



Aaltopahvin käyryyden vaikutus jalostuskoneiden tuottavuuteen

Saara Valkonen

OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2020

Biotuote- ja prosessitekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka

SAARA VALKONEN:

Aaltopahvin käyryyden vaikutus jalostuskoneiden tuottavuuteen

Opinnäytetyö 48 sivua
Syyskuu 2020

Aaltopahvi on maailman käytetyin pakkausmateriaali ja käyryys sen olennaisin laatu-poikkeama. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin aaltopahvin käyryyden vaikutusta aaltopahvin jalostuskoneiden tuottavuuteen. Työn tilaaja oli DS Smith Packaging Finland Oy, jonka Tampereen tehtaan vuoden 2019 mittausdataan työ perustui. Työ ei sisältänyt kokeellista osuutta, vaan mittausdata saatiin toimeksiantajalta. Työn tavoitteena oli selvittää käyryyden esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä sekä sitä, millä tavoin ja kuinka paljon käyryys vaikuttaa jalostuskoneiden tuottavuuteen. Tavoitteena oli lisäksi laskea, kuinka paljon kustannuksia tulisi käyräksi arvioidun aaltopahvin ohjaamisesta suoraan hylkyyn. Laatu-poikkeamat aiheuttavat yritykselle kustannuksia, mutta niitä aiheuttavat myös panostukset poikkeamien vähentämiseen. Onkin olennaista kohdentaa laatu-poikkeamia ennaltaehkäisevät toiminnot oikein.

Työssä tarkasteltiin käyryyden esiintymisen riippuvuutta valmistuksen ja jalostuksen välisestä ajasta, jalostusajankohdasta, arkkikoosta ja aaltopahvilajista. Tässä menetelmänä käytettiin jakaumien koostamista sekä chin neliö -testausta. Lisäksi tutkittiin käyryyden vaikutusta ajonopeuksiin ja ajoaikoihin ja laskettiin niiden perusteella potentiaalisesti menetetty tuotanto (m^2) vuositasolla. Menetetylle tuotannolle laskettiin kustannus toimeksiantajalta saatujen hintatietojen avulla sekä verrattiin menetetyt tuotannon kustannusta hylkyyn ohjaamisen kustannuksiin. Kaikki laskenta suoritettiin Excelillä.

Analyysin perusteella huomattiin, että valmistuksen ja jalostuksen välisen ajan piteneminen lisää käyryyden esiintymistä. Jalostettavan aaltopahviarkin koolla ei havaittu johdonmukaista yhteyttä käyryyden esiintymiseen, mutta kokoluokka $1,6 m^2$ erottui aineistossa piikkinä. Piikki selittyi kuitenkin aaltopahvilajin, ei arkkikoon, kautta. Jalostusajankohdista (kk/vuodenaika) kesäkuukaudet (kesä–syys) erottuivat hieman korkeammilla käyryyslukemilla. Aaltopahvilajien välillä oli eroja käyryyden esiintymisessä. Lajit jaettiin ryhmiin käyryyskommenttien määrän ja tuotanto-osuuden perusteella, taulukoitiin ja taulukko luovutettiin toimeksiantajalle.

Käyryyden aiheuttamat tuotantomenetykset vaihtelivat laskutavasta riippuen. Luotettavimmaksi arvioidun laskutavan mukaisiksi menetyksiksi saatiin koneesta riippuen noin 1,2–5,8 % tuotetuista neliömetreistä. Rahallisena menetyksenä tämä tarkoittaa 0,8–4 senttiä tuotettua aihioneliömetriä kohti. Kun tuottavuus määriteltiin tuotosten ja panosten väliseksi suhdeluvuksi, saatiin eri koneiden käyrien ajojen tuottavuudeksi 94,19 %–98,83 % optimista silloin, kun ajettava aaltopahvi on luokiteltu käyräksi. Hylkäämisen kustannukseksi saatiin 1,6 kertaa tuotantomenetyksen määrä.

Asiasanat: tuottavuus, laatu-poikkeama, käyryys, aaltopahvi

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct and Process Engineering

SAARA VALKONEN:

The Effect of Warp on Productivity of Corrugated Paper Board Processing Machines

Bachelor's thesis 48 pages

September 2020

Corrugated paper board is globally the most widely used packaging material, and warp is the most critical quality deviation with it. The object of study in this thesis is the effect of warp on productivity of corrugated paper board processing machines. This study was done for DS Smith Packaging Finland Ltd. No practical experiments were carried out during the process, as this thesis makes up a data analysis. The aim of the study was to gather information about the causes of warp and to calculate what kind of an effect warp has on the productivity of corrugated paper board processing machines. Productivity is here determined as a ratio between process input and output.

First, the cases where paper board had been estimated warped, were indicated as status 1 runs. All other cases were indicated as status 0 runs. When defining the causes of warp, the occurrence of it was determined in relation to interval between manufacturing and processing, processing date (month/season), size of the processed sheet and paper board type. The occurrence of warp was cleared statistically, by compiling distributions out of the data and testing their statistical significance. The running speeds and production times were sorted out and then status 1 runs were compared with status 0 runs to estimate product losses within one year. After clearing the effect on productivity, also the economic effects were calculated, as well as the economic effect of putting all paper board that was estimated warped into waste.

The results showed that warp is much more likely to occur when the interval between manufacturing and processing elongates. No consistent dependency between occurrence of warp and the size of sheet was noticed. Processing date seemed not to have very strong effect on occurrence of warp, although it is a bit more common during summer time (Jun-Sep). Some paper board types were more susceptible to warp than others. The types were classified and graded on the basis of their susceptibility, and this table was given to the client.

Productivity losses were calculated by defining the time losses in status 1 runs and multiplying this time with average running speeds. With a price tag provided by the client, this lost production amount was then converted into euros per produced blank ($\text{€}/\text{m}^2$). Varying between different machines, the cost for product losses when warped paper board was used, was 0.8–4 €-cents per produced blank square meter. The cost for putting all warped paper board into waste would be somewhat 1,6 times more than the productivity loss. When expressed as a percentage between process input and process output, the productivity loss per machine is between 1.17–5.81 %.

Key words: corrugated paperboard, quality deviation, warp, productivity

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Lähtökohdat ja raportin rakenne	6
1.2	Työn tavoite ja tarkoitus	7
1.3	DS Smith.....	7
2	AINEISTO JA MENETELMÄ.....	8
2.1	Datapaketti	8
2.2	Analyysin eteneminen.....	9
3	AALTOPAHVI JA KÄYRYYS SEN LAATUTEKIJÄNÄ	11
3.1	Aaltopahvin valmistus.....	11
3.2	Aaltopahvin jalostus.....	14
3.3	Aaltopahvin käyryys: lajit ja kriittiset prosessivaiheet	15
3.4	Tuottavuuden ja laadun käsitteet	18
3.4.1	Laadun hallinta: mittaaminen ja jatkuvan parantamisen periaate .	20
3.4.2	Laatu ja hinta	21
4	ANALYYSI	23
4.1	Käyryyden esiintyvyys	24
4.1.1	Käyryyden esiintyminen eri koneilla	24
4.1.2	Valmistuksen ja jalostuksen välinen aika	25
4.1.3	Jalostusajankohta	27
4.1.4	Arkkikoko	29
4.1.5	Aaltopahvilaji	31
4.2	Käyryyden vaikutukset.....	34
4.2.1	Vaikutus ajoaikaan ja ajonopeuteen	34
4.2.2	Vaikutus tuotantomääriin ja kustannuksiin	40
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	44
5.1	Käyryyden syyt	44
5.2	Käyryyden vaikutukset.....	46
5.2	Huomioita ja jatkotutkimusmahdollisuuksia	48
	LÄHTEET	49

ERITYISSANASTO

fluting	aallotuskartonki: aaltopahvin aallotetun kerroksen tai aallotetut kerrokset muodostavat kartonki
status 0	ei-käyrä ajo: tutkimusaineiston ajo, jolle ei ollut jalostusvaiheessa kirjattu käyryyspoikkeamaa
status 1	käyrä ajo: tutkimusaineiston ajo, jolle ole jalostusvaiheessa kirjattu käyryyspoikkeama

1 JOHDANTO

1.1 Lähtökohdat ja raportin rakenne

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan aaltopahvin käyryyden vaikutusta aaltopahvin jalostuskoneiden tuottavuuteen. Toimeksiantajana työssä on DS Smith, jonka Tampereen Liehahdessa sijaitsevaan tehtaaseen tarkastelu kohdistuu. Tutkimusaineistona työssä käytetään toimeksiantajan keräämää mittausdataa ja tarkasteltava ajankohta on vuosi 2019.

Aaltopahvi on maailman käytetyin pakkausmateriaali ja käyryys sen merkittävin laatu-poikkeama. Laatu taas on vaikeasti määrittyvä käsite, jota arvioitaessa arvioijan oma näkökulma korostuu. Laatua voidaan arvioida esimerkiksi tuotteen ominaisuuksien tai asiakasmielipiteen perusteella (Andersson & Tikka 1997, 16–18). Tämän opinnäytetyön tutkimusaineistossa käyryyden määrittäminen on tapahtunut aaltopahvin jalostusprosessia ohjauksen henkilön tai henkilöiden arviona. Näin ollen tutkimusaineistossa oleva arvio materiaalin käyryydestä ei perustu ulkopuoliseen standardiin tai muuhun yhteismitalliseen arviointiperusteeseen.

Laatu ja laatu-poikkeamat koskettavat keskeisimpiä yrityksen osa-alueita: kustannuksia, kannattavuutta, henkilöstön ammattitaitoa ja tuotannon ohjaamista. Laatuun liittyvät kysymykset voivat myös vaikuttaa työpaikan ilmapiiriin. Niinpä laadunvarmistus – eli ne toimet, jotka mahdollistavat asiakkaan tarpeet täyttävän tuotteen tai palvelun tuottamisen – on ollut teollisen tuotannon olennainen osa koko sen olemassaolon ajan. Nykyään laadunhallinta on integroitu yritysten johtamisjärjestelmään koko teollisessa maailmassa. (Andersson & Tikka 1997, 9, 11.)

Johdanto-osan jälkeen raportissa esitellään aineisto ja menetelmä omassa pääluvussaan. Luvussa annetaan olennaiset kuvailutiedot data-aineiston koosta ja laadusta sekä kerrotaan, miten dataa on työssä käsitelty, analysoitu ja esitetty graafisesti. Työn teoriaosassa käydään läpi aaltopahvin valmistusprosessi pääpiirteissään, aaltopahvin käyryyden lajit sekä käyristymisen kannalta kriittiset prosessin vaiheet. Lisäksi esitellään teoriaa laadun ja tuottavuuden keskinäisriippuvuudesta. Analyysiosassa tarkastellaan käyryyden esiintyvyyttä ajan, arkkikoon ja aaltopahvilajin suhteen sekä käyryyden vaikutusta konekohtaiseen tuottavuuteen. Johtopäätöksissä kootaan analyysissa saadut päähavainnot.

1.2 Työn tavoite ja tarkoitus

Työn tavoitteena on selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat käyryyden esiintyvyyteen sekä millä tavoin ja kuinka paljon käyräksi arvioidun aaltopahvin ajaminen mahdollisesti vaikuttaa jalostuskoneiden tuottavuuteen. Tämä tapahtuu vertaamalla keskenään niitä ajoja, joille on merkitty käyryyspoikkeama (=status 1), sekä niitä ajoja, joille tätä poikkeamaa ei ole merkitty (=status 0). Kun mahdollinen menetetty tuotantomäärä on saatu selvitettyä, lasketaan sen kustannusvaikutukset toimeksiantajalta saaduilla hintatiedoilla. Lisäksi lasketaan, paljonko rahaa menetettäisiin, mikäli kaikki käyräksi arvioitu aaltopahvi ohjattaisiin suoraan aaltopahvikoneelta hylkyyn.

Laatukustannusten seuranta on yrityksen laadunohjauksen tehokkaimpia välineitä. Siinä tehokkuus perustuu mahdollisuuden ilmaista puutteellisen laadun aiheuttamat kustannukset euromääräisesti sekä mahdollisuuteen hyödyntää tätä tietoa laadunparannusprojekteissa. (Andersson 1997, 31.) Tämän työn tarkoituksena onkin tuottaa toimeksiantajalle tietoa siitä, minkälainen rahallinen vaikutus käyräksi arvioidun raaka-aineen ajamisella jalostuslinjalla mahdollisesti on. Tämä tieto voi parhaassa tapauksessa olla tuke-
massa investointipäätöksiä koskien käyryyden standardoitua määrittämistä valmistus- ja jalostuslinjojen välissä.

1.3 DS Smith

DS Smith on isobritannialainen 34 maassa toimiva pakkausalan yritys. Yli 200 tuotantolaitoksella ja noin 25 000 työntekijällä yritys tuottaa vuosittain yli 16 miljardia pakkausta. Valikoimaan kuuluu muun muassa myyntipakkauksia, kuluttaja- ja lahjapakkauksia, teollisuuspakkauksia ja menekinedistämistuotteita (mm. myyntitelineet, pöytä-displayt). Yrityksen asiakastoimialoja ovat esimerkiksi elintarvike-, elektroniikka- ja lääketieteellisyys sekä monet verkkokauppaa harjoittavat yritykset. Yhtiön pääasiallinen tuote on aaltopahvi sekä aaltopahviset pakkaukset. DS Smithin Tampereen tehtaalla on yksi aaltopahvikone sekä kuusi aaltopahvin jalostuskonetta.

2 AINEISTO JA MENETELMÄ

2.1 Datapaketti

Aineistona työssä on toimeksiantajalta saatu datapaketti. Tutkittava aineisto sisältää viisi kattavaa taulukkoa: vuoden 2019 jalostuskoneiden ajojen datan, vuoden 2019 jalostuskoneiden hylkydatan, jalostuskoneiden operaattoreiden kommentit ajoille aikavälillä 2.1.2018–20.4.2020 sekä vuoden 2019 toimitusdatan. Lisäksi aineistona on aaltopahvikoneen vuoden 2019 ajodataa sisältäen konenumeron, ajonumeron, päivämäärän sekä tuotettujen arkkien määrän.

Vuoden 2019 kaikki jalostuskoneiden ajotiedot sisältävä taulukko käsittää 11234 riviä mittausdataa, joka on kerätty aikavälillä 2.1.–31.12.2019. Taulukoidut tiedot ovat kone- ja työnnumero, tuotenumero, osa (onko kyseessä yksi- vai useampiosainen aihio), ajonopeus (arkkia/tunti), suunniteltu ja toteutunut asetteen tekoon kuluva aika (tunteina) ja näiden prosentuaalinen ero, suunniteltu ja toteutunut ajoaika (tunteina) ja näiden prosentuaalinen ero, suunnitellut ja toteutuneet ajat yhteensä (tunteina) ja niiden prosentuaalinen ero sekä ajossa käsiteltyjen arkkien lukumäärä.

Kommenttitaulukossa on 42689 riviä dataa, joka on kerätty välillä 2.1.2018–20.4.2020. Taulukoidut tiedot tässä ovat päivämäärä, kone- ja työnnumero sekä kommenttikenttä, jonka tieto on sanallisessa muodossa. Kommenttikentän kirjauksesta löytyy tieto muun muassa siitä, mikäli ajossa ollut materiaali on määritelty käyräksi. Myös muut ajon kannalta oleelliset poikkeamat on kirjattu tähän kenttään. Huomioitavaa on, että käyryyden voimakkuutta tai laatua ei ole eritelty – kyseessä on operaattorin arvio siitä, onko pahvi ”yleisesti” käyrää vai ei.

Toimitustaulukko sisältää 19007 riviä dataa: työ- ja tilausnumero, tuotenumero ja -ryhmä, aaltopahvilaji sekä laskutuksen perusteena ollut määrä kappaleina (kpl), massana (kg) sekä pinta-alana (m²). Hylkytaulukko puolestaan sisältää 13736 datariviä aikaväliltä 2.1.2019–31.12.2019. Tietoina on mm. päivämäärä, kone- ja työnnumero, laadukkaiden arkkien määrä, tuotenumero ja aaltopahvilaji.

2.2 Analyysin eteneminen

Tutkimusaineisto on melko suuri, ja sen ilmiöt on kuvattu numeerisesti. Tutkimusyksiköinä työssä ovat vuoden 2019 ajot, joihin on liitetty luokitteluasteikollinen muuttuja, käyryysstatus, joka saa arvon 1 tai 0. Tarkasteltavia yksiköitä on yli 10 000, ja vertailtavat kategoriat ovat ajot statuksella 1 ja ajot statuksella 0. Jatkuvia muuttujia, joissa ilmeneviä eroja kategorioiden välillä tarkastellaan, ovat esimerkiksi ajoaika, ajonopeus ja arkkikoko. Jatkuvalla muuttujalla tarkoitetaan muuttujaa, joka voi saada tietyllä välillä kaikki mahdolliset arvot. Tutkimus on tyypiltään empiirinen, kvantitatiivinen ja kausaalinen: kyseessä on soveltava tutkimus, jossa pyritään selvittämään muuttujien välisiä syy–seuraus -suhteita. (Holopainen & Pulkkinen 2002, 16, 20–21.) Analyysin työkaluna käytetään Exceliä.

Työskentely alkoi käyryyskommenttien poiminnalla kommenttitaulukosta. Tämä tehtiin etsimällä kommenttikentästä kirjainyhdistelmää ”käyr” yhdistämällä Excelin on luku- ja käy läpi -funktiot. Näin saatiin palautettua omaan sarakkeeseensa arvo ”tosi” (kirjainyhdistelmä ”käyr” löytyy) tai ”epätosi” (kirjainyhdistelmää ”käyr” ei löydy). Tämän jälkeen jos-funktion avulla saatiin palautettua uuteen sarakkeeseen numeerinen arvo 0, mikäli viitattavan solun sisältö oli ”epätosi”, ja 1, mikäli sisältö oli ”tosi”. Tämän jälkeen käyryysstatustieto vietiin p-haku -funktion avulla eri taulukoihin sen mukaan, minkä taulukon tietoja tarkasteluun kulloinkin tarvittiin. Taulukoinnissa hyödynnettiin paljon Pivotia, jolloin voitiin helposti suodatintoiminnon avulla vertailla ajoja statuksittain eri muuttujien suhteen. Koska käyryysstatustiedon poiminta oli työn kannalta hyvin kriittinen vaihe, poiminnan onnistumisen varmisti Tampereen ammattikorkeakoulun henkilökuntaan kuuluva Excel-asiantuntija.

Frekvenssi-funktion avulla koostettiin jakaumia ja selvitettiin, kuinka monta kertaa tietty ilmiö toistuu aineistossa. Laskettiin käyrien ajojen osuus koko aineistossa ja tämän prosenttiosuuden perusteella koostettiin odotusfrekvenssi käyrien ajojen ilmenemiselle tietyssä luokassa, esim. tietyssä arkkikokoluokassa. Tämän jälkeen verrattiin odotusfrekvenssiä todelliseen käyrien ajojen frekvenssiin ja tehtiin todelliselle ja laskennallisesti odotettavissa olevalle jakaumalle chin neliö -testaus, jotta saatiin selvitettyä p-arvo α .

P-arvo kertoo, kuinka todennäköistä on saada todellinen jakauma sattumalta, kun odotettavissa oleva jakauma on tietynlainen. Merkitsevyytasoina käytetään yleisesti seuraavia:

1. $0,01 < \alpha < 0,05$ Ero on tilastollisesti melkein merkitsevä.
2. $0,001 < \alpha < 0,01$ Ero on tilastollisesti merkitsevä.
3. $\alpha < 0,001$ Ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Merkitsevä ero joukoissa tarkoittaa käytännössä sitä, että todellisessa joukossa on jokin tekijä, joka vie tulosta systemaattisesti havaittuun suuntaan. (Holopainen & Pulkkinen 2002, 177, 242.) Chin neliö -testin luotettavuudelle annetaan kirjallisuudessa jonkin verran toisistaan poikkeavia rajoja. Useat lähteet ohjeistavat käytöstä seuraavaa:

1. Mikäli datataulukossa on vain 2 riviä ja 2 saraketta, ei odotusfrekvenssi saa olla alle 5.
2. Suuremmissa taulukoissa alle 5 suuruisia odotettuja frekvenssejä saa olla korkeintaan 20 % kaikista odotetuista frekvensseistä. Kaikkien odotusfrekvenssien on oltava yli 1. (Taanila 2020.)

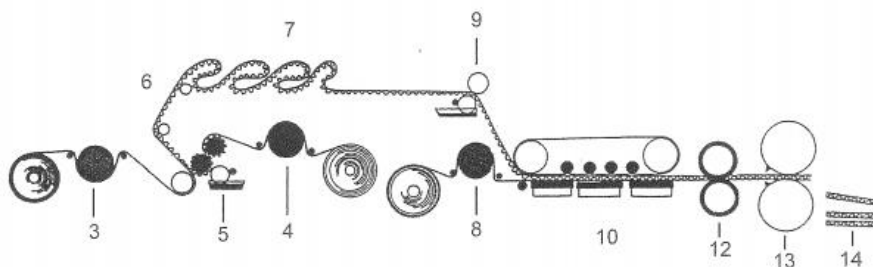
Opinnäytetyössä esitetään useat asiat graafisesti 1-statuksen ajojen todellisen frekvenssin ja laskennallisesti odotettavissa olevan frekvenssin suhteena ($\frac{\text{todellinen frekvenssi}}{\text{laskennallinen frekvenssi}} \cdot 100 \%$). Tällöin alle 100 % jäävät tulokset viittaavat käyryden vähäisempään ja yli 100 % menevät käyryden suurempaan esiintyvyyteen.

3 AALTOPAHVI JA KÄYRYYS SEN LAATUTEKIJÄNÄ

3.1 Aaltopahvin valmistus

Aaltopahvi on maailman käytetyin pakkausmateriaali. Se koostuu yhdestä tai useammasta kerroksesta aallotettua kartonkia (*fluting*) sekä yhdestä tai useammasta kerroksesta pintakartonkia. Aaltopahvilla on paljon hyviä ominaisuuksia: se on kevyttä ja kestävä, minkä lisäksi sitä on suhteellisen helppo jalostaa. Luonnonkuitupohjaisena materiaalina sen huomattavin heikkous on kyky absorboida vettä. Kosteuspitoisuuden muutokset ja erot komponenttien välillä aiheuttavat aaltopahvin käyristymistä. Käyristyminen onkin olennaisin aaltopahvin laatua heikentävä tekijä. (Laakso & Rintamäki 2000, 14–18.)

Aaltopahvikoneen rakenne on esitetty kuvassa 1. Flutingin raaka-ainekartonki puretaan rullalta, esilämmitetään (4) ja kostutetaan ja viedään aallotustelojen (5) väliin. Välittömästi aallotuksen jälkeen aallonharjoille levitetään liima (5). Toisesta suunnasta purettava pintakartonki esilämmitetään (3) ja tuodaan nippiin aallotuskartongin kanssa, jolloin se kiinnittyy liimalla siveltyyn flutingiin. Näin syntynyt yksipuolinen aaltopahvi johdetaan esilämmityksen kautta liimausyksikköön (9), jossa liima levitetään toiselle aaltopinnalle. Arinaosalla (10) tähän kiinnitetään esilämmitetty (8) kolmas kartonkirata. Koneen loppuosassa valmis aaltopahvirata nuutataan, poistetaan reunanauhat ja leikataan sopivan kokoisiksi ensin pituus- ja sitten poikkisuunnassa (12 ja 13). Lopuksi valmis tuote pinotaan vastaanottolaitteella (14). (Laakso & Rintamäki 2000, 34.)

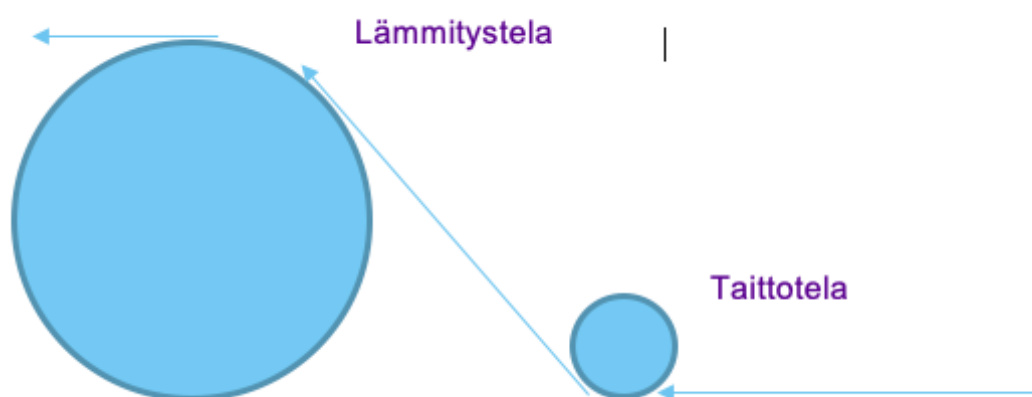


KUVA 1. Aaltopahvikoneen rakenne (Laakso & Rintamäki 2000, 33)

Kartonkien aukirullaus tapahtuu rullapukilta (*mill roll stand*). Pukissa olevaa rullaa kantamallaan molemmista päistä metallisilla kartioilla, jotka on laakeroitu nostovarteen. Kartioiden asema toisiinsa nähden on käyristymisen kannalta kriittinen tekijä: mikäli kartiot ovat eri korkeudella, on rulla vinossa ja radan reunojen välillä näin ollen kireysero. Rullapukki ja rullanvaihtaja (*splicer*) ovat avainasemassa radan kireyden säätelyssä, joka nykyaikaisissa koneissa on pitkälti automatisoitu. Kireyttä säädellään rullapukin levyjaruilla, ja jarrutusvoima vähenee rullan pienetessä. Kun säätö toimii hyvin, radan kireys pysyy vakiona myös kiihdytyksissä ja hidastuksissa. (Laakso & Rintamäki 2000, 35–37.)

Sekä aallotus- että pintakartongit esilämmitetään ennen aallotusta ja ratojen yhdistämistä. Kartongin lujuus on peräisin kuitujen välisistä vetysidoksista, joiden voimakkuudesta johtuen kartonki pyrkii palaamaan alkuperäiseen muotoonsa. Lämmön ja kosteuden tuominen rataan esilämmityksessä heikentää näitä sidoksia, jolloin kartongin aallotus on tuloksellisempaa. Lisäksi lämpö avaa kartongin pinnan huokosia ja edesauttaa siten liimausauaman syntymistä. Esilämmitys säästää näin aallotus- ja liimausprosesseissa käytettävää energiaa. Käytännöllisin tapa järjestää esilämmitys on käyttää höyryllä lämmitettäviä terässylintereitä. (Laakso & Rintamäki 2000, 44; Pinnington 55, 70.)

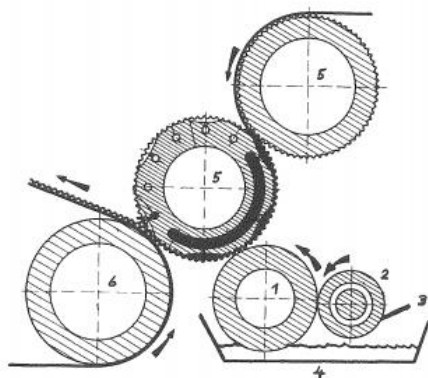
Kartonkien lämpiämistä esilämmityksessä säädellään muuttamalla lämmönsiirtopinta-alaa, so. pinta-alaa, jonka osalta kartonki on kosketuksissa lämmittävään sylinteriin. Tämä säätely tapahtuu kontrolloimalla kartongin kietoumaa lämmitystelan ympärille taittotelan avulla (kuva 2). Puhutaan *kontaktikulmasta*. Tämä on oleellinen säätö pyrittäessä varmistamaan kartonkien yhtenevä kosteuspitoisuus liimausta varten. (Laakso & Rintamäki 2000, 44–45.)



KUVA 2. Lämmitys- ja taittotelan asema. Kartongin kulkua havainnollistettu nuolilla

Paitsi taittotelan oikeasta sijainnista lämmitystelan kehään nähden, tulee esilämmityksessä huolehtia myös siitä, että taittotela on yhdensuuntainen lämmitystelan kanssa. Mikäli näin ei ole, ei kartonkirata puristu lämmitystela vasten tasaisesti eikä kosteusprofiili poikkisuunnassa ole tasainen. Epätasainen kosteusprofiili aiheuttaa aaltopahvin käyristymistä. (Laakso & Rintamäki 2000, 45.)

Välittömästi aallottajan jälkeen aallonharjoille levitetään liima. Liimauslaitteiston pääosat ovat liimatela, kaavaritela, kaavari, liimalaatikko ja säätölaitteet. Laitteisto on esitetty kuvassa 3. Tämän prosessin osan tavoitteena on levittää aallonharjoille mahdollisimman tasainen kerros liimaa. Jotta tässä onnistuttaisiin, täytyy telojen olla yhdensuuntaiset, laakereiden kunnossa ja kaavarin tasaisesti kaavaritelan pintaan vasten siten, ettei välistä vuoda liimaa liimatelalle. Tilanteessa, jossa liimatela ja kaavaritela eivät ole yhdensuuntaiset, liimaa levittyy enemmän reunoille. Epätasainen liimakerros tarkoittaa kartongin epätasaisista kosteusrasitusta, mikä puolestaan aiheuttaa käyristymistä. (Laakso & Rintamäki 2000, 42.)



KUVA 3. Liimalaitteisto, numerointi 1-6: liimatela, kaavaritela, kaavari, liimalaatikko, aallotustelat, puristustela (Laakso & Rintamäki 2000, 42)

Aaltopahvikoneen arinaosa (*double facer*) koostuu lämmitys- ja veto-osasta. Tässä osassa yksipuolinen aaltopahvi liimataan toiseen pintakartonkiin. Arinalla lämmitysosaa tehtävä on paitsi tuoda lisälämpöä tärkkelysliiman gelatinoitumiseksi ja pitävän liimasauman muodostumiseksi, myös poistaa liimasta ja mahdollisesta kostutushöyrystä kartonkiin tulleita kosteutta. Veto-osa vetää radan lämmitysosaa yli. (Laakso & Rintamäki 2000, 47.)

Lämmönsiirto pintakartonkiin tapahtuu teräksisten tai valurautaisten, höyrylämmitteisten levyjen läpi. Lämmityslevyjä vasten liikkuu pintakartonki ja sen yläpuolella yksipuolinen

aaltopahvi. Tämä lämmitysosan yli liikkuminen on valmistuksessa kriittinen vaihe, sillä siirtyvän lämpö määrän tulisi olla kartongin poikkisuunnassa sama tasaisen kosteusprofiilin aikaansaamiseksi. Haasteena on ollut saada aikaan tasainen paine koko radan yli. Perinteinen tapa on ollut käyttää ylähuopaa ja painoteloja. Telojen aiheuttama paine on kuitenkin väistämättä epäjatkuva, vaikka käytetyt telat ovatkin halkaisijaltaan hyvin pieniä. Ongelmana on myös se, että telat painavat radan reunoja keskiosaa voimakkaammin. Näin on erityisesti valurautaisten arinallevyjen kohdalla, sillä ne taipuvat keskeltä alaspäin pahvin jäädyttyessä arinalevyn yläpintaa. Telojen sijaan onkin viime vuosikymmeninä alettu käyttää pieniä, kärjistä ylöspäin taipuvia painolevyjä. Tasaisen paineen lisäksi hankaluutena on siirtyvän lämmön määrän kontrollointi radan nopeuden muuttuessa. Tämä ratkaistaan nostamalla osaa teloista tai muista painoelementeistä. (Laakso & Rintamäki 2000, 47–48.)

Lämmitysosalla aaltopahvi saavuttaa ns. *kriittisen pisteen*. Tämä tarkoittaa vaihetta, jossa yksipuolinen aaltopahvi ja pintakartonki eivät enää pääse liikkumaan toistensa suhteen. Tällöin pintakartongilla ja yksipuolisella aaltopahvilla täytyy olla sama kosteuspitoisuus, spesifimmin ilmaistuna *sama poikkisuuntainen, kosteusriippuvainen dimensiomuutospotentiali*. Mikäli näin ei ole, aaltopahvi käyristyy ”märempään päin”. (Laakso & Rintamäki 2000, 49.)

3.2 Aaltopahvin jalostus

Jalostus tarkoittaa kaikkia toimenpiteitä ja työvaiheita, joiden avulla aaltopahvista valmistetaan asiakkaan pakkaustarpeen täyttävä tuote tai puolituote. Päätyövaiheet aaltopahvin jalostuksessa ovat stanssaus ja painatus. (Laakso & Rintamäki 2000, 63.)

Stanssauksessa aaltopahviarkki työstetään pakkausaihioksi joko tasojen tai telojen välissä (taso- tai rotaatiostanssi). Stanssityökalussa on leikkaus- ja nuuttausteriä, joiden avulla aihiot saadaan erotettua leikkausmatriisista sekä luotua nuuttauslinjat, joista aihiot voidaan taitella ja liimata valmiiksi pakkauksiksi. Stanssatut pakkausrakenteet ovat avainasemassa automatisoitujen ja siten tarkkoja mittavaatimuksia asettavien pakkausprosessien mahdollistamisessa. Yleisesti suuri osa asiakkaiden pakkausprosesseista on automatisoituja. (Laakso & Rintamäki 2000, 78–79.)

Painatuksessa pakkaus saa paitsi jo lakien ja asetusten vaatiman informaatioisällön, myös markkinoilla tarvittavaa esteettistä erotusta kilpaileviin tuotteisiin. Painaminen on kokonaisuudessaan monimutkainen ja vaativa prosessi, ja vaativimpiin painatuksiin tarvitaan useita painoyksiköitä. Aaltopahvipakkausten painatuksessa käytetään lukuisia menetelmiä, esimerkiksi fleksopainatusta, offsetpainatusta ja digitaalisia menetelmiä. (Laakso & Rintamäki 2000, 63, 66–69.)

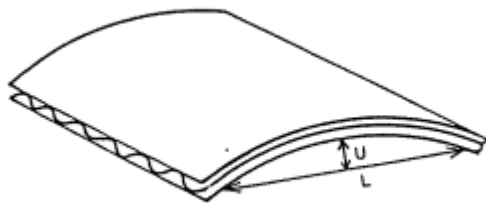
Stanssauksen ja painatuksen jälkeen pakkausaihoita liimataan ja taitetaan, joissain tapauksissa myös teipataan tai nidotaan, jolloin lopullinen tuote valmistuu. (Laakso & Rintamäki 2000, 93).

