

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LUT School of Engineering Science  
Kemiantekniikka

*Topias Luoma*

**TAIVEKARTONGIN RUNKOKERROKSEN FORMAATION  
PARANTAMINEN**

Tarkastajat: Prof. Satu-Pia Reinikainen

TkT Eeva Jernström

Ohjaajat: Jorma Kemppainen (Stora Enso)

Anni Käppi-Palomaa (Stora Enso)

## **TIIVISTELMÄ**

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LUT School of Engineering Science  
Kemiantekniikka

Topias Luoma

## **TAIVEKARTONGIN RUNKOKERROKSEN FORMAATION PARANTAMINEN**

Diplomityö

2020

101 sivua, 49 kuvaa, 5 taulukkoa, 1 kaava ja 2 liitettä

Tarkastajat: Prof. Satu-Pia Reinikainen  
TkT Eeva Jernström

Ohjaajat: Jorma Kemppainen (Stora Enso)  
Anni Käppi-Palomaa (Stora Enso)

Hakusanat: taivekartonki, runkokerros, formaatio, mottling, foililista

Tämän työn tavoitteena oli selvittää merkittävimmät taivekartongin runkokerroksen formaatioon vaikuttavat tekijät, sekä selvittää formaation vaikutuksