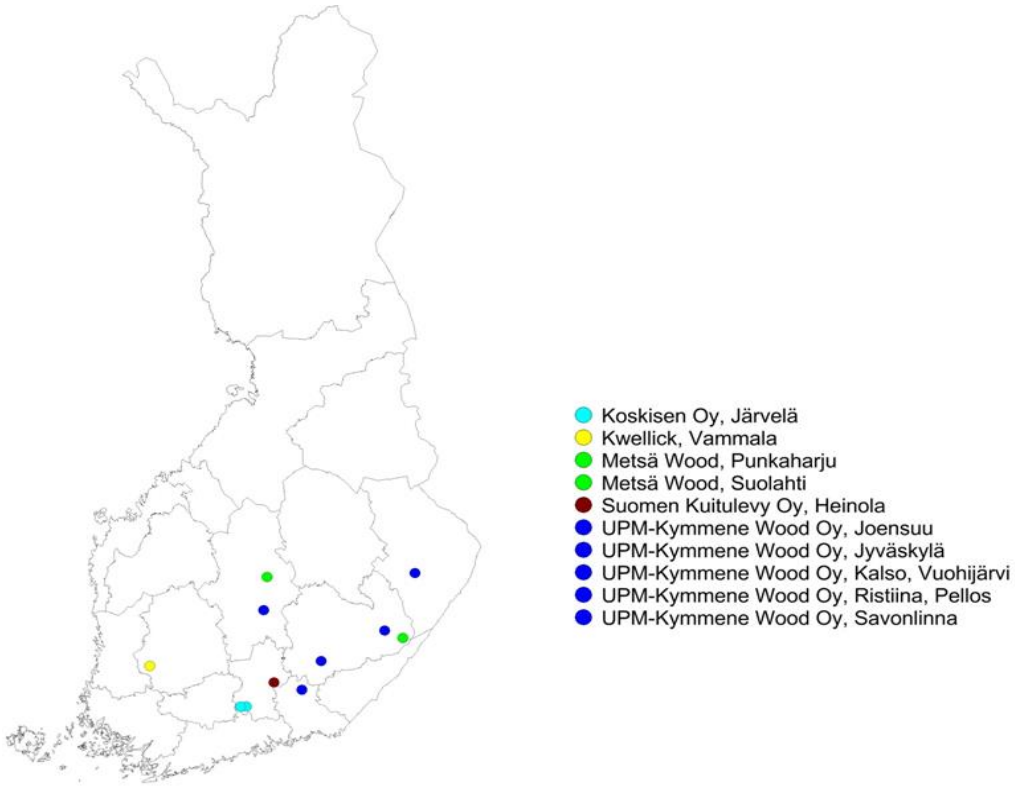
1990-luvun puolivälissä käynnistyi paksuviiluisen, paksuudeltaan yli 2.0 mm, havuvanerin laajavolyyminen valmistus pohjoisamerikkalaisen mallin mukaan. 1980-luvun alussa vaneria valmistettiin yhteensä 30 paikkakunnalla. Kuvassa 1 esitetään Suomessa valmistettujen levytuotteiden ja viennin määrä kymmenen vuoden ajanjaksolla.



Kuva 1. Puulevyjen tuotanto Suomessa. [4]

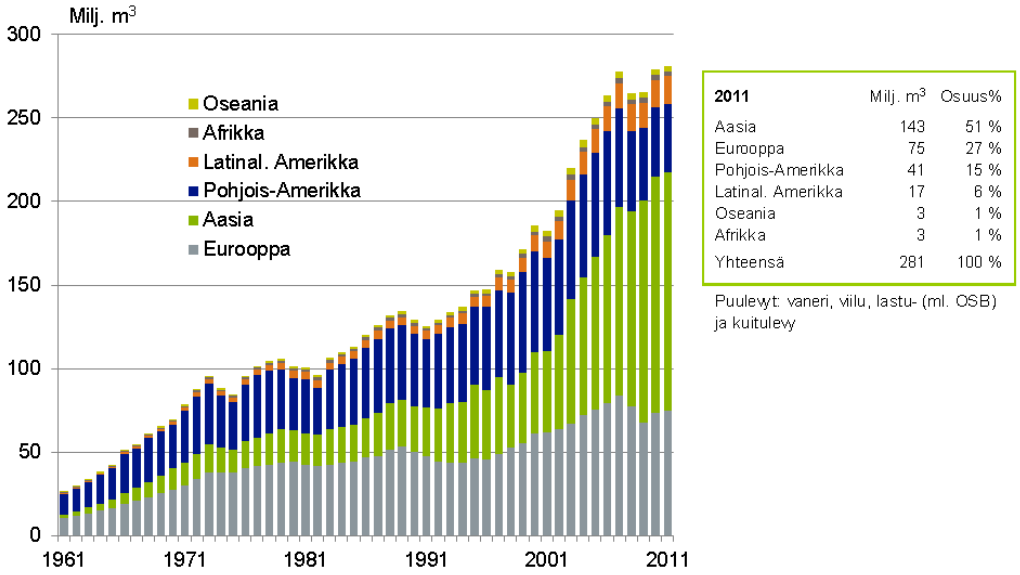
Vuoden 2008 globaalin taantuman seurauksena oli tiukka talouskuuri toimijoilla, jolloin eri tuotantolaitoksia ajettiin alas ja toimintoja supistettiin

kysyntää vastaavaksi. Kuvassa 2 esitetään 15.4.2013 toiminnassa olevat tuotantolaitokset.



Kuva 2. Suomen vaneri-, lastulevy- ja kuitulevytehtaat yrityksittäin. [5]

Puulevyjen tuotanto on globaalisti kehittyvä toimiala. Aasian alueen tuotanto on ollut vuosituhannen alusta kasvanut kiihtyvällä tahdilla. Latinalaiseen Amerikkaan on viime vuosina investoitu silmälläpitäen Pohjois-Amerikan ja Euroopan markkinoita. Aasian alueen tuotanto kulutetaan pääosin omalla markkina-alueella. Kuvassa 3 esitetään maailman levytuotanto valmistusalueineen.



Kuva 3. Maailman levytuotanto vuoden 2011 mennessä. [5]

Maanjäristyksessä 27.10.2010 sekä 4.1.2012 tulipalossa tuhoutuneiden tuotanto-laitosten täysi kapasiteetti Chilessä luo lisää kilpailua Euroopan markkinoille. [6,7]

2.1. UPM Vaneriliiketoiminta

UPM:n vaneriliiketoiminta tarjoaa korkealaatuisia WISA-vanereita ja -viiluja pääasiassa rakentamiseen, kuljetusväline- ja huonekaluteollisuuteen. Vaneriliiketoiminta työllistää noin 2 500 ammattilaista, jotka kehittävät, valmistavat, myyvät ja toimittavat laadukkaita WISA-tuotteita ja -ratkaisuja moniin käyttökohteisiin asiakkaille maailmanlaajuisesti. UPM:llä on kuusi vaneritehdasta ja yksi viilutehdas Suomessa, yksi vaneritehdas Venäjällä ja yksi Virossa. Myyntiverkosto kattaa kaikki tärkeimmät markkinat ympäri maailman 12 myyntiyksikön ja lukuisten myyntiagenttien kautta. Vaneriliiketoiminnan esikuntatoiminnot sijaitsevat Lahdessa.

2.1.1. Pelloksen vaneritehtaat

UPM Pelloksen vaneritehtaat sijaitsevat Pellosniemellä, Mikkelin kaupungissa, 25 km Mikkelistä Lappeenrantaan johtavan valtatien 13 varrella. Pelloksen tehtaiden tehtävänä on valmistaa vakioituja ja laadultaan ensiluokkaisia WISA-Spruce kuusivanereita, niihin perustuvia pinnoitettuja ja/tai työstettyjä

jatkojalosteita sekä koivupintaista WISA-Twin vaneria suuressa mittakaavassa kolmella erillisellä tuotantolaitoksella. Pelloksen tehtaiden tehdaspäällikkö on Tommi Takanen ja henkilöstömäärä on 630. Pelloksen tehtaiden tuotantokapasiteetti on 480 000 m^3. Pelloksen tehtailla on toiminnan laatusertifikaatti ISO 9001, ympäristösertifikaatti ISO 14001 ja yleiseurooppalainen metsien sertifiointijärjestelmä PEFC, joka toimii kehyksenä alueellisille ja kansallisille metsäsertifiointijärjestelmille.

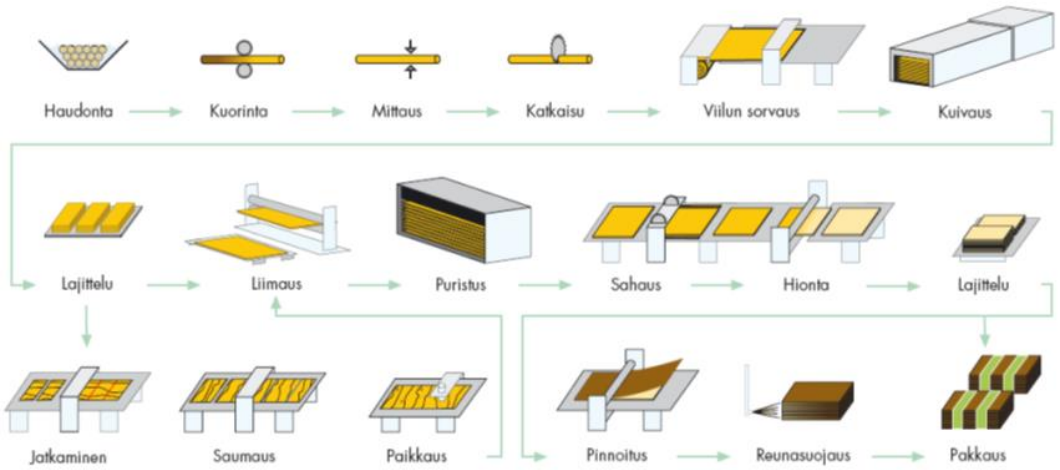
2.1.2. Pellos 3

Pellos 3 on vuonna 2002 valmistunut tehdasyksikkö, joka valmistaa yhdellä sorvi-, kuivaus- ja ladontalinjalla havuviiluvaneria. Tehtaan vuotuinen kapasiteetti on 180 000 m^3 kuusivaneria. Sorvattavien viilujen paksuudet vaihtelevat 2.4 mm:stä 4.4 mm:iin ja valmiiden levyjen paksuudet vaihtelevat 9:stä 24:een mm:iin. Pellos 3 valmistaa vakioituja levykokoja, jotka ovat 2440 mm x 1220 mm tai 2500 mm x 1250 mm.

Pelloksen tehtaiden ollessa maakunnan suurimpia teollisia työnantajia suoraan sekä välillisesti, on kilpailu- ja tuotantokyvyn kehittämisen ja ylläpitämisen vaikutus myös yhteiskunnallisesti huomattava.

3. Vanerin valmistusprosessi

Vanerin valmistusprosessi aloitetaan tukkien vastaanotolla tehtaalle, josta tukkien käsittely jatkuu tukkien katkaisuun pölleiksi. Tämän jälkeen seuraa viilun valmistus sorvaamalla ja leikkaamalla määrämittaisiksi arkeiksi. Samalla viilut lajitellaan eri kosteusluokkiin. Viilut kuivataan arkkeina telakuivaimessa. Lajittelu tapahtuu automaattisesti värikameraan annettujen parametrien kautta, jolloin saadaan lajiteltua eri pintalaadut. Kuivaajan nopeutta säädetään mittaamalla kuivaajasta ulostulevien viilujen kosteutta. Vaneri valmistetaan liimaamalla ja latomalla viilut. Puristusvaiheiden jälkeen viimeistellään, pakataan ja lähetetään asiakkaalle. Kuvassa 4 esitetään vanerin valmistusprosessi yksinkertaistettuna valmistuskaaviona.



Kuva 4. Vanerin valmistuskaavio. [8]

Nykyaikaisimmat vanerinvalmistuslaitosten laitteet valmistavat tuotteita ilman, että ihmiskäsin ei tuotteisiin tarvitse koko prosessin aikana. Näin perinteisistä vanerinvalmistajista on tullut prosessin operaattoreita ja valvojia.

3.1. Havupuu raaka-aineena

Puu tarvitsee vettä elintoimintojen ylläpitämiseen ja kasvuun. Erityisesti parenkyymisolut sekä nilan ja jälleen elävät solut tarvitsevat vettä säilyäkseen elävinä. Kuiduissa ja solukoissa vesi voi olla vapaana tai sidottuna. Vapaata vettä on johtosolukkojen lumenissa, kun taas sidottua vettä on soluseinissä. [9 s.120]

Havupuissa vesi liikkuu trakeideja eli vesisoluja pitkin. Lehtipuissa vesi kulkee rungon suuntaisesti putkilosolujen muodostamissa putkiloissa. Havupuilla on rungon sisällä suuria kosteusvaihteluja, mikä johtuu sydän- ja pintapuun välisistä eroista. Sydänpuun muodostumiseen liittyy voimakas kosteuden aleneminen pintapuuhun verrattuna. [10]

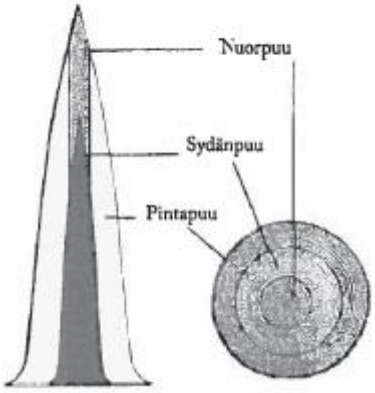
Puun heterogeenisyyden vuoksi puun poikkileikkauksesta voidaan erottaa erilaisia rakenteita kuten vuosirenkaat, sekä sydän- ja pintapuu. Vuosirenkaat muodostuvat kevät- ja kesäpuusta, jotka ovat saaneet nimensä puun kasvukausien mukaan. Pintapuu ja sydänpuu eroavat toisistaan siten, että pintapuu on elävää puuainesta ja sydänpuu kuollutta solukkoa. Pinta- ja

sydänpuun välillä on eroja myös värinmuodostumisen suhteen. Näitä eroja esitellään tässä työssä kuitenkin melko vähän. [10]

Puu on materiaalina hygroskooppista, jolloin se imee itseensä vettä. Solut tarvitsevat vettä elintoimintojensa ylläpitämiseksi. Vesi sitoutuu aluksi soluseinämiin, jonka jälkeen myös soluonteloihin. Soluonteloissa oleva vesi on ns. vapaata vettä. Puussa voi olla myös soluonteloihin ja seinämiin varastoitunutta vesihöyryä. [10]

Puun kosteudesta puhuttaessa tarkoitetaan usein puun kosteussuhdetta eli puussa olevan veden massan suhdetta puun absoluuttiseen kuivamassaan. Tuoreen puun kosteussuhde on normaalisti yli 30 %. Maksimaalisella kosteussuhteella tarkoitetaan puun syiden kyllästymispistettä (PSK), jonka puu voi saavuttaa vesihöyrystä jossakin lämpötilassa, kun suhteellinen höyrynpaine on 1. Puun tasapainokosteuden käsite on myös hyvä tuntea. Sillä tarkoitetaan tilannetta, jolloin puuhun tulevan ja siitä poistuvan vesihöyryn määrä on yhtä suuri. Tällöin puun kosteus asettuu ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan määräämään kosteuteen eli tasapainokosteuteen. [10]

Veden määrä on erilainen puun eri osissa. Kosteuspitoisuus on alhaisin puun rungossa, ja se vaihtelee kasvukauden ja lehtipuilla myös vuorokauden ajan mukaan. Havupuilla rungon kosteuspitoisuus kasvaa ytimestä pintaan. Tämä aiheutuu pääosin sydänpuusta, sillä monilla havupuilla sydänpuu on pintapuuta kuivempaa. Kuvassa 5 on puun eri laatujen sijainti rungossa. Kosteuspitoisuus kasvaa usein korkeussuunnassa, tyvestä latvaan. Tosin syynä tälle on pääosin puun tiheyden aleneminen samassa suunnassa. [9 s.121]



Kuva 5. Nuor-, sydän- ja pintapuun sijainti havupuussa. [11]

Kosteuspitoisuudella on kaksi määritelmää. Se ilmaisee joko 1) veden massan ja puun kokonaismassan suhteen (kosteuspitoisuus/märkää puuta) tai 2) veden massan ja kuivan puun massan suhteen (kosteuspitoisuus/kuivaa puuta). Massateollisuudessa käytetään pääosin ensimmäistä määritelmää, kun taas sahateollisuudessa kosteuspitoisuus lasketaan suhteessa kuivaan puuainekseen [9 s.121]. Vanerin valmistuksessa sopivampana mittarina on kosteuspitoisuuden suhde kuivaan puuainekseen.

Tutkimustuloksiin perehdyttäessä on sekaannuksien välttämiseksi otettava huomioon, että termiä kosteus on käytetty merkitsemään samaa kuin kosteussuhde. Vesipitoisuus on taas määritelty veden massan ja kokonaismassan suhteeksi [12 s.110]. Nykyisin olisi selkeyttävää käyttää kosteuden ja kosteussuhteen käsitteitä edellä olevassa merkityksessä. [13 s.131]

Kun puussa olevan veden massa on m_w ja puun massa m_o, kosteussuhde on prosentteina $100m_w/m_o$ (2) ja kosteus $100m_w/ (m_o, + m_w)$ (1). Tällöin voidaan havaita, että

kosteus = 100 x kosteussuhde/(100 + kosteussuhde) (1)

ja

kosteussuhde = 100 x kosteus/(100 – kosteus) (2)

[13 s.131]

Vanhimmat laboratoriomenetelmät ovat kaksivaiheisia. Yksinkertaisin ja myös eniten käytetty on mitata puun massa kosteana, kuivata puu lämpökaapissa ja määrittää puun massa uudelleen kuivauksen jälkeen. Tällöin kosteussuhde saadaan lasketuksi kaavaa 3 käyttäen. Menetelmä voidaan nimittää lämpökaappimenetelmäksi.

$$u = 100(m_u - m_o)/m_o \quad (3)$$

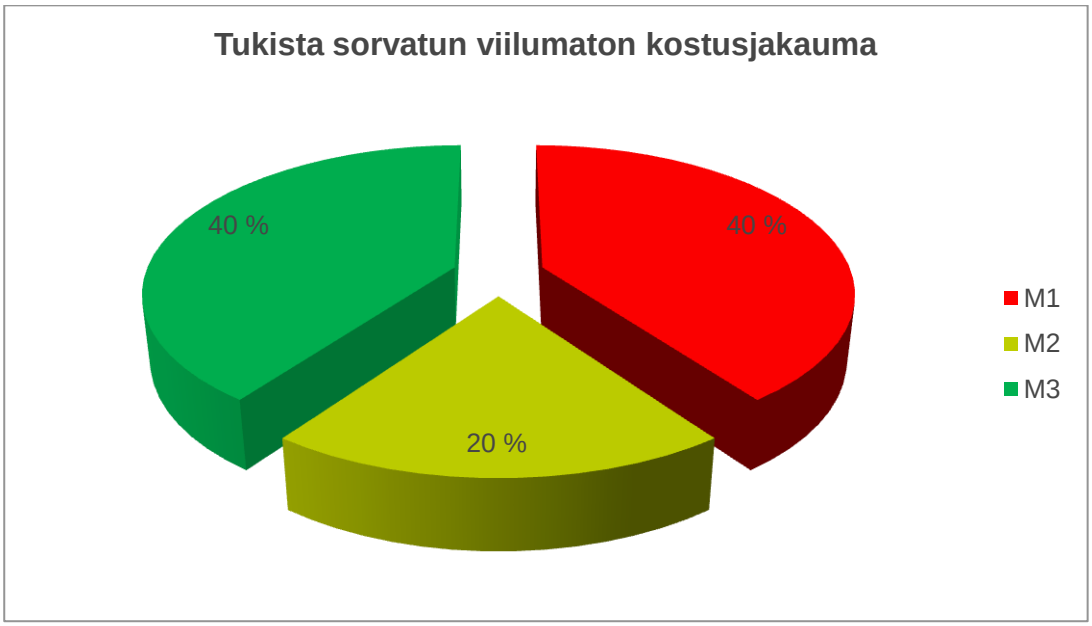
jossa

u = kosteussuhde %
m_u = puun massa kosteana [kg]
m_o = puun massa absoluuttisen kuivana [kg] [13 s.182]

3.2. Viilujen kosteusjakauma

Sorvattaessa kuusiviilua tukkeja pyritään hautomaan noin + 50 ºC vedessä vähintään 24 tuntia. Haudonnan tarkoituksena on nostaa puun kosteutta, varsinkin tukin sisäosissa, jolloin sorvattavuus ja viilun laatu paranee verrattuna hautomattomaan puuhun. Korkeampi kosteus toimii sorvattaessa voiteluaineena leikkaavan terän ja vastaterän välillä. Kuusen kosteusprosentti vaihtelee pintaviilun jopa 200 %:sta sydänpuun noin 40 %:iin. Puun kosteuteen vaikuttaa myös vuodenaika, kuljetustapa ja varastointi. Haudonta tasoittaa jossain määrin kosteusvaihteluita pöllien välillä sekä sorvauksessa tapahtuva veden puristuminen viilusta. Sorvattu viilumatto leikataan niin, että alkumatosta leikataan mahdollisimman monta 8’ x 8’ kokoista arkkia ja loppumatto leikataan kosteusjakauman mukaan.

Kuvassa 6 on esitetty tukista sorvatun viilumaton kosteusjakauma. Yksittäisessä tukissa saattaa olla jakauma erilainen, laajemmassa otannassa kosteusjakauma on luotettava. /2/



Kuva 6. Tukista sorvatun viilumaton kosteusluokkien jakauma.

Kosteutta ja viilumattoa kuvataan sorvauksen jälkeen jatkuvatoimisesti kosteusmitarilla, joka ohjaa sekä pyörähtäväteräisen viilunleikkurin että pinkkaajan toimintaa. Konenäkö havaitsee lisäksi annettujen parametrien kautta viilusta virheet ja hylkää prosessiin kelpaamattomat osat.

Sorvatun viilun kosteussuhdetta tärkeämpää on lajittelu kosteusluokan mukaan. Näin saadaan eri kosteus- ja kokoluokkien määrä pidettyä varastoinnin kannalta mahdollisessa määrässä. Kokemusperäisesti luokat M_1 ja M_3 ovat tasalaatuisempaa kuin M_2-luokkaan lajitellut viilut. Tästä on seurauksena pääluokkien kuivaaminen pidempinä sarjoina ja kuivattujen viilujen tasalaatuisuus.

M_2-luokan viilujen kuivaaminen on kosteuden suuresta hajonnasta johtuen kompromissi tehokkuuden ja valmiin viilun kosteuden välillä. Kokemusperäisesti M_2-luokan viilut kuivataan liian kuivaksi. Näin varmistetaan, ettei kuivauksen jälkeen tuloksena ole liian kosteita viiluja.

4. Viilun kuivaus

Viilunkuivauksen perustavoite on päästä haluttuun loppukosteuteen niin, että kuivauksen jälkeen viiluarkkien loppukosteus on sama ja kosteus on arkissa kauttaaltaan samanlainen. Havuviilun kosteusvaihtelut eri puun osissa ja kuivattujen viilujen kosteuden saaminen haluttuun jakaumaan on valmiin tuotteen kannalta ensiarvoisen tärkeää. Liian korkea kosteusprosentti viiluissa aiheuttaa onttoa vanerilevyä liimauksen epäonnistumisena taikka levyjen ”räjähtämisen” kuumapuristuksen aikana kosteuden poistuessa viiluista.

Hyvin kuivatulle viilulle on tunnusomaista sen luonnollinen väri, suoruus, lujuus, taipuisuus ja sileäpintaisuus [14 s.2]. Viilun tulee olla niin tasalaatuista, että se kestää seuraavissa työvaiheissa koneellista siirtämistä.

Veden siirtyminen puun sisältä pinnalle on tärkein kuivumiseen vaikuttava tekijä. Veden siirtyessä puun sisältä pinnalle on energiaa siirrettävä pinnalta sisälle. Lämpötilan noustessa, veden siirtymisnopeus kasvaa huomattavasti. Kuivauslämpötilaa nostettaessa voidaan lisätä veden siirtymisnopeutta sisältä pinnalle, ja jos ilman suhteellisen kosteuden nostolla hillitään haihtumista pinnalta, päästään pienelläkin sisäosan ja pinnan kosteuserolla suuriin kuivumisnopeuksiin ilman suuria jännityksiä. Jos kuivauslämpötila on korkeampi kuin veden kiehumispiste, vesi kiehuu myös puun sisällä ja kohoava höyrynpaine siirtää vettä puun pinnalle. Veden siirtymisnopeuksista saadaan näin paljon suurempia kuin alle kiehumispisteen ja kuivausajoista saadaan paljon lyhempiä. [10 s.54]

Kuivauksen suurimmat pulmat aiheutuvat kuivattavien viilujen suuresta kosteusvaihtelusta. Pinta- ja sydänpuun kosteusero, joka on havupuilla suuri, ei tasoitu kuivauksessa. Lyhyellä kuivausajalla pintapuu on märkää ja pitkällä kuivausajalla sydänpuu ylikuivuu [14 s.2]. Tästä syystä viilut lajitellaan eri kosteusluokkien mukaan ja kuivataan pitkissä sarjoissa, mahdollisimman optimaalisissa olosuhteissa.