Jalostusprosessit asettavat sujuakseen aaltopahville tiettyjä laatuvaatimuksia. Olennaisimpia muuttujia ovat mitat, kosteuspitoisuus sekä käyryys. Ihanteellinen kosteuspitoisuus on 6–9 %, sillä liian kuiva aaltopahvi murtuu taivutuksissa. Käyryyden aiheuttamat ongelmat ovat moninaisia: syöttövaiheessa voi tapahtua esimerkiksi siirtymistä sivusuunnassa, ns. mittaheittoa, jolloin aihion paikka arkilla vaihtelee. Käyrää pahvia painettaessa puolestaan painatuksen ja stanssauksen keskinäinen kohdistaminen voi hankaloitua. Käyrästä pahvista erotetut aihiot ovat käyriä, mistä voi aiheutua ongelmia asiakkaan pakkauslinjalla. Myös valmis pakkaus voi olla mitoiltaan epäsuhtainen käyryyden vuoksi. Heikosti kiinnittynyt laineri saattaa aiheuttaa ongelmia syötössä sekä pahvitukoksia eri työvaiheissa. (Laakso & Rintamäki 2000, 88–89.)

3.3 Aaltopahvin käyryys: lajit ja kriittiset prosessivaiheet

Kuten yllä todettiin, käyryys on merkittävin aaltopahvin laatua alentava tekijä. Käyryyden aiheuttamat ongelmat ovat olleet aina läsnä aaltopahvin jalostuksessa, ja jalostuslinjojen automatisoituminen sekä pakkausten ulkonäkö- ja mittatarkkuusvaatimusten kasvaminen ovat lisänneet käyryyden aiheuttamia ongelmia entisestään. Käyristyminen johtuu aina aaltopahvirakenteen sisäisistä jännitteistä, joita syntyy komponenttien dimensioerojen seurauksena. Dimensioeroja voi syntyä kosteuden vaikutuksesta tai siten, että komponenttien välillä on kireysero ennen liimaamista. (Lampainen 1992, 18, Pinnington 127.)

Käyryys tarkoittaa tasopintaan nähden havaittavaa korkeuspoikkeamaa U tietyn pituisella tarkasteluvälillä L (kuva 4) (Lampainen 1992, 21)



KUVA 4. Käyryys korkeuspoikkeamana U tasopinnasta tarkasteluvälillä L (Lampainen 1992, 21)

Näytepalan koosta riippumaton tunnusluku käyryydelle saadaan näytteen pinnan kaarevuussäteen avulla. Kaarevuussäde on aaltopahvin pinnan muotoa vastaavan sylinterin säde R . Kaarevuussäteen käänteisluku $\frac{1}{R}$ on ns. käyryysvakio, jota käytetään yleisesti alan kirjallisuudessa käyryyden mittana. Korkeuspoikkeaman U ja sylinterin vaipan pituuden L avulla ilmaistuna $\frac{1}{R} = \frac{8 \cdot U}{L^2}$. (Lampainen 1992, 22.)

Luonnonkuitupohjaisena materiaalina kartongilla on eräitä käyristymiseen liittyviä kriittisiä ominaisuuksia. Kartonki ei koskaan ole täysin tasalaatuista, vaan vaihtelua esiintyy paitsi eri paperilajien, myös saman lajin ja siten jopa saman rullan sisällä. Kosteuden lisääntyessä kartongin kuidut turpoavat ja kosteuden vähentyessä puolestaan kutistuvat. Monikerroksisen rakenteen kohdalla voidaan näin ollen sanoa, että pahvi käyristyy ”märempään päin”. Kuitujen pituussuuntaiset muutokset ovat vähäisiä. Tästä johtuen kosteuden aiheuttamia dimensioeroja syntyy yleensä enemmän poikittaisessa kuin konesuunnassa, sillä kuidut asettuvat paperi- ja kartonkikoneilla pääasiassa ajosuuntaisesti. (Laakso & Rintamäki 2000, 49; Pinnington 127.)

Kosteuspitoisuudeltaan suuremmat kartongit ovat alttiimpia imemään lisää kosteutta, ja lämpötilan nousu tehostaa kosteuden imeytymistä. Dimensiomuutosefektin suuruus riippuu lajin kuitujen pituudesta sekä neliöpainosta: pidempikuituisilla lajeilla levenemistä tapahtuu suhteessa pituussuuntaan enemmän ja neliömassaltaan suuremmat lajit ovat yleensä vähemmän alttiita dimensiomuutoksille. Hystereesi on kartongille ominainen ilmiö kosteuspitoisuuden muutoksissa: jos tietyn kosteuspitoisuuden omaavan kartongin kosteuspitoisuutta ensin lisätään ja sitten lasketaan alkuperäiseen pitoisuuteen, kartonki jää ulottuvuuksiltaan alkuperäistä pienemmäksi. (Pinnington 127–128.)

Käyrystymissuunta voi olla joko kone- tai poikkisuuntaan tai näihin molempiin, jolloin puhutaan diagonaalisesta käyryydestä. Käyrystymismuotoja taas ovat ylös- tai alaspäin käyristyminen sekä näiden yhdistelmä, s-käyryys. Käyristyminen voi tapahtua aaltopahvin valmistuksen aikana tai varastoitaessa. (Lampainen 1992, 20–21.)

Normaalikäyryys (*up-warp, normal warp*) on käyryyden laji, joka ilmenee radan reunojen kääntymisenä ylöspäin. Tällainen käyristyminen tapahtuu, jos yksipuolinen aaltopahvi on arinalle tultaessa pintakartonkia kosteampaa ja komponentit liimautuvat yhteen tasossa toisiinsa nähden. Kosteuspitoisuuksien hakeutuessa tasapainoon yksipuolinen aaltopahvi muuttuu kuivemmaksi ja pintakartonki kosteammaksi kuin mitä ne olivat arinalle saapuessaan. (Pinnington 127.)

Normaalikäyryys on sitä voimakkaampaa, kuta pienempi on aallotuskartongin aallonkorkeus. Tämä johtuu paitsi siitä, että ohuen rakenteen kohdalla tietty pystysuuntainen dimensioero on suhteellisesti suurempi osuus paksuudesta kuin paksummalla rakenteella, myös siitä, että ohuempi rakenne vastustaa käyristymistä heikommin. Lisäksi matala-aaltoisessa rakenteessa aallot ovat tiheämmässä, jolloin niissä on enemmän liimapintaa kosteutta sitomassa. (Pinnington 127.)

Vastakäyryys (*down warp, reverse warp*) puolestaan on aaltopahvin reunojen käyristymistä alaspäin. Edellä kuvattujen periaatteiden mukaisesti tällaista käyryyttä ilmenee pintakartongin ollessa yksipuolista aaltopahvia märepää. Alaspäin käyristymistä esiintyy erityisesti paksujen pohjalainereiden aaltopahvilajeissa. (Pinnington 128–129.)

Kuten nimityksetkin antavat ymmärtää, normaalikäyryys on näistä kahdesta yleisempi käyryyslaji. Tämä johtuu siitä, että alapuolelta tulevan lämmön vaikutuksesta kosteus siirtyy pahvissa ylöspäin ja siten valmis rakenne on usein ylhäältä kosteampaa kuin alhaalta. Kosteustasapainoon hakeutuessaan rakenne käyristyy ylöspäin, kun yläosan kosteuspitoisuus pienenee ja alaosan kasvaa. Ihannetilanteessa valmis aaltopahvi on koneelta tullessaan aavistuksen käyrä alaspäin ja jalostuskoneelle mennessään ojentunut suoraksi. Komponenttien kosteuspitoisuuksien synkronointi täytyy tehdä ennen arinaosaa. Kosteuspitoisuuksia hallitaan höyrysuihkutuksella, flutingin ja ensimmäisen pintakartongin liiman kuiva-ainepitoisuudella, esilämmityksillä sekä ympäristön kosteuspitoisuutta säätämällä. (Pinnington 128–129.)

S-käyryys (*s-warp*) aiheutuu kosteuden tai lämpötilan epätasapainosta radan poikkisuunnassa tai epätasapainosta aaltopahvin komponenttien asettumisessa toistensa suhteen. Tällä tavalla käyristynyt aaltopahvi on toisesta laidasta alaspäin ja toisesta ylöspäin käyristynyt. Syitä tällaiselle käyristymiselle voivat olla esimerkiksi ”kartiomallinen” raaka-ainekartonkirulla, koneen komponenttien epälineaarinen asema toisiinsa nähden tai lämpötilagradientti aallottajassa. Ongelman korjaamiseksi tulee tarkistaa muun muassa ajorullan suoruus (eli että rullapukin kannattimet ovat samalla korkeudella), rullien symmetrisyys, esilämmitinrumpujen asento, aallotustelojen yhdensuuntaisuus sekä liimatelan ja aallotustelan yhdensuuntaisuus. (Pinnington 129.)

Pituuskäyryyttä tai konesuuntaista käyryyttä (*long warp*) esiintyy, jos yksipuolisen aaltopahvin kireys on pohjakartonkia suurempi, tai toisin päin. Käyristyminen tapahtuu kireämmän radan suuntaan. (Pinnington 129.)

Vinokäyryys tai diagonaalinen käyryys (*twist warp*) johtuu yksipuolisen aaltopahviradan liiallisesta tai epätasaisesta kireydestä. Radan kireyden hallinnan lisäksi on syytä tarkistaa siltaosan ilmanvaihto, varsinkin, mikäli siltaosa on koteloitu tai sijaitsee lähellä seinää. (Pinnington 130.)

3.4 Tuottavuuden ja laadun käsitteet

Kun puhutaan tuottavuudesta, tarkoitetaan jonkin järjestelmän tietyn ajanjakson tuotosten suhdetta niihin panoksiin, joita systeemiin on tuotosten saamiseksi sijoitettu. Vuonna 1958 Euroopan Tuottavuusvirasto (*European Productivity Agency*) määritteli tuottavuuden siksi, mitä ihminen saa aikaan materiaalilla, pääomalla ja teknologialla. Yksinkertaisella kaavalla ilmoitettuna

$$\text{Tuottavuus} = \frac{\text{Tuotokset}}{\text{Panokset}}$$

Tuottavuus siis kasvaa tuotosten kasvaessa tai panosten pienentyessä. Tuottavuuden ydin on siten siinä, että mahdollisimman pienillä panoksilla saadaan mahdollisimman paljon tuotoksia. Tuottavuus on myös halua parantaa nykytilaa huolimatta siitä, millä tasolla toiminta nykyhetkellä on. (Uusi-Rauva 1997, 13, 16, 18–20.)

Kun tuottavuutta mitataan, lasketaan erilaisten tuotos-panossuhteiden suuruutta. Tuottavuus on liikeyritykselle ominainen tavoitetekijä, ja ilmiönä se on osa reaali prosessia. Reaali prosessiin kuuluu lisäksi muun muassa tuotteiden laatu, toimitusaika sekä asiakastyytyväisyys. Reaali prosessi muodostaa yhdessä rahaprosessin kanssa yrityksen talousprosessin. (Uusi-Rauva 1997, 18–20.)

Laatu on määritelty ja määritellään eri tavoin eri aikoina ja eri paikoissa. Tunnettuja laadun määritelmiä ovat esimerkiksi Joseph Juranin *laatu on sopivuutta käyttötarkoitukseen*, George Edwardsin *laatu on kykyä tyydyttää asiakkaan tarpeet* ja Mikel Harryn *laatu tuo tyytyväisyyttä ja rahaa*. (Lecklin & Laine 2009, 15.)

Laatua voidaan lähestyä monista näkökulmista. Esimerkiksi Paul Lillrank katsoo, että laatutarkastelun keskiössä voi olla valmistus, tuote, arvo, kilpailu, asiakas tai ympäristö. Valmistuksen laatu kertoo, kuinka hyvin valmistettu tuote vastaa niitä vaatimuksia, joita sille on suunnitelmassa asetettu. Tuotelaatu puolestaan korostaa suunnittelun osuutta valmiin tuotteen laadun määrittämisessä. Asiakaslaatu on asiakkaan tarpeisiin riittävä laatu, ja laadukas asiakaspalvelu taas tyydyttää asiakkaan tiedontarpeet kaikissa toimitusprosessin vaiheissa. Arvolaatua on eniten tuotteella, joka antaa sijoitetulle pääomalle parhaan tuoton. Kilpailulaadussa taas vertaudutaan kilpailevaan tuotteeseen: laatu on riittävä, kun se on yhtä hyvä kuin kilpailijoilla. Ympäristölaatu huomioi tuotteen ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren osalta. (Lecklin 2002, 21.)

Teknisluontoisia elementtejä tuotteen laadun tarkasteluun ovat esimerkiksi tuotteen kestävyys, toimintavarmuus, käyttötarkoitukseen sopivuus sekä se, että määritellyt ominaisuudet pysyvät valvontarajojen sisällä. Tuotteen kriittisille ominaisuuksille on usein määritetty ihanearvo sekä ylä- ja alaraja siinä sallitulle poikkeamalle. Tällöin puhutaan toleranssista. Muita tuotteiden laatudimensioita ovat esim. yhdenmukaisuus, luotettavuus, huollettavuus ja esteettisyys. (Lecklin 2002, 21–22; Lecklin & Laine 2009, 17, 19.)

Teknisen virheettömyyden lisäksi laatu tarkoittaa myös tuotannon taloudellista tehokkuutta. Toiminnan tulee olla kustannustehokasta siten, että turhat ja lisäarvoa tuottamattomat työvaiheet poistetaan ja minimoidaan sekä sisäiset että ulkoiset virhekustannukset. Kustannuksia tulee tarkastella koko toimintaketjussa ja vertailla eri vaihtoehtoja toiminnan järjestämiseksi. Tässä liiketoimintaprosessi itsessään voidaan ajatella jalostusket-

juksi: se on sarja vuorovaikutteisia toimintoja, joissa panokset muuttuvat tuotoksiksi. Prosessi käynnistyy panoksella ja sekä ihmisiä, koneita, tietoa, taitoa että muita resursseja vaativana työvaiheiden sarjana se tuottaa lopulta tuloksen, tuotoksen. (Lecklin & Laine 2009, 19, 40.)

Tuottavuuden ja laadun välillä on olennainen yhteys. Kun aiemmin on ajateltu, että tuottavuuden lisääminen tarkoittaa automaattisesti laadusta tinkimistä, on nykypäivän käsitys päinvastainen. On jopa esitetty, että tuottavuus ja laatu ovat synonyymejä. Asiakkaille tuotettavien tavaroiden ja palveluiden laadullisia ominaisuuksia mitataan paitsi kvantitatiivisilla, ns. kovilla mittareilla, myös muun muassa asiakastytyväisyyskyselyillä ja muilla ns. pehmeillä mittareilla. Yleisesti hyväksytty tutkimustulos on, että korkeaa laatua tuottavat yritykset menestyvät paremmin kuin huonoa laatua tuottavat. Korkean laadun yritysten kannattavuus sekä nettotulos ovat parempia, minkä lisäksi ne kykenevät kasvattamaan markkinaosuuttaan tehokkaasti ja siten nostamaan edelleen kannattavuuttaan ja tulostaan. (Hokkanen & Strömberg 2006, 23; Uusi-Rauva 1997, 35.)

Tuotteiden laadun rinnalla kulkee yrityksen toiminnan laatu, josta tuotteen laatu on suora seuraus. Laadukas toiminta on tehokasta, tarkoituksenmukaista ja virheetöntä, ja se on aina suhteessa asiakkaan toivomaan lopputulokseen. Laadukas toiminta vaikuttaa sekä yrityksen sisällä, että markkinoilla, ja se parantaa yrityksen kannattavuutta. Laadukkaasti toimiva yritys voi toimia pitkäjänteisesti, osallistaa ja motivoida henkilöstöään, nostaa tunnettuuttaan hyvänä työnantajana ja reagoida nopeasti toimintaympäristön muutoksiin. Oleellista on huomata, että yrityksen *asiakkaalla* voidaan tarkoittaa myös yrityksen sisällä prosessin seuraavaa vaihetta. (Lecklin 2002, 27; Uusi-Rauva 1997, 36.) Näin ollen voidaan ajatella esimerkiksi, että aaltopahvin jalostuskone on aaltopahvikoneen asiakas.

3.4.1 Laadun hallinta: mittaaminen ja jatkuvan parantamisen periaate

Yritystoiminnan laadussa ja sen hallinnassa on hiljalleen omaksuttu ns. jatkuvan parantamisen malli, jonka keskiössä on ongelmien ratkaiseminen sekä erityisesti niiden ehkäiseminen ennalta. Ongelmanratkaisussa on erotettavissa ainakin kolme ajallista tasoa: 1) ratkotaan esiin nousseita ongelmia, 2) analysoidaan ongelmia ja mahdollisia ongelmatilanteita ja haetaan niihin systemaattisesti ratkaisuja sekä 3) ehkäistään ongelmat ennakolta. Vaikka missä tahansa vaiheessa suoritetuista toimenpiteistä on hyötyä, on ennalta-

ehkäisy tehokkain tapa. Sitä kutsutaan laatujärjestelmämalliksi, sillä ISO 9000-laatu järjestelmän standardit edellyttävät ennaltaehkäisevien toimenpiteiden tehostamista ja ensimmäisiin oireisiin reagoimista. Sytyke parannuksiin voi tulla omasta laatukehityksestä tai ulkoapäin, kuten kilpailijoilta tai yhteiskunnallisen kehityksen tuloksena. (Hokkanen & Strömberg 2006, 40–41.)

Prosessien hallinnan ja kehittämisen yksi edellytys on mittaaminen. Prosessin ja tuotteen olennaisia ominaisuuksia mittaamalla ymmärrys prosessin toiminnasta lisääntyy, ja tämä antaa työkaluja myös ongelmia ennakoivaan toimintaan. Kokemuksen myötä on kuitenkin opittu, että prosessi paranee systemaattisen mittauksen tuloksena sinänsä: jo pelkkä mittaustulosten näkeminen vaikuttaa organisaatiossa alitajuisella tasolla, vaikka tuloksista ei varsinaisia kehittämistoimia johdettaisikaan. Tästä huolimatta mittaaminen on kuitenkin keino, ei päämäärä itsessään. (Hokkanen & Strömberg 2006, 48, 50.)

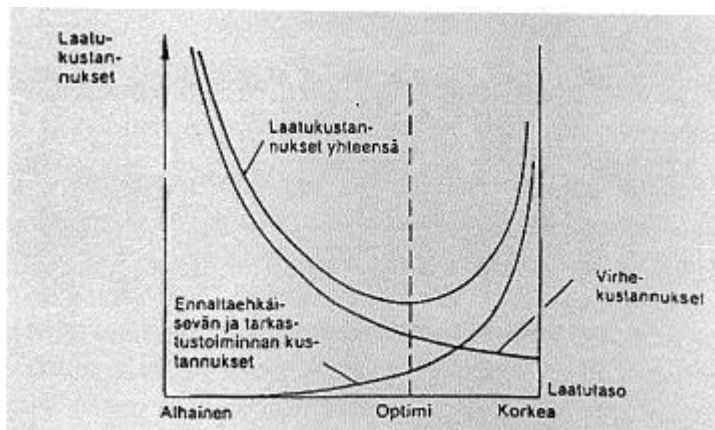
Tuotteen laatua voidaan mitata suoraan tai epäsuorasti mitattavissa olevista ominaisuuksista tai aistimukseen perustuvista ominaisuuksista. Suoraan mitattavissa oleva ominaisuus on esimerkiksi koneen teho, epäsuorasti mitattava koneen keskimääräinen vikaväli. Aistimukseen perustuvilla mittauksilla mitataan esimerkiksi elintarvikkeiden laatua (maku, haju). Puhutaan prosessimittareista, joilla seurataan prosessin suorituskyvyn kanalta merkittäviä asioita. Ilman relevantteja mittareita prosessia ei voi johtaa eikä kehittää systemaattisesti. Mittaustulosten arviointi ja ratkaisumallit tulosten parantamiseksi puolestaan ovat prosessianalyysia. Analyysivaiheessa voidaan hyödyntää lukuisia kehittämismalleja, kuten Six Sigmaa tai benchmarkingia. (Hokkanen & Strömberg 2006, 52; Lecklin & Laine 2009, 43.)

3.4.2 Laatu ja hinta

Virheet ja laatu puutteet aiheuttavat yritykselle kustannuksia. Toisaalta myös ne toimenpiteet, joilla pyritään virheiden eliminointiin, aiheuttavat kustannuksia. Laatu kustannukset ovatkin hyvä mittari, kun yrityksessä aletaan pohtia kehityspanosten asettamista. Vaikka jotkut laadun asiantuntijat pitävät laatu kustannusten selvittämistä turhana vedoten ns. jäävuoriteoriaan – siihen, ettei selvitystyölläkään voida saada selville kuin pieni osa todellisista laatu kustannusten syistä – on monissa menestyvissä yrityksissä onnistuttu pudottamaan kokonaiskustannuksia merkittävästi järjestelmällisen laatu kustannusselvityk-

sen myötä. Teoreettisesti kustannusoptimointi on yksinkertaista: määritetään kustannusfunktio ja haetaan derivoimalla sen minimikohta. Ongelmana on kuitenkin itse funktion määrittäminen ja jokaisen kustannustekijän erittely. (Hokkanen & Strömberg 2006, 52, 65, 67–68.)

Kuvan 5 kuvaaja esittää laatukustannusten pääryhmiä laatutason funktiona. Nämä pääryhmät ovat virhekustannukset sekä ennaltaehkäisevän ja tarkastustoiminnan kustannukset.



KUVA 5. Laatukustannusten pääryhmät laatutason funktiona (Hokkanen & Strömberg 2006, 66)

Kuvaajasta huomataan, että lisäykset ennaltaehkäisevään toimintaan vähentävät virhekustannuksia ja sitä kautta laadun kokonaiskustannuksia. Kuitenkin ennaltaehkäisevät toimet täytyy kohdistaa oikeisiin asioihin, minkä lisäksi ne yleensä vaikuttavat laatukustannuksiin viiveellä. Japanissa ja Euroopassa tehtyjen tutkimusten valossa hyvin suunnitellut ennaltaehkäisevät toimet kuitenkin vähentävät pitkällä aikavälillä kuluja enemmän, kuin mitä niihin itseensä käytetään. (Hokkanen & Strömberg 2006, 66–67.)

Laatukustannustarkastelua on hyvä tehdä tuotteittain, tuoteryhmittäin, osastoittain jne. Hyödyllistä on myös jakaa tarkastelu virhetyyppien ja syiden mukaan. Tarkastelussa olennaista on erottaa ne tekijät, joiden vaikutus lopputulokseen on suuri. Tällöin on havainnollista esittää virhekustannusten kuvaaja kumulatiivisena, ”laskea yhteen virhekustannusten kertymää tärkeimmistä virhetyypistä lähtien”. Tämä olennaisten tekijöiden erottaminen epäolennaisemmista perustuu ns. 80/20 -sääntöön: siihen, että noin 20 % syistä aiheuttaa noin 80 % seurauksista. Laatukustannuksiin soveltaen siis 20 % virhetyypeistä aiheuttaa 80 % virhekustannuksista. (Hokkanen & Strömberg 2006, 71–72.)

4 ANALYYSI

Analyysissa aineistosta poimitaan, yhdistellään ja järjestellään dataa ja selvitetään, mitkä tekijät mahdollisesti vaikuttavat käyryyden esiintymiseen sekä vaikuttaako käyräksi arvioitun materiaalin käyttäminen jalostuskoneiden tuottavuuteen. Tämä tapahtuu vertailemalla käyriä ja ei-käyriä ajoja eri muuttujien suhteen.

Kaikki datan käsittely suoritettiin Excelillä. Aluksi data tuli saattaa käsiteltävään muotoon niin, että vuoden 2019 kaikki ajotiedot sisältävään taulukkoon saatiin tieto siitä, mille kaikille ajoille oli lisätty käyryyskommentti. Käsittely aloitettiin erottamalla kommentoidusta taulukosta ne rivit, joiden kommentti viittasi aaltopahvin käyryyteen. Tällaisia kommentteja haettiin etsimällä viittauksia sanoihin *kiero*, *käyrä*, *käyryys* ja *käppyrä*. Excelillä määritettiin käyryyttä koskeville kommentteille status 1 ja muuta kuin käyryyttä koskeville kommentteille status 0.

Toisena toimenpiteenä käyryysstatustieto lisättiin taulukkoon, jossa oli ilmoitettuna kaikkien vuoden 2019 ajojen tiedot. Tässä taulukossa niin ikään ne ajot, joille oli kirjattu käyryyspoikkeama, saivat statuksen 1, ja ne ajot, joille ei ollut kirjattu käyryyspoikkeamaa, saivat statuksen 0. Näin oleellinen tieto oli saatu numeeriseen muotoon.

Datalle tehtiin ennen varsinaisen analysoinnin aloittamista myös silmämääräistä verifiointia: poistettiin rivejä, joilla oli ainoastaan *-merkkejä sekä poistettiin ajoja, joissa esimerkiksi nopeus tai tuotetut määrät olivat saaneet arvon 0. Myös joitain rivejä, joissa työnumero oli saanut negatiivisen arvon, poistettiin. Poistettujen rivien määrä oli kymmeniä. Työ eteni siten, että kulloinkin tarvittava data poimittiin taulukosta ja ajonumeron avulla, p-hakufunktiota käyttäen, vietiin käyryysstatustieto (1 tai 0) käsittelyssä olevan datan (esim. arkkikoko) yhteyteen.

4.1 Käyryyden esiintyvyys

Tutkittiin käyryyden esiintyvyyttä koneittain sekä sitä, vaikuttaako jalostusajankohta, arkkikoko tai aaltopahvilaji käyryyden yleisyyteen. Aikatarkastelussa katsotaan sekä valmistuksen ja jalostuksen välillä kulunutta aikaa sekä jalostusajankohtaa kuukausittain ja vuosineljänneksittäin.

4.1.1 Käyryyden esiintyminen eri koneilla

Aluksi tarkasteltiin käyryyskommentoitujen ajojen osuutta kaikista ajoista. Poimittiin kaikkien jalostusajojen datan sisältävästä taulukosta Pivot-taulukkoon konenumero, työnnumero sekä status siten, että konenumerot asetettiin riveiksi ja työnnumero sekä status arvoiksi. Käyrien ajojen osuudeksi kaikista ajoista saatiin noin 8,4 %.

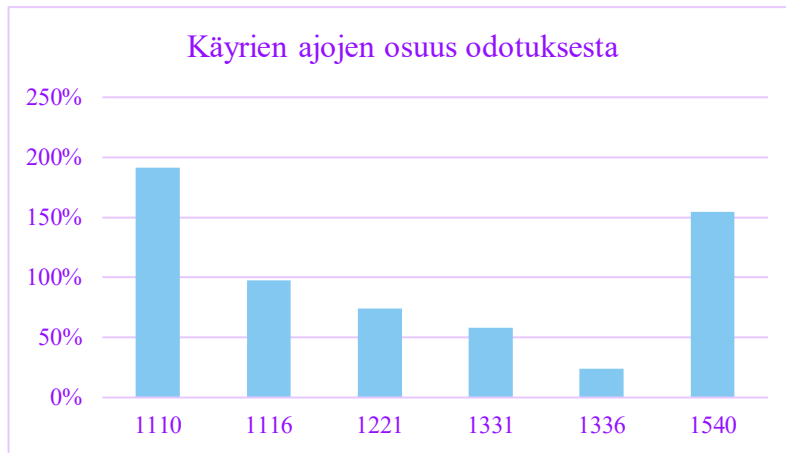
Määritettiin Pivot-taulukon arvon laskentaperusteiksi työnumeroiden lukumäärä (=ajojen lukumäärä) sekä statusten summa. Statusten summan avulla saatiin taulukkoon näkyviin käyrien ajojen (=1) sekä ei-käyrien ajojen (=0) summa, joka siten kertoo käyrien ajojen lukumäärän ("nollat plus ykköset"). Näiden määritysten jälkeen laskettiin käyrien ajojen osuus koneen kaikista ajoista. Tarkastelun tulokset on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Käyrien ajojen osuus koneen kaikista jalostusajoista

Kone	Käyrien ajojen osuus koneen ajoista
1110	16,2 %
1116	8,2 %
1221	6,2 %
1331	4,9 %
1336	2,0 %
1540	13,1 %

Eri koneilla on ajettu vuoden aikana eri määrä ajoja. Lukumääräisesti vähiten ajetun koneen ajomäärä on noin puolet lukumääräisesti eniten ajetun koneen ajoista. Niinpä laskettiin vielä, kuinka suuren osuuden kaikista jalostusajoista kunkin koneen jalostusajot muodostavat ja laskettiin tämän osuuden perusteella odotusarvo konekohtaiselle käyrien ajojen lukumäärälle. Laskennassa kerrottiin käyrien ajojen kokonaismäärä koko aineis-

tossa kunkin koneen suhteellisella osuudella ajoista ja asetettiin tämä käyrien ajojen odotusarvoksi kullekin koneelle. Kuviossa 1 on esitetty konekohtainen käyrien ajojen osuus laskennallisesta odotuksesta.



KUVIO 1. Konekohtainen käyrien ajojen osuus laskennallisesti odotettavissa olevasta käyrien ajojen määrästä

Huomataan, että koneet 1110 ja 1540 poikkeavat merkittävästi käyrien ajojen lukumäärässä muista. Koneella 1110 käyrien ajojen määrä on lähes kaksinkertainen laskennalliseen odotukseen nähden, koneella 1540 noin puolitoistakertainen. Toimeksiantajan mukaan koneella 1540 jalostetut arkit menevät pääasiassa jatkojalostukseen koneelle 1110. Tämä selittää koneiden lukumäärältään hyvin samanlaisen käyrien ajojen osuuden, muttei kuitenkaan eroa muihin koneisiin nähden.

4.1.2 Valmistuksen ja jalostuksen välinen aika

Yksi aaltopahvin käyristymistä selittävä tekijä voi olla aaltopahvin valmistuksen ja jalostuksen välisen ajan piteneminen. Oletuksena pidetään, että mitä pitempi aika valmistuksen ja jalostuksen välillä kuluu, sitä useammin aaltopahvi on jalostuksessa arvioitu käyräksi. Niinpä tarkasteltiin, vaikuttaako valmistuksen ja jalostuksen väliajan piteneminen käyryyden ilmentymiseen.

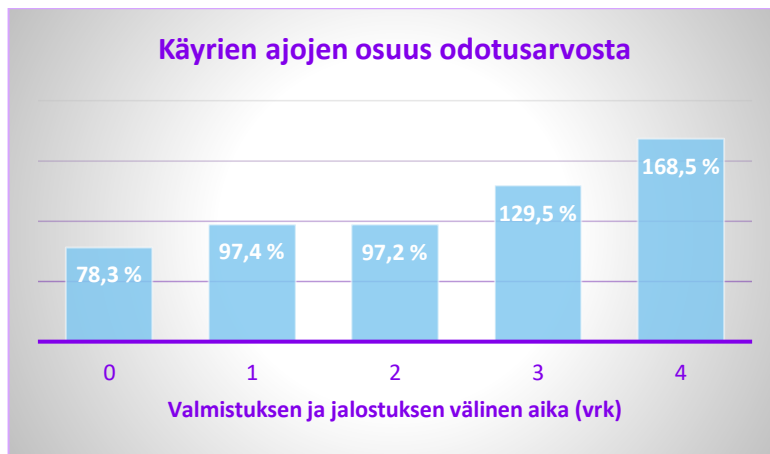
Tarkastelu aloitettiin muokkaamalla aaltopahvikoneen dataa. Data suodatettiin ajettujen arkkien lukumäärän perusteella pienimmästä suurimpaan, jolloin saatiin poistettua 0-rivit (eli rivit, joissa ajon lopputulemana oli 0 aaltopahviarkkia). Tämän jälkeen tehtiin jälleen

p-haku -toiminnon avulla täsmäytys, jotta kullekin aaltopahvikoneen ajoriville saatiin jalostuskoneella mahdollisesti lisätty käyryysstatustieto. Samalla karsittiin taulukosta ne aaltopahvikoneen ajot, joille ei ollut jalostuskoneen ajoa lainkaan.

Seuraavaksi haettiin hylkytaulukosta päivämäärätieto jalostuskoneen ajolle ja saatettiin se yhdenmukaiseen solumuotoon valmistuspäivämäärän kanssa. Sitten jälleen täsmäytettiin rivit p-haun avulla siten, että saatiin taulukoitua valmistus- ja jalostuspäivämäärät, ajonumero sekä käyryysstatus. Tämän jälkeen laskettiin valmistamisen ja jalostamisen väliin jäänyt aika yksinkertaisella vähennyslaskulla sekä tarkasteltiin sitä, lisääntyvätkö käyrät ajot väliajan pidentyessä. Huomiotta jätettiin tilanteet, joissa väliaika oli negatiivinen. Tällaiset tapaukset selittyvät sillä, että samaa ajoa oli saatettu ajaa useana päivänä ja jalostus aloittaa jo ennen koko kyseisen ajon saamista päätökseen aaltopahvikoneella.

Käyryysstatus, ajonumero sekä valmistuksen ja jalostuksen välillä kulunut aika (vrk) taulukoitiin Pivot-taulukoksi siten, että suodattimeksi asetettiin status, riveiksi kulunut aika (vrk) ja arvon laskentaperusteeksi ajonumeroiden lukumäärä. Käyrien ajojen osuus tässä taulukossa oli noin 9,4 %. Noin 95,3 % kaikista jalostusajoista oli ajettu valmistusta seuraavien neljän vuorokauden aikana, joten tarkastelu rajattiin aikavälille 0–4 vrk. Neljästä vuorokaudesta eteenpäin mentäessä olisivat ajojen absoluuttiset määrät laskeneet niin pieniksi, ettei tilastollinen tarkastelu olisi ollut enää luotettavaa.