Viilun kuivausprosessiin vaikuttavat seuraavat fysikaaliset ilmiöt:

- Viilun lämpötilan nousu kuivausilman lämpötilan suhteellisen kosteuden edellyttämälle tasolle, jolloin varsinaista kuivumista ei juuri tapahdu. Kuivattaessa lähes 200 °C:n lämpötilassa tämä vaihe kestää noin 10 sekuntia
- Viilun kuivumisvaihe, jolloin viilun lämpötila on voimakkaan haihtumisen vuoksi hyvin lähellä veden kiehumispistettä. Tässä vaiheessa viilu kuivuu hyvin nopeasti ja jokseenkin vakionopeudella puun syiden kyllästymispisteeseen
- Viilun kuivuminen puun syiden kyllästymispisteen alapuolella on hitaampaa ja viilun lämpötila alkaa lähestyä kuivausilman lämpötilaa
- Viilujen jäähdyttäminen käsittelylle sopivaksi. Tässä vaiheessa tasaantuvat myös viilun ulko- ja sisäkerrosten väliset kosteuserot ja viilun epätasaisuutta aiheuttavat kuivausjännitykset pienenevät. [15 s.54]

4.1. Kuivaaminen telakuivaajalla

Telakuivaajalla arkeiksi leikatut viilut kuivataan syöttämällä ne kuivauskoneeseen syysuunta pitkittäin, jossa liike tapahtuu pyörivien telojen välityksellä. Teloja on aina ylä- ja alatela päällekkäisinä pareina, joista molemmat pyörivät ketju- ja hammaspyörävälityksellä työntäen viilua eteenpäin. Kuivausnopeus säädetään mittaamalla viilun kosteutta ja säätämällä telojen pyörimisnopeutta oikosulkumoottorin taajuussäädöllä.

Kuivauslämpötilalla on viilun kuivumisen kannalta erittäin suuri vaikutus, koska lämpötilaa nostettaessa saadaan viilun kuivausaikaa merkittävästi lyhennettyä. Korkeissa lämpötiloissa rajan asettaa kuitenkin viilun tummuminen ja väriviat sekä suoranainen puun palaminen. Kuivauslämpötilan tulisi olla vähintään 185 °C, jotta havupuun pihka haihtuisi [15 s.57 - 58]. Alempia lämpötiloja käytettäessä pihka leviää pihkakolon ympärille jättäen viiluun läiskiä. Yläraja kuivauslämmöllä on n. 220 °C edellyttäen, että kuivauskone pidetään puhtaana ja kuivausilman kosteus mahdollisimman kosteana. [14 s.10]

Kuivauksessa liian kosteaksi jääneet viilut aiheuttavat liimauksen epäonnistumisena onttoja vanerilevyjä, kun taas liian kuivaksi kuivattujen, kosteuden ollessa alle 6 %:a, viilujen lujuusominaisuudet kärsivät. Ylikuivaus aiheuttaa viilun halkeilemisen johdosta paljon prosessiin suoraan kelpaamatonta viilua. Lisäksi ylikuivunut viilu on haurasta ja rikkoontuu helposti jälkikäsittelyssä. Tavoitearvo kuusiviilun kosteudelle on 6 %:a. [14 s.10]

Viilun loppukosteus ei saisi poiketa kuin 1 – 2 %:a tavoiteloppukosteudesta, jolle liiman kuiva-ainepitoisuus on suhteutettu. Suurempi vaihtelu saattaa aiheuttaa liimauksen epäonnistumisen. Liimauksessa syntyvän hävikin ja uudelleenkuivauksen välttämiseksi pyritään yleensä liian alhaiseen loppukosteuteen [14 s.14]. Liian kuivaksi tai liian kosteaksi jääneiden viilujen syöttäminen oikeaan kosteuteen kuivattujen viilujen väliin tasoittaa noin kahden vuorokauden aikana kosteuden oikeaan arvoon.

Kuivauskoneen lämpöenergia saadaan kiertoilmapattereista, joita lämmitetään voimalaitokselta saatavalta prosessihöyryllä. Pattereiden välittömässä läheisyydessä olevat lauhteenpoistimet ohjaavat höyrystä lauhteeksi muuttuneen veden lämmittämään vanerin valmistusprosessin muita osia, kuten mm. kuumapuristinta.

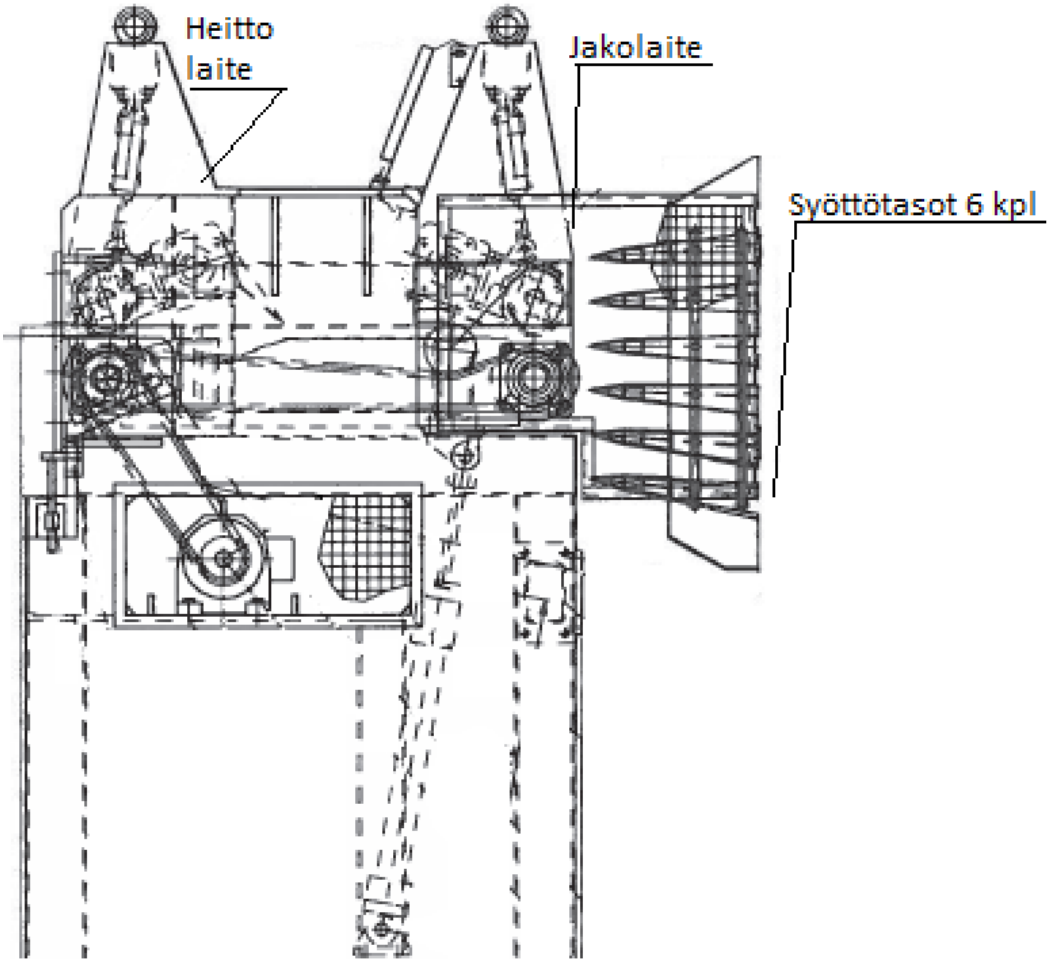
4.2. Kuivauskonelinjan rakenne

Kuivaus-lajittelulinja on kahden operaattorin, syöttäjän ja kuivalajittelijan, käyttämä automaattitoiminen laite, jossa sorvatut ja arkkileikatut viilut kuivataan joko kaksi tai kolme viilua syöttämällä ne rinnakkain kuivauskoneeseen. Operaattoreiden tehtävänä on valvoa toimintoja sekä korjata mahdolliset ruuhka- ja vikatilanteet.

4.2.1. Syöttölaite

Syöttölaitteen tehtävänä on syöttää kaksi täysleveää tai yksi täysleveä ja kaksi kapeampaa jonttiviilua kuivauskoneeseen. Alipainetoiminen syöttölaite siirtää viilut heittolaiteelle. Heittolaitteella viilut pysähtyvät niin pitkäksi ajaksi, kunnes jakodippeli on vapaa. Jakodippeli jakaa viilut kuudelle eri syöttötasolle, josta ne kulkevat telojen kuljettamina kuivauskoneen sisään. Kuvassa 7 on kuvattu syöttölaitteen sivukuva. Syöttötahti säädetään siten, että viilujen väli on

kuivaajassa mahdollisimman pieni, kuitenkin sellainen, että risteysasema pystyy käsittelemään tulevat viilut eteenpäin kuljettimilla. Syöttötahdin ohjaus tehdään manuaalisesti säätämällä viilujen väliä potentiometrillä. Ohjausjärjestelmä laskee siirtotelojen pyörähdyksestä pulsseja, jonka kuluttua kuivauskoneeseen syötetään seuraava viilupari.

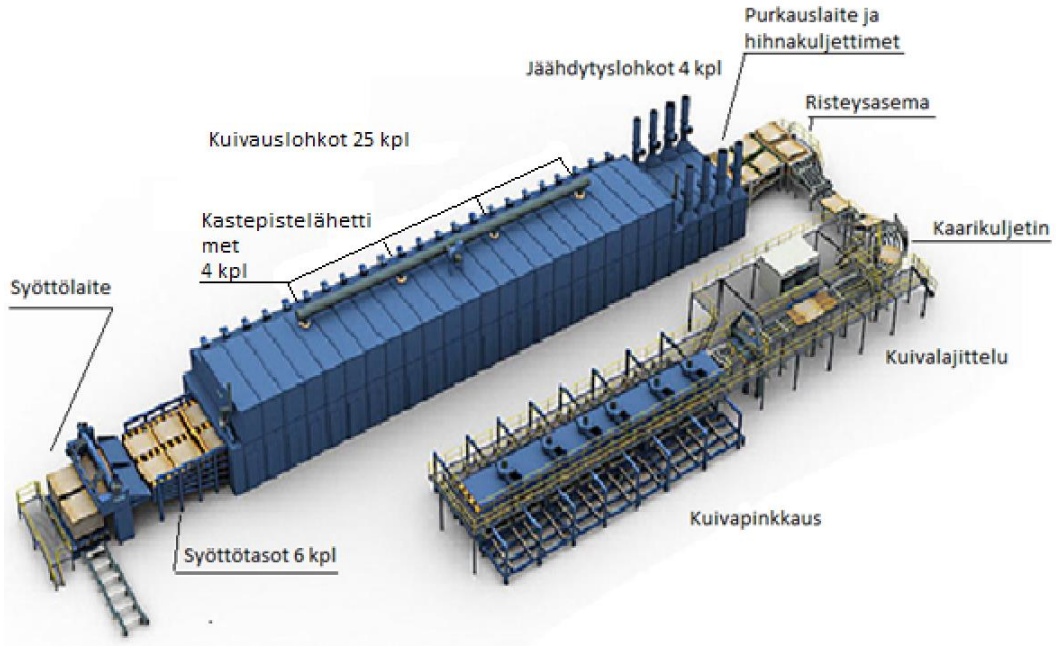


Kuva 7. Syöttölaitteen sivukuva. [14 s.6:11]

4.2.2. Kuivauskone

Kuvassa 8 on kuvattu Raute Oyj:n valmistama viilun kuivaus- ja lajittelulinja, jossa on 25 kappaletta kuivauslohkoja, joissa jokaisessa on kiertoilmapuhallin ilmavirtauksen aikaansaamiseksi. Puhaltimien käyttömoottoreina on 55 kW:n oikosulkumoottori, kuudessa ensimmäisessä lohkossa varustettuna

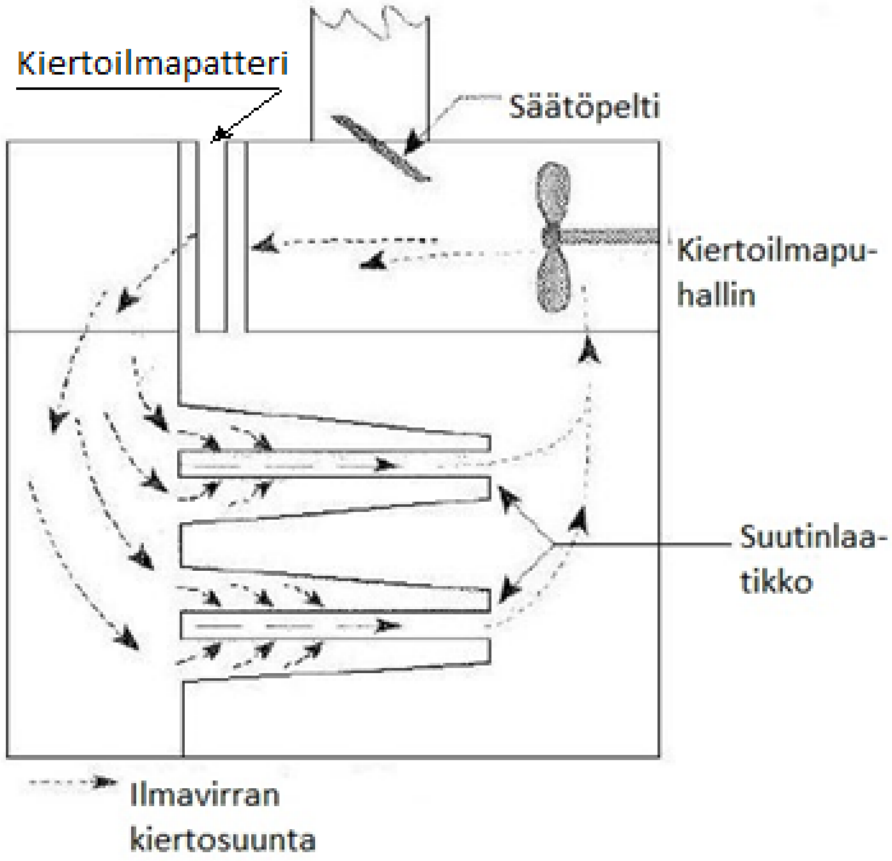
taajuusmuuttajalla kierrosnopeuden säätämiseksi. Viilut kuivataan kuudessa kerroksessa, joihin viilut syötetään leveydestä riippuen kaksi tai kolme rinnakkain.



Kuva 8. Viilun kuivaus- ja lajittelulinja. Muokattu. [16]

Kuivaajan sisäilman kosteutta säädetään kastepistelähettimellä, joita on sijoitettu neljä kappaletta eri kohtiin konetta, poistopuhaltimen imuputkien kohdalle. Mittalaitteet mittaavat kosteutta suoraan koneen sisällä olevasta kaasusta reaaliaikaisesti. Sisäilman kosteutta säädetään poistoilmakanavassa olevilla säätöpellillä. Ohjausjärjestelmän avulla poistoilman määrää kuivaajasta säädetään ohjaamalla karamoottorin välityksellä säätöpeltiä kosteuden asetus- ja oloarvon erotuksen määräämän määrän. Kosteuden asetusarvo valitaan siten, että kuivaajan kosteus on mahdollisimman kostea, jopa 500 g vettä ilmakuutiossa ja kuivaajan alipaine tarpeeksi korkea, ettei käryä pääse kuivaushalliin kuivauskoneen syöttöpäästä. Korkea ilman kosteus parantaa lämmön siirtymistä viiluun ja nopeuttaa kuivumisprosessia.

Kuivaus tapahtuu pakotetun konvektion kautta, jossa kiertoilmapuhaltimilla aikaansaatu ilmavirtaus puhalletaan suutinlaatikoiden kautta viilun ala- ja yläpintaan. Kuvassa 9 esitetään kuivauslohkossa tapahtuva ilman kierto niin, että viilut kulkevat suutinlaatikoihin nähden poikittain.



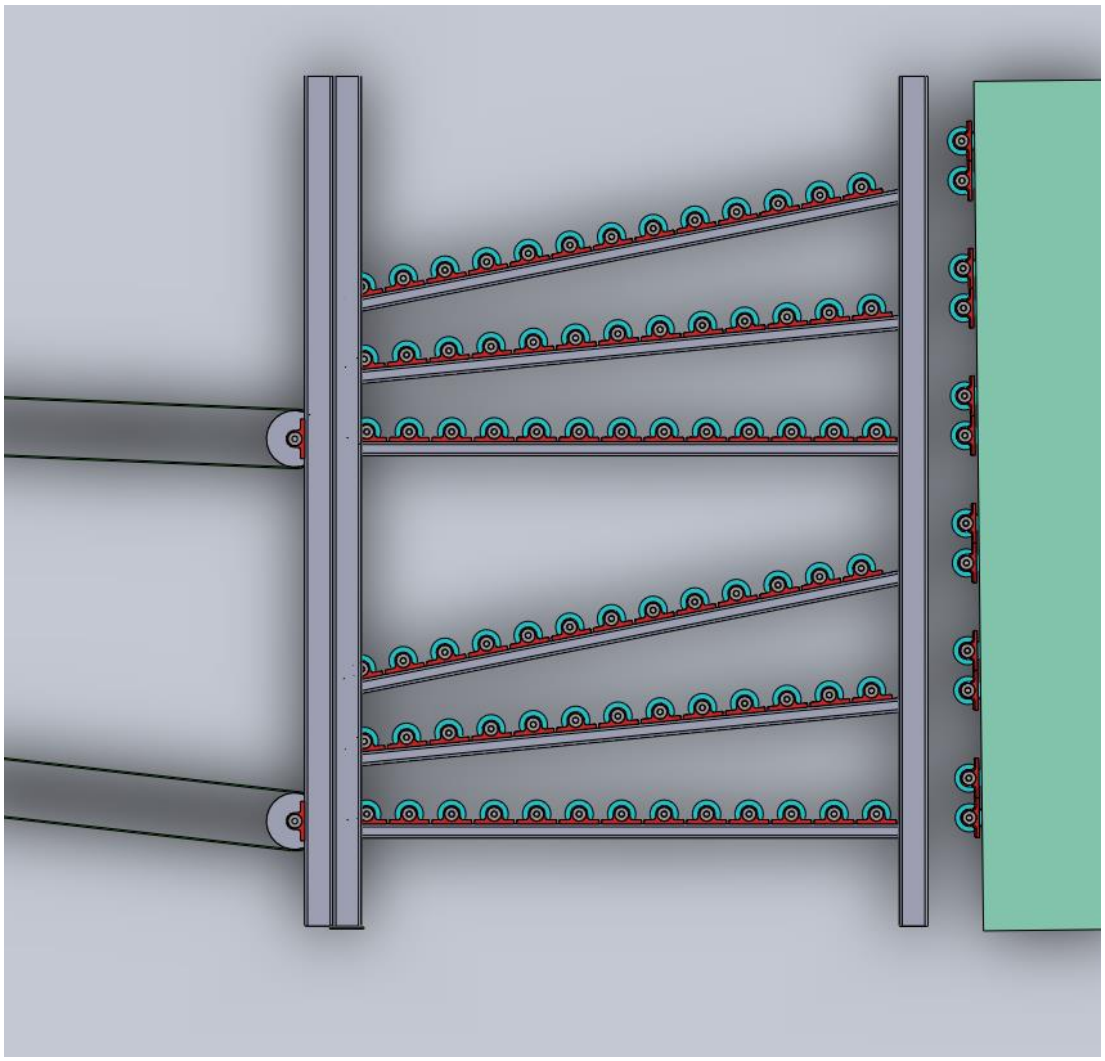
Kuva 9. Viilunkuivauskoneen ilmavirtaus kuivauslohkossa. Muokattu. [17]

Kuivatut viilut jäähdytetään jäähdytysosassa, joihin jäähdytysilma otetaan kesällä ulkoa ja talvella kuivaushallista. Ilmanvaihto suoritetaan kahdeksalla aksiaalipuhaltimella, tehoiltaan 15 kW. Purkupäästä ei käryä pääse kuivaushalliin, koska viilut jäähdytetään puhaltamalla viileää ulkoilmaa viilujen pintaan ja poistamalla kuumentunut ilma ulos.

4.2.3. Purkauslaite

Kuivauskone purkaa kuudelta eri tasolta purkauslaitteelle. Kolmelle ylimmälle ja kolmelle alimmalle tasolle on oma telakuljetin, josta viilut kulkevat hihnakuljettimelle. Purku on rytmitetty niin, että viilujen välit ovat mahdollisimman pienet ja sitä kautta tuotanto mahdollisimman suuri. Mikäli viiluja ei voida syöttää suoraan hihnakuljettimelle, ne odottavat telakuljettimella. Jokainen telarivi saa käyttövoimansa oikosulkumoottorista, josta voima välitetään ketjun ja ketjupyörien

välityksellä teloihin. Telat pyörivät vakionopeudella. Kuvassa 10 esitetään purkauslaitteiston toimintaperiaate ja kuvassa 11 on purkausrullasto purkamassa ylimmältä tasolta viiluja hihnakuljettimelle. Viilut tulevat kuivauskoneesta kuvassa oikealta purkauslaitteeseen jatkaen kuvaan nähden vasemmalle osittain näkyvälle hihnakuljettimelle.



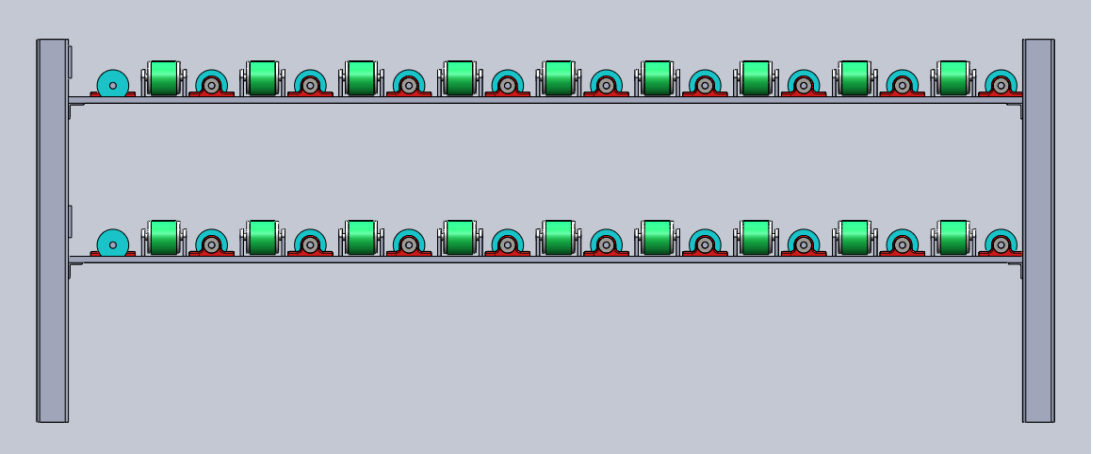
Kuva 10. Purkauslaitteen sivukuva.

Kuvasta 11 havaitaan purkausrullaston ja hihnakuljettimen välinen korkeusero. Mikäli viilut tulevat vinossa rullastolta, ne kääntyvät satunnaisesti lisää kulman osuessa vetäviin kuljetinhihnoihin.

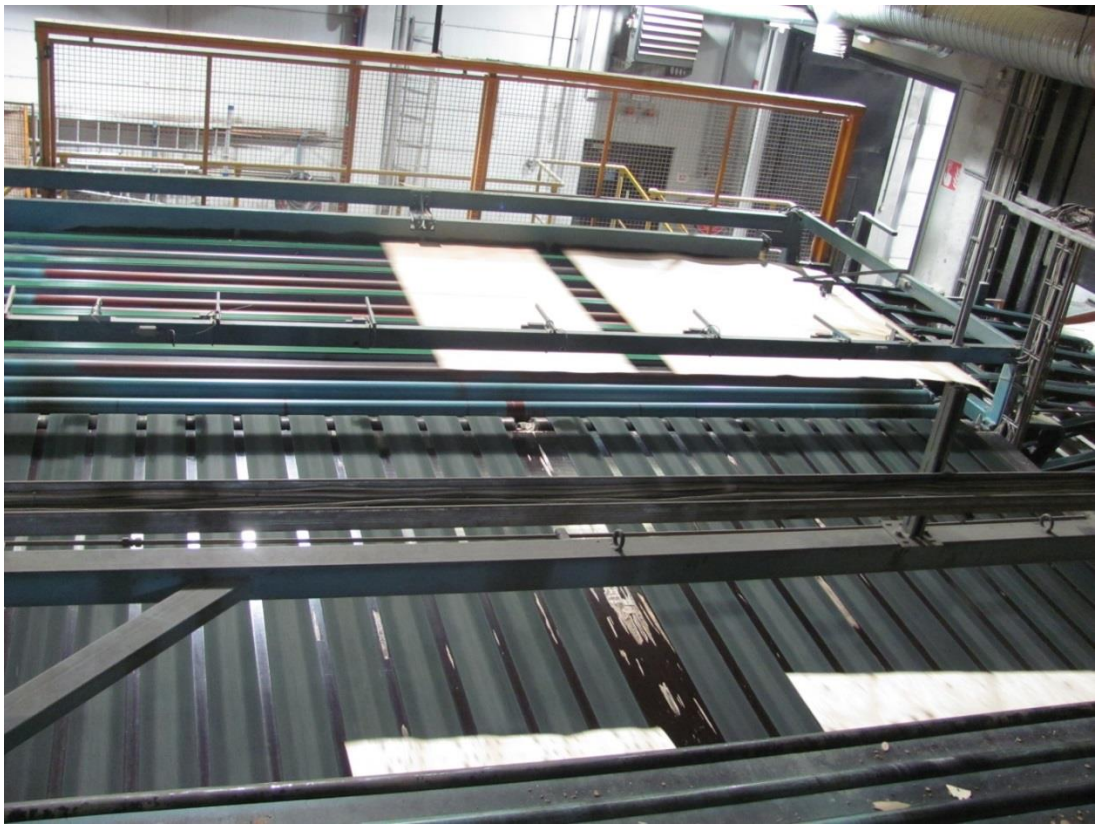
4.2.4. Risteysasema

Hihnakuljettimet syöttävät viiluja risteysasemille viiluja siten, että viilut tulevat purkausasemalta pysähtymättä risteysaseman vasteeseen saakka. Viilut syötetään niin kovalla vauhdilla vasteeseen, että ne kääntyvät kulkusuuntaan kohtisuoraan. Viilut kulkevat pyörivien telojen välityksellä vasteeseen.

Viilujen osuessa vasteeseen, valokenno ohjaa paineilmasylinterin voimalla nousevia hihnakuljettimia, jotka ovat telojen välissä. Viilut jatkavat hihnojen välityksellä kaarikuljettimelle ja pinkkaukseen. Purkupuolella olevan valokennon vapautuessa hihnakuljettimet lasketaan perusasentoonsa ja uusi viilu syötetään vasteeseen. Kuvassa 12 esitetään risteysaseman periaatekuva ja kuvassa 13 on risteysasema kulkusuuntaan vasemmalta kuvattuna.



Kuva 12. Risteysaseman sivukuva.

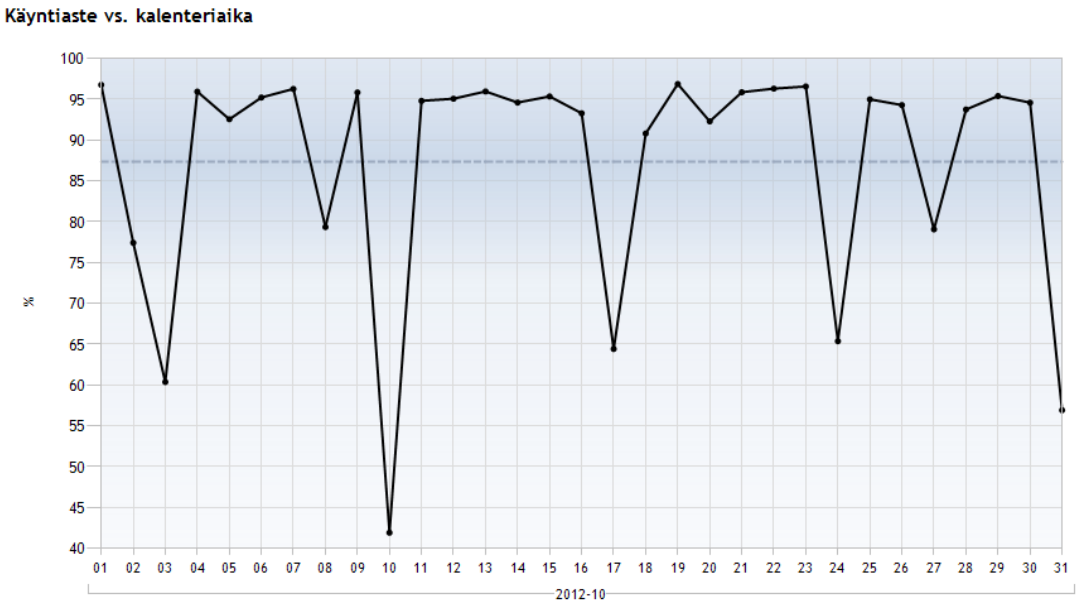


Kuva 13. Risteysasema. Kuvassa viilut lähteneet risteysasemalta kohti kaarikuljetinta.

5. Kuivauskapasiteetin riittävyys ja vaikutus loppuprosessiin

Kuivauksen viilutuotanto on normaalilla ajo-ohjelmalla riittämätön, joten seuraavan prosessissa olevan ladontalinjan katkot johtuvat pääsääntöisesti viilupulasta. Mikäli kuivauskoneen kapasiteettia voidaan nostaa, näkyy se suoraan lisääntyneenä tuotantona sekä kustannusten alenemisena tuotettua kuutiota kohden, johtuen kasvaneesta jakajasta.

Tehtaan eri tuotantolaitteisiin on rakennettu tuotannonseurantajärjestelmät, joilla voidaan seurata eri linjojen tuotantotehokkuutta. Tuotannon tunnusluvut ovat osana tuotantohenkilökunnan palkanmaksuperustetta, joten tuotannon seurannan oikeellisuus ja reaaliaikaisuus on merkittävässä asemassa. Kuvassa 14 on verrattu kalenteriaikaa käyntiasteeseen. Tiedot saadaan tehdasraportoinnin sivulta (liite 1). Käyntiaste on kuukausitasolla 87,55 %:ia, kun huomioidaan huoltopäivän vaikutus. Käyntiaste saadaan kalenteriajasta vähentämällä erilaisiin tuotannollisiin pysähdyksiin kuluva aika.

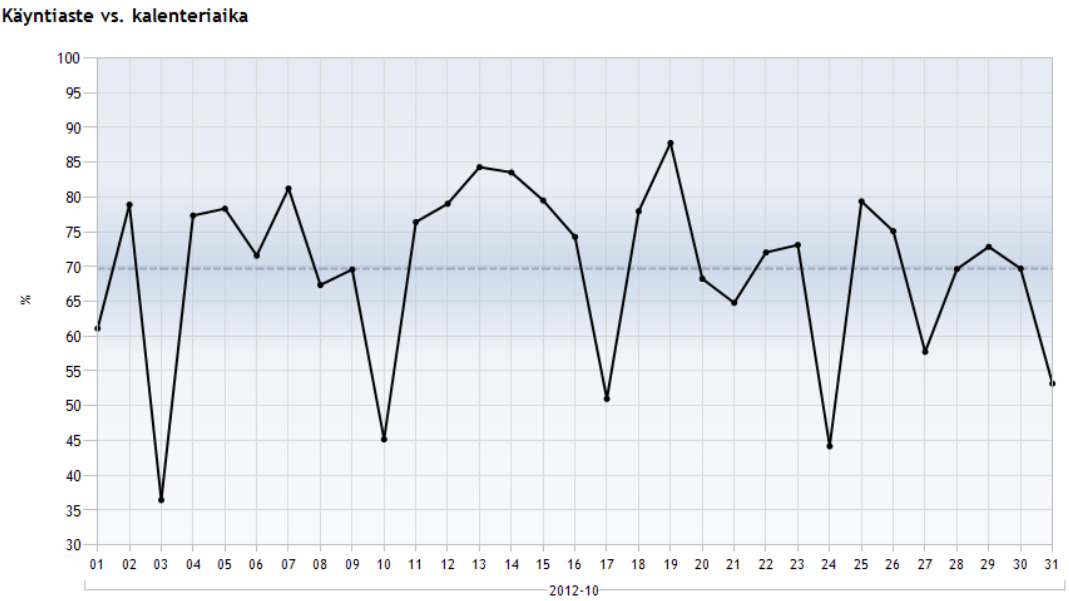


Kuva 14. Kuivauskoneen käytettävyys vs. kalenteriaika ajanjaksolla 1.10. – 31.10.2012.

Kuivauskoneen tuotanto huipussaan heti huoltopäivän jälkeen ja on trendimäisesti laskeva huoltopäivästä eteenpäin. Marraskuussa 2012 vuorokautinen keskituotanto kuivauskoneella on ollut 627 m^3. Neljänä huoltopäivänä, jolloin ei

kuivauskoneelle ole tehty mitään muuta kuin normaali puhdistushuolto, on tänä aikana keskiarvona laskettuna jäänyt saamatta viilua yhteensä 808 m^3.

Kuivatut viilut kuljetetaan ladontalinjalle ladottavaksi vaneriksi. Kuvassa 15 esitetään ladontalinjan käyntiaste kuukauden ajanjaksolla. Käyntiasteen keskiarvo on 69,70 %:ia huomioiden huoltopäivien vaikutus.



Kuva 15. Ladontalinjan käyntiaste ajanjaksolla 1.10. – 31.10.2012.

Edellisen kaaviosta huomataan, että ladontalinjalla on mahdollista latoa huomattavasti enemmän levyjä. Syy käyntiasteen mataluuteen johtuu pääosin viilujen puutteesta. Mikäli viilutuotantoa saadaan nostettua, nousee kokonaistuotanto samassa suhteessa.

Ladonnassa joudutaan suorittamaan liimoitusaseman pesutoimenpide kerran vuorokaudessa, kestoltaan noin kaksi tuntia. Samalla voidaan suorittaa pienempi huolto- ja korjaustoimenpiteitä, koska viilutuotanto rajoittaa ladontalinjan käyntiastetta. Näiden puhdistustoimenpiteiden karsimiseksi tai niiden keston lyhentämiseksi ei ole ollut tarvetta vielä tehdä suurempia investointeja.

5.1. Kustannusvaikutus

Tuotantokapasiteetti automaattisella ladontalinjalla on keskimäärin 3 minuuttia/m^3, jolloin tunnin aikana saadaan valmistettua 20 m^3 vaneria. Valmistuksen kate, joka

tehtaalle jää keskimäärin valmistetusta vanerikuutiosta, on XXXX €/m^3 /1/. Kaavassa 4 on laskettuna kahdeksan tunnin huoltopäivän katetuottotappio.

$$8\ h * 20\ m^3 * XXXX\ €/m^3 = XX\ XXX\ € \quad (4)$$

Kuutiomääräisenä tuotantomääräiset vaihtelut johtuvat kuivattavien viilujen paksuus- sekä kosteusvaihteluista, jolloin ajonopeutta joudutaan säätämään kyseiselle laadulle optimaaliseksi. Edellisen laskukaavan perusteella on ilmeistä, että siivoustapahtumaa ajallisesti lyhentämällä on saatavissa huomattavia taloudellisia etuja.

6. Kuivauskoneen puhdistustoimenpiteet

Matalammat, 350 – 400 m^3/vrk tuotantoluvut johtuvat huoltopäivän vaatimasta alasajosta eli jäähdytysvaiheesta, itse huoltotoimenpiteiden vaatimasta ajasta sekä linjan ylösajosta eli lämmitysvaiheesta. Konetta ei voida puhdistaa ennen kuin koneen lämpötila on jäähtynyt niin alas, että henkilökunta voi turvallisesti avata koneen sivu- ja yläovet. Mikäli koneen ovet avataan sisälämpötilan ollessa liian korkea, happipitoisuuden noustessa yhdistettynä korkeaan lämpötilaan on kokemusperäisesti seurauksena tulipalo.

Jäähdytysvaihe kestää noin 40 minuuttia alasajon alkamisesta. Tällöin koneen yläosassa olevien poistoputkien kautta poistetaan kuivauskoneesta kuumaa ilmaa ja jäähdyttävä korvausilma saadaan kuivaushallista. Konetta ei myöskään voida jäähdyttää kostutusvedellä määrättömästi, koska jäähtyneiltä pinnoilta haihtumaton vesi vaikeuttaa huomattavasti koneen sisältä puhallettavien roskien irtoamista lattiapinnoista sekä suutinlaatikoista.

Roskien puhdistamiseen lattiapinnoista sekä suutinlaatikoista ei ole keksitty nopeampaa ja tehokkaampaa ratkaisua kuin puhalluspillillä puhaltaminen. Puhdistustoimenpiteenä on puhaltaa 2016 kappaletta 6200 mm pitkiä suutinlaatikoita. Jokaisen suutinlaatikon päässä on juuri puhalluspillin reikä, johon puhdistuspilli asetetaan ja puhalletaan paineilmalla sekä työntämällä pilli laatikon pituussuunnassa päähän asti, jolloin roskat lentävät pois. Puhaltamisen jälkeen roskat joudutaan keräämään pois kuivaushallin lattiapinnoilta, joka tapahtuu

harjalla ja lapiolla keräämällä ja kottikärryillä kuljettamalla keräysastiaan poisvietäväksi. Toimenpide on meluisa sekä fyysistä voimaa vaativa ja likaisissa olosuhteissa tapahtuva.

Puhdistamisen jälkeen kuivaajan ovet suljetaan ja lämmittäminen aloitetaan laittamalla kiertoilmapuhaltimet päälle ja avaamalla höyryventtiili, jolloin höyryä pääsee virtaamaan pattereihin. Samalla käynnistetään kiertoilmapuhaltimet, jotta lämpö siirtyy virtaavaan ilmaan. Lämmitysvaihe kestää noin 30 minuuttia, jonka jälkeen viilua voidaan syöttää koneeseen ja aloittaa tuotanto.

7. Likaantumisen aiheuttajat

Puuta mekaanisesti käsiteltäessä irtoaa eri prosessivaiheissa, mekaanisen rasituksen aiheuttamana, puusta erikokoisia kappaleita. Nämä irtoavat osat aiheuttavat sekä materiaalihukkaa, prosessin tehon alenemaa sekä likaamalla tehdassalia aiheuttavat tulipalokuormaa. Varsinkin hieno puupöly on ilmaan sekoittuessaan, sopivana seoksena, erittäin palo- ja räjähdysherkkää.

7.1. Kuorinta

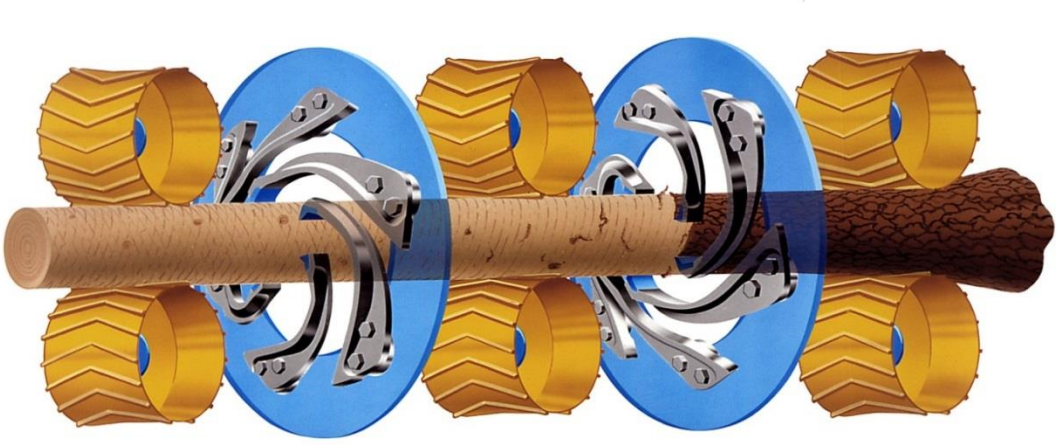
Sorvaukseen tulevat tukit haudotaan kuorineen hautomoaltaassa 24 h noin 50 °C vedessä. Hautomisen syynä on varmistaa sorvauksen onnistuminen. Hautomoallasta lämmitetään kuivauskoneesta ulospuhallettavalla ilmalla ruiskuttamalla hautomoaltaan vettä ulospuhalluksen sekaan ja johtamalla lämmitetty vesi takaisin hautomoaltaaseen. Kylmimpinä aikoina joudutaan lämmittämään myös voimalaitoksen primäärihöyryllä kierrättämällä vettä lämmönvaihtimien läpi. Viimeiseksi mainittu tapa ei ole käytössä kuin tehtaiden seisakkien aikana tai muulloin, kun hautomoaltaan lämpötila ei ole jostain syystä riittävän korkea. Primäärihöyryn käyttöä pyritään välttämään voimalaitoksen rajallisen kapasiteetin takia.

Puun kuoren rakenne vaihtelee täysin puulajista toiseen. Myös samaan puulajiin kuuluvien puuyksilöiden kuoret voivat poiketa toisistaan rakenteeltaan ja kemialliselta koostumukseltaan. Kuoren rakenteeseen vaikuttavat nimittäin niin puun ikä kuin kasvupaikka. Puun kuoren rakenne on siis erilainen eri korkeudella runkoa. Siten ei ole helppoa yleispätevästi kuvailla ja määrittää kuoren rakennetta. [9 s.107]

Tukit kuoritaan roottorikuorinnalla. Roottorikuorinta on yleisin käytössä oleva kuorintamenetelmä saha- ja viiluteollisuudessa (esim. vaneri ja LVL). Se on kustannustehokkain menetelmä, kun otetaan huomioon normaalisti käytettävän puun määrä näillä aloilla. Roottorikuorinta on tunnetuista menetelmistä hellävaraisin ja soveltuu siten erinomaisesti saha- ja vaneriteollisuuden tarpeisiin. Roottorikuorinnassa puut syötetään koneeseen yksitellen, joten puun koko- ja laatuvaatimukset määrittävät milloin roottorikuorinta on mahdollista ja järkevää. [19]

Viilun valmistuksen kannalta on ensisijaisen tärkeää, että puun päitä ja pintaa ei vaurioiteta kuorinnan aikana. Puunkuoren mukana sorviteriin joutuneet kivet ja muut epäpuhtaudet nopeuttavat terien kulumista ja heikentävät viilun laatua. Sorvattaessa kuorittua puuta, terät pysyvät huomattavasti paremmassa kunnossa. Tämä varmistaa mahdollisimman häiriöttömän tuotantoprosessin, hyvän laatutason ja minimaaliset terähuoltokustannukset. [19]

Syöttövalssien paine säädetään sellaiseksi, että tukit kulkevat kuorimakoneen läpi ilman, että ne alkavat pyörimään akselinsa ympäri kuorintaroottoreiden vaikutuksesta. Koneen alkupään valssien paine on korkeampi kuin loppupäässä, johtuen pienemmästä kitkasta, koska puhtaan puun pinnalla roottoreiden kaapimet liukuvat vähemmällä kitkalla. Kuvassa 16 on kuvattu roottorikuorinnan periaate. Keltaiset valssit sekä kuljettavat tukkeja ja että estävät vinoon hitsattujen ripojen avulla tukkien pyörähtämistä kuorintaroottoreiden voimasta. Myötäpäivään pyörivät kuorintaroottorit vaihdettavine terineen poistavat kuoren jälsikerrosta myöden. [19]



Kuva 16. Roottorikuorinnan periaate. [19]

Valssien ohjaavat rivat teroittuvat itsekseen käytön aikana. Pintaviilun rikkoutumisen estämiseksi on ripoja hiottava säännöllisin väliajoin tylsemmiksi. Oikea terävyys on kokemusperäisesti opittua eikä siihen ole ohjearvoja. Kuluneet rivat syy valssin uusimiselle, koska valssit eivät rikkoudu normaalissa käytössä. Valssien pintapaine pitää olla riittävän suuri, ettei tukki pääse pyörimään pitkittäissuunnassa kuorintavalssin roottoriterien pyöritysvoiman vaikutuksesta.

Terävät rivat aiheuttavat kohtiin, jossa pintapaine on korkea ja jostain syystä puuttuu puun suojaava kuori, viiltojälkiä. Mikäli kahden tai useamman valssin ripojen aiheuttamat viillot sattuvat lähekkäin, aiheutuu pintaviiluun kohta, josta materiaali irtoaa prosessissa.

Puuttuva materiaali viilusta aiheuttaa hylkäämisen korkeimmasta lajitteluluokasta. Tällöin kyseinen viilu joudutaan jälkikäsittelemään kuivauksen jälkeen saumauslinjan kautta, josta on seurauksena lisäkustannuksia ja materiaalihukkaa. Kuvassa 17 on esitetty viilu, jossa on irronnut valssien painamisen seurauksena materiaalia. Kyseinen viilu on saumattava erillisellä saumauskoneella, jotta se on riittävän laadukas ja kestävä koneelliseen vanerin valmistukseen. Kuvan viilun latominen vanerin raaka-aineeksi aiheuttaisi onton vanerin, jota ei voi toimittaa asiakkaalle.

Kuva 17. Sorvatusta viilusta puuttuva aines valssien painaumien kohdalta. Puuttuvien osien leveys n. 15 mm ja pidemmän pituus n. 60 mm.

Viilusta valssien painauman aiheuttama irtoaines irtoaa prosessin eri vaiheissa. Suurin osa irtoaa sorvauksen jälkeisen märkäpinkkauksen ja kuivauskoneen

syöttölaitteen mekaanisen rasituksen aiheuttamana. Itse kuivausprosessissa irtoaa myös silmämääräisesti vähemmän, joka on havaittavissa kuivauskoneen sisältä löytyvän roskan jakaumasta.

7.1.1. Kuorinnan aiheuttamien vaurioiden ehkäiseminen

Valssien ripojen profiilin muutos sellaiseksi, ettei pitkittäisiä viiltojälkiä pääse syntymään, eliminoi edellä mainittujen vaurioiden syntymisen. Koneen valmistaja tarjoaa kolmea eri ripaprofiilia, joista eräs esimerkki on seuraavassa kuvassa. Ripaprofiili vaihtelee käyttöolosuhteiden (jäinen vai sula puu) ja puulajin mukaan. Kuvassa 18 on esitetty vuonna 2013 lanseerattu patentoitu irtoripa, joka saadaan ruuvikiinnitteisenä valssiin.

Kuva 18. Irtoripavalssi. [19]

Irtoripavalssien käyttäminen on pitkällä ajanjaksolla kannattava investointi, koska huolto- ja korjauskulut pienenevät huomattavasti huollontarpeen rajoittuessa ainoastaan ripojen vaihtamiseen verrattuna koko valssin vaihtamiseen.

7.2. Sorvaus

Sorvauksessa puupölliä pyöritetään viilusorvissa ja samanaikaisesti pölliä vasten oleva terä leikkaa puun pinnasta viilumattoa. Kuvassa 19 esitetään sorvaustapahtuman periaate. Kun sorvipölkystä on sorvattu kaikki mahdollinen puuaines, jää jäljelle keskiosa, pyöreä purilas. Sorvattu kaareva viilu joutuu oikenemaan tasoksi, jolloin viilupintaan syntyy sitä helpommin pieniä halkeamia mitä paksumpaa viilu on. Sorvattu viilu on edullisempaa ja sorvaten saadaan viilun leveysmitta paljon suuremmaksi kuin muilla tuotantotavoilla. Sorviviilua käytetään pääasiassa vanerin valmistukseen. [19]

Kuva 19. Puun sorvauksen periaatekuva. [19]

Merkittävä roskaantumisen aiheuttaja on myös ns. puukotusjäte, joka toimenpiteistä huolimatta kulkeutuu viilumaton pinnalle. Puukotusjätettä syntyy, kun viilumatto leikataan sorvin teräpenkkiin kiinnitetyillä kiinteillä puukoilla oikean mittaiseksi viiluksi. Viilumatto kulkee sorvin teräpenkin ja vastaterän välistä, jolloin reunat leikkautuvat osuessaan puukonterään. Viilumaton leveyttä voidaan säätää siirtämällä puukkojen paikkaa. Puukotus on tehtävä, koska sorvattavan viilun hyväksyttävä leveysvaihtelu on ±30 mm. Puukotuksen vaikutuksena on raaka-ainehukka. Toisaalta parempaakaan ratkaisua ole löydetty tarkan viilumitan varmistamiseksi.

Sorvattu viilumatto leikataan pyörähtäväteräisellä leikkausterällä. Leikkaus suoritetaan pyöräyttämällä leikkaavaa terää 180 astetta viilun kulkusuuntaan kahden uretaanipinnoitetun terästelan välissä, jolloin viilu leikkautuu terän ja

alemman telan välissä. Ylempi tela tukee leikkaavaa terää leikkauksen aikana Viilut leikataan joko suorakaiteen tai neliön mallisiksi arkeiksi, mitoiltaan 8’ x 8’, 8’ x 4’ tai 8’ x 3’ sekä jonteiksi, joiden ovat alle mittavaihtelu on välillä 500 mm – 800 mm.. Kapeampia jontteja ei oteta talteen, koska pinot eivät pysy pystyssä siirrettäessä niitä prosessissa eteenpäin ketjukuljettimilla. Viilun syysuunta ei aina ole kohtisuoraan leikkaavaan terään nähden, irtoaa leikkauspinnasta tikkumaista irtoainesta.