Tarkasteltiin käyrien ajojen osuutta kaikista ajoista vuorokausittain (0–4) siten, että laskettiin kaikkien ajojen vuorokausittaisen lukumäärän perusteella odotusarvo kunkin vuorokauden käyrien ajojen lukumäärälle. Perusteena käytettiin koko aineiston käyrien ajojen osuutta, joka oli edellä mainittu 9,4 %. Koostettiin vuorokausikohtainen jakauma todellisen ja odotusarvon mukaan ja tehtiin jakaumalle chin neliö -testi, joka antoi tuloksen $4,9 \cdot 10^{-12}$. Kuviossa 2 on esitetty toteutuneiden käyrien ajojen osuus lasketusta odotusarvosta valmistuksen ja jalostuksen välisen ajan funktiona.

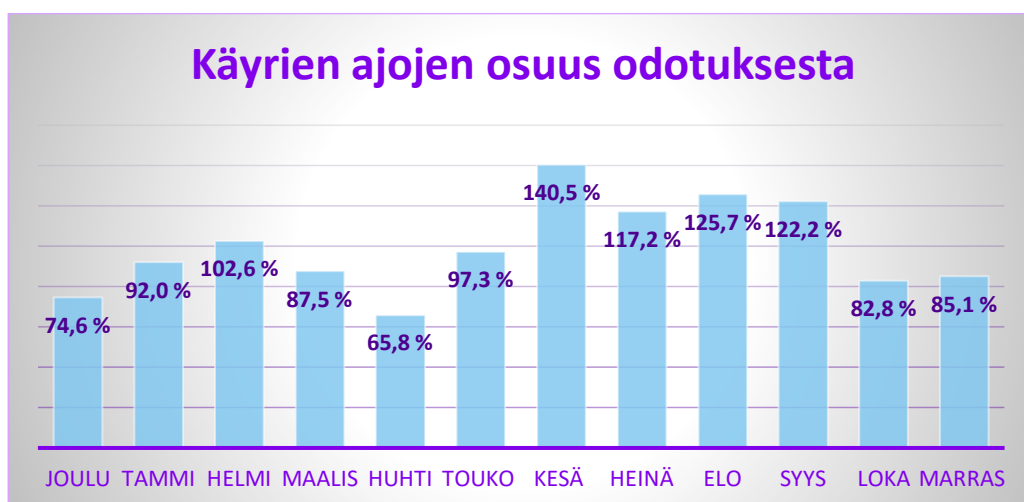


KUVIO 2. Käyrien ajojen osuus laskennallisesta odotusarvosta valmistuksen ja jalostuksen väliajan kasvaessa

Valmistuspäivänä toteutuneissa jalostusajoissa osuus on hieman alle 80 % odotusarvosta. Seuraavan kahden vuorokauden aikana käyrien ajojen osuus on kuta kuinkin odotusarvon verran, ja viimeisinä kahtena vuorokautena molempina suhteellisesti enemmän. Neljännen vuorokauden kohdalla käyrien ajojen osuus on lähes 170 % odotusarvosta.

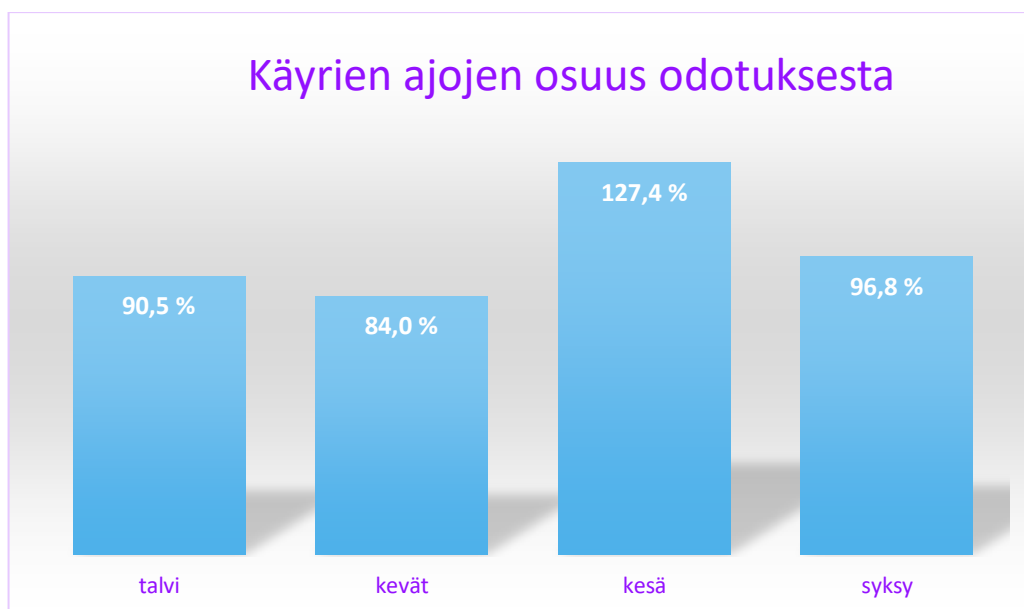
4.1.3 Jalostusajankohta

Tarkasteltiin jalostusajojen ajankohtaa ja käyryyden esiintymistä. Tuotanto- ja hylkytiedoston dataa yhdistettiin tiedostoksi, jossa oli jalostuspäivämäärä, työnumero ja käyryysstatus. Käyrien ajojen osuus kaikista ajoista oli noin 9,5 %. Jaettiin ajot kokonaisuutensa perusteella tasan jokaiselle kuukaudelle ja asetettiin käyrien ajojen odotusarvoksi 9,5 % kaikista ajoista. Näin toimittiin myös vuosineljännesten kohdalla, jossa tarkasteluvälit olivat joulukuu–helmikuu, maaliskuu–toukokuu, kesäkuu–elokuu sekä syyskuu–marraskuu. Tämän jälkeen koottiin jälleen todellinen ja laskennallinen frekvenssi käyrille ajoille kuukausittain ja vuodenajoin ja tehtiin chin neliö -testi, josta saatiin tulokset $9,0 \cdot 10^{-9}$ (kk) sekä $5,4 \cdot 10^{-8}$ (vuodenaika). Käyrien ajojen osuudet laskennallisesta odotuksesta on esitetty kuvioissa 3 ja 4.



KUVIO 3. Käyrien ajojen esiintyminen kuukausittain suhteessa odotukseen

Jalostusajankohtaan liittyvässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon juhlapyhien vaikutusta käyntipäiviin, eikä myöskään eroa kuukausien pituudessa. Koko vuoden ajot on siten jaettu tasan kahdellatoista. Kuukausittaisen tarkastelun perusteella kesäkuu–syyskuu vaikuttaisi erottuvan periodina, jolloin käyryyskommentoituja ajoja on erityisen paljon. Ajojen kokonaismäärä eri kuukausina on käytännössä sama. Poikkeuksen muodostaa joulukuu, jolloin ajoja oli noin 74 % vilkkaimman kuukauden ajojen lukumäärästä.



KUVIO 4. Käyrien ajojen esiintyminen vuodenajoin suhteessa odotukseen

Koska aiemmassa tarkastelussa huomattiin käyryyden yleistyvän valmistuksen ja jalostuksen väliajan pidetessä, tarkasteltiin vielä aikaväliä kesäkuu–syyskuu tästä näkökulmasta. Kesäkuu–syyskuu muodostaa kolmanneksen (33 %) vuodesta, mutta kyseisellä

ajanjaksolla ajettiin yli 50 % niistä ajoista, joissa valmistuksen ja jalostuksen välinen aika oli 4 vuorokautta, sekä noin 54 % niistä ajoista, joissa valmistuksen ja jalostuksen välinen aika oli 3 vuorokautta. Yhden ja kahden vuorokauden ylitysten kohdalla vastaavat osuudet olivat kesä-syyskuussa 43 % ja 46 %, ja valmistusvuorokauden aikana suoritettujen jalostusajojen kohdalla noin 38 %, joka on jo melko lähellä ajanjakson osuutta vuodesta.

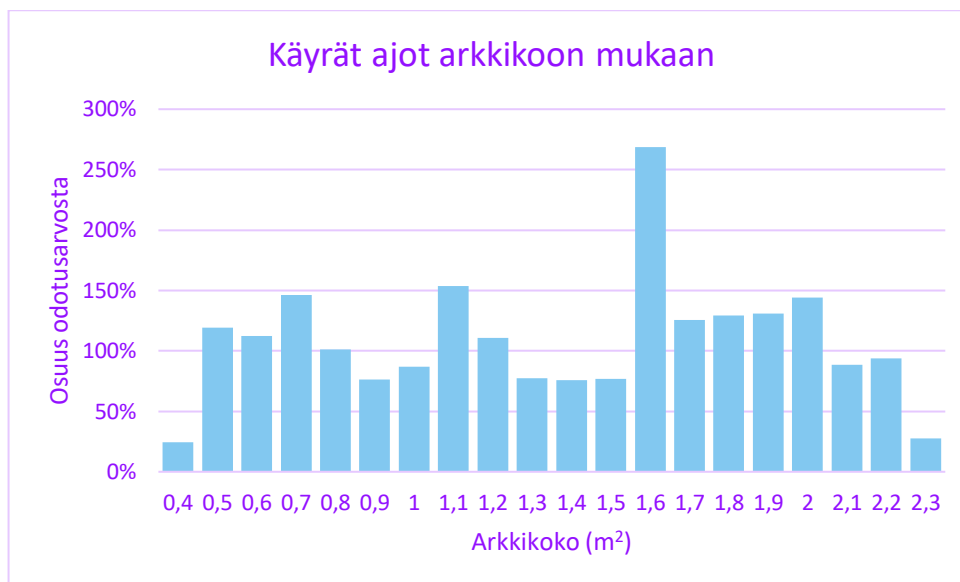
4.1.4 Arkkikoko

Tarkasteltiin myös jalostettavan arkin koon vaikutusta käyryyden ilmentymiseen. Toimitustaulukon neliö- ja kappaletietojen avulla laskettiin kussakin ajossa jalostetun aaltopahviaihion pinta-ala (m^2). Tämän jälkeen yhdistettiin aihion pinta-alaan hylkytaulukosta tieto siitä, kuinka monta aihiota kyseisessä ajossa oli yhdestä arkista jalostettu, ja tähän pinta-alatietoon yhdistettiin käyryysstatus. Huomionarvoista on, että arkin mittoja ei pystytty erittelemään, ainoastaan pinta-ala. Työhylyn (jalostusprosessissa syntyvän hyllyn määrä, leikkausjäte) osuus jätettiin arkkikoon laskennassa huomiotta, sillä sen voidaan perustellusti olettaa olevan melko pieni.

Saadussa taulukossa käyryyskommentoitujen ajojen osuus kaikista ajoista oli noin 6,7 %. 0-statuksen ajojen keskimääräinen arkkikoko oli käytännössä sama (1,01-kertainen) kaikkien ajojen keskiarvoon suhteutettuna, ja 1-statuksen keskimääräinen arkkikoko oli noin 1,1-kertainen 0-statukseen verraten.

Jaettiin ajot jalostukseen menevän arkin koon perusteella $0,1 m^2$:n luokkiin ja koostettiin jakauma kaikkien ajojen lukumäärästä sekä käyrien ajojen lukumäärästä näissä luokissa. Laskettiin käyrille ajoille odotusarvo kuhunkin kokoluokkaan osuudella 6,7 %. Alue, jolla käyrien ajojen odotusfrekvenssi täytti chin neliö -testauksen edellytykset, oli $0,4 m^2$ – $2,3 m^2$. Noin 87 % ajoista sijoittui tälle kokoalueelle.

Tehtiin jälleen chin neliö -testaus todelliselle ja odotettavissa olevalle 1-statuksen jakaumalle ja saatiin tulos noin 0,016. Kuviossa 5 on esitetty arkkikoon mukaan osuus, jonka todellinen käyrien ajojen määrä muodostaa laskennallisesta odotusarvosta arkkikoon mukaan.



KUVIO 5. Käyrien ajojen osuus suhteessa laskennalliseen 6,7 %:n odotukseen arkkikoon mukaan

Arkkikokoko 1,6 m² erottuu aineistosta selkeänä piikkinä. Niinpä tarkasteltiin erikseen käyryyden ilmentymistä tässä kokoluokassa. Aineistosta poimittiin kaikki ajot, joissa arkkikoko on välillä 1,599 m²–1,7 m² ja jaettiin nämä ajot aaltopahvityypin mukaan ryhmiin, joita oli neljä. Tämän jälkeen tarkasteltiin käyrien ajojen esiintymistä eri ryhmistä. Tulokset on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Käyrien ajojen ilmeneminen aaltopahviryhmittäin kokoluokassa 1,6 m²

AP-ryhmä	Käyrien osuus AP-ryhmän ajoista tässä kokoluokassa	AP-ryhmän osuus tämän kokoluokan ajoista
A	0 %	3 %
B	24 %	50 %
C	0 %	18 %
D	0 %	29 %
yht.		100 %

Kaikki kokoluokan 1,6 m² käyrät ajot painottuvat yhteen aaltopahvityyppiin, joka kattaa puolet kyseisen kokoluokan ajoista kokonaisuudessaan. Tarkasteltiin vielä kyseisen aaltopahvityypin eri lajeja kaikkien kokoluokkien osalta ja selvitettiin käyryyden esiintymisen ryhmän aaltopahvilajeissa yleensä. Tulokset ovat taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Käyryyden esiintyminen aaltopahviryhmän B eri lajeissa

Laji	Käyrät ajot suhteessa odotukseen	Osuus AP-ryhmän ajoista
A	3,80	4,8 %
B	5,37	4,3 %
C	1,30	17,9 %
D	1,34	5,8 %
E	2,42	3,2 %
F	3,68	26,7 %
G	0,00	1,3 %
H	0,94	17,9 %
I	0,47	2,8 %
J	0,00	0,1 %
K	4,20	13,9 %
L	0,00	0,3 %
M	7,46	0,2 %
N	0,00	1,0 %

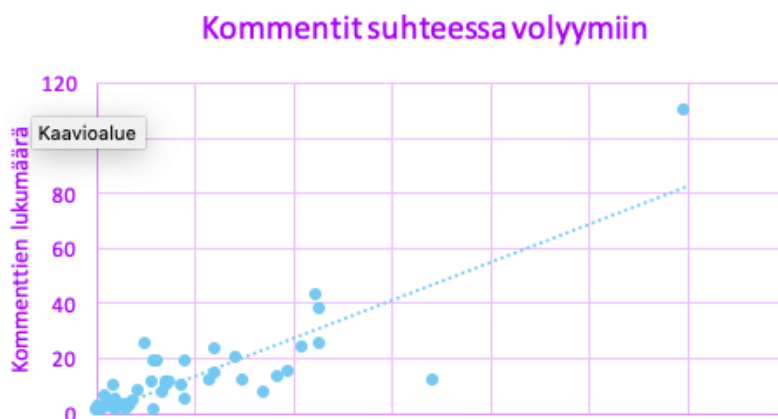
Tässä ryhmässä tuotantovolyymiltaan neljän merkittävimmän (tummennettu taulukossa) aaltopahvilajin kohdalla kolmessa käyryyden esiintyminen on odotettua yleisempää.

4.1.5 Aaltopahvilaji

Tarkasteltiin, esiintyykö joissakin aaltopahvilajeissa käyryyttä enemmän kuin muissa. Täsmäytettiin p-hakutoiminnolla toimitustaulukosta aaltopahvilaji sekä käyryysstatus. Taulukoitiin Pivotilla aaltopahvilaji, neliömäärä, kappalemäärä sekä status. Asetettiin pahvilajit riveiksi ja arvon laskentaperusteiksi neliöiden, kappaleiden sekä statusten summa kukin omaksi sarakkeekseen. Statusten summasta (”nollat plus ykköset”) saatiin jälleen käyryyskommentoitujen ajojen lukumäärä kyseiselle aaltopahvilajille. Aaltopahvilajeja on aineistossa kaikkiaan 71, joista 23 ei ollut saanut yhtään käyryysmainintaa. Nämä ”kommentittomat” aaltopahvilajit muodostivat neliöt yhteen laskien noin 1,7 % ja arkit yhteen laskien noin 1,3 % kaikesta tuotannosta.

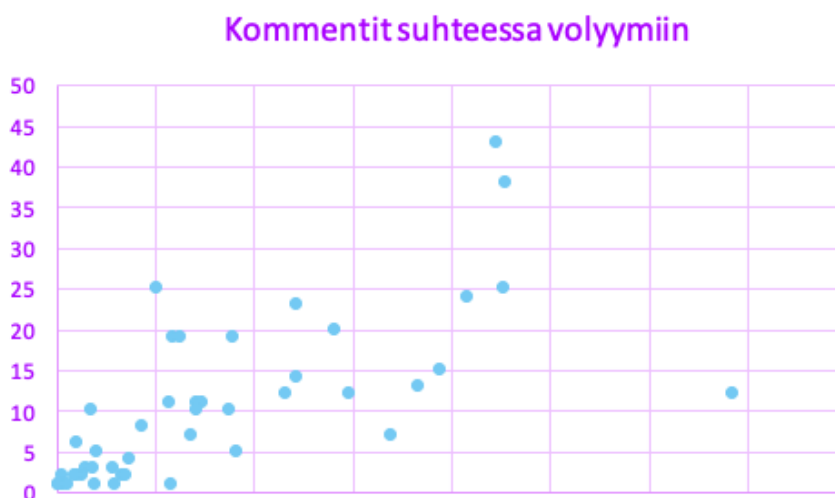
Laskettiin kunkin käyryyskommentoidun lajin saamat kommentit jalostettua pinta-alaa (m²) sekä jalostettujen arkkien määrää (kpl) kohden. Vähiten ja eniten kommentoidun lajin välinen ero oli yli 80-kertainen pinta-alaan ja noin 74-kertainen kappalemäärään nähden. Eri aaltopahvilajien tuotantovolyymit kuitenkin vaihtelevat suuresti, neliömäärillä laskien jopa monituhatkertaisesti. Niinpä koottiin pistekuvaajia sen erittelemiseksi,

poikkeako jokin laji tai jotkin lajit merkittävästi käyryyskommenttimäärältään, kun suhteutetaan kommenttien määrä tuotannon määrään. Kuviossa 6 on esitetty kommenttien määrä suhteessa tuotettuihin neliöihin trendiviivallisena pistekuvaajana. Raportin kuviossa näkyvistä on poistettu x-akselin arvot, joihin käytettiin suoraan tuotettuja määriä.