Kuivauksen aikana viiluista irtoaa satunnaisesti oksia. Kuivauksessa oksakohdat irtoavat viilun kutistumisesta johtuen kuivausprosessin loppupäässä. Irronneiden oksakohtien runsas lukumäärä ja massa hidastavat puhdistamista enemmän kuin kuivauskoneen alkupäässä oleva tikkumainen roska. Kuvassa 20 on esitetty irronnut oksakohta, joka ei ole yhtä vakava virhe kuin viilusta leikkautunut kohta. Puuttuva oksakohta pintaviilussa korjataan kittaamalla pinta valmiissa levyssä ja hiomalla pinta tasaiseksi.

Kuva 20. Viilusta irronnut oksakohta. Halkaisija oksakohdalla 20 mm.

Huonosta sorvin teräasetteesta, tylsästä sorvin leikkuuterästä tai terän vinoudesta johtuvan karkean viilunpinnan, josta irtoaa tikkumaista raaka-ainetta, muodostumisen estämiseksi on teränvaihdolle ja säännöllisille mittaustapahtumille luotu huoltoaikataulutus.

8. Likaantumisen vaikutukset kuivauskoneeseen

Raaka-aineesta eri käsittelyvaiheiden aikana irtoavaa ainesta poistetaan sorvauksen jälkeen viilumaton pinnalta puhaltamalta. Tästä huolimatta roskaa joutuu kuivauskoneeseen niin suuria määriä, että se sekä alentaa kuivaustehokkuutta että vaatii koneen alasajon puhdistustoimenpiteitä varten kerran viikossa. Kuvassa 21 on ensimmäisen kuivauslohkon kiertoilmapatteriin kertynyttä roskaa huoltopäivänä kuvattuna, jolloin virtauspinta-ala tukkeessa arvioituna n. 40 %:a.

Kuva 21. Ensimmäisen kuivauslohkon kiertoilmapatteri viikon kuivausajanjakson jälkeen.

Suutinlaatikoista puhallettavan ilmavirran vaikutuksesta roskaa kertyy pääosin neljän ensimmäisen kuivauslohkon kiertoilmapatteriin, josta eteenpäin tukkeuma on hyvin satunnaista eikä sitä esiinny kuivaustehokkuutta alentavaa määrää.

8.1. Ratkaisuja kuivaustehon säilyttämiseen

Kuivaustehokkuuden ylläpitämiseen ongelma jaetaan kahteen osaan; likaantumisen estämiseen ja likaantumisen vaikutuksen minimointiin. Likaantumisen estämiseksi on tarkoituksena estää puusta irtoavan aineksen pääsy kuivauskoneeseen. Eri vaiheissa tapahtuvien puhdistustoimenpiteiden vaikutukset näkyvät kuivauskoneen kapasiteettina.

8.1.1. Tray-tasolla viilun puhdistaminen

Jokaisessa vaiheessa, jossa viilua käsitellään mekaanisesti, on mahdollisuus viilun vaurioitumiseen. Sorvauksen seurauksena tapahtuvaa roskaantumista eliminoidaan sorvauslinjalla puhaltamalla keskipakopuhaltimella tuotettua paineistettua ilmaa viilumaton päälle. Tällöin saadaan poistettua puukotusjäte, joka joutuu viilumaton päälle sekä osa maton päälle tulleesta irtonaisesta roskasta puhallettua pois. Viilun ollessa tässä vaiheessa vielä kosteaa, ei kaikki irtoava roska, varsinkin pienikokoinen aines irtoa puhalluksen vaikutuksessa. Pitkäsyinen, vielä hieman viilussa kiinni oleva irtoaine jää kiinni viilun pintaan. Puhalluspalkin kohdistaminen aivan viilumaton pintaan ei ole mahdollista, koska puhalluspalkin kohdalla viilumatto on satunnaisesti oikenematon. Kuvassa 22 on esitetty puhalluslaitteisto, jolla viilun yläpinnasta puhalletaan roskia pois. Puhallussuuttimet ovat noin kymmenen senttimetrin päässä viilumatosta.

Kuva 22. Tray-tason puhalluslaitteisto.

8.1.2. Tray-tason puhalluksen parantaminen

Viilua sorvattaessa viilumatto ohjataan sorvin jälkeen hihnakuljettimelle eli tray-tasolle. Tason mitoitus on sellainen, että yhdestä tukista saatava viilumatto mahtuu pituudeltaan tasolle kokonaan ilman, että sorvausnopeutta joudutaan vähentämään märkäpinkkauksen nopeudesta johtuen. Tällöin sorvausnopeus voidaan pitää maksimissaan, noin 300 m/min. Mikäli puun halkaisija on niin suuri, että viilumaton alkupää on pikkausasemalla ja loppupäätä vielä sorvataan, joudutaan sorvausnopeutta laskemaan vastaamaan pinkkausaseman nopeutta.

Viilumattoa kulkee joko ala- tai ylätasolla, joten kuvassa näkyvä puhallin puhaltaa kummallekin tasolle yhtä aikaa, vaikka viilua ei toisella tasolla kulkisikaan.

Parannusehdotuksena tray-tason puhallukseen on jakopellin asennus puhaltimen ulos-puhallusputkeen. Sorvin ja tray-tason ohjauksen perusteella tiedetään viilumaton asema tray-tasolla, josta saadaan jakopellin kääntymisen ohjaus niin, että ilmavirta saadaan kohdistettua oikea-aikaisesti viilumaton päälle.

8.2. Märkäpinkkaus

Viilut pinkataan sorvauksen jälkeen märkäpinkkauksessa pinkkoihin, joiden korkeus on noin 1 000 mm. Korkeampien pinkkojen massa kasvaa niin suureksi, että pinkkoja kuljetettaessa alimmainen viilu rikkoutuisi ketjukuljettimilla. Pinkan massan kasvaessa tulisi kuljettimien kanto- ja kuljetuskykyä kasvattaa, jolloin koneista tulisi entistä massiivisimpia.

Viilut kuljetetaan imuhihnakuljettimella oikean pinkan kohdalle ja irrotetaan imusta paineilmasylintereiden ja painimien välityksellä. Pinkassa olevien viilujen reunat tasataan molemmilta puolilta paineilmasylintereillä. Kuvassa 23 on esitetty 8’ x 8’ kokoinen viilupinkka märkäpinkkausasemalla.

Kuva 23. Märkäpinkattu viilupinkka.

Pinkkojen korkeus määräytyy märkäpinkkauksessa valokennojen ohjaamina. Pintaviilut, jotka sorvatessa ovat puun ulkopinnalla suurimmalla säteellä, jopa 300 mm, oikenevat hyvin tasaisiksi. Täysikokoisen viilun leveys on 2 580 mm ja pituus 2 580 mm. Sydänpuuta lähestyttäessä sorvattavan viimeisen viilun loppupää

joudutaan myös leikkaamaan, jotta viilun kaikki reunat ovat suoria. Viilut, joiden leveys on alle 800 mm, sanotaan jonteiksi. Alle 500 mm leveitä viiluja ei pinkata, koska kapeina viiluina pinkattuna pinkka ei pysy pystyssä kuljetettaessa ketjukuljettimilla prosessissa eteenpäin. Sorvauksen lähestyessä loppupuun säde on pieni, minimissään 60 mm, jolloin viilu ei oikene itsekseen. Tästä johtuen pinkatut viilut ovat syysuuntaan kuperia. Kuvassa 24 on märkäpinkkausasemalla pinkattu jonttipinkka. Jonttiviilut saumataan saumauskoneella kuivauksen jälkeen.

Kuva 24. Jonttipinkka märkäpinkkausasemalla.

Jonttiviilujen ollessa kuivaa sydänpuuta siitä irtoaa irtoroskaa, viilujen päät halkeavat usein sorvatessa ja viilun lujuus on heikompaa kuin pintaviilulla. Rikkonaiset päät ja yleinen viilun heikkous aiheuttaa roskaantumista prosessissa. Raaka-aineen kalleuden takia sorvattavasta viilumatosta otetaan talteen kaikki käytettävissä oleva viilu.

Märkäpinkkauksessa ei ole mahdollista poistaa irtoroskaa viilun yläpinnasta johtuen imuhihnakuljettimesta. Vähäinen määrä roskaa kulkeutuu kuljetinhihnojen välisestä, noin 50 mm leveästä tilasta alipaineen vaikutuksesta alipainepuhaltimiin.

Puhallusilma johdetaan putkistojen kautta suodatinasemaan, jolloin operaattoreiden työskentelyalueen hengitysilma on puhtaampaa. Suodatinaseman purkaessa kantoilman takaisin tehdashalliin puhdistuu hengitysilma jatkuvatoimisesti.

9. Viilujen kuivauskoneen likaantumisen estäminen

Viilujen pinnalle kertyy aiemmissa työvaiheissa roskaa, jotka kulkeutuvat viilujen pinnalla kuivauskoneeseen. Mahdollisia menetelmiä vaihtoehtoja roskien poistamiseen on useita; mm. harjatelan asentaminen, jolloin harjakset mekaanisesti harjaavat viilun pinnan puhtaaksi, erilaiset kaapimet, jotka mekaanisesti kaapivat irtoroskan pois tai vaikkapa puhalluspalkin asentaminen, josta puhallusilma puhaltaa irtoavan roskan pois.

Harjat ja kaapimet kuluvat käytössä ja vaativat siten huoltotoimenpiteitä. Kuivaamattoman viilun pinnassa on pihkaa, joka aikaansaa harjojen takertumista toisiinsa ja näin estää harjaksien toiminnan. Kaapimiin tarttuva pihka estää viilujen jouhevan kulkemisen kaapimen pintaan nähden ja aiheuttaa syöttöhäiriöitä. Viilun pintaan puhallettava puhallusilma täytyy puhaltaa viilujen syöttösuuntaa vastaan, jolloin roskat ja ilmavirta kohdistuvat operaattoriin. Lisäksi puhallusputkistot ovat fyysiseltä kooltaan niin suuria, että ne estävät sekä huoltopäivän puhdistustoimenpiteitä että rajoittavat operaattorin näkökenttää syöttölaitteeseen.

Eri puhdistuslaitteille annetuissa reunaehdoissa oli eräänä tekijänä toimintovarmuus tai toimimattomana prosessia haittaamaton ominaisuus. Viiluun mekaanisesti koskematon järjestelmä ei vaikuta prosessiin toimimattomana negatiivisesti, joten tätä laitteistoa kehitetään eteenpäin.

Puhallusilmalla tapahtuva roskien poiston etuja ovat lähes huoltovapaa toiminta, toimimattomana ei aiheuta tuotannon menetyksiä eikä estä operaattorin työskentelyä. lisäksi erilaisen liikkuvat tai pyörivät kone-elimet vaativat huolto- ja korjaustoimenpiteitä, joita ei tässä käyttökohteessa voida korjata tai huoltaa kuin kuivausprosessin ollessa pysähdyksissä.

Korkeapaineisella paineilmaverkostosta saatavalla puhallusilmalla on hyvä irrottava vaikutus keveisiin partikkeleihin tai nesteisiin. Eri paineilmapuhallusmenetelmiä valittaessa käytössä, jossa vuorokausittaisten puhalluskertojen määrä on korkea, kiinnitetään huomiota sekä energian kulutukseen että puhallustehokkuuteen.

9.1. Energiatehokkaat puhallukset

Puhallukset vievät usein huomattavan osan paineilmasta ja puhallusten huolimaton toteutus johtaa huomattavaan energiankulutukseen. Jos laitteistossa on paineilma-puhalluksia, on syytä tarkastaa seuraavat asiat:

- Selvitä puhallusten kuluttama ilmamäärä. Se voi olla yllättävän suuri. Jos koen tai laitteisto sisältää paineilmapuhalluksia, toimittajan tulisi antaa arviolaskelma tai mittaus puhalluksien ilmankulutuksesta. Jos puhallusten ilmamäärämäärä on suuri, tarkastele seuraavia ohjeita.
- Voidaanko puhallusta vaativa toiminto korvata helposti muulla kuin paineilmalla? Paineilmapuhalluksella toteutetun toiminnon voi usein korvata energia-tehokkaammalla menetelmällä. Esimerkiksi jäähdytys voidaan järjestää sähkömoottorikäyttöisellä matalapaineisella puhaltimella ja kappaleen poisto kuljettimella sylinterin tekemällä liikkeellä.
- Onko puhalluslaitteet varustettu paineensäätimellä? Jos puhallukset on varustettu paineensäätimellä, voidaan puhalluksen painetaso säätää toimintoon sopivaksi ja tarpeetonta puhallusta voidaan vähentää.
- Onko puhalluslaitteet varustettu energiatehokkailla suuttimilla tai suulakkeilla? Puhallus reiän läpi tai putken päästä hajautuu nopeasti ja vaikutus kohteessa on vähäinen. Usein vähäistä vaikutusta kompensoidaan lisäämällä virtausta. Saatavilla on runsas valikoima erilaisia suuttimia, joiden avulla pintapaine ja virtaus kohteessa voidaan usein moninkertaistaa. Suuttimien hankintahinta on alhainen verrattuna säästöihin.
- Ovatko puhallussuuttimet mahdollisimman lähellä kohdetta? Puhallus hajaantuu nopeasti etäisyyden lisääntyessä. Tarkista, että puhallukset ovat mahdollisimman lähellä kohdetta.
- Onko puhallukset varustettu ohjauksella? Tarkasta, että puhallukset on varustettu venttiilillä, anturoinnilla ja ohjauksella, jotta voidaan puhaltaa vain välttämätön aika. [20 s.23]

Puhallusvaikutuksen kustannus- ja puhallusvaikutukseltaan tehokkaimman ratkaisun aikaansaamiseksi vertaillaan eri vaihtoehtoja. Koska paineilman

tuottaminen on kallis toimenpide, on tavoite löytää puhallukseen vähimmällä ilmamäärällä toimivin ratkaisu. Vertailtavana on esimerkki puhallettaessa vettä pois pullojen ulkopinnasta liukuhihnatuotannossa. Kyseinen esimerkki toimii hyvin vertailtaessa viilujen puhdistamiseen.

9.1.1. Reikäputki

Reikäputki on yleisesti käytetty ratkaisu, koska se valmistaa ja helppo käyttää eikä vaadi huoltoa. Kokeilussa on käytetty kahta putkea, halkaisijaltaan 13 mm, joihin on porattu 25 kappaletta reikiä halkaisijaltaan 1.6 mm. Huokeat hankintakustannukset kompensoituvat korkealla energian käytöllä. Reiät tukkeutuvat helposti ja melutaso on korkea. Puhallustulos on epätasainen johtuen pistemäisistä puhalluspisteistä ja reikien väleistä, johon puhallusta ei tule. [21]

9.1.2. Lattapuhallussuutin

Lattapuhallussuutin on huokea hankintahinnaltaan, mutta sen suorituskyky on huono. Käyttökustannus ja melutaso ovat korkeat. Virtaus on epätasainen johtuen vierekkäisistä puhallusrei'istä. [21]

9.1.3. Ilmaveitsi omalla puhaltimella

Puhallin on meluisa käyttää ja kallis hankintahinnaltaan. Käyttökustannukset ovat huokeampia kuin reikäputkella ja lattapuhallussuuttimella. Sekä puhallin että puhalluspuputki vaativat merkittävän paljon tilaa verrattuna muihin ratkaisuihin. Melutaso saattaa kohota 90dB(A):iin. Puhaltimen käynnistäminen ja pysäyttäminen on aikaa vievä toimenpide, jolloin puhallin pidetään käytännöllisesti katsoen puhaltamassa koko prosessin ajan. Laakeri- ja suodatinhuolto on negatiivinen kustannustekijä. [21]

9.1.4. Ilmaveitsi paineilmalla

Ilmaveitsen toimintaperiaate on puhaltaa paineistettua ilmaa ohuesta raosta; kohteesta riippuen rako voidaan säätää tiivistelevyä vaihtamalla 0.03 mm:sta 0.1 mm:iin. Painetta säätämällä voidaan puhallustehoa säätää nopeammin kuin säätämällä ilmarakoa. Virtaus on tarkka kohdistaa, virtaustappiot ovat minimaaliset ja puhallusvoima on maksimoitu, johtuen ulospuhallussuuttimen muodosta, jolla

saadaan primääri-ilmavirran suhteeksi 40:1. Näin saadaan hyvin laminaarinen ilmavirtaus hyvällä voimasuhteella [21]. Kuvassa 25 on esitetty sopivan paineilmaveitsen toimintaperiaate.

Kuva 25. Exair Super Air Knife® -toimintaperiaate (tekstissä ilmaveitsi). [22]

Tummempi sininen nuoli kuvaa paineistettua ilmaa, jota puhalletaan suuttimesta ja vaaleampi primääri-ilman vaikutusta, joka lisää puhallusvaikutusta.

9.2. Kustannusvertailu eri puhallusmenetelmillä

Jatkuvatoimisessa käytössä ovat eri laitteiden käyttökustannukset merkittävässä osassa, kun eri vaihtoehtoja vertaillaan. Yksittäisenä tekijänä huokea hankintahinta tai erinomainen soveltuvuus käyttökohteeseen tässä tapauksessa ei voi olla hankinnan peruste, vaan kokonaistaloudellisin vaihtoehto on kannattavin hankinta. Taulukossa 1 on vertailtu eri puhallusmenetelmien vuosittaisia käyttökustannuksia.

Taulukko 1. Eri puhallusmenetelmien käyttökustannukset. Laskelmat perustuvat oletusarvoina sähkön hintaan 8.3 senttiä / kWh. Käyttöaika on 40 tuntia viikossa ja 52 viikkoa vuodessa.

	Reikä-putki	Lattapuhallus-suutin	Ilmaveitsi omalla puhaltimella	Ilmaveitsi
Paine bar	4.1	4.1	0.2	4.1
SLPM	4924	7273	Ei saatavilla	1557
Tehontarve kW	26	38	7.4	8.2
Melutaso dBA	91	102	90	69
Sähkönkulutus	$4508	$6569	$1288	$1417
Huoltokust. arvio vuodessa	$920	$1450	$1500	$300
Vuoden kustannus	$5478	$8227	$8228	$2251

9.3. Melualtistus

Meludirektiivin (2003/10/EY) määräykset on julkaistu Valtioneuvoston asetuksessa 85/2006 (Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta).

Asetuksessa määrätään työnantajalle selvilläolovelvoite. Työnantajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen melulle altistuminen sekä tunnistettava melua aiheuttavat tekijät. Työnantajan on arvioitava ja tarvittaessa mitattava työntekijän melulle altistuminen. Mittaustulosten arvioinnissa on otettava huomioon mittauksen epätarkkuudet.

Lainsäädännössä on säädetty melulle kolmiportainen toimenpideluokitus. Taulukossa 2 on valtioneuvoston asetuksen 85/2006 mukaiset melun raja-arvot ovat 8 tunnin altistuksena sekä impulssimelun huippuarvoina:

Taulukko 2. Sallitut melulle altistumisen pitkäaikais- ja huippuarvot.

	LAeq8h	LCpeak, max	Huom.
Alempi toiminta-arvo	80 dB(A)	135 dB(C)	Kuulosuojainten päältä
Ylempi toiminta-arvo	85 dB(A)	137 dB(C)	Kuulosuojainten päältä
Raja-arvo	87 dB(A)	140 dB(C)	Kuulosuojainten päältä

Altistuksen raja-arvoa määritettäessä otetaan huomioon myös kuulosuojainten vaikutus eli käytännössä arvioidaan kuulosuojaimen sisällä, korvakäytävässä vallitsevaa ääni-tasoa. Toiminta-arvot määritetään työntekijän kuulonsuojaimen ulkopuolelta. [23]

9.4. Puhalluslaitteen valinta

Alumiinirunkoinen puhalluspalkki on helppo kiinnittää sekä kevyt käsitellä asennuksen aikana. Ilmaveitsen fyysiset mitat antavat vertailluista parhaan mahdollisen kiinnityskohdan valitsemisen, jolloin se voidaan kiinnittää mahdollisimman lähelle viilun pintaa. Pieni fyysinen koko helpottaa parhaimman mahdollisen kulman säätämisen, kun haetaan parasta puhallusvaikutusta. Ilmarako on säädettävissä tiivistelevyn vaihdolla, mikäli virtausmäärää on jostain syystä kasvatettava. Edellisten kustannus- ja melutekijöiden perusteella tehdasvalmisteinen ilmaveitsi ulkopuolisella paineilmalähteellä on kustannustehokkain ratkaisu. Lisäksi operaattorin läheisyyteen sijoitettavan puhalluslaitteen aiheuttama, vertailluista vaihtoehdoista matalin meluntaso puoltaa kyseisen ilmaveitsen hankintaa.

9.5. Ilmaveitsen ilman kulutus

Valmistajan tekemien mittausten mukaan 0.05 mm:n ilmaraolla oleva ilmaveitsi kuluttaa 5.5 baarin ilmanpaineella 80 litraa minuutissa 25.4 mm matkalla [24]. Valmiit moduulit ovat 1 370 mm pitkiä, joita liitetään kaksi yhteen rinnakkain Syötettävät viiluarkit puhalletaan vain yläpuolelta, joten ilmaveitsien kokonaismitaksi saadaan 5 480 mm. Sekuntikellolla mitattuna sadan työkierron keskimääräisenä arvona viiluparin syötön kierotahdin kesto on keskimäärin noin 5 sekuntia, josta 0.6 sekuntia on aika, jolloin viilu liikkuu ilmaveitsen kohdalla.

Ilmaveitsen puhalluksen ohjaus tulee heittotelojen paineilmasylintereiden ohjauksesta, jolloin ilmaa puhalletaan vain silloin, kun syöttötelat liikuttavat viilua. Kaavassa 4 on laskettu yhden puhalluskerran paineilmakulutus.

Yhden työkierron ilmankulutus on

$$V = \frac{80l/min}{60sek} * \frac{5480mm}{25{,}4mm} * 0{,}6sek \ = 173l = 0{,}173m^3. \quad (4)$$

Kaava 4. Yhden työkierron ilmankulutus.

Taulukossa 3 on laskettu viikon ajanjaksolla tapahtuvan ilmapuhalluksen kuluttama paineilmamäärä. Työkiertojen määrä on saatu tuotannonseuranta-ohjelmasta.

Taulukko 3. Paineilmankulutus viikon ajanjaksolla.

Ilmankulutus m^3		
0,17	1	työkierto
1,73	10	työkiertoa minuutissa
103,80	600	työkiertoa tunnissa
2491,20	14400	työkiertoa vuorokaudessa
19892,75	114987	työkiertoa tarkkailujakson aikana 10.4. - 17.4.2013 aikana

9.5.1. Ilmaveitsen asennus syöttölaitteeseen

Tarkoituksena oli valita ilmaveitsen sijoituspaikka niin kauas operaattorista, että puhalluksen aikaansaama pöly- ja ilmavirtaus ei aiheuta lisäaltistusta partikkeleille työpisteessä. Tässä vaiheessa erillisen keräyslaitteiston rakentamista ei pidetty tarpeellisena.

Ilmaveitsen asennuskohtaa jouduttiin muuttamaan useita kertoja asennuksen aikana. Syynä olivat joko sijoituskohdan aiheuttamat ruuhkat tai ilmaveitsen kulman jääminen niin terävään kulmaan viiluun nähden, ettei haluttua puhdistusvaikutusta saatu aikaiseksi.

Asennusaikataulu viivästyi huomattavasti alkuperäisestä suunnitelmasta, koska aikaa asennuksille ei huoltopäivien puitteissa ollut riittävästi tai suunnitellulla aikataululla koettiin resurssipulaa tärkeämpien huollettavien tai korjattavien kohteiden osalta.

Ainoaksi kohdaksi, jossa ilmaveitsi toimi suunnitellulla tavalla, valikoitui kiinnittäminen syöttölaiteen etureunaan. Kyseisessä kohdassa välimatka puhalluksen ja operaattorin lyheni niin lyhyeksi, että käyttäminen ilman keräysjärjestelmää ei ole mahdollista. Tämä havainnoitiin jo ensimmäisillä kerroilla puhalluksen toimiessa. Operaattorin altistaminen puhalluksen aikaansaamalle partikkelialtistukselle on vastoin työsuojelullisia periaatteita. Kuvassa 26 on esitetty ilmaveitset ja putkipalkista valmistetut painevaraajat kiinnitettynä syöttölaitteen runkoon.

Kuva 26. Ilmaveitset ja paineilmavaraajat asennettuna syöttölaitteen runkoon.

9.6. Ilman poistojärjestelmä

Puhalletun roskan poistojärjestelmää varten joudutaan valitsemaan riittävän tehokas puhallin, jonka kapasiteetti riittää poistamaan tarvittavan määrän ilmaa.

Kustannustehokkainta ratkaisua silmälläpitäen tehtaan varastoista valittiin käytöstä poistettu puhallin, jonka kapasiteetti olisi riittävä kyseiseen tarkoitukseen.

9.6.1. Puhallin

Puhaltimella tarkoitetaan laitetta, jonka ensisijaisena tehtävänä on kaasun siirto, ei niinkään paineen nosto. Pääasialliset puhallintyypit ovat keskipakoispuhallin ja aksiaalipuhallin. Keskipakoispuhallin muistuttaa radiaalikompressoria, mutta on rakenteeltaan kevyempi koska ne valmistetaan yleensä teräslevystä [25]. Kuvassa 27 on esitetty erikokoisia keskipakoispuhaltimia.

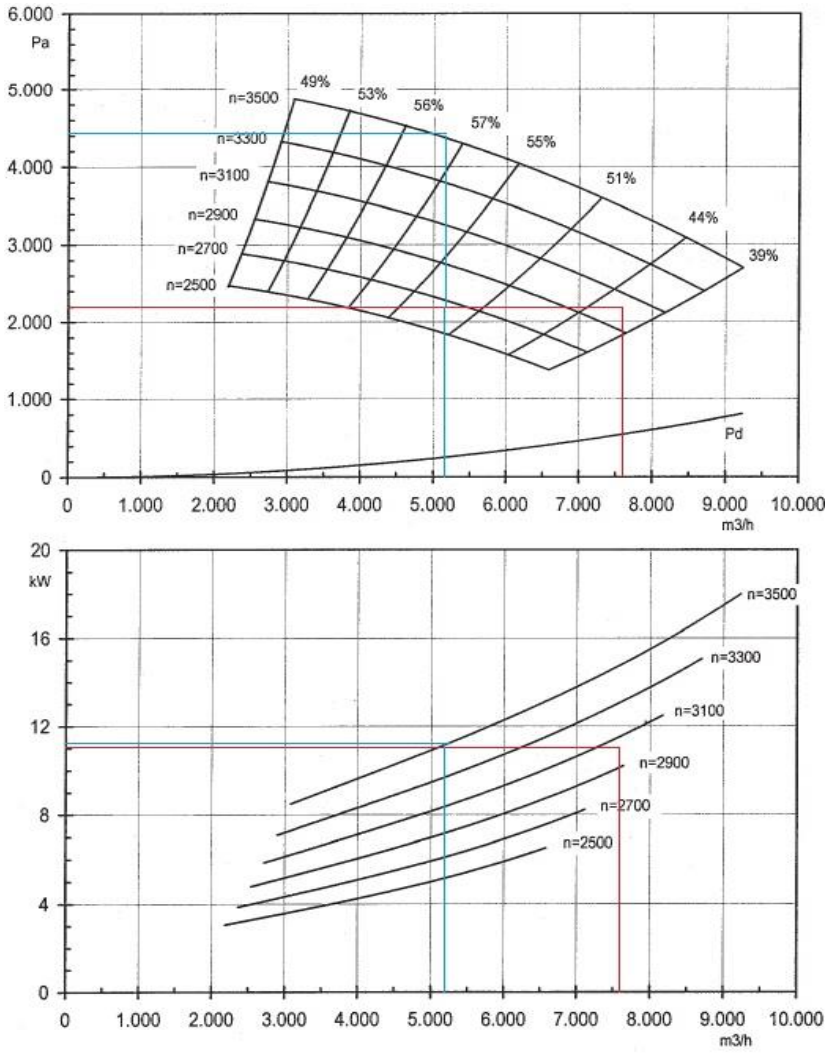
Kuva 27. Erilaisia keskipakois- eli radiaalipuhaltimia (hihnavedolla ja suoravedolla). [26]

Radiaalikompressorin tilavuusvirtaa ja painesuhdetta voidaan säätää muun muassa kuristamalla imu- tai painepuolta, muuttamalla roottorin pyörimisnopeutta, muuttamalla tulovirtauksen esipyörrettä johdesiivistössä tai säätämällä siivellisen

diffuusorin siipikulmaa Mc Millanin (1983) mukaan. Tyypillisimmät säätötavat lueteltuna energiataloudellisin ensimmäisenä ja kaikkein eniten energiaa kuluttava viimeisenä ovat:

1. Pyörimisnopeussäätö
2. Johdesiipisäätö
3. Imupuolen kuristussäätö
4. Poistopuolen kuristussäätö [25]

Puhaltimeksi valittiin tehokkuuden, kompaktin koon ja huokean hankintahinnan perusteella Combifab T-0.56-280 –puhallin, jossa oli valmiina kiinnitettynä kierrosluvultaan 3000 min^{-1} ja teholtaan 11 kW:n moottori. Kuvasta 28 voidaan lukea toimintapisteeksi punaisella viivalla merkittynä tilavuusvirran olevan 7600 m^3/h eli 2.11 m^3/sek paineen ollessa 2200 Pascalia. Lisäämällä taajuusmuuttajalla kierrosnopeus arvoon 3500 min^{-1} saadaan sinisellä viivalla tilavuusvirraksi 5100 m^3/h eli 1.42 m^3/sek paineen ollessa 4400 Pascalia. Hyötysuhteen noustessa samalla noin 14 %-yksikköä olisi taajuusmuuttajan asentaminen järkevää painetuottoa ajatellen.



Kuva 28. Puhaltimen suoritusarvodiagrammi. [26]

Oletusarvoisesti puhallinta tullaan käyttämään vakionopeudella 3000 min^{-1}, jolloin tuottotehokkuus on maksimissaan. Mikäli kierrosnopeutta nostetaan taajuusmuuttajalla puhaltimen maksimikierroslukuun 3500 min^{-1}, pienenee tilavuusvirta arvoon 5100 m^3/h tuotettavan paineen noustessa kaksinkertaistuessa 4400 Pascaliin. Tällöin imuvaikutus kasvaa paineen noustessa.

9.6.2. Imuvaikutus

Imusuutin rakennetaan niin, että ilmaveitsen puhaltama ilman mukana liikkuvat partikkelit saadaan mahdollisimman hyvin poistettua ilmavirtauksen mukana. Kokemusperäisesti puujalosteteollisuudessa on ohjearvo virtauskanavassa, jossa kuljetetaan kantoilman mukana puuperäisiä partikkeleita, ilmavirtauksen nopeus oltava yli 10 m/s. Tällöin raskaammat puupartikkelit, kuten märkä hake ja erilaiset

sivutuotteet, liikkuvat putkistoissa riittävällä tehokkuudella. Imusuuttimen raoksi tehdään 10 mm. Rinnakkain syötettävien viilujen päälle kaksi erillistä imulaatikkoa, leveydeltään 2 800 mm, jolloin saadaan virtauspinta-alaksi:

$$A = 2 * (10 * 2800) mm^2 = 0.056 m^2. \quad (5)$$

Asentamalla taajuusmuuttaja ja säätämällä moottorin kierrosluvuksi 3500 min^{-1} tilavuusvirraksi tulee 1.42 m^3/s.

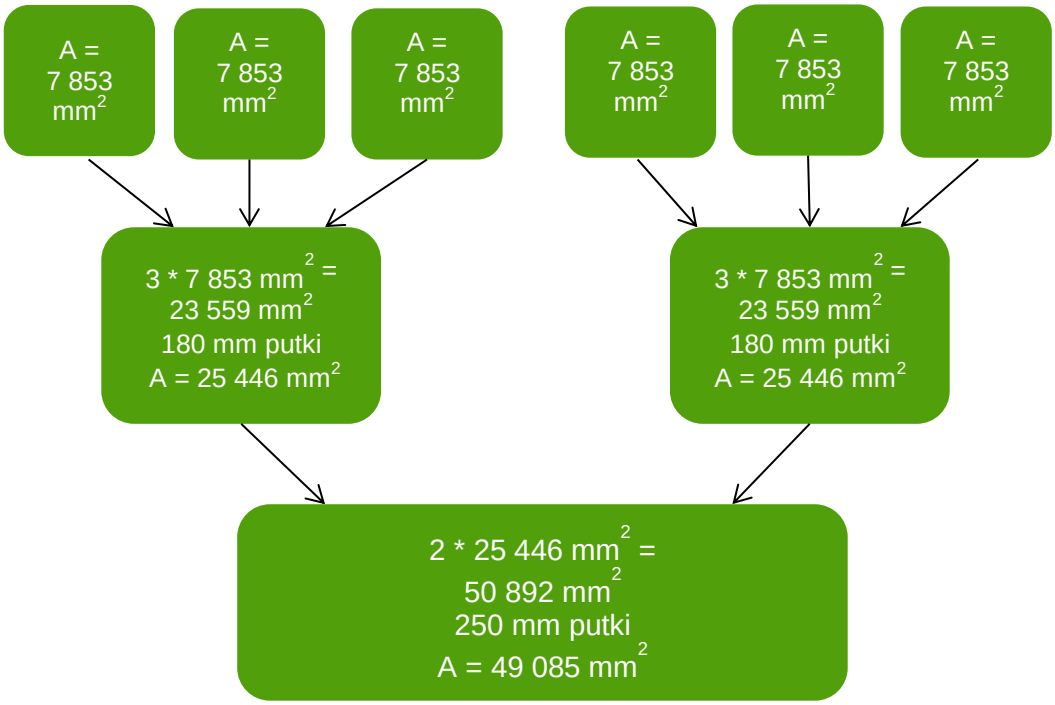
Imusuuttimen kohdalla virtausnopeudeksi saadaan

$$V = \frac{1{,}42\ m^3/_s}{0{,}056 m^2} = 25.4\ m/_s. \quad (6)$$

Virtausnopeutta saadaan tarvittaessa lisää pienentämällä imusuuttimen pinta-alaa. Koska viilun pinnasta poistettavat partikkelit ovat maksimissaan 3.7 mm paksuja, virtaus poistaa partikkelit riittävän tehokkaasti.

9.6.3. Keräysjärjestelmän imuputkiston kapasiteetti

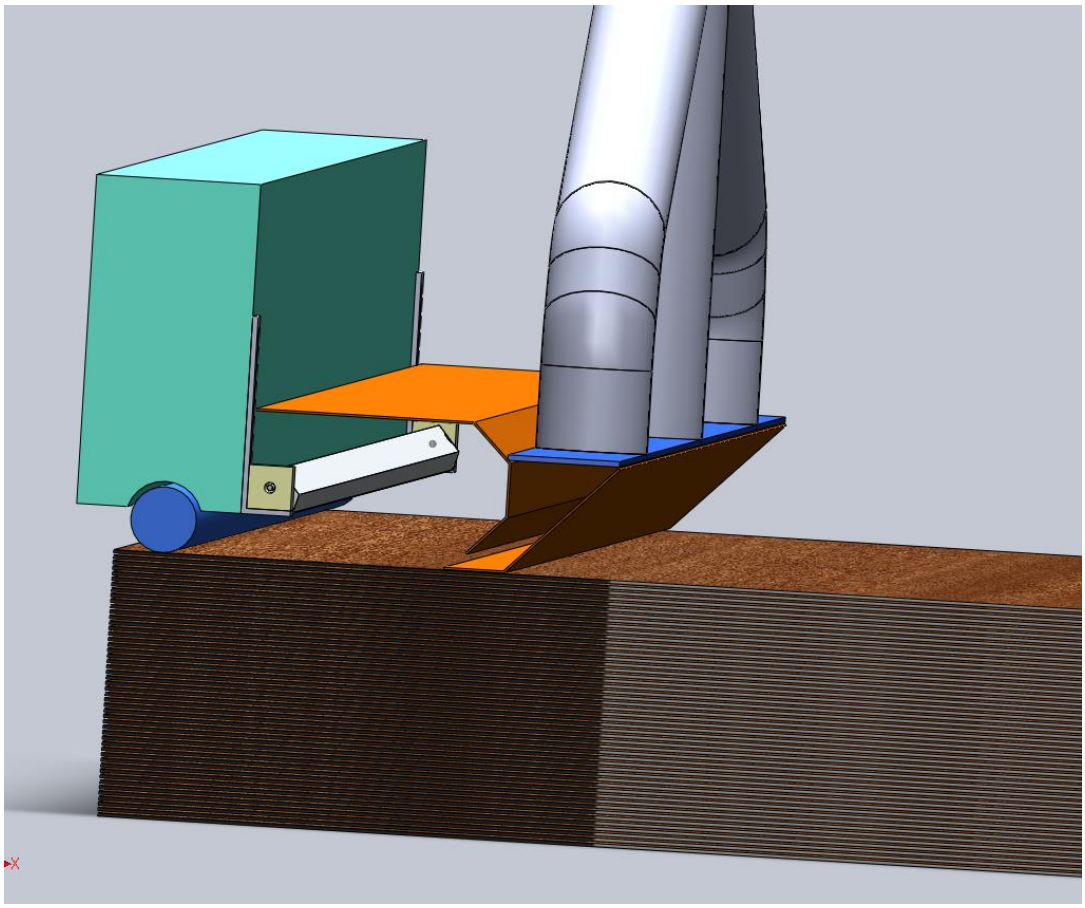
Imusuuttimien yhteyteen rakennetaan huuva, joka estää puhallusvaikutuksen ja puhallettavien roskien vaikutuksen operaattorin työpisteeseen. Molempiin huuviin tehdään kolme halkaisijaltaan 100 mm olevaa poistoputkea, jotka liittyvät halkaisijaltaan 180 mm:n keräysputkeen. Keräysputket liitetään halkaisijaltaan 250 mm:n yhdysputkeen, joka liitetään puhaltimen imuaukkoon. Kuvassa 29 esitetään putkiston kapasiteetti putkien pinta-alana.



Kuva 29. Poistoputkiston virtauspinta-alat.

Kuvasta 29 havaitaan, että 180 mm:n halkaisijalla olevien siirtoputkien yhteispinta-ala on 3.6 %:ia suurempi kuin 250 mm:n halkaisijalla puhaltimen imuaukon pinta-ala. Oletetaan, ettei kuristusvaikutuksella ole merkittävää vaikutusta toimintaan.

Kuvassa 30 on esitelty puhallus- ja poistolaitteiston periaatekuva. Ilmaveitsi on säädettävissä korkeussuunnassa sekä viiluun nähden puhalluskulmassa. Poistoputket on liitetty runkoputkistoon joustavalla, teräslangalla vahvistetulla kumiletkulla. Keräyslaite kiinnitetään syöttölaitteen runkoon saranoilla, joiden korkeus on säädettävissä. Näin syötettävän viilupinkan korkeusvaihtelu ei aiheuta rikkoutumista sekä asennusvaiheessa saadaan korkeuteen säätömahdollisuus.



Kuva 30. Viilujen puhallus- ja keräyslaitteiston periaatekuva. Sivulevy on poistettu, jotta sisärakenne tulee esitetyksi. Viilujen syöttösuunta oikealta vasemmalle.

9.7. Puhallusilman käsittely

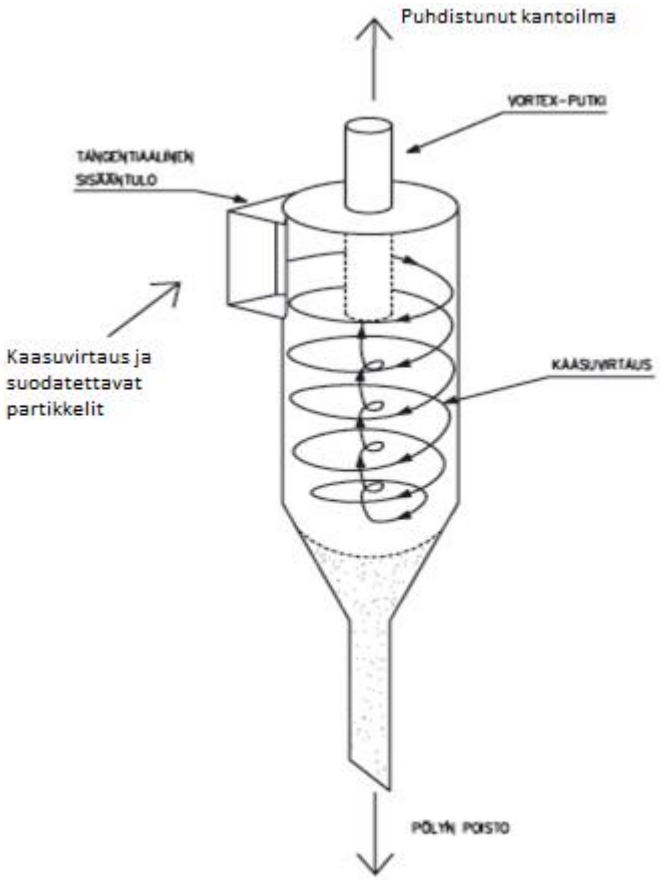
Viilujen pinnasta pois puhalletun irtoroskan ja kantoilman puhaltaminen tehdashalliin ei ole mahdollista likaannuttavan vaikutuksen takia. Ilmanvirran mukana kulkeutuvat partikkelit leviävät ja aiheuttavat sekä tulipalokuormaa että huoltopäivänä siivoamisen tarpeen.

Puupartikkeleiden suodattamiseen kantoilmasta ja hallittuun keräämiseen on laajalti käytössä letkusuodatin. Suodatinasemassa olevat suodatinletkut suodattavat partikkelit kantoilmasta ja keräävät ne kootusti aseman alaosaan, josta kolakuljettimen ja sulkusyöttimen toimitetaan putkiston välityksellä haluttuun kohteeseen. Kantoilma palautetaan suodatustilaan. Letkusuodattimen hankintahinta sekä eri ohjausjärjestelmien rakentaminen tekee järjestelmän monimutkaiseksi haluttuun toimintoon nähden.

9.7.1. Sykloni

Syklonierotin eli sykloni on yleisesti eri käyttökohteissa käytetty dynaaminen erotin, jonka toiminta perustuu massavaikutukseen. Toimintaperiaatteena sykloniin puhallettava kaasu materiaaleineen joutuu kehällä pyörivään liikkeeseen, jossa kehänopeus laskee paineistetun kaasun joutuessa matalampaan paineeseen. Kaasun liikenopeuden laskiessa kiinteä aines valuu painovoimaisesti alaspäin. Näin saadaan kiinteä aines kerättyä talteen hallitusti haluttuun paikkaan. [27 s.6]

Kaasu, joka sisältää eroteltavat partikkelit, johdetaan tangentiaalisesti sykloniin. Kaasuvirtaus muodostaa spiraalinmuotoisen liikeradan kohti syklonin pohjaa (johtuen syklonin geometrisestä rakenteesta), jolloin eroteltavat partikkelit sinkoutuvat syklonin seinärakenteeseen ja valuvat syklonin pohjalla olevaan poistoaukkoon. Puhdistunut kaasuvirtaus muodostaa pohjalla uuden pyörteen syklonin keskelle nousten ylöspäin ja poistuen syklonista yläpään aukon kautta [28 s. 37–38]. Kuvassa 31 on esitetty tangentiaalisella virtauksen sisääntulolla olevan vakiosyklonin toimintaperiaate.



Kuva 31. Vastavirtasyklonin toimintaperiaate tangentiaalisella sisääntulolla. [29 s.106]

Syklonin hyviksi ominaisuuksiksi voidaan mainita matala pääomasijoitus sekä matalat ylläpito- ja huoltokustannukset. Lisäksi se toimii useissa sovelluksissa ja on rakenteeltaan tukeva. Huonoja ominaisuuksia puolestaan ovat matala tehokkuus hyvin pienillä partikkeleilla ja suurempi painehäviö kuin muilla erotintyypeillä. [30 s.5]

Sykloneja voidaan käyttää myös ei-hukkaavina malleina, jolloin kantoilmaa kierrätetään puhaltimen aikaansaaman ilmavirtauksen avulla poistoputkesta takaisin puhaltimen imupuolelle. Tällaisia käyttökohteita ovat mm. erilaisten suodatinasemien tyhjentämiseen siilovarastoihin. Suodatustehokkuus ei ole suljetussa kierrossa kovin merkitsevä, koska suodattumattomat partikkelit poistuvat ulospuhallusputkesta takaisin kiertoilmaan. Likaantumisvaikutus ympäristöön on lähes merkityksetön.

Käyttämällä syklonia voidaan kerätä partikkelit hallitusti talteen ja koota ne syöttölaitteen läheisyydessä olevalle viiluhakkurin hihnalle.

9.8. Ilmaveitsen ja poistopuhaltimen energiakustannus

Tehtaan sähköenergian kustannus on XX € / MWh. Lisäksi paineilman toimittajan kanssa on sopimus, jonka mukaan tehdas maksaa tuotetusta paineilmasta toimittajalle X €/m^3.

Neljä kompressoria, jotka tuottavat paineilmaa yhteensä 120 m^3/min, toimivat 90 kW:n tehoisilla oikosulkumoottoreilla. Paineen noususta johtuva paineilman lämmön nousu kompensoidaan jäähdyttämällä paineistettu ilma jäähdyttimillä. Jäähdyttimistä saatava kuumentunut ilma ohjataan lämmityskaudella suoraan lämmittämään tehdashallia ja lämmityskauden ulkopuolella hukkalämpönä ulkoilmaan.

Pölynpoistoa varten käytetään puhallinta, jossa on 11 kW:n tehoinen moottori. Puhallin pidetään käynnissä koko ajan, kun kuivauskoneeseen syötetään viilua. Viilupinkkojen vaihtamisen tai lyhytpysähdysten aikana puhallinta ei pysäytetä.

Laskettuna paineilmapuhalluksen ja pölynpoiston kustannukset euromääräisinä eivät ole vuositasolla merkittäviä. Saatavat hyödyt ovat kustannuksiin nähden kannattavia.

Yhteenvetona vertailuista, analyysistä ja tehdyistä laitevalinnoista todetaan, että viilujen puhdistaminen ilmaveitsipuhalluksella ja roskien poisto alipainepuhaltimella täyttää määrittelyssä toiminnoille annetut reunaehdot.

10. Suodattaminen

Kuivauskoneen ilmakierron suodatusjärjestelmä ja sen toiminnan kuvaus on salattavaa tietoa.

11. Käyntiasteen maksimointi

Kun kilpailu kiristyy, on tuotannon tehokkuus yhä tärkeämpää. Käytettävyys on usein tärkein yksittäinen mittari, jonka avulla koko tuotantoympäristön tulosta voidaan nostaa. Käytettävyystietoa voi tehokkaasti hyödyntää myös toiminnan kehittämisessä.

Kuluttajan näkökulmasta tehokas tuotanto tekee mahdolliseksi esimerkiksi valmisteiden joustavamman hinnoittelun. Halpamaiden työkustannusetujen takia länsimaisten yritysten on pysyttävä tehokkaaseen tuotantoon, jotta tuotteet säilyvät kuluttajien kannalta houkuttelevina. [31 s.13]

Kalliiden raaka-aineiden ja korkeiden kuljetuskustannusten kompensoimiseksi on tuotannon toimittava mahdollisimman korkealla käyntisuhteella. Samalla saadaan laskettua tuotantoon kohdistuvia yksikkökustannuksia alemmas, jakajan eli tuotettujen yksiköiden määrän kasvaessa.

Pitkien sarjojen valmistaminen vähentää koneiden säätämiseen kuluvaa aikaa prosessin muuttuessa sekä auttaa säilyttämään tuotannolle optimaaliset olosuhteet. Pitkien sarjojen oikea-aikainen ohjaus on tuotannon ohjaukselle haastava tehtävä.