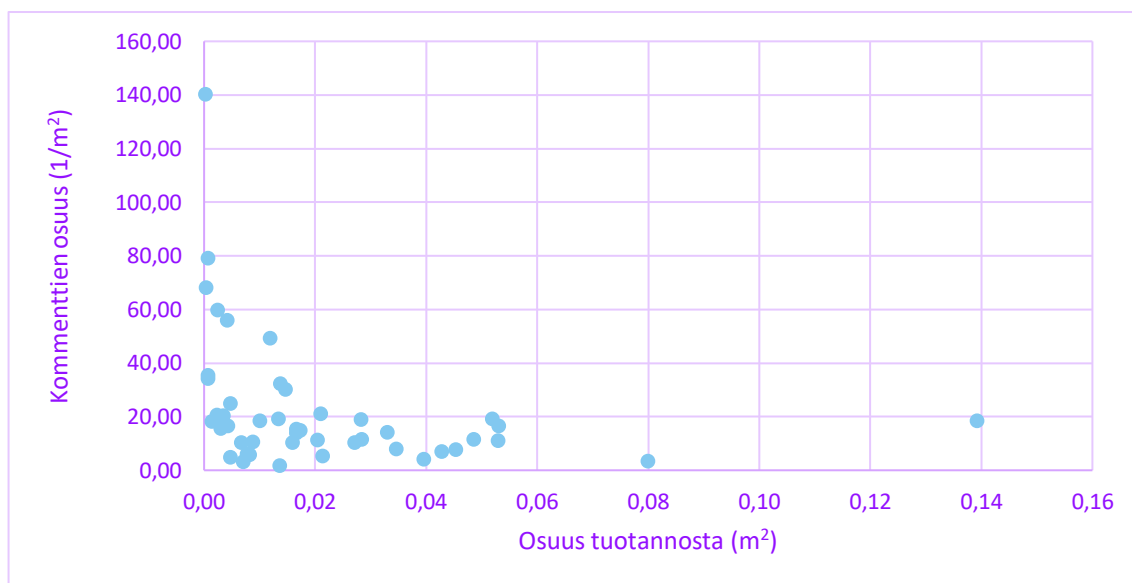
KUVIO 6. Käyryyskommenttien lukumäärä aaltopahvilajeittain suhteessa tuotettuihin neliömetreihin

Tällä tavoin skaalatulla pistekuvaajalla eri aaltopahvilajit tuntuvat asettuvan pääasiassa lineaarisesti tuotantomäärän ja käyryyskommenttien suhteen, vaikka erityisesti kaksi eniten tuotettua lajia poikkeavat joukosta melko paljon. Koottiin kuitenkin vielä neliömäärään suhteutettujen kommenttien pistekuvaaja (kuvio 7), josta poistettiin eniten tuotettu ja myös eniten kommentteja saanut aaltopahvilaji, jolloin kuvaajan alkupään datapisteiden väliset erot saatiin paremmin näkyviin.



KUVIO 7. Käyryyskommenttien lukumäärä suhteessa tuotettuihin neliömetreihin, eniten tuotettu laji poistettu

Kuvion 7 kuvaajassa on hajontaa, joka ei tule esiin aiemmassa kuvaajassa. Niinpä tarkasteltiin vielä sitä, erottuuko jokin laji tai jotkin lajit joukosta siten, että käyryyskommenttien pinta-alakohtainen määrä sekä kyseisen lajin osuus tuotetusta pinta-alasta kokonaisuutena olisivat molemmat suuria. Laskettiin pahvilajeittain käyryyskommenttien määrä jalostettua neliötä kohden ja kerrottiin tulos luvulla 10^6 , jotta mittaluokasta saatiin järkevä. Laskettiin myös kunkin aaltopahvilajin osuus (m^2) koko tuotannosta. Tulos on esitetty pistekuvaajana kuviossa 8.



KUVIO 8. Aaltopahvilajin saamien käyryyskommenttien pinta-alakohtainen määrä suhteessa kyseisen lajin osuuteen tuotetuista neliömetreistä

Kuvaajan perusteella huomataan yleisenä trendinä, että suhteellisesti eniten kommentteja saaneiden aaltopahvilajien osuus kokonaistuotannosta on pieni, ja vastaavasti paljon ajettujen aaltopahvilajien pinta-alaan suhteutettu käyryyskommenttien määrä on melko pieni.

Aaltopahvilajeja kuitenkin taulukoitiin yksityiskohtaisemmin siten, että laskettiin kullekin lajille sen tuotanto-osuuden mukainen odotusarvo käyryyskommenteille. Tämän lisäksi jaettiin tuotanto (100 %) tasan kaikille kommentoiduille aaltopahvilajeille, joita oli $47 \left(\frac{100 \%}{47 \text{ lajia}} \approx 2,1 \frac{\%}{\text{laji}} \right)$. Lajit taulukoitiin toimeksiantajalle kriittisyyden mukaan: ne lajit, joiden osuus tuotannosta oli yli ”tasajaon” (yli 2,1 %) ja joiden saama käyryyskommenttien määrä oli vähintään 30 % odotettua enemmän, saivat -2 pistettä. Ne lajit, joiden saama kommenttien määrä oli enintään 30 % yli odotetun määrän ja joiden osuus tuotannosta oli yli 2,1 %, saivat -1 pistettä. Ne lajit, jotka saivat odotettua vähemmän tai korkeintaan odotetun määrän käyryyskommenteja ja joiden tuotanto-osuus oli yli 2,1 %, saivat 0 pistettä.

saivat +1 pistettä. Alle 2,1 % osuuden tuotannosta muodostavat lajit samoin kuin ne lajit, joiden absoluuttinen käyryyskommenttien määrä oli alle 5, jätettiin pisteuttamatta.

Erittelyn tuloksena -2 pistettä saaneita lajeja oli kolme, -1 pistettä saaneita lajeja kaksi ja +1 pistettä saaneita yksitoista. Laskettiin, kuinka suuri osa (m²) miinuspisteitä saaneista lajeista ajettiin milläkin koneella. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4.

Kone	”Ongelmalajeista” ajettu (m ²)
1110	56,5 %
1116	14,4 %
1221	20,6 %
1331	6,7 %
1336	1,0 %
1540	0,9 %

Taulukosta huomataan, että suurin osa ongelmallisten lajien neliömetreistä on ajettu koneella 1110. Kyseisellä koneella oli myös yliedustus käyrien ajojen osuudessa. Sen sijaan melko hämmästyttävä tulos on se, että koneen 1540, joka myös on käyrien ajojen lukumäärässä yliedustettu, osuus kaikkein ongelmallisimmista lajeista on alle prosentti. Tämä on yllättävä tulos sikäläkin, että kyseisten koneiden ajomäärät kokonaisuudessaan ovat hyvin lähellä toisiaan.

4.2 Käyryyden vaikutukset

4.2.1 Vaikutus ajoaikaan ja ajonopeuteen

Seuraavaksi laskettiin ja tarkasteltiin ajoihin kulunutta aikaa. Taulukoitiin Pivotilla kone-numero, käyryysstatus sekä ajoihin kulunut aika, jotka löytyivät suoraan tuotantodatasta. Asetettiin Pivot-tilaukseen riveiksi konenumero, suodattimeksi status ja arvoiksi ajojen toteutunut aika. Määritettiin arvon laskentaperusteeksi toteutuneen ajoajan keskiarvo ja verrattiin 0- ja 1-statuksen ajoja. Käyrien ajojen ajoajat olivat keskimäärin 1,8-kertaiset ei-käyriin ajoihin nähden. 1-statuksen ajot olivat kestäneet 0-statuksen ajoja kauemmin kaikilla koneilla. Lyhimmillään koneen 1-statuksen ajot olivat keskimäärin 1,3 kertaa pidempiä 0-statukseen nähden, pisimmillään noin 2,1 kertaa pidempiä.

Tarkasteltiin ajoaikoja yksityiskohtaisemmin siten, että otettiin mukaan suunnitellun ja toteutuneen ajoajan ero. Jalostuskoneiden ajodatasta suoraan löytyvien suunnitellun ja toteutuneen ajoajan avulla laskettiin, paljonko aikaa kunkin koneen vuoden 2019 ajoihin kului sekä kuinka paljon menetettiin aikaa tavoitteeseen nähden. Käytännössä laskettiin yhteen kaikki toteutuneet ajoajat sekä eriteltiin taulukosta ne tilanteet, joissa toteutunut ajoaika oli ollut suunniteltua ajoaikaa enemmän. Erottelu tehtiin vähentämällä suunnitellusta ajoajasta toteutunut ajoaika, minkä jälkeen omaan sarakkeeseensa palautettiin negatiiviset erotukset kerrottuna luvulla -1, jolloin saatiin uusi muuttuja, menetetty aika. Positiiviset erotukset palautettiin omaan sarakkeeseensa arvolla 0.

Data järjestettiin Pivot-tilukoksi siten, että riveille asetettiin konenumero, arvon laskentaperusteiksi toteutuneen ajoajan sekä menetetyt ajan summat (h) ja suodattimeksi jälleen käyryysstatus. Huomionarvoista on, että tarkastelu kohdistettiin vain kokonaisaikaan sekä niihin tilanteisiin, joissa ajoon oli kulunut suunniteltua enemmän aikaa. Ne mahdolliset tilanteet, joissa käyrään ajoon onkin kulunut suunniteltua vähemmän aikaa, ovat siten tarkastelun ulkopuolella. Taulukossa 5 on esitetty konekohtaisesti osuus, joka menetettyä aikaa tulee toteutunutta aikaa kohti molemmilla statuksilla yhdessä ja erikseen.

TAULUKKO 5. Menetetyt ajan osuus kaikesta käyntiajasta

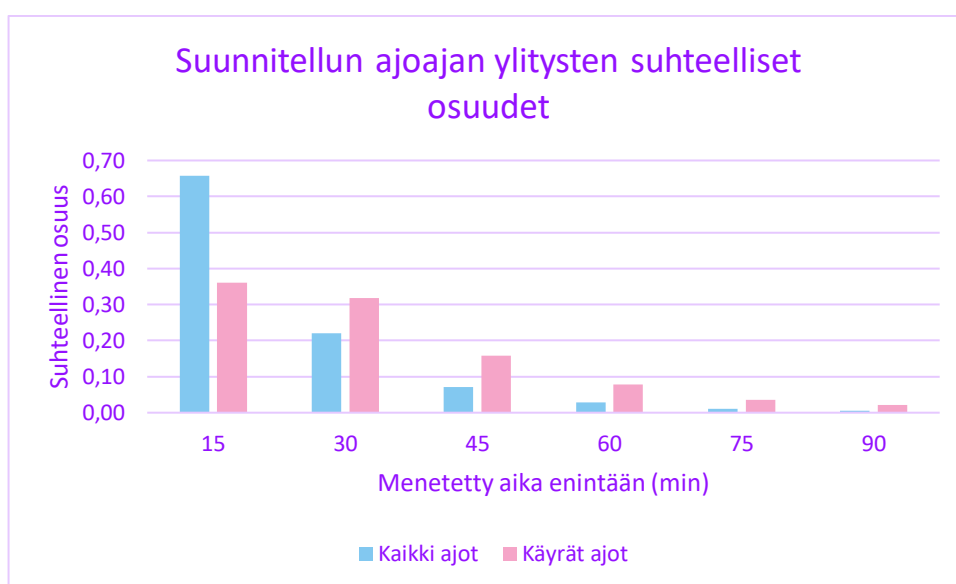
Kone	Menetetty aika, kaikki ajot	Menetetty aika, 0-statuksen ajot	Menetetty aika, 1-statuksen ajot
1110	14,20 %	14,80 %	12,50 %
1116	15,90 %	15,40 %	20,10 %
1221	15,70 %	15,20 %	20,90 %
1331	16,00 %	15,50 %	21,90 %
1336	18,00 %	17,80 %	23,70 %
1540	19,00 %	20,00 %	15,90 %
Yht.	16,20 %	16,10 %	16,50 %

0-statuksen ajojen osalta menetetyt ajan osuudet ovat ymmärrettävästi hyvin lähellä kaikkien ajojen osuuksia – muodostavathan ne yli 91 % kaikista ajoista. Statuksen 1 ajoilla menetetyt ajan suhteellinen osuus on neljässä tapauksessa kuudesta suurempi kuin kaikissa ajoissa, kahdessa tapauksessa kuudesta taas pienempi kuin kaikissa ajoissa.

Koska kaikkien ajojen (status 0 + status 1) tilanne kuvastaa kaikkien jalostuskoneiden ajoja koko vuoden ajalta, sitä voitaneen pitää kohtuullisen tarkkana kuvauksena normaalitytilanteesta. Toisin sanoen voidaan olettaa, että ajoajan ylityksiä esiintyy toimeksiantajan jalostusprosessissa yleisesti tässä aineistossa esiintyneen verran. Seuraavaksi selvitettiin, onko statuksen 1 ajoissa ilmenevä ajanlisäys tilastollisesti merkittävä vai asettuuko se yhtenäiseen linjaan kaikissa ajoissa esiintyvien ajanlisäysten kanssa.

Menetetty aikamäärä vaihtelee aineistossa välillä 1–220 minuuttia. Excelin taajuusfunktion avulla koostettiin jakauma menetetyistä ajasta ja jaettiin se viidentoista minuutin luokkiin siten, että ensimmäinen tarkasteltava väli oli 1–15 minuuttia. Aloittamalla minuutista saatiin aineistosta karsittua ne tapaukset, joissa ajoajan ylitys oli 0.

Yli 99 % ajoista, joissa suunniteltu ajoaika oli ylittynyt, ylitys oli enintään 90 minuuttia. Niinpä tarkastelu rajattiinkin tapauksiin, joissa menetetty aika oli korkeintaan tämän verran. Kuviossa 9 on esitetty graafisesti, miten ajoajan ylitykset jakaantuvat suhteellisesti eri aikafrekvensseihin kaikissa ajoissa ja 1-statuksen ajoissa.



KUVIO 9. Eri pituisten ajoajan ylitysten osuus kaikista ajoajan ylityksistä

Palkit kuvaavat tietyn aikafrekvenssin ylityksen osuutta kaikista ajoajan ylityksistä. Huomataan, että yleisin tilanne sekä kaikilla ajoilla, että statuksen 1 ajoilla, on enintään varttitunnin ajanlisäys. Enintään varttitunnin ajanlisäys on ainoa tilanne, jossa kaikkien ajojen suhteellinen osuus on 1-statuksen ajojen suhteellista osuutta suurempi. Enintään puolen

tunnin ajanlisäykseen siirryttäessä viivästyneiden ajojen lukumäärä putoaa kaikkien ajojen osalta alle kolmannekseen, kun taas 1-statuksen ajoilla pudotus on melko vähäinen. Enintään puolen tunnin, samoin kuin kaikkien sitä pidempien viivästysten, kohdalla käyrien ajojen viivästymiset ovat suhteellisesti selvästi yleisempiä kuin kaikissa ajoissa keskimäärin.

Seuraavaksi laskettiin kaikissa ajoissa esiintyvien ajanlisäysten perusteella odotusfrekvenssi käyrien ajojen kohdalla esiintyville ajanlisäyksille. Käyrien ajojen osuuden kaikista ajoista oli aiemmin laskettu olevan yhteensä noin 8,4 %. Asetettiin käyrien ajojen ajanlisäyksen odotukseksi kaikkien ajojen ajanlisäysfrekvenssi kerrottuna suhdeluvulla 0,084. Näin saatiin statuksen 1 ajoille odotusfrekvenssi, jonka mukaisesti statuksen 1 ajoissa tulisi ilmetä ajanlisäyksiä, kun oletetaan, että käyryys ei niitä aiheuta.