Tuotantoyksikön, kuten laitoksen, linja tai laitteen, käytettävyys kuvaa sitä osaa suunnitellusta tuotantoajasta, jonka tuotantoyksikkö on käytettävissä tuotantotoimintaan. Tuotantoyksikön käytettävyyttä vähentävät muun muassa erilaiset laiteviat, laitteisto asetusajat ja ennakoimat pysähdykset. Nämä pysähdykset voivat johtua monesta asiasta, kuten laitteiston vioittumisesta ja osien rikkoutumisesta, virheellisistä toimintotavoista, tuotantotauoista ja tuotannonsuunnittelun epäonnistumisesta. [31 s.13]

Tuotantoyksikön käytettävyys vaikuttaa suoraan yksikön tuotantomäärään. Usein käytettävyys on tärkein yksittäinen mittari, jolla koko tuotantoympäristön kyvykkyyttä voidaan nostaa. Käytettävyysmittarien tulokset ovat suoraan käytettävissä tuotannon päivittäisen johtamisen ja tuotantoprosessin kehittämisen työkaluna. [31 s.13]

11.1. Kokonaistehokkuus

Tuottavuus on termi, joka kuvaa teollisuuden tuotantotehokkuuden astetta. Sitä voidaan myös pitää myös mittarina, kun mitataan tuotettujen tavaroiden tai palveluiden määrää tuotettuna käytettäessä eri tuotannontekijöitä (työvoimaa, rahaa, raaka-aineita, koneita ja menetelmiä). [32 s.632]

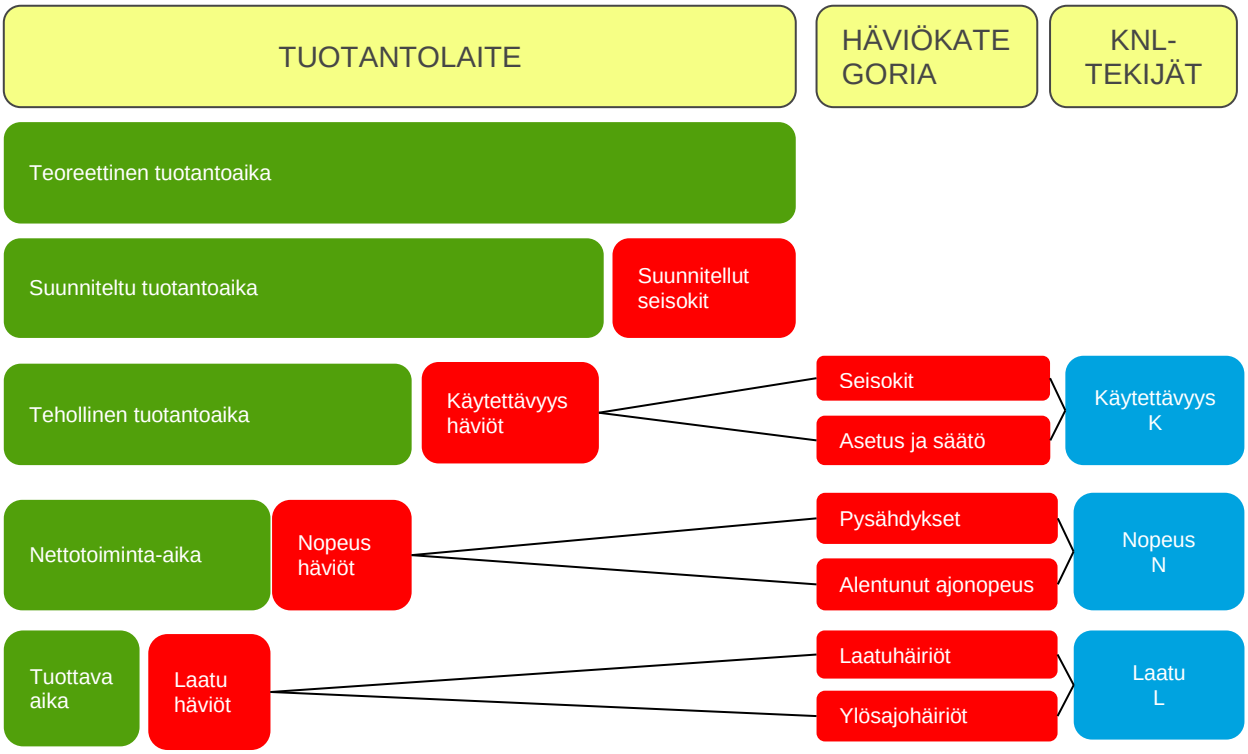
KNL-luvun termit tulevat sanoista

Käytettävyys (K)
Nopeus (N)
Laatu (L)

Laskukaavana KNL = K % * N % * L % (7)

KNL-luvun laskukaavan tuloksena syntyy kokonaistehokkuusluku. Omaa tehokkuuttaan, tuotantoprosessien kehittämistä ja kyvykkyyttä jatkuvasti seuraavalle tuotantoyritykselle KNL on ensiarvoisen tärkeä mittari kehityksen mittaamiseen. Tämän johdosta sen eri osa-alueet on hyvä tuntea tarkoin. [32 s.15]

KNL-luvun nopeus kuvaa sitä suhteellista tuotantonopeutta verrattuna yksikön optimaaliseen tuotantonopeuteen, johon yksikkö kykenee määritellyllä aikavälillä. Nopeuslaskennassa otetaan huomioon vain ne ajanjaksot, joiden aikana yksikkö on ollut käytettävissä tuotantoon. Nopeusluvun jakajana on laitteelle suunniteltu huippunopeus [32 s.15]. Kuivausprosessissa KNL-nopeus ei ole absoluuttisen oikea mittaamaan tuotannon tehokkuutta, johtuen eri paksuisten viilujen vaatiman kuivausajan ja –nopeuden vaihtelusta. Kuivattavien yksiköiden määrän ollessa huomattavan korkea ja hajonnan ollessa lähestulkoon sama eri ajanjaksojen välillä, voidaan saatua KNL-nopeutta pitää riittävän luotettavana mittarina. Kuvassa 32 esitetään kokonaistehokkuuden muodostuminen.



Kuva 32. Kokonaistehokkuuden muodostuminen. [33]

Eri mitatut KNL-prosentit vaihtelevat hyvinkin suuresti, riippuen prosessin kehittämisen asteesta.

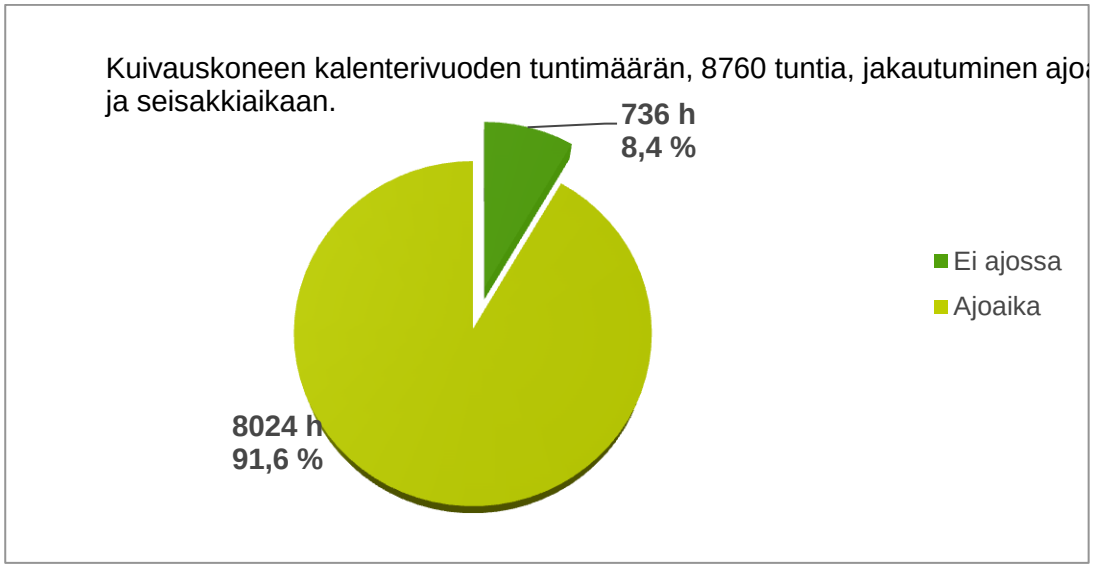
- KNL-prosentti 100 % on täydellisen tehokas tuotanto; valmistuksessa vain täydellisiä tuotteita, niin nopeasti kuin mahdollista ilman seisokkeja
- KNL-prosentti 85 % on mahdollinen maailman parhaimmistolle tuotantohaarassaan. Saavutettavissa oleva pitkän ajanjakson realistinen tavoite
- KNL-prosentti 60 % on tyypillinen normaaliin tuotantoon. Tuotantoprosessissa on vielä parannettavaa huomattavasti
- KNL-prosentti 40 % ei ole harvinainen yritykselle, joka on juuri aloittanut seuraamaan ja kehittämään tuotantoaan. Alhaista prosenttilukua voidaan helposti nostaa selvittämällä seisokkiaikojen syyt ja tekemällä yksinkertaisia parannustoimenpiteitä [34 s.633]

11.2. Kuivauskoneen käyttöaika

Keskeytymättömässä 3/7–käyntiaikamuodossa kuivauskoneella tehdään 12 tunnin vuoroja; aamuvuoro kello 06:00 – 18:00 ja iltavuoro kello 18:00 – 06:00. Viilua sorvataan märkävarastoon puskuriksi niin, että kuivauskoneella kuivataan keskeytymättä huoltopäivien välinen aika. Mikäli märkäviiluvarasto uhkaa kasvaa liian suureksi, voidaan pysäyttää sorvaus tarvittavan pitkäksi ajaksi tai viiluja siirtää toisille tehtaille kuivattavaksi.

Huoltopäivien prioriteetti on tehty niin, että kuivauslinja pyritään saamaan tuotanto-kykyiseksi ensimmäisenä. Kuivauskoneen toimiessa kuivattua viilua varastoidaan puskurivarastoon tai mikäli mahdollista, toimitetaan konsernin muille tuotantolaitoksille.

Kuvassa 33 on eritelty kalenterivuosi teholliseen ajoaikaan ja eri syistä johtuviin seisakkiaikaan.



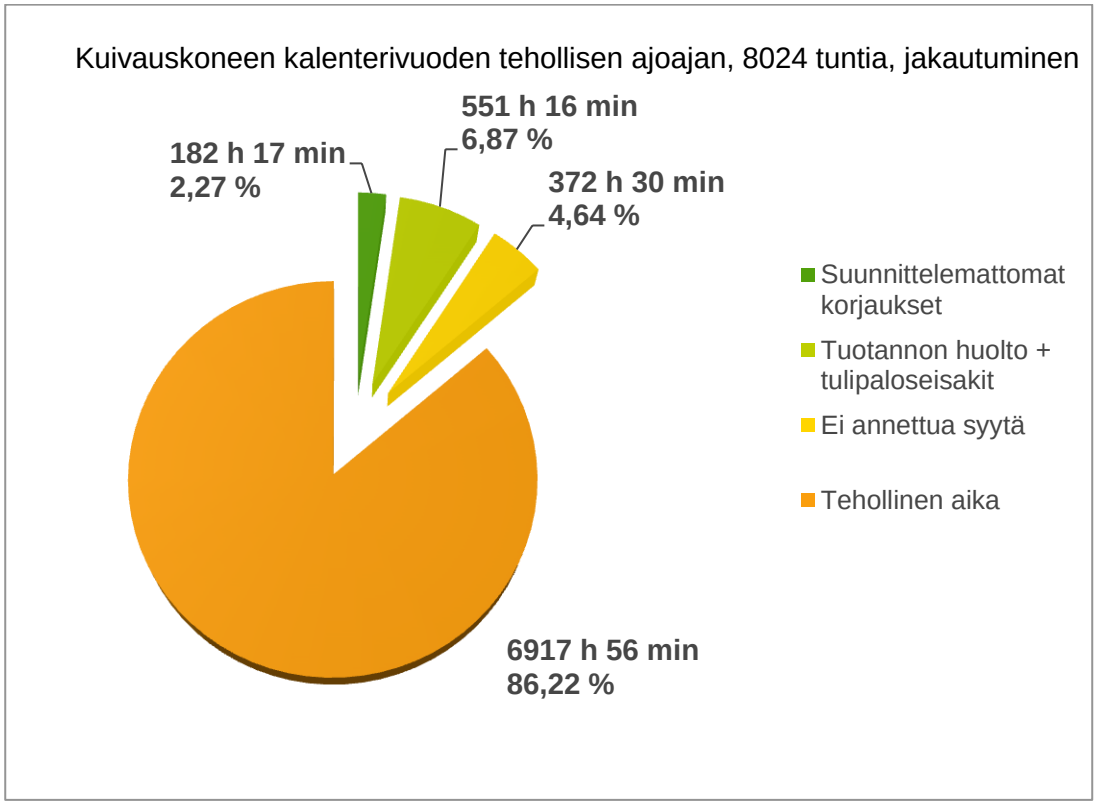
Kuva 33. Tuotannollisen kalenterivuoden tuntijakauma tuotantoaikaan ja erilaisiin seisakkeihin, jolloin kone ei ole tuotannollisessa toiminnassa.

Käytettävissä olevan tehollinen ajoaika saatiin vähentämällä kalenterivuoden tunneista suunnitellut seisakit, eli kirkolliset juhlapyhät ja etukäteen suunniteltu huoltoseisokki. Teholliseksi ajoajaksi saatiin 8024 tuntia.

Kuivauskoneen pysähdyttyä jostain syystä, aloittaa tuotannon seurantaohjelma välittömästi seisakkiajan laskemisen. Mikäli pysähdys kestää pidempään kuin kaksi minuuttia, ohjelmaan tulee merkitä pysähdyksen syy omalla syykoodillaan. Alle kahden minuutin pysähdyksistä ei tule merkintää tehdasraportoinnista vaan ne näkyvät käyntiajan ja tehollisen ajoajan erotuksena. Tehollinen ajoaika saadaan kaavalla:

$$Tehollinen\ ajoaika = Kalenteriaika - häiriöt\ yli\ 2min - \ ei\ annettua\ syytä. \quad (8)$$

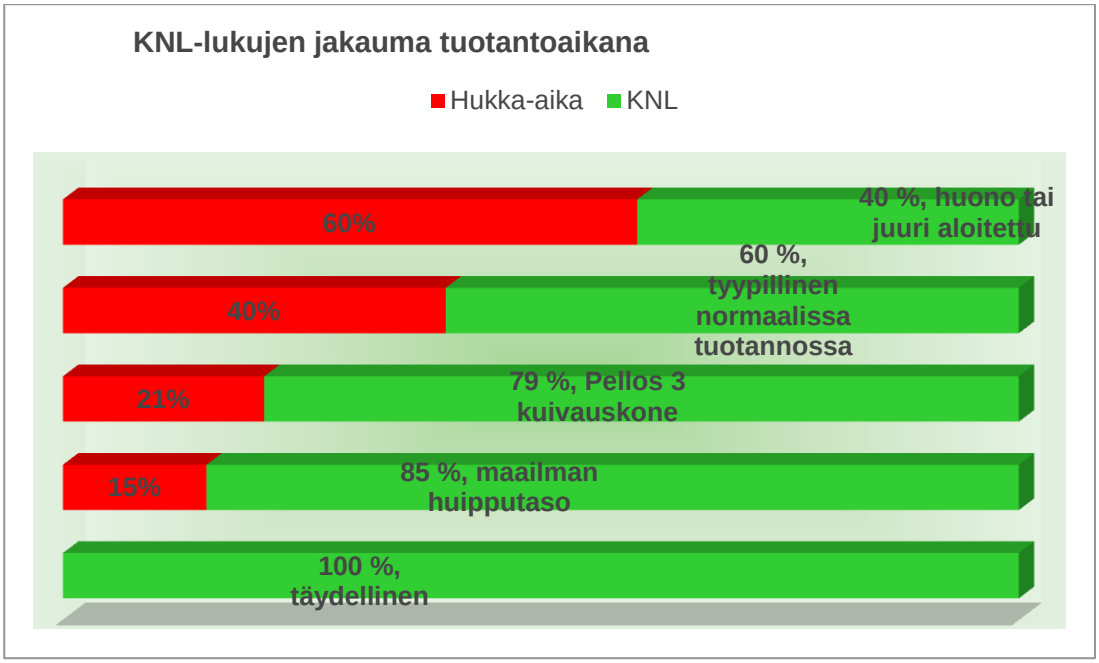
Kuvassa 34 on esitetty tehollisen ajoajan jakautuminen varsinaiseen tuotannolliseen aikaan ja eri syistä johtuviin pysähdyksiin.



Kuva 34. Tehollisen käyntiajan jakauma tunteina vuoden ajanjaksolla.

Kuvassa 35 on verrattu kuivauskoneen KNL-lukua aiemmin esitettyihin, eri toimialojen vastaaviin arvoihin. Viilujen dimensioiden ja kosteusjakaumien vaihtelu ei anna mahdollisuutta määrittää tekijää nopeus (N) ehdottoman tarkasti, koska eri kosteus- ja paksuusluokan viilujen kuivausaika ja – nopeus ovat vaihtelevia. Nopeuden (N) maksimiarvo on sovittu historian kolmen maksimivuoron

keskiarvoksi kuutioina viilua [2]. Laskennallinen nopeuden (m^3) arvo saadaan laskemalla pinkattujen viilujen lukumäärä ja tilavuus. Tekijän laatu (L), jota käsitellään syötettyjen ja oikeaan kosteuteen kuivapinkattujen viilujen määrää, saadaan varmuudella vain pinkattujen viilujen määrä. Syöttölaitteella on laskenta, joka laskee syöttöliikkeiden määrän. Ei kuitenkaan ole varma, että jokaisella syöttöliikkeellä koneeseen siirtyy kaksi viilua. Sovittuna lukuna muuttujalle (L) on arvo 0.95. /2/

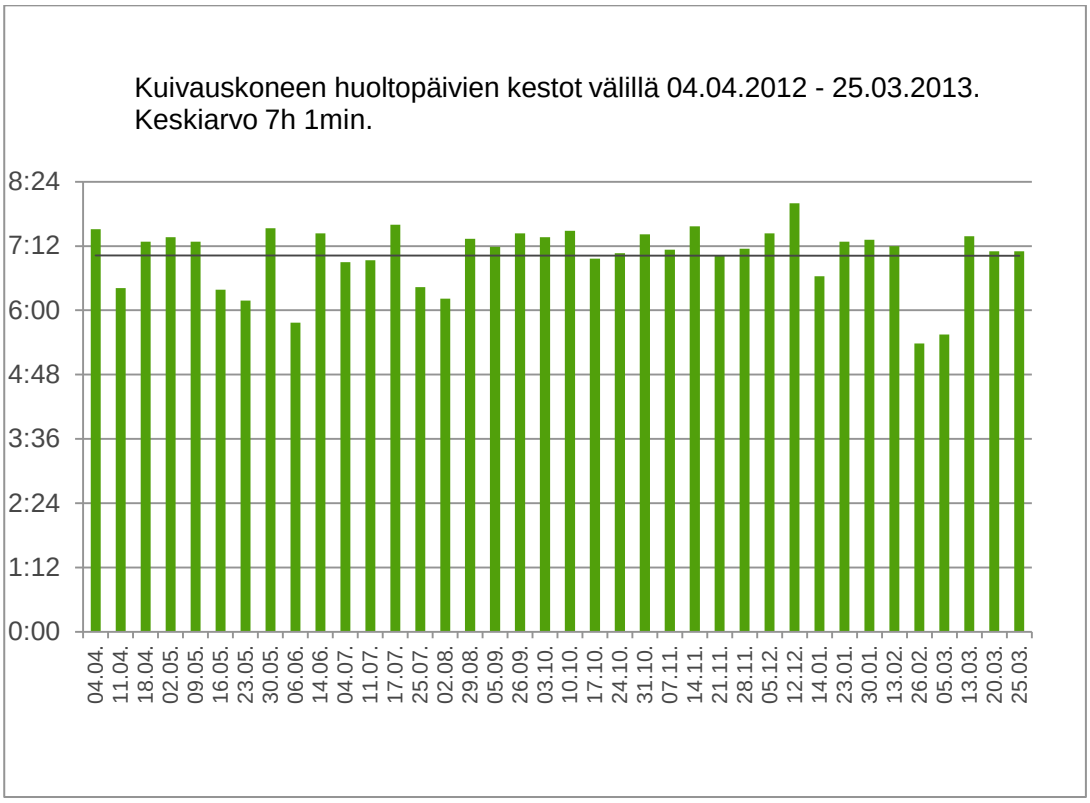


Kuva 35. Kuivauskoneen KNL-luku verrattuna muihin arvioituihin tuotantoprosesseihin.

11.3. Huoltopäivien vaikutus

Huoltopäivät ovat nykyisellä ajomallilla pakollisia pysähdyksiä, joiden sykli on kerran viikossa keskiviikkoisin. Suunnitellulla huoltopäivän aikataulutuksella voidaan aikatauluttaa erilaisten huolto- ja korjaustoimenpiteiden oikeaa ajoitusta ja käyttää siten resurssit mahdollisimman tehokkaasti.

Tarkastelemalla tehdasraportointia kautta huomataan siivoushuoltojen kestävän keskiarvona noin 7 h, kuten kuvasta 36 havaitaan.



Kuva 36. Huoltopäivien kesto otsikon ajanjaksolla tehdasraportoinnista.

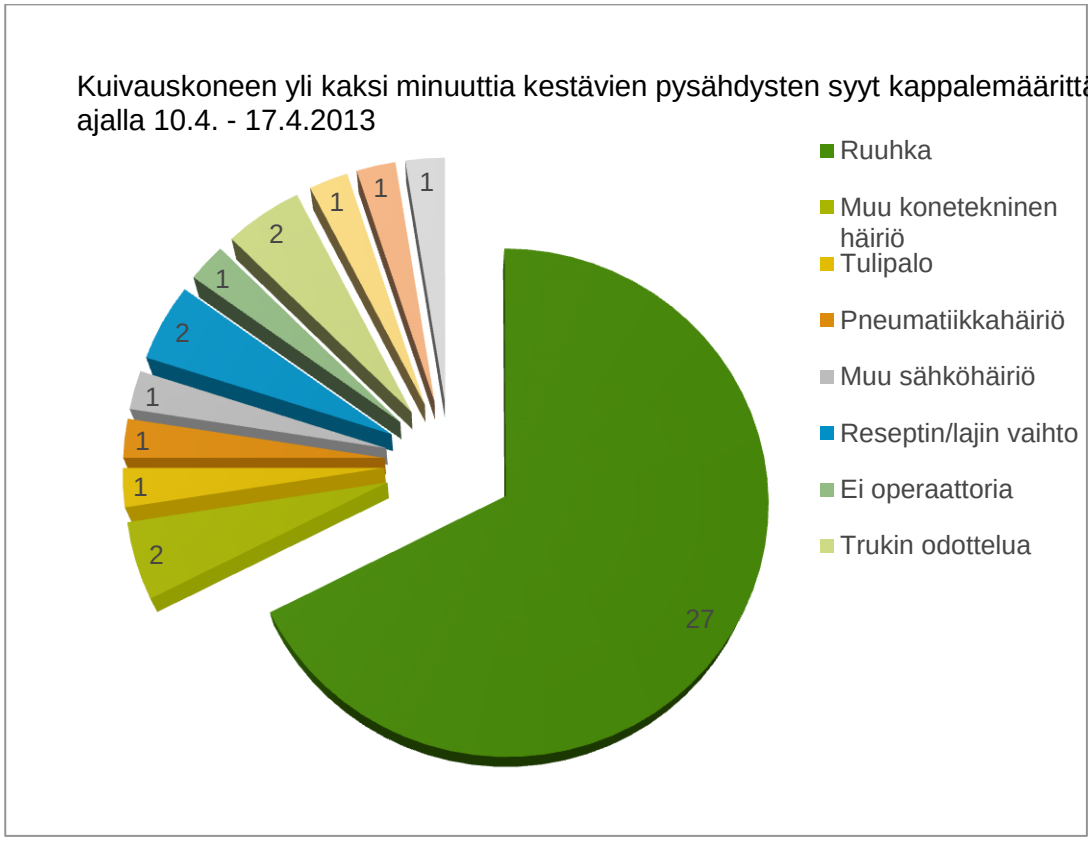
Syyt huoltopäivien keston vaihteluihin eivät ole yksiselitteisiä. Kuvasta 36 on poistettu sellaiset huoltopäivät, jotka syyllä poikkeavat normaalista huoltopäivästä. Tällaisia syitä ovat

- Tulipalojen vaikutukset
- Ruuhkien purkaminen
- Varaston täyttyminen
- Resurssipula siivouksessa
- Edellisestä tai seuraavasta prosessin vaiheesta johtuva
- Loma-ajat

11.4. Tehollisen ajoajan jakautuminen

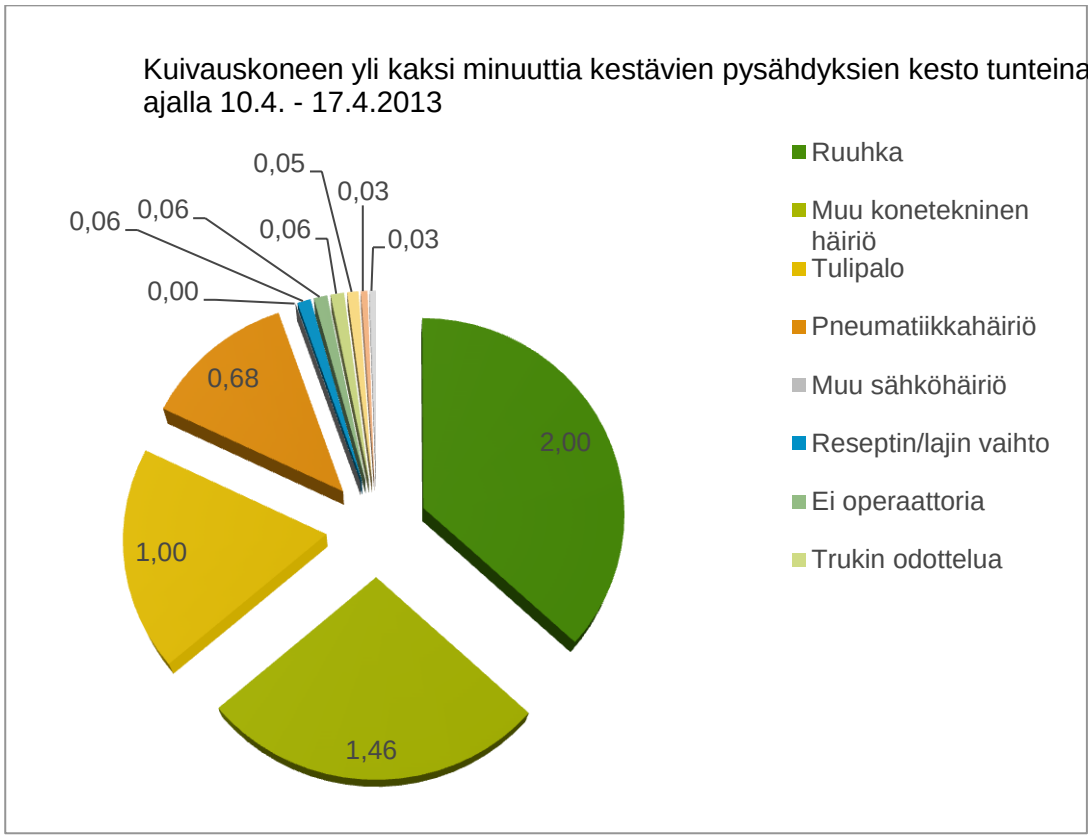
Ajoajan jakautuminen jaettiin niin, että tuotannon viikoittaiset siivoukset ryhmitettiin tuotannon huoltoon. Samaan kategoriaan luokiteltiin myös tulipalojen tai ruuhkien aiheuttamat pysähdykset. Suunnittelemattomat korjaukset luokiteltiin kunnossapidolliseksi häiriöksi. Ei annettua syytä –häiriöt ovat alle kaksi minuuttia kestäviä pysähdyksiä, joiden syytä selvitetään. Vuositasolla lyhytpysähdyksiin kuluu huomattava osa tehollisesta ajoajasta.

Tehdasraportoinnin perusteella saatiin yli kaksi minuuttia kestävien pysähdysten jakaumat kuvien 37 ja 38 mukaisiksi. Kuvasta 37 voidaan havaita, että ruuhkat aiheuttavat kappalemääräisesti 67 %:a pysähdyksistä.



Kuva 37. Pysähdyksien syyt kuivauksessa kappaleittain otsikon ajanjaksolla.

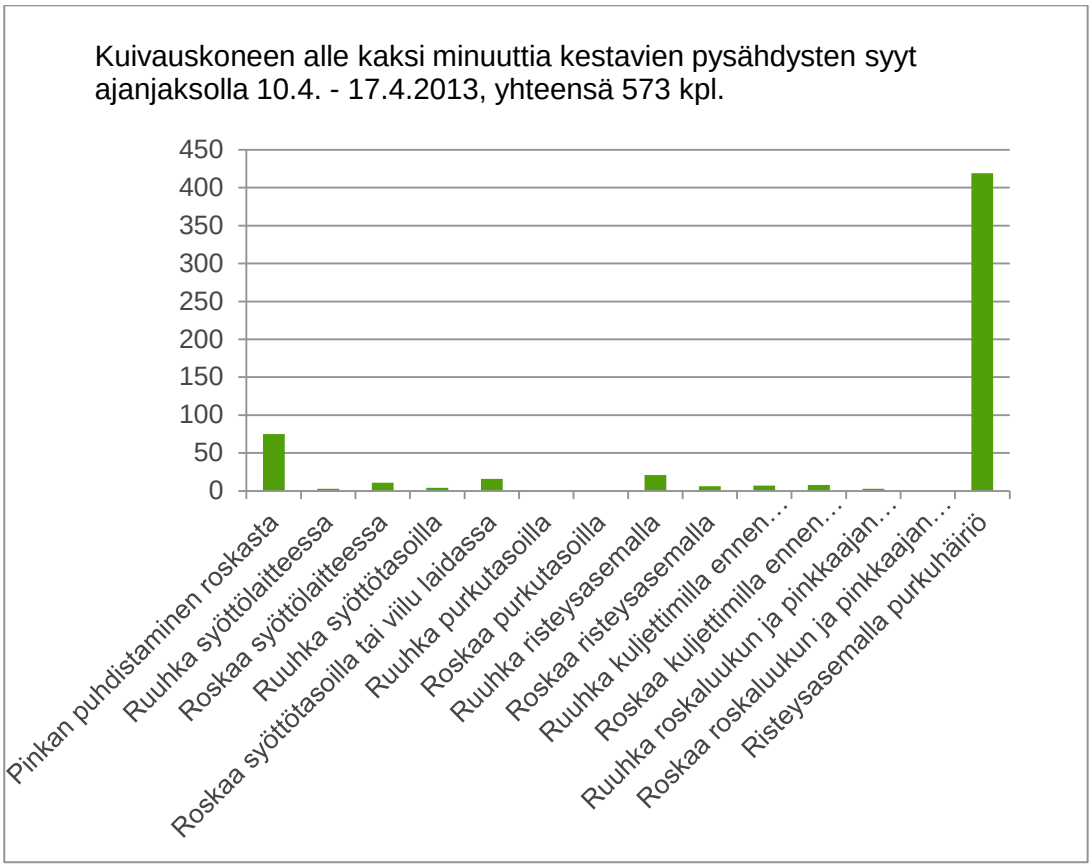
Kuvasta 38 havaitaan eri pysähdyksiin kuluvan ajan jakaumasta, että ruuhkiin ja koneteknisiin häiriöihin kuluu lähes 64 %:a kaikista pysähdyksistä.



Kuva 38. Pysähdyksien kesto kuivauksessa otsikon ajanjaksolla.

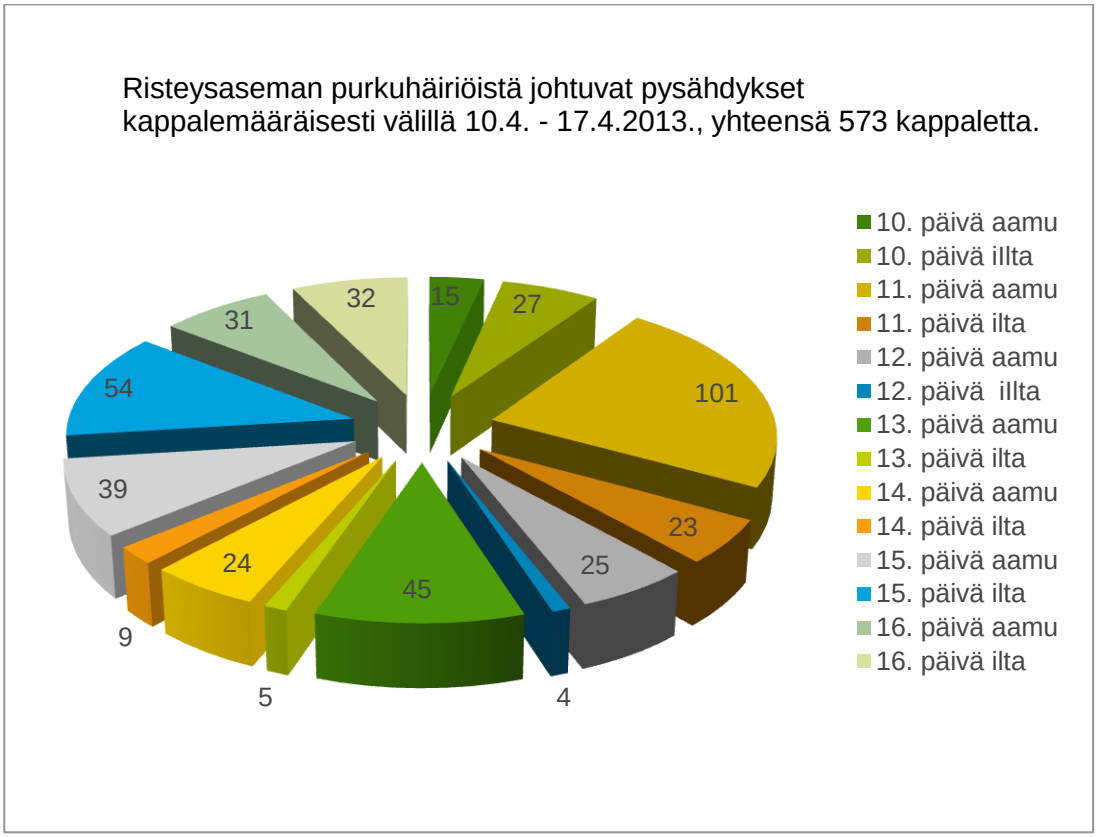
Ruuhkan aiheuttamien pysähdysten sijaintipaikka voi kuivauskonelinjassa olla niin useassa kohdassa, että juurisyyn selvittäminen vaatisi uuden tutkimuksen.

Lyhyiden pysähdyksien syiden selvittämistä varten laadittiin seurantakaavake (liitteet 2 ja 3), joihin operaattorin kuivaajan syötössä ja kuivalajittelussa merkitsivät syyt tuotantokatkoksiin, jotka kestivät alle kaksi minuuttia. Kaavakkeissa oli arvioitu eri häiriömahdollisuudet mahdollisimman kattavasti. Kuvasta 39 havaitaan risteysaseman pukuhäiriöiden olevan merkittävin kappalemääräinen pysähdysten aiheuttaja.



Kuva 39. Pysähdyksien syyt kuivaus-lajittelulinjassa ajanjaksolla 10.4. - 17.4.2013.

Risteysasemahäiriöt nousivat kappalemääräisesti suurimmaksi pysähdysten aiheuttajaksi. Pysähdysten päivittäisessä jakaumassa oli melko suurta vaihtelua, syynä mataliin pysähdyksiin risteysasemalla on kosteimpien, M_1- ja M_2–luokan vaatima hidas ajonopeus. Tällöin risteysasema ehtii purkamaan kuivaajan syöttämät viilut. Kuvassa 40 on esitetty risteysaseman purkuhäiriöiden jakauma työvuoroittain perustuen seurantatutkimukseen.



Kuva 40. Otsikon ajanjaksolla risteysasemahäiriöt kappaleittain seuranta-tutkimuksessa.

Kaaviosta huomataan, että risteysaseman häiriöiksi luokiteltavat pysähdykset jakautuvat huomattavan epätasaisesti ajanjaksolle. Lukumääräisesti korkeimman pysähdysten ajanjaksolla kuivattavana on ollut kuivimman, M_3-luokan viilua, jonka kuivausnopeus on suurin.

11.5. Ruuhkien syntymisen syyt

Seurantatutkimuksen perusteella viilut kääntyvät kuivauskoneesta ulostulleessaan niin, että vasemmanpuoleinen viilu kääntyy vastapäivään ja oikeanpuoleinen myötäpäivään. Ylimmältä purkutasolta tulevat viilut, pysähtyessään odottamaan vuoroaan hihnakuljettimelle, kääntyvät satunnaisesti lisää. Kuvassa 41 on ylimmältä kuivaustasolta telakuljettimelle puretut viilut kääntyneenä. Telakuljettimen telat ovat kohtisuorassa kuivauskoneeseen nähden.

Kuva 41. Purkulaitteella kääntyneet viilut.

Ylimmältä purkaustasolta tulevat viilut kääntyvät satunnaisesti lisää tippuessaan hihnakuljettimelle. Tämä aiheuttaa sen, että viilut eivät aina käänny vasteeseen nähden kohtisuoraan. Vinossa seuraavalle kuljettimelle kulkevat viilut osuvat satunnaisesti päällekkäin risteysasemalla ja tai osuvat rakenteisiin aiheuttaen ruuhkan.

Kuivauskoneeseen syötetään myös viiluja, jotka ovat reunavajaita. Nämä viilut saumataan saumauskoneella kuivauksen jälkeen ja käytetään väliviiluina vanerin valmistuksessa. Lisäksi kuivaukseen syötetään viiluja, joiden päät ovat reunaltaan jo syötettäessä halkireunaisia. Tällaisten viilujen törmääminen vasteeseen aiheuttaa satunnaisesti päiden vaurioitumisen. Mikäli vauriokohta on suuri, lajittelukamera hylkää sen uudelleen saumattavien viilujen lokeroon.

11.6. Kuivauskoneen ajoparametrien vaikutus risteysasemaan

Kuivauskoneeseen syötettävien viilujen välimatkaa säädetään ohjauspaneelista potentiometrillä, jossa suurempi lukuarvo tarkoittaa suurempaa viilujen välimatkaa ja pienempi lukuarvo lyhyempää välimatkaa. Kuivattaessa M_1-luokan viilua, on

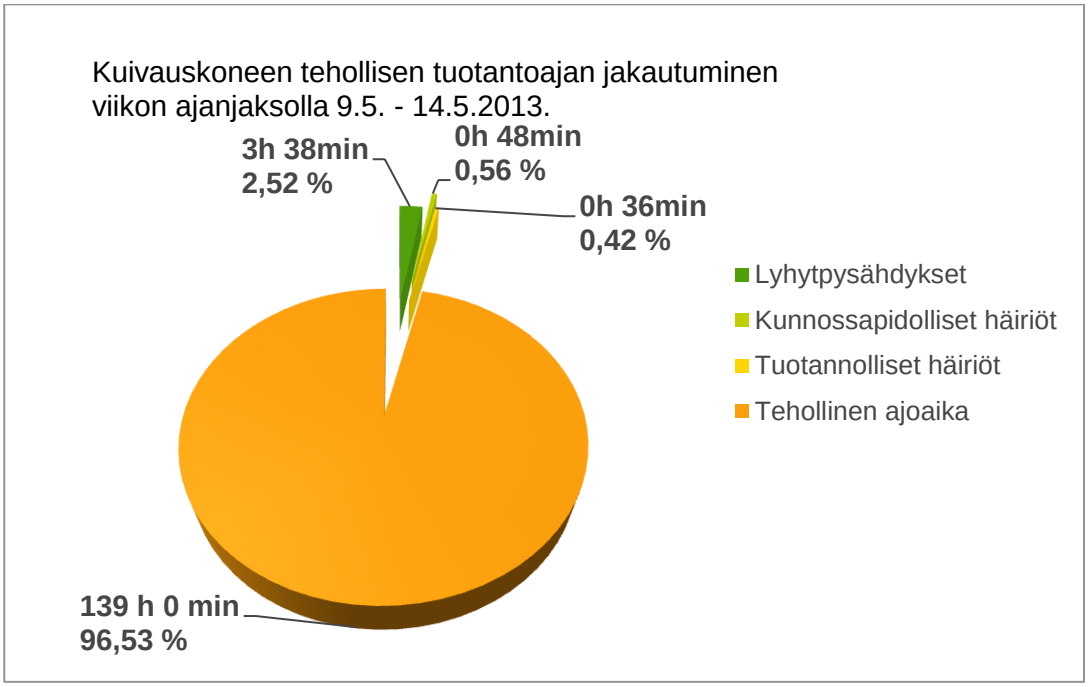
ohjeena asettaa viilujen väliseksi etäisyydeksi ohjauspaneelissa 50, jolloin viilujen välinen etäisyys on pienimmillään. Kuivausnopeutena on tällöin noin 10.5 m/min. Risteysasemalla viilujen välinen etäisyys täällä välimatkalla on niin pieni, että ruuhkien syntyminen on kokemusperäisesti hyvin todennäköistä. Operaattorin asettaessa välimatkaksi ohjauspaneelista arvoksi 53, on kuivausnopeus hieman pienempi, joka kompensoituu sillä, ettei ruuhkien purkamiseen kulu tuotannollista aikaa. /3/

11.6.1. Parannusehdotus

Asentamalla ylimmäiseen purkauskuljettimen kahden viimeisen telan väliin vaste, johon viilut osuisivat ja kääntyisivät oikeaan asentoon, ehkäisisi kääntymisen vaikutuksia. Purkauskuljettimella kulkevien viilujen nopeus on niin alhainen, että viilun vaurioitumisen riski pienenee verrattuna risteysasemalla vasteella oikaisemiseen. Lisäksi viilut pysähtyvät odottamaan purkuvuoroaan purkauskuljettimella, jolloin oikaisemisesta ei seuraa tuotannon alenemaa.

12. Tehollinen tuotantoviikko

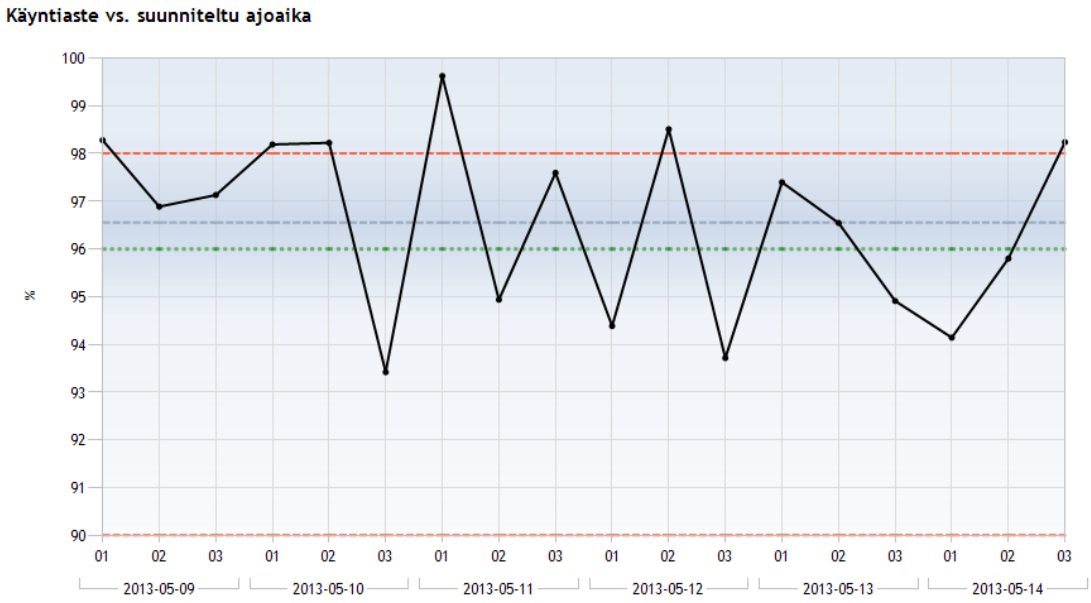
Epätarkkojen merkintöjen takia tehdasraportoinnista etsittiin sellainen ajanjakso, jolloin ei tapahtunut konerikkoa tai tulipaloa. Ajanjaksolla 9.5. – 14.5.2013 oli häiriötön tuotanto-viikko. Ajankäytöllisesti viikko jakautui seuraavan kuvan 42 mukaisesti.



Kuva 42. Häiriöttömän tuotantoviikon aikajakauma.

Kuvasta 42 havaitaan, että lyhytpysähdyksiin kulunut aika on huomattavasti suurempi kuin erilaisiin kunnossapidollisiin ja tuotannollisiin häiriöihin kulunut aika. Kuva 42 vahvistaa edelleen lyhytpysähdysten korkeaan lukumäärään sitoutunutta tuotantoaikaa.

Käyntiasteen vaihtelut eri vuorojen välillä lähes 6 %-yksikköä. Kuvasta 43 nähdään käyntiaste verrattuna suunniteltuun ajoaikaan vuoroittain. Syitä käyntiasteen vaihteluihin ei ole kyseisellä ajanjaksolla selvitetty.



Kuva 43. Häiriöttömän viikon käyntiaste.

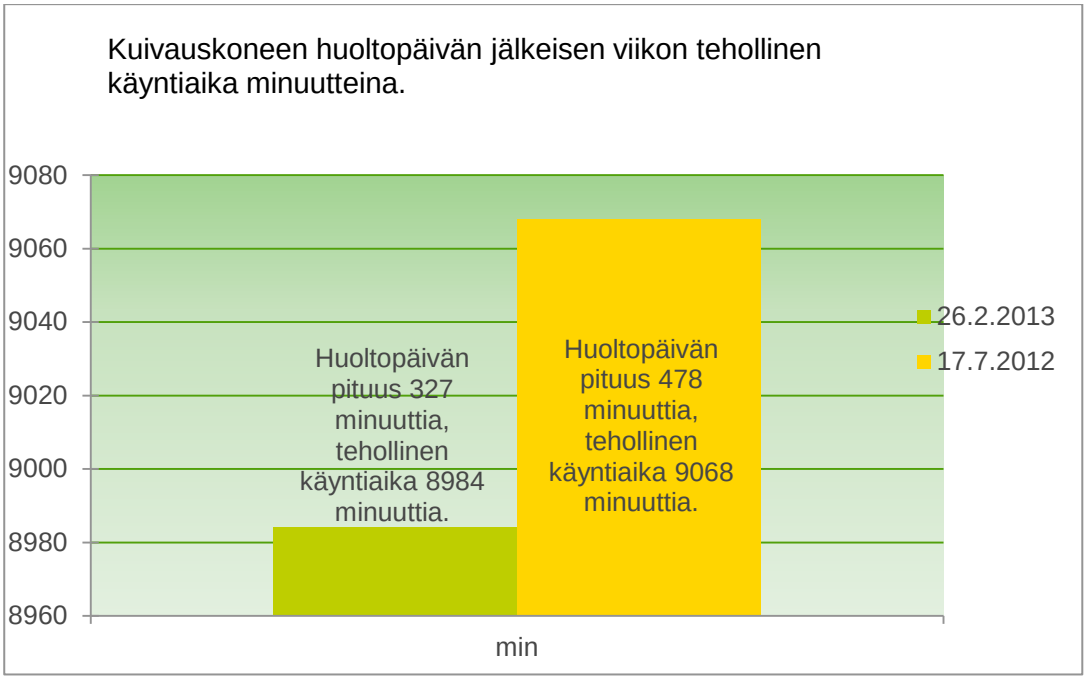
Käyntiasteeseen keskiarvo on luettavissa sinisellä katkoviivalla 96,55 %:in, koska pitkäkestoisia pysähdyksiä tai korjauksia ei ajanjaksolla ollut. Tavoitteeksi on asetettu punaisella katkoviivalla merkitty 98 %:a.

12.1. Huoltopäivän pituuden vaikutus tuotantoon

Tehdasraportoinnista havaittiin huoltopäivien keston vaihtelevan 26.2.2013, 327 minuuttia ja 12.12.2012 480 minuuttia. Oletusarvoisesti voisi olettaa, että lyhyessä huoltopäivässä siivoushuolto on tehty huolimattomammin kuin pidemmässä huollossa ja täten vaikuttaa seuraavan viikon tuotantomääriin. Käyttöilmoituskannasta löytyi syy siivoushuollon viivästymiseen 12.12.2012, joka oli resurssipula. Koska tekijöitä ei kyseisenä päivänä ollut normaalia määrää, sitä ei voida pitää verrokkipäivänä muihin verrattuna. Seuraavaksi pisin huoltopäivä on ollut 17.7.2012, kestoltaan 478 minuuttia.

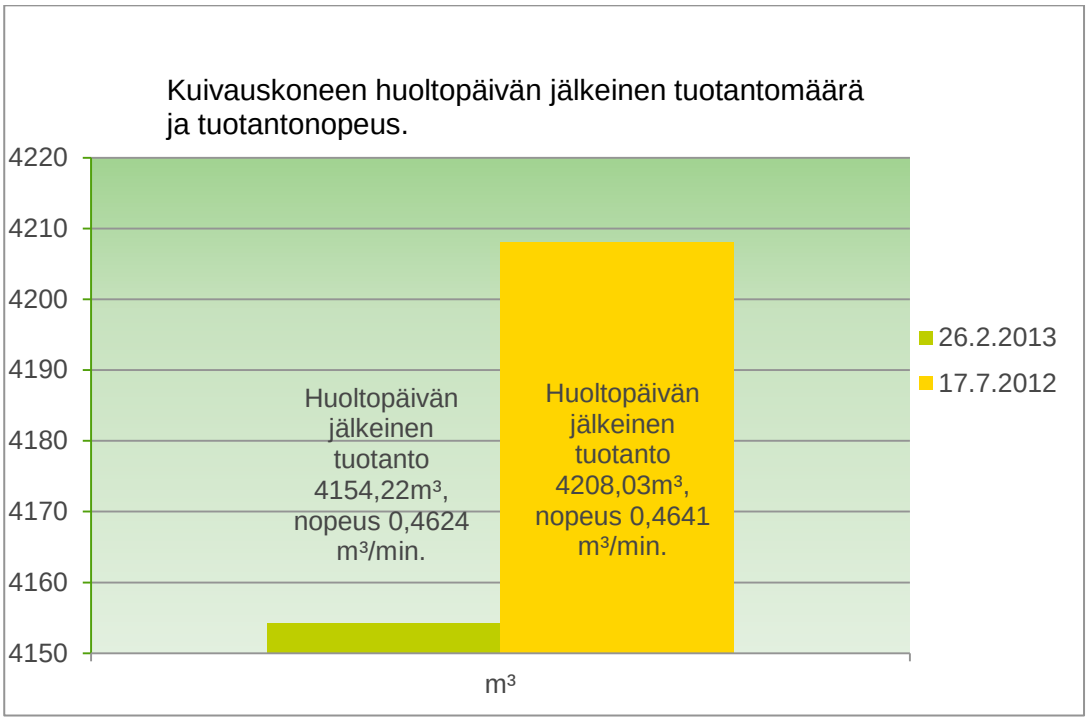
Häiriöilmoituskannasta, SAP-järjestelmästä sekä tehdasraportoinnista etsittiin kaikki pysähdysten syyt ja niiden kestot. Kuivauskoneessa ei ollut ruuhkaa tai konerikkoa, jotka aiheuttaisivat pysähdyksiä. Huoltopäivän vaikutuksen selvittämiseksi kuivaustehokkuuteen vähennettiin seuraavan viikon aikana kaikki häiriöt niin, että ajoajaksi jäi tehollinen ajoaika. Jotta seurantaviikot olisivat vertailukelpoisia, käsiteltiin huoltopäivän jälkeiset 20 vuoroa. Kuvassa 44 esitetään

vertailutaulukkona lyhyen ja pitkän huollon jälkeisen 20:n vuoron tehollista tuotantoaikaa.