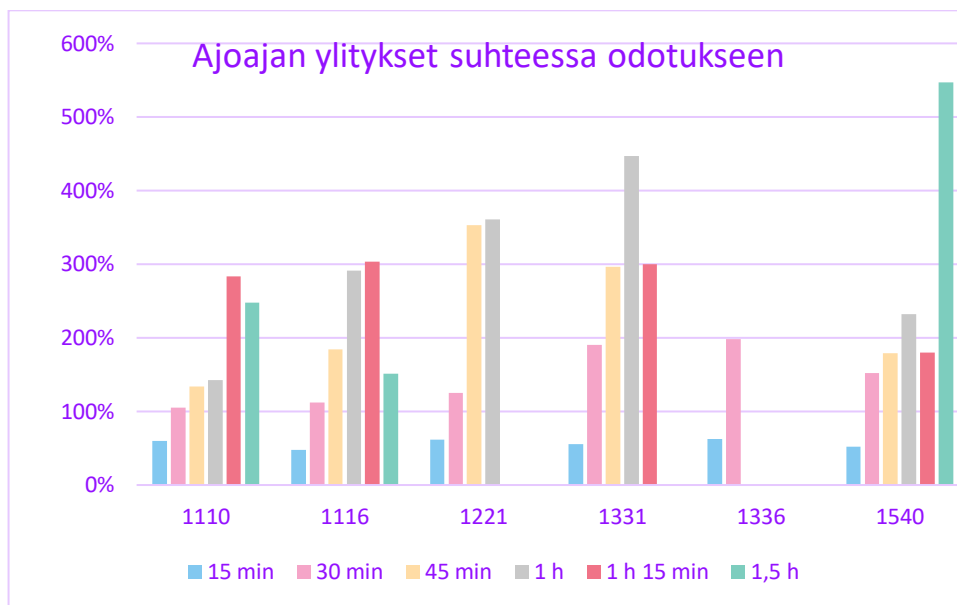
Tämän jälkeen odotusfrekvenssille ja todelliselle frekvenssille tehtiin chin neliö -testi, joka antoi tuloksen $p \approx 7,23 \cdot 10^{-59}$. Kuviossa 10 on esitetty käyrissä ajoissa esiintyvät ajoajanlisäykset todellisen ja odotetun lisäyksen välisenä suhteena.



KUVIO 10. Käyrissä ajoissa esiintyvien ajanlisäysten todellinen lukumäärä suhteessa laskennallisesti odotettavissa olevaan määrään

Huomataan, että pienimmässä luokassa viivästyneiden ajojen osuus jää noin puoleen odotettavissa olevasta, kun taas muissa luokissa todellinen viivästyneiden ajojen määrä ylittää odotusfrekvenssin. Todellinen osuus on suhteessa odotukseen sitä suurempi, mitä pidemmästä ajanlisäyksestä on kyse.

Samalla tavoin määritettiin vielä konekohtaiset ajoajan ylitykset. Määrityksen tulokset on esitetty kuviossa 11. Grafiikassa ovat mukana kaikki todelliset viivästymiset lukuun ottamatta tapauksia, joissa laskennallinen odotusfrekvenssi on ollut alle 1 ja todellinen frekvenssi korkeintaan 1.



KUVIO 11. Konekohtaisten ajoajan ylitysten lukumäärä suhteessa laskennallisesti odotettavissa olevaan määrään

Joissain tapauksissa odotusfrekvenssejä oli lukumääräisesti liian vähän chin neliö -testauksen tekemiseksi, joten tilastollista merkitsevyyttä ei voitu testata kaikkien aikafrekvenssien suhteen. Testaus tehtiin kuitenkin sille osalle taulukkoa, jossa odotusfrekvenssit olivat tarpeeksi suuria. Ainoastaan koneen 1336 kohdalla testausta ei voitu tehdä lainkaan, sillä kyseisen koneen kohdalla odotusfrekvenssi oli alle 5 viidessä kuudesta aikaluokasta. Aineistossa toistuu kuitenkin johdonmukaisena ja tilastollisesti vähintään merkitsevänä ilmiö, jossa enintään 15 minuutin ajanlisäyksiä on odotettua vähemmän ja pidempiä viivästymisiä odotettua enemmän.

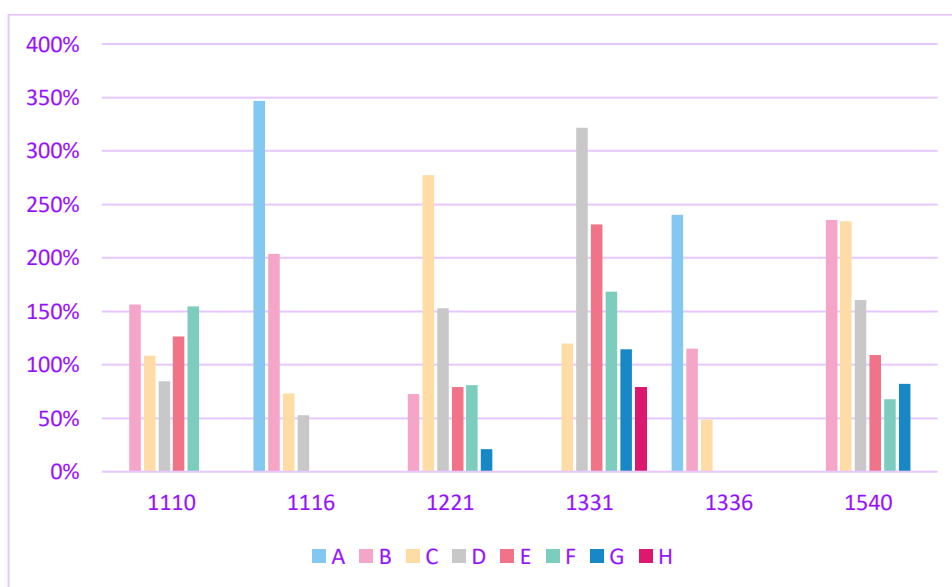
Ajoihin kulunut aika on ymmärrettävästi sidoksissa ajonopeuteen. Määritettiin edelleen Pivot-tilaukoinnin avulla konekohtainen ajonopeuden (arkkia/h) keskiarvo siten, että arvokenttään palautettiin laskentaperusteeksi keskiarvo muuttujasta ajonopeus. Suodattimiksi asetettiin status, jolloin saatettiin tarkastella kaikkia ajoja yhdessä sekä statusittain erikseen. 1-statusen kaikkien ajojen keskinopeus oli noin 85 % 0-statusen ajojen keskinopeudesta.

Taulukossa 6 on esitetty keskinopeusdata suhteellisina osuuksina. Kaikkien ajojen (status 0+status 1) keskinopeudeksi asetettiin 100 % ja suhteutettiin 0-statuksen ajojen sekä 1-statuksen ajojen keskinopeudet siihen.

TAULUKKO 6. 0- ja 1-statuksen keskimääräiset ajonopeudet suhteutettuna kaikkien ajojen keskimääräisiin nopeuksiin

Kone	Kaikki ajot	0-ajot	1-ajot
1110	1	1,00	0,99
1116	1	1,01	0,87
1221	1	1,01	0,92
1331	1	1,01	0,82
1336	1	1,00	0,79
1540	1	1,01	0,92

0-statuksen ajojen osalta keskinopeudet olivat kaikilla koneilla käytännössä samat: suorien ajojen keskimääräinen nopeus oli kaikilla koneilla 1,00- tai 1,01-kertainen kaikkien ajojen keskiarvoihin nähden. 1-statuksen ajojen osalta eroavuutta oli enemmän. Käyrien ajojen kohdalla keskinopeudet ovat laskeneet vaihtelevasti, koneella 1110 vähiten ja koneella 1336 eniten. On huomionarvoista, että niillä koneilla, joilla käyryyskirjauksia oli suhteellisesti eniten, 1-statuksen ajojen keskinopeus on laskenut vähiten. Kuviossa 12 on esitetty konekohtaisesti käyryyskommenttien todellisen ja laskennallisesti odotettavissa olevan lukumäärän suhde nopeusluokittain (A–H). A on pienimmän ja H suurimman nopeuden luokka. Kaikilla koneilla ei ole kaikkiin luokkiin osuneita ajoja.



KUVIO 12. Käyryyskommenttien jakautuminen keskinopeusluokkien mukaan

Kuviosta huomataan käyryyskommenttien olevan pääasiassa yleisempiä pienemmissä nopeusluokissa. Kuitenkin koneella 1110 käyryyskommentteja on kaikissa luokissa melko tasaisesti. Tämä sopii edelliseen huomioon siitä, että kyseisen koneen keskinopeuden muutos käyrien ajojen kohdalla oli kaikkiin ajoihin verraten pieni. Muiden koneiden kohdalla jakautumisprofiili on selkeämpi: käyryyden esiintyminen on suurempaa pienemmän nopeuden luokissa.

4.2.2 Vaikutus tuotantomääriin ja kustannuksiin

Seuraavaksi lähdettiin muuttamaan 1-statuksen ajojen tuomaa lisäaikaa ja nopeuden hidastumista konekohtaisesti menetetyiksi arkeiksi ja sitä kautta neliömetreiksi. Lähdettiin aluksi selvittämään vastausta kysymykseen ”*Kuinka paljon enemmän ajoihin meni aikaa, kun tietty määrä ajoista oli statuksen 1 ajoja, kuin mitä olisi mennyt, jos kaikki ajot olisivat olleet statuksen 0 ajoja?*”. Tätä selvitettiin keskimääräisten ajonopeuksien avulla. Koska tarkastelussa käytetään asiakastoimitusdataa, jätettiin kone 1540 tarkastelun ulkopuolelle. Tämä johtuu siitä, että kyseisellä koneella ajettu aaltopahvi menee talon sisällä jatkojalostukseen koneelle 1110.

Määritettiin ensin ajojen lukumäärän sekä keskimääräisten ajonopeuksien avulla, kuinka paljon ajoihin olisi kulunut aikaa konekohtaisesti, mikäli kaikki ajot olisivat olleet 0-statuksen ajoja. Tämä tehtiin laskemalla aika, joka koneella keskimäärin menee yhteen 0-statuksen ajoon, minkä jälkeen kerrottiin tämä keskimääräinen yhteen 0-statuksen ajoon kuluva aika kyseisen koneen kaikkien ajojen lukumäärällä. Tämä tulos on siten toteutunut ajoaika vuoden ajalta siinä hypoteettisessa tilanteessa, ettei yhdenkään ajon aaltopahvi ole käyrää.

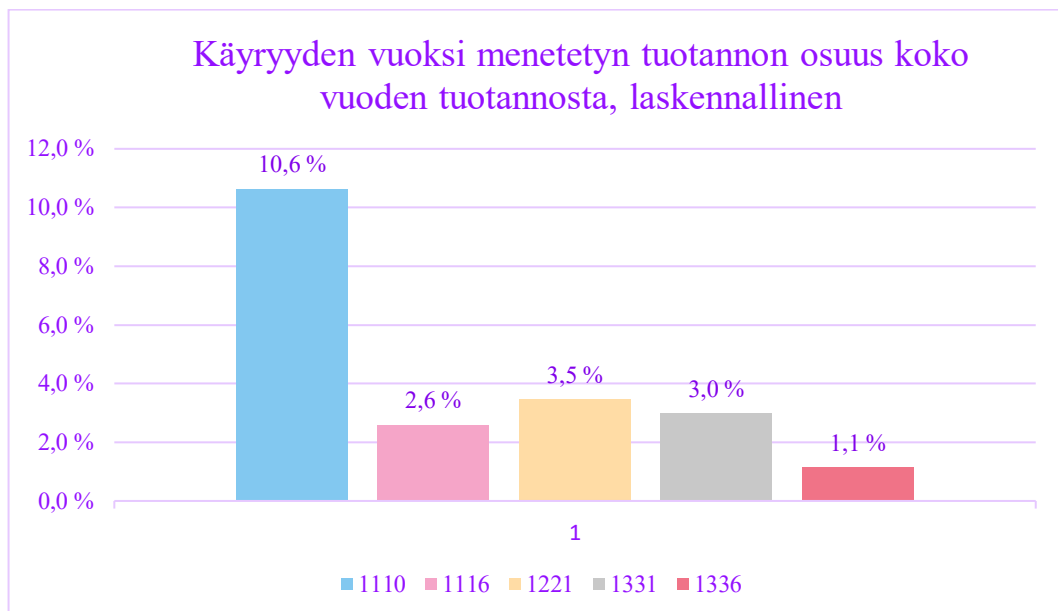
Seuraavana toimenpiteenä tämä hypoteettinen aika vähennettiin siitä ajasta, joka todellisuudessa oli kaikkiin 0- ja 1-statusten ajoihin kulunut, minkä jälkeen saatettiin laskea menetety tuotannon määrä keskimääräisten ajonopeuksien avulla. Nopeuksina käytettiin 0-statuksisten ajojen keskinopeuksia, koska haluttiin mallintaa optimitilannetta. Taulukoon 7 on koottu hypoteettiseen ajoaikaan liittyvän laskennan tulokset konekohtaisesti siten, että todellinen aika on asetettu jälleen arvoon 100 % ja hypoteettinen aika suhteutettu siihen.

TAULUKKO 7. Ajoajan hypoteettinen lasku, mikäli kaikki koneen ajot olisivat 0-statuksen ajoja

Kone	Todellinen ajoaika	Hypoteettinen ajoaika
1110	100 %	89,40 %
1116	100 %	97,40 %
1221	100 %	96,60 %
1331	100 %	97,00 %
1336	100 %	98,90 %

Huomataan, että koneen 1110 kohdalla hypoteettinen ajoaika on merkittävästi pienempi kuin muilla koneilla. Kyseisellä koneella keskinopeuksien ero ei ollut suuri, vaan 1-statuksen ajojen keskinopeus oli 99 % kaikkien ajojen keskinopeudesta. Oletettavaa on, että eron hypoteettiseen ajoaikaan tuo koneen 1110 suuri 1-statuksen ajojen lukumäärä.

Kuviossa 13 on esitetty konekohtainen menetetty tuotanto suhteutettuna vuosituotantoon. Tuotannon sekä menetetyn tuotannon määrät on laskettu koneen käyntiajan, hypoteettisen käyntiajan, keskinopeuksien (arkkia/h) sekä koneella ajettavien arkkien keskimääräisen koon (m^2 /arkki) perusteella.



KUVIO 13. Potentiaalisesti menetetyn vuosituotannon osuus (m^2) koneen koko vuoden tuotannosta, määrät laskettu keskinopeuksien perusteella

Edellisessä esimerkissä sekä todellinen että menetetty tuotanto ovat hypoteettisia. Laskennallisten tuotannon menetysten lisäksi tarkasteltiin myös sitä, kuinka suuren osan todellisesta tuotannosta käyrien ajojen ajonopeuksien perusteella menetetty tuotanto muodostaisi. Tämä tehtiin järjestämällä toimitustaulukon dataa Pivot-taulukoksi siten, että riveiksi valittiin konenumerot ja arvon laskentaperusteeksi pinta-alan (m²) summa. Tässäkin esimerkissä menetetty tuotanto on hypoteettinen, keskinopeuksien ja 1-statuksen ajojen alhaisemman keskinopeuden vuoksi menetettyjen ajotuntien perusteella laskettu. Kuviossa 14 esitetyt tulokset ovat suuruusluokaltaan sekä koneiden keskinäiseltä järjestykseltään samansuuntaiset kuin laskemalla saadut.



KUVIO 14. Menetetyt vuosituotannon osuus (arkkia) koneen koko vuoden tuotannosta, todellinen tuotanto haettu toimitusdatasta

Selvitettiin vielä potentiaalisesti menetetyt tuotannon osuutta keskimääräisten ajonopeuksien sekä aiemmin selvitetyn käyrissä ajoissa menetetyt kokonaisajan avulla. Kerrottiin konekohtainen menetetty aika (h) konekohtaisella 0-statuksen ajojen keskinopeudella (arkkia/h), muutettiin tuloksi saadut arkit neliöiksi ja suhteutettiin saadut neliömetrit koko vuoden tuotantoon samoin kuin edellä. Näin tarkastellen saadut suhteelliset tuotannon menetykset on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Potentiaalisesti menetetyt tuotannon osuudet koko vuoden tuotannosta ajoajan ylitysten perusteella laskettuina

Kone	Menetetyn tuotannon osuus toimitusdataan perustuvasta tuotannosta
1110	5,81 %
1116	4,06 %
1221	3,76 %
1331	3,11 %
1336	1,17 %

Eri tavoilla lasketut potentiaaliset tuotannon menetykset poikkeavat toisistaan huomattavasti. Todellisen käyrissä ajoissa menetetyt ajan mukaan lasketut tuotannon menetykset ovat melkein kautta linjan ratkaisevan paljon pienempiä kuin optimoiduilla ajonopeuksilla lasketut ajoajan – ja sitä kautta tuotannon – menetykset. Todelliseen menetettyyn aikaan nojaava laskutapa vaikuttaa tarkoituksenmukaisemmalta, ja tällä menetelmällä saadut tulokset tuntuvat sekä kokoluokan että eri koneiden välisen melko tasaisen osuuden kannalta luotettavammilta.

Eri tavoilla laskettujen tuotannon menetysten aiheuttama kustannusvaikutus laskettiin kertomalla menetetyt tuotannon osuudet toimeksiantajalta saadulla euromäärällä (€/m²). Myös hinta (€/kg) hyllylle saatiin toimeksiantajalta. Kustannusvaikutus hyllyn osalta saatiin tämän hinnan sekä hylkydata-aulukosta suoraan löytyvän, kuhunkin ajoon syötetyn aaltopahvimäärän (kg) perusteella. Rahallinen kustannus laskettiin paitsi menetetylle tuotannolle, myös menetetylle työajalle kunkin koneen miehistöluvun ja paperityöntekijöiden keskipalkan mukaan.