Kuva 44. Huoltopäivän jälkeisen viikon tehollinen tuotantoaika.

Oletusarvoisesti pidempään kestäneen huoltopäivän seurauksena on paremmin puhdistettu kone ja sitä kautta suurempi tuotanto sekä nopeampi kuivaustehokkuus. Kuvassa 45 esitetään huoltopäivän jälkeisten viikon tuotantomäärä ja kuivausnopeus.



Kuva 45. Huoltopäivän jälkeisen viikon tuotantomäärä ja –nopeus.

Tehdasraportoinnin ja edellisten kaavioiden perusteella ei voida vetää johtopäätöstä, että pidempään kestänyt huoltopäivä aiheuttaisi merkittävästi parempaa tuotantomäärää tai nopeuttaisi aikayksikössä saatua kuutiomäärää.

13. Pohdinta

Operaattoreiden säätämät ajonopeudet poikkeavat joiltakin osin ohjeissa määritellyistä ajoparametreista. Kokemusperäisesti säädetyt nopeudet ovat kompromissi tuotantotehokkuuden maksimoinnin ja pysähdysaikojen minimoinnin välillä. Operaattorit, joiden palkkaus on osaltaan tuotantoperusteista, osaavat kokemusperäisesti säätää kuivausnopeuden kosteusmittarin perusteella mahdollisimman korkeaksi ja viilujen syöttövälin niin pieneksi, kuin risteysaseman toiminta sen sallii

Erilaisia puhdistusmenetelmiä käyttämällä kuivauskoneen likaantumisen estävillä laitteistoilla on potentiaalia tuotantotehokkuuden kasvattamisessa. Puhdistuslaitteiden automatisoinnilla ja yksinkertaisilla ratkaisuilla saadaan aikaiseksi korkealla panos-tuotos -suhteella toimivia laitteita.

Tutkimuksessa löydettiin myös sellaisia koneteknisiä ratkaisuja, joita ei haluta julkiseen jakeluun luottamuksellisuuden sekä yhtiön kilpailullisen edun takia. Tästä syystä erilaisia asiaa selventäviä taulukoita ja kuvia on jouduttu jättämään pois. Poisjätetyt kohdat saattavat antaa lukijalle hämäävän kuvan asioiden tarkastelun tarkkuudesta ja syvällisyydestä.

13.1. Objektiivisuus

Häiriö- ja käyntiajat on saatu analysoimalla tuotantoraportteja niin kuin ne on tietokantaan kirjattu. Kehitysehdotukset ovat tutkimuksessa tulleita päätelmiä, joiden kriteereinä ovat olleet toimintavarmuus, yksinkertaisuus sekä kustannustehokkuus.

Seurantatutkimusosion kaavakkeen laadinnassa huomioitiin sellaiset tekijät, jotka prosessiin vaikuttivat. Operaattoreille annetuissa ohjeissa heitä kehotettiin täyttämään virheilmoitukset mahdollisimman totuudenmukaisesti, jolloin tulokset ovat valideja. Eroavaisuuksia häiriöiden kappalemäärien vaihteluissa pidetään täysin mahdollisena.

13.2. Reliabiliteetti ja validiteetti

Analysoitujen tuotanto- ja häiriömäärien validiteettia, jolla tuotantoa seurataan, ei voida kyseenalaistaa. Automaattinen tehdastason tiedonkeruu on sekä tuotannonsuunnittelun ja sitä kautta koko tehtaan toiminnon kannalta ehdoton, jolla pystytään määrittelemään vapaata kapasiteettia ja toimitusaikoja asiakkaille. Reaaliaikaisena toimivan tuotannonseurannan kautta pystytään reagoimaan erilaisiin odottamattomiin muutoksiin mahdollisimman nopeasti.

Riippumatta tutkimuksen tekijästä, ongelmat ja niiden ratkaisut määritellyillä reunaehdoilla olisivat toistettavissa. Toimintojen pysyessä prosesseissa samoina, eivät ongelmatkaan muutu. Tieto, jota analysoitiin reaaliaikaisen tiedonkeruun tiedoista, sisältää vuoden ajanjaksolla 974 kappaletta työvuoroja, joista yhdeksän kappaletta oli merkitty virheellisesti. Vuorokautiset tapahtumat ryhmitellään kolmeen eri työvuoroon. Tarkempia tuloksia halutessa voidaan tapahtumat jakaa työvuorokohtaisesti.

13.3. Virhe- ja herkkyystarkastelu

Virhe- ja herkkyystarkastelun tarkoituksena on arvioida etukäteen lisättävien laitteiden vaikutuksia prosessiin. Laitemuutoksiin sisältyy prosessiin vaikuttavia epävarmuustekijöitä, joita ei pystytä arvioimaan sillä tarkkuudella, että voidaan varmasti sanoa niiden olevan ainoastaan positiivisia vaikutuksia. Erilaiset viilujen kiinnijäämiset sekä ruuhkautumiskohdat puhalluspalkin kohdalla tai suodatinverkon toimimattomuus vaikuttavat prosessiin tehokkuutta alentavasti. Taulukossa 4 on esitetty virhe- ja herkkyystarkastelu virhetoimintojen kannalta sekä vaikutus kuivausprosessiin.

LAITE	TOIMINTO	VAIKUTUS	KÄYTÖSSÄ	VAIKUTUS PROSESSIIN	MUUTOS NYKYTILAAN
Kuorimakone	Irtoripojen käyttäminen	Pintaviilun rikkoutumisen estäminen	Kyllä	Pintaviilulaadun paraneminen	Parantava
			Ei	Laatu pysyy ennallaan	Ennallaan
Puhalluslaite	Viilujen puhdistus	Roskien poisto	Kyllä	Tuotantotehon paraneminen	Parantava
			Ei	Tuotantotehon säilyminen	Ennallaan
Salattavaa	Salattavaa	Salattavaa	Kyllä	Salattavaa	Salattavaa
			Ei	Salattavaa	Salattavaa
Purkurullaston vaste	Viilun oikaiseminen	Paikoitustarkkuuden paraneminen risteysasemalla	Kyllä	Tuotantotehon paraneminen	Parantava
			Ei	Tuotantotehon säilyminen	Ennallaan

Taulukosta 4 voidaan havaita eri laitteiden vaikutus tuotantoon. Mikäli joku laitteistosta olisi epäkuntoinen, ei sen arvioida vaikuttavan tuotantoon negatiivisesti.

13.4. Avaintulokset

Taulukossa 4 esitettyjen muutosten vaikutukset kuivausprosessiin ovat havainnoitavissa tuotantomäärän muutoksissa verrattaessa ajanjaksoja ennen ja jälkeen tehtyjen laitteistomuutosten.

Kiertoilmapattereiden lamellien likaantumisen vähenemisen muutos on huomattavissa siivoushuollon aikana silmämääräisesti. Vähentyneen puhdistustarpeen tulisi vähentää siivoushuoltoon kuluvaa aikaa ja nostaa osaltaan tuotannollista hyötyaikaa.

Jos kuivausnopeutta haluttaisiin nostaa niin korkeaksi kuin kuivauskoneen kapasiteetti mahdollistaa, on risteysaseman toimintaa parannettava. Kuivauskoneen tuotantokyky ohuella viilulla on korkeampi kuin risteysasema pystyy nyt käsittelemään. Viilujen rikkoutuminen vähenisi, mikäli risteysaseman vasteeseen osuvat viilujen osuma olisi kohtisuora nykyiseen vinottain osumiseen verrattuna.

Huoltopäivän pituudella ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta tuotantomäärään, vaihteluväli nopeimman ja hitaimman siivoushuollon jälkeen on lähes merkityksetön. Seurauksena huoltopäivän resurssien oikea kohdentaminen sekä tehtävien töiden tehostaminen kuivaajan pysähdysaikana antaa lisää tehollista kuivausaikaa.

13.5. Tulosten uutuusarvo

Tutkimuksen ratkaisut ovat kirjallisuuden sekä tietolähteiden perusteella osin ainutkertaisia ja ennen hyödyntämättömiä. Toisaalta voidaan arvioida myös potentiaalin olevan kilpailevien toimijoiden oman liiketoiminnan kannalta selvä kilpailuetu, ettei sitä haluta julkisesti tiedottaa. Saatuja ratkaisuja ja toimintomalleja voidaan käyttää arkkeina kuivattavien viilujen valmistusprosessissa muissa tuotantolaitoksissa, joissa prosessilaitteet ovat yhteneväisiä.

13.6. Jatkotutkimusaiheet

Kehittämällä laitteistoja niin, että kuivausprosessin aikana putoavat oksat saataisiin pois ennen kuivausprosessia, vähenisi pääasiallinen puhdistustarve huomattavasti. Koska kaikkia oksia tuskin saadaan poistettua ennen kuivauskonetta, suutinlaatikoihin ilmavirran mukana kulkeutuvien oksien eliminoiminen ja lattiapinnan puhdistaminen ajon aikana vähentäisi siivouksen johdosta tehtävien huoltopäivien tarvetta.

Lyhyet linjan pysähdykset ovat huomattavassa osassa, kun tarkastellaan käyttöasteen nostamista. Konerikkojen, tulipalojen tai ruuhkien aiheuttamat seisakkiajat on onnistuttu minimoimaan ennakoivalla kunnossapidolla ja huolellisella huoltopäivien korjaustoimenpiteillä. Kuivauskapasiteettiin nostavasti vaikuttavana tekijänä on huoltoon kuluvan ajan minimoiminen. Erilaisilla toimenpiteillä, millä siivoushuoltoon kuluva aikaa saadaan lyhennettyä, vaikutus näkyisi suoraan kuivattujen viilujen kuutiomäärissä.

Häiriöaikojen oikea kirjaaminen tehdasraportointiin oikealle häiriösyylle kohdistaa pysähdysten syyt niin, että toimintaa ja laitteita voidaan kehittää edelleen. Ohjeistuksessa tai tehtaan linjauksissa on ollut epäselvyyttä virheaikojen oikeassa kohdistamisessa.

Mikäli viilun kulkemaa matkaa kuivausosassa pystyttäisiin jatkamaan, se mahdollistaisi kuivausnopeuden nostamisen ja sitä kautta kuivatun viilun määrää. Rakenneteknisistä seikoista johtuen ei kuivaajan pituutta ole mahdollista jatkaa kohtuullisella vaivalla syöttö- tai purkupuolesta.

Kuivauskoneen tehollista kuivauspituutta voitaisiin kasvattaa, jos syöttötasot voitaisiin hyväksikäyttää viilun esilämmityskammiona. Esilämmityksen lämpötilan pysyessä niin alhaisena, että käytössä olevat paineilmasylinterit ja niiden siirtolinjat eivät vaurioidu kuumuuden seurauksena, ei myöskään tulipaloriski kasva huomattavan korkeaksi.

Viilun puhdistamisen sekä ala- että yläpuolisella puhalluksella vähentäisi oletettavasti lisää likaantumisvaikusta. Viilujen alapintaan on saattanut tarttua roskaa, joka kulkeutuu kuivauskoneeseen huolimatta mekaanisesta kontaktista kuljetinteloihin.

Lähdeluettelo

[1] Hetemäki, Lauri. Harstela, Pertti. Hynynen, Jari. Ilvesniemi, Hannu. Uusivuori, Jussi. 2006. Suomen metsiin perustuva hyvinvointi 2015. Katsaus Suomen metsä-alan kehitykseen ja tulevaisuuden vaihtoehtoihin. Metlan työraportteja 26. 250 s.

[2] Liker, Jeffery K. (Suomentanut Marko Niemi), 2006. Toyotan tapaan. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. 323 s.

[3] Metsäteollisuuden tietopalvelu. Vanerit ja muut puulevyt. [Metsäteollisuus Ry:n www-sivuilla] Päivitetty 6.9. 2012. [viitattu 12.10.2013]. Saatavissa: http://www2.metsateollisuus.fi/Infokortit/vaneritjamuutpuulevyt03/Sivut/default.aspx

[4] Puulevyjen tuotanto Suomessa. [Metsäteollisuus Ry:n www-sivuilla] Päivitetty 3.3 2013. [viitattu 12.10.2013]. Saatavissa: http://www2.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/tilastokuviot/levyteollisuus/Forms/DispForm.aspx?ID=40&RootFolder=%2ftilastopalvelu2%2ftilastokuviot%2flevyteollisuus%2fJulkinen-FI

[5] Metsäteollisuus tilastoina ja graafeina Levyteollisuus. Päivitetty 18.4., 2013. [viitattu 12.10.2013]. Saatavissa: http://www2.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/Tilastokuviot/levyteollisuus/Forms/AllItems.aspx

[6] Wood Based Panels International. News. Päivitetty 10.3. 2010. [viitattu 17.9.2013]. Saatavissa: http://www.wbpionline.com/news/earthquake-hits-chilean-panel-industry/

[7] Woodworking Network. News. Päivitetty 1.4.2012. [viitattu 17.9.2013]. Saatavissa: http://www.woodworkingnetwork.com/news/woodworking-industry-news/Forest-Fire-Destroys-Arauco-Plywood-Plant-136658383.html#sthash.Vn96x0Bq.dpbs

[8] Vanerin valmistusprosessi. UPM esitysaineisto. [UPM Oyj:n www-sivuilla]. Päivitetty 31.12.2012. [viitattu 18.8.2013]. Saatavilla: http://www.wisaplywood.com/en/plywood-and-veneer/plywood/plywood-production-process/Pages/default.aspx

[9] Jääskeläinen, A-S. Sundqvist, H. 2007 Puun rakenne ja kemia. Otatieto. Helsinki.

[10] Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna.

[11] Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Metsälehti Kustannus. Helsinki.

[12] Kärkkäinen, M. 1971a. Puun rakenteesta ja ominaisuuksista. Ylioppilastuki ry. Helsinki.

[13] Viilunkuivaus- ja lajittelulinjan käyttöohjeet asiakkaalle. Yleistä viilunkuivauksesta. Raute Oyj. 2001.

[14] Isomäki, Koponen, Nummela, Suomi-Lindberg. 2002. Puutuoteteollisuus 2: Raaka-aineet ja aihiot. 1. painos. Edita Prima Oy. Helsinki

[15] Koponen H. 2002. Puulevytuotanto. Helsinki. 210 s. Opetushallitus.

[16] Viilun kuivaus. Raute Oyj:n esitysaineisto. [Raute Oyj:n www-sivuilla] Päivitetty 18.8.2013 [viitattu 18.8.2013] Saatavilla: http://www.raute.fi/veneer-drying

[17] Baldwin, R. 1995. Plywood and veneer-based products: Manufacturing Practices. Miller Freeman. San Francisco. 388 s. ISBN: 0-87930-371-9.

[18] Roottorikuorinta. [Valon Kone Oy:n www-sivuilla]. Päivitetty 18.9.2013. [viitattu 18.9. 2013]. Saatavissa: http://www.valonkone.com/roottorikuorinta/vk-asiakkaat/

[19] Puuproffa. Viilun valmistus. Päivitetty 16.9. 2013. [viitattu 16.9.2013] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=155&Itemid=231

[20] Energiatehokkaat paineilmaa käyttävät laitteet. Opas energiatehokkaiden paineilmaa käyttävien laitteiden hankintaan ja kohdejärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen. Motiva 2010. 33 s. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/4182/Energiatehokkaat_paineilmaa_kayttavat_laitteet.pdf

[21] Products. Blowoff Comparison. [Exair Corporationin www-sivuilla.] Updated September 19, 2013. [viitattu 18.9.2013]. Saatavissa: http://www.exair.com/en-US/Primary%20Navigation/Products/Air%20Knives/Pages/Blowoff%20Comparison.aspx

[22] Products. How Air Knife Work. [Exair Corporationin www-sivuilla.] Päivitetty 19.9.2013. [viitattu 18.9.2013]. Saatavissa: http://www.exair.com/en-US/Primary%20Navigation/Products/Air%20Knives/Pages/How%20the%20Super%20Air%20Knife%20Works.aspx

[23] Työterveyslaitos. Työmelun raja- ja toiminta-arvot. [Työterveyslaitoksen www-sivuilla]. Päivitetty 23.4.2010. [viitattu 18.9.2013]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_toiminta_arvot/sivut/default.aspx.

[24] Products. Calculate Air Savings. [Exair Corporationin www-sivuilla.] Päivitetty 19.9.2013. [viitattu 18.9.2013]. Saatavissa: http://www.exair.com/en-US/Primary%20Navigation/Products/Air%20Knives/Pages/Calculate%20Air%20Savings.aspx

[25] Larjola, J. Jaatinen, A. 2012. Pumput, puhaltimet ja kompressorit. Opintomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

[26] Ventilátory Combifab -esitysaineisto. [Envirotech S.RO. www-sivuilla]. Päivitetty 14.4.2013. [viitattu 14.10.2013].
Saatavissa:
http://www.envirotech.sk/katalog/produkty/ventilatory/combifab.pdf

[27] Hämäläinen, T. 2007. Vakiosyklonierottimen toimintaperiaatteet, mitoitusmenetelmät ja mitoitus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Kandidaatintyö. Saatavissa: http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe200801221040

[28] Ohlström, M. 1998. Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 147 s. ISBN 951-38-5403-5 Saatavissa: http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1934.pdf

[29] Alley, F.C & Cooper, David C. 1986. Air pollution control a design approach. Yhdysvallat. 629 s. ISBN 0-88133-521-5

[30] Hoffmann, A.C. Stein, L.E. 2002. Gas cyclones and swirl tubes. Saksa: Springer – Verlag. Berlin Heidelberg. 334 s. ISBN 3-540-43326-0

[31] Reivilä, S., Varis, A. 2013. Automaatioväylä-lehti. Käytettävyydestä vahva kilpailutekijä. [Automaatioväylä-lehden www-sivuilla]. Päivitetty 2.4.2013. [viitattu 18.8.2013]. Saatavissa:
http://www.automaatiovayla.fi/images/stories/lehdet/Automaatiovayla2_2013.pdf

[32] Tilkar, A.K. Nagaich, R. International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development Issue 3, Vol.1 (January 2013). [viitattu 12.10.2013]. ISSN 2249-6149. Saatavissa: http://rspublication.com/ijeted/jan13/63.pdf

[33] Mitä on tuotantolaitteen kokonaistehokkuus (OEE)? [Fastems Oy Ab www-sivuilla] Päivitetty 10.10 2013. [viitattu 12.10.2013]. Saatavissa: http://fadector.fastems.com/OEE.php?tab=3

HAASTATTELUT

/1/ Haastattelu tuotantopäällikkö Jani Kattilakoski 4.5.2013

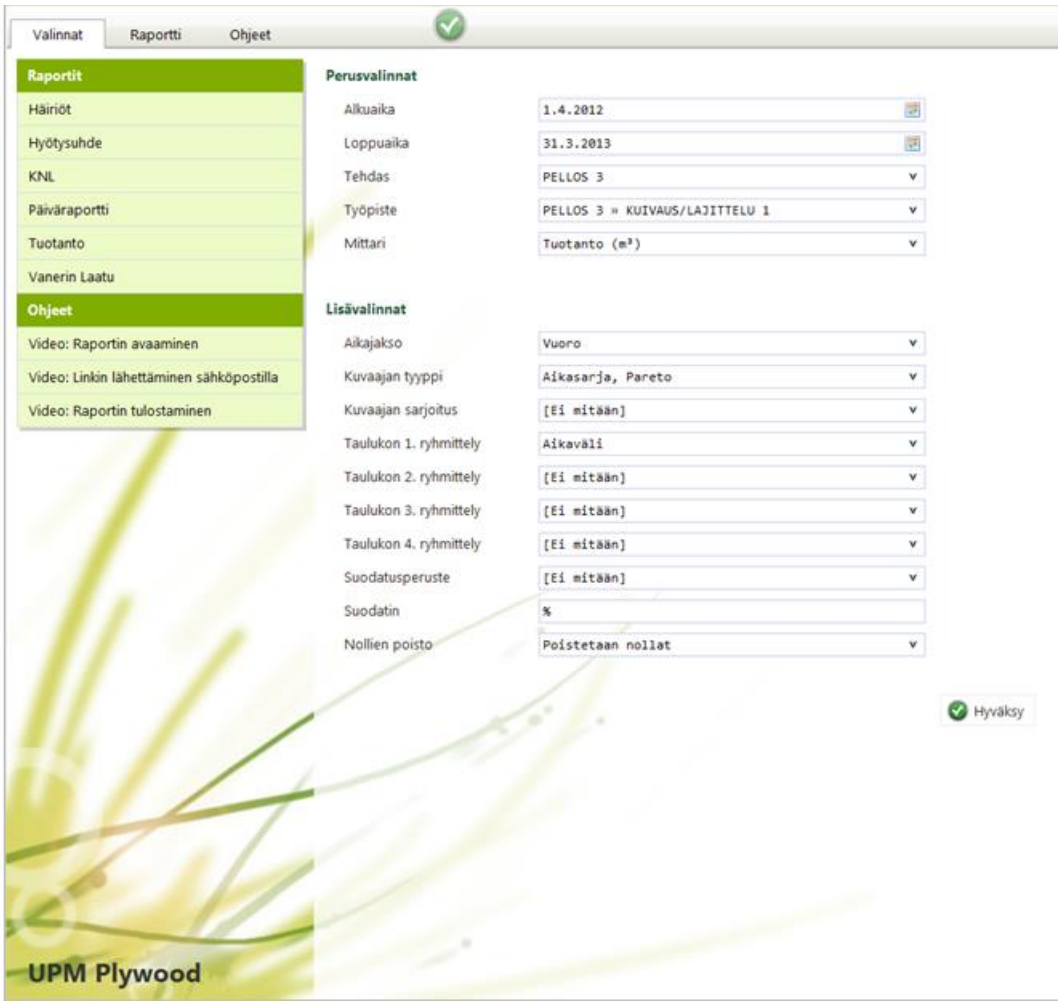
/2/ Haastattelu tuotantoinsinööri Ari-Pekka Tiainen 15.5.2013

/3/ Haastatteluita kuivalajittelulinjan operaattoreille 3.4. - 10.8.2013

Liitteet

Liite 1

Tehdasraportoinnin aloitussivu



Liite 2

Kyselykaavake kuivauskoneen syöttölaitteen operaattorille

Ilkka Husu
Pelloksen tehtaat
Konekorjaamo

Huhtikuu ____ päivä aamu ☐ ilta ☐

Kirjaaja _____

Kirjanpidon tarkoituksena on selvittää alle 2 minuuttia kestävien katkoksien syyt, joita ei muuten merkitä tiedonkeruuseen.
Katkokset merkitään yksi / ruutu.
Lomakkeita tulee täyttää jokaiselle vuorolle omansa, jotta saadaan tarkemmin selvitettyä juurisyitä.
Valmiit lomakkeet noudetaan työpisteestä aamuvuorossa tai seuraavana arkipäivänä.

Pinkan puhdistaminen roskasta																	
Ruuhka syöttölaitteessa																	
Roskaa syöttölaitteessa																	
Ruuhka syöttötasoilla																	
Roskaa syöttötasoilla																	

Muuta huomionarvoista asiaa: _____

Liite 3

Kyselykaavake kuivauskoneen kuivalajittelija-operaattorille

Ilkka Husu Huhtikuu ____ päivä aamu ☐ ilta ☐

Pelloksen tehtaat

Konekorjaamo Kirjaaja _____

Kirjanpidon tarkoituksena on selvittää alle 2 minuuttia kestävien katkoksien syyt, joita ei muuten merkitä tiedonkeruuseen.
Katkokset merkitään yksi / ruutu.
Lomakkeita tulee täyttää jokaiselle vuorolle omansa, jotta saadaan tarkemmin selvitettyä juurisyitä.
Valmiit lomakkeet noudetaan työpisteestä aamuvuorossa tai seuraavana arkipäivänä.

Ruuhka purkutasoilla															
Roskaa purkutasoilla															
Ruuhka risteysasemalla															
Roskaa risteysasemalla															
Ruuhka kuljettimilla ennen roskaluukkua															
Roskaa kuljettimilla ennen roskaluukkua															
Ruuhka roskaluukun ja pinkkaajan välissä															
Roskaa roskaluukun ja pinkkaajan välissä															
Risteysasemalla purkuhäiriö															