Käyryyden kustannukseksi potentiaalisesti menetetyt tuotannon sekä menetetyt työajan perusteella saatiin koneesta riippuen 1,3–14 €-sentiä tuotettua neliometriä kohden, kun laskennan perusteena käytettiin optimoitujen ajoaikojen avulla laskettua ajoaikojen menetyksiä. Kun perusteena käytettiin käyrissä ajoissa todellisuudessa menetettyä aikaa, tulos oli 0,8–4 sentiä tuotettua neliometriä kohti. Menetystä verrattiin tuotantodatasta saatuihin tietoihin tuotettujen aihoiden neliömääristä. Mikäli käyräksi arvioitu aaltopahvi olisi ohjattu aaltopahvikoneelta suoraan hylkyyn, olisi konekohtainen kustannus ollut 0,8–9 €-sentiä tuotettua neliometriä kohti. Kun verrattiin kokonaissummia vuodelle, oli hylkyyn ohjaamisen kustannus 1,6-kertainen verrattuna tuotantomenetyksiin, joita käyrissä ajoissa todellisuudessa havaitut ajanlisäykset aiheuttaisivat.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin aaltopahvin käyryyteen vaikuttavia tekijöitä sekä käyryyden vaikutusta aaltopahvin jalostuskoneiden tuottavuuteen. Käyryyden esiintyvyyttä tarkasteltiin konekohtaisesti ja tutkittiin, vaikuttaako arkkikoko, jalostusajankohta tai aaltopahvilaji esiintyvyyteen. Lisäksi tarkasteltiin sitä, kuinka ajoaika ja ajonopeus eroavat käyrien ja ei-käyrien jalostusajojen välillä ja laskettiin näiden tietojen avulla rahallista kokonaisvaikutusta tuotantoon vuositasolla. Käyryys on aaltopahvin olennaisin laatuero ja laatuvarioinnilla on vaikutusta yrityksen tuotanto- ja virhekustannuksiin.

5.1 Käyryyden syyt

Valmistuksen ja jalostuksen välisen ajan piteneminen lisää käyryyden esiintymistä tarkasteluvälillä 0–4 vuorokautta. Valmistusvuorokauden aikana jalostettujen arkkioiden kohdalla käyryyden esiintyvyys oli alle 80 % odotetusta, valmistusta seuraavien kahden vuorokauden aikana noin odotetun verran. Kolmantena ja neljäntenä vuorokautena puolestaan käyryyttä ilmeni selvästi odotettua enemmän, neljännen vuorokauden kohdalla lähes 170 % odotetusta. Tämä antaa viitteitä siitä, että pahvi on monessa tapauksessa aaltopahvikoneelta tullessaan ollut suoraa, mutta jalostuksen viivästymisen vuoksi käyristyvyysominaisuus on ikään kuin ehtinyt realisoitua ennen jalostuksen aloittamista. Tällöin käyryyden aiheuttamia ongelmia voitaisiin mahdollisesti vähentää tuotannosuunnittelulla, jalostamalla aaltopahvi mahdollisimman pian valmistuksen jälkeen.

Jalostusajankohtaan liittyen käyryyden esiintyminen vaikuttaisi olevan yleisempää kesäkuukausina, ja aikaväli kesäkuu–syyskuu erottui joukosta korkeilla käyrien ajojen osuuksilla. Toisaalta huomattiin myös, että kyseinen aikaväli oli yllätyksellisesti niissä tapauksissa, joissa valmistuksen ja jalostuksen välinen aika on pidentynyt. Voitaneen myös spekuloida sillä, vaikuttaako vakituisen henkilökunnan kesälomakausi ja mahdollisesti kokemattomampien operaattoreiden työskentely jalostuskoneilla kasvattavasti käyryyden kirjaamisiin. On mahdollista, että kokenut operaattori voi toiminnallaan sujuvoittaa prosessia tilanteissa, joiden kokemattomampi katsoo väistämättä johtavan prosessin hidastumiseen (tai pysähtymiseen) ja joissa syynä on käyrän aineksen epäjouheva kulkeminen

koneella. Tämä puolestaan voi vaikuttaa motivaatioon kirjata kyseiselle ajolle käyryspoikkeama. Näin ollen selkeitä johtopäätöksiä esimerkiksi sääolojen tai ilmankosteuden merkityksestä käyryyden esiintymisessä kesäkuukausina ei tehdä.

Käyryyden esiintymisen yhteydestä arkkikokoon ei voida vetää suoraviivaisia johtopäätöksiä, vaikkakin käyrien ajojen arkkikoko oli keskimäärin 10 % ei-käyrien ajojen arkkien keskikokoa suurempi. Tarkastellulla arkkikokojakaumalla todellisen ja odotetun jakauman ero jää merkitsevyydeltään tasolle *melkein merkitsevä* ($0,01 < \alpha < 0,05$), mutta toisaalta jakaumassa ei ole havaittavissa säännönmukaisuutta. Tarkastellun jakauman pienin ($0,4 \text{ m}^2$) ja suurin ($2,3 \text{ m}^2$) arkkikoko erottuivat joukosta pienimmillä käyrien ajojen osuuksilla, kun taas selkeästi suhteellisesti eniten (yli 250 %) odotettavissa olevasta käyryyskommenttimäärästä oli saanut arkkikoko $1,6 \text{ m}^2$. Tämäkin ilmiö selittyy kuitenkin lähemmässä tarkastelussa aaltopahvilajilla, ei jalostettavan arkin koolla. Kaikki kyseisen kokoluokan ($1,6 \text{ m}^2$) käyrät ajot keskittyivät tiettyyn aaltopahviryhmään, ja tämä ryhmä kattoi 50 % kokoluokan ajoista. Tarkemman, kyseisen ryhmän lajikohtaisen tarkastelun perusteella tässä ryhmässä käyriä ajoja esiintyy yleisesti (so. muissakin kokoluokissa) odotettavissa olevaa enemmän, suurimman volyymin lajissa jopa yli nelinkertaisesti.

Eri aaltopahvilajien jalostettua neliometriä kohden saamien kommenttien määrässä oli paljon eroja, ja erot eniten ja vähiten käyryyskommentteja suhteessa pinta-alaan tai arkkimäärään saaneiden lajien kesken olivat 70–80 -kertaiset. Tällä perusteella vaikuttaa todennäköiseltä, että aaltopahvin rakenne vaikuttaa sen taipumukseen käyristyä. Jalostajalle tärkeää on kuitenkin paitsi lajin käyristymistaipumus, myös osuus tuotannosta. Tuotettuihin kokonaismääriin suhteuttaen ei havaittu erityisen radikaaleja poikkeamia eri lajien välillä. Kun taulukoitiin kommenttien lukumäärä pinta-alaa kohden ja esitettiin se graafisesti tuotanto-osuuden funktiona, havaittiin yleisenä trendinä, että suhteessa tuotettuihin neliömääriin eniten kommentteja saaneet lajit olivat vähiten ajettuja, ja vähiten kommentteja saaneet lajit eniten ajettuja. Kommenttien ja tuotannon välinen suhde ei kuitenkaan ole lineaarinen, joten lajit jaettiin neljään luokkaan niiden kriittisyyden (käyryys ja tuotettu määrä) mukaan. Kun kriittisimpien lajien ajo-osuuksia eri koneilla vertailtiin, oli yli puolet niiden neliömäärästä ajettu koneella 1110.

5.2 Käyryyden vaikutukset

Käyryyden vaikutusta tarkasteltiin suhteessa ajoaikoihin ja ajonopeuksiin. Toteutuneita ajoaikoja verrattiin suunniteltuihin ajoaikoihin ja luotiin uusi muuttuja, menetetty aika. Menetty aika jaettiin varttitunnin luokkiin (15 min–90 min) ja tarkasteltiin ajojen viivästymisiä kaikissa ajoissa ja 1-statuksen ajoissa. Korkeintaan varttitunnin ajoajan lisäys oli yleisin tapaus sekä kaikissa ajoissa, että 1-statuksen ajoissa, ja 1-statuksen ajoissa korkeintaan vartin viivästys on suhteellisesti harvinaisempi kuin kaikissa ajoissa. Kaikkien muiden aikaluokkien kohdalla 1-statuksen viivästys oli todennäköisempi kuin kaikkien ajojen viivästys. Kun laskettiin, kuinka suuren osan todelliset 1-statuksen ajon viivästymiset muodostavat odotusarvosta kussakin aikaluokassa, todellisten viivästysten osuus kasvoi johdonmukaisesti. Kun enintään 15 minuutin viivästyksiä on käyrissä ajoissa noin puolet laskennallisesta odotuksesta, on vastaava osuus 350 % luokassa 75 min–90 min. Tällä perusteella voidaan todeta, että käyryys lisää yli 15 minuutin viivästyksiä ajoissa.

Käyryys vaikuttaa pienentävän ajonopeuksia. Kaikkien koneiden keskinopeus 1-statuksen ajoissa oli noin 85 % 0-statuksen ajojen nopeudesta. Vähiten keskinopeus muuttui koneella 1110. Konekohtaisista nopeusluokkaprofiileista huomattiin, että koneella 1110 käyryyskommentit jakautuvat melko tasaisesti kaikkiin nopeusluokkiin, kun taas muilla koneilla käyryyskommentit painottuivat selkeästi pienempiin nopeusluokkiin. On perusteltua olettaa, että syy alhaisemmille nopeuksille löytyy käyryydestä ja että kone 1110 on poikkeuksellinen ajettavuusominaisuksiltaan.

Kun laskettiin ajojen viivästymisistä ja laskeneista nopeuksista johtuvia potentiaalisia tuotantomenetyksiä, saatiin eri tavoin laskien erilaiset tulokset. Optimoitujen ajonopeuksien kautta lasketuilla ajoajan menetyksillä saatiin suuremmat tuotannon menetykset kuin todellisen, käyrissä ajoissa menetetyt ajan mukaan laskien. Ajonopeuksien perusteella laskien eniten tuotantoa menetettäisiin koneella 1110, mikä vaikuttaa paradoksaaliselta sikäli, että kyseisen koneen kohdalla todellinen ero 1-statuksen ajojen keskinopeudessa kaikkiin ajoihin verraten oli pienin. Tällä koneella kuitenkin käyrien ajojen osuus oli verraten suuri. Tuotannon menetykset laskettiin sekä todellisen, toimitusdatataulukosta saadun tuotantomäärän, että hypoteettisen, optimoituihin ajonopeuksiin perustuvan tuotantomäärän perusteella. Näin saadut tulokset olivat pienimpien tuotantomenetysten koneella 1,1–1,3 % (kone 1336) ja koneen 1110 kohdalla 10–13 %.

Toinen, tuloksiltaan koneiden kesken tasaisempi ja kaiken kaikkiaan pienempi tulos saatiin laskemalla menetetty tuotanto todellisen, käyriksi kommentoiduissa ajoissa menetetyt ajan ja keskinopeuksien perusteella. Tällöin kullakin koneella potentiaalisesti menetetyt vuosituotannon osuus oli 1,2–5,8 % koko vuoden toimitusdataan perustuvasta tuotannosta.

Kun laskettiin käyryyden aiheuttamaa rahallista vaikutusta, saatiin (edellisten laskentatapojen perusteella) tuotettujen pakkausaihioiden määrään (m²) suhteutettuna tulokset 1,3–14 €-senttiä/m² ja 0,8–4 €-senttiä/m². Huomionarvoista on, että käyräksi arvioitun aaltopahvin ohjaaminen suoraan hylkyyn ilman, että jalostusprosessia edes aloitettaisiin, olisi kustannusvaikutus suuri, 0,8–9 €-senttiä/m².

Tuottavuus määritellään tuotosten ja panosten väliseksi suhteeksi. Kun oletetaan, että aaltopahvin jalostusprosessin panokset pysyvät samoina, saadaan tuottavuudelle muutos suoraan konekohtaisten, potentiaalisesti menetettyjen tuotosten avulla:

$$\begin{aligned} \text{Tuottavuus} &= \frac{\text{Tuotokset}}{\text{Panokset}} \\ &= \frac{1 - \text{menetetty tuotanto}}{1} \end{aligned}$$

Todellisten, käyrissä ajoissa menetettyjen aikojen mukaisesti lasketut potentiaaliset tuotannon menetykset vaikuttavat koneiden tuottavuuteen taulukon 7 mukaisesti.

TAULUKKO 9. Käyryyden vaikutus jalostuskoneiden tuottavuuteen

Kone	Tuottavuus
1110	94,19 %
1116	95,94 %
1221	96,24 %
1331	96,89 %
1336	98,83 %

Kun kustannuksia käyrän materiaalin ajamisesta aiheutuvien tuotantomenetysten sekä käyräksi arvioitun materiaalin hylkyyn ohjaamisen välillä verrataan, huomataan hyl-

kyyn ohjaamisen olevan kustannusvaikutuksiltaan huonompi. Tällöin voidaan vetää johdopäätös, ettei käyryyden määrittäminen valmistuksen ja jalostuksen välissä ole mielekästä. Määrityksessä materiaali joko jatkaisi jalostukseen tai tiettyjen kriteereiden täytyessä ohjattaisiin hylkyyn, ja hylkyyn ohjaaminen olisi toimeksiantajalle kalliimpaa kuin käyrän aaltopahvin jalostaminen pienemmillä nopeuksilla. Lisäksi se, että kahdella jalostuskoneella ajoajan ylityksiä oli 0-statuksen ajoissa suhteellisesti enemmän kuin 1-status-ten ajoissa, antaa vahvoja viitteitä siitä, että viivytyksiä aiheuttavat käyryyden lisäksi muutkin tekijät.

5.2 Huomioita ja jatkotutkimusmahdollisuuksia

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina. Aineiston perusteella huomattiin, että esimerkiksi viivästymisiä suunnitellusta ajoajasta on sekä 0- että 1-statuksen ajoissa – vieläpä siten, että eniten käyryysmainintoja saaneilla koneilla viivästymisiä oli 0-statuksen ajoilla suhteellisesti enemmän. Käyryys ei siten kaikilta osin noussut yksiselitteisesti ilmiön syyksi. Tutkimusta voisi jatkaa konekohtaiseen tarkasteluun siitä, minkälaisia ristikkäisiä vuorovaikutuksia käyryydellä ja muilla muuttujilla on: onko esimerkiksi jokin kone erityisen herkkä tilanteelle, jossa tiettyyn kokoluokkaan kuuluva jalostettava arkki on arvioitu käyräksi?

Tutkimusaineistossa käyryyden lajia tai voimakkuutta ei ollut eritelty. Käyryyden laji voi kuitenkin olla olennainen tekijä ongelmien aiheutumisessa jalostusprosessissa. On mahdollista, että esimerkiksi koneen rakenteesta johtuen vaikkapa ylöspäin käyrä aaltopahvi ei aiheuta yhtä paljon ongelmia tietyllä koneella kuin jollain toisella. Oletettavaa on myös, että käyryys kirjataan ajon huomautukseksi erityisesti silloin, kun ajon sujuvuudessa on ongelmia. Näin ollen jalostusprosessissa on mahdollista käyttää aaltopahvia, joka mitauksessa saatettaisiin todeta käyräksi, mutta joka ei välttämättä aiheuttaisi ongelmia prosessissa. Myös käyryyden lajin ja/tai voimakkuuden vaikutusta ajoihin olisi mielenkiintoista selvittää.

Käyryys aiheuttanee myös kustannuksia muutenkin kuin prosessin hidastumisen ja siten menetetyn tuotannon ja työajan kautta. Kuten mikä tahansa laatupoikkeama, käyryyskin voi poikia valituksia asiakkailta ja johtaa korvauksiin tai jopa asiakassuhteen menetykseen. Käyryyden kokonaiskustannuksia arvioitaessa vaikutukset tuotantoprosessiin ovat siten vain yksi, joskin hyvin olennainen, alue.

LÄHTEET

Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Helsinki: WSOY.

Hokkanen, S. & Strömberg, O. 2006. Laatuun johtaminen. Jyväskylä: Sho Business Development Oy.

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2002. Tilastolliset menetelmät. 5. uudistettu painos. Helsinki: WSOY.

Laakso, O. & Rintamäki, T. 2000. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. Helsinki: Opetushallitus.

Lampainen, S. 1992. Lainerikartongin kuituorientaation ja vetojäykkyyden vaikutuksista aaltopahvin käyristyvyyteen. Kemiantekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.

Lecklin, O. 2002. Laatu yrityksen menestystekijänä. 4. uudistettu painos. Helsinki: Talentum Media Oy.

Lecklin, O. & Laine, R. 2009. Laadunkehittäjän työkalupakki. Helsinki: Talentum Media Oy.

Pinnington, T. n.d. The Corrugated Industry. In Pursuit of Excellence. Andover: Brunton Technical Publications Ltd.

Taanila, A. 2020. Akin menetelmäblogi. Viitattu 30.6.2020. Saatavissa <https://tilastoapu.wordpress.com/2011/10/14/6-ristiintaulukointi-ja-khiin-nelio-testi/>

Uusi-Rauva, E. 1997. Tuottavuus – mittaa ja menesty. 2. painos. Vantaa: TT Kustannustieto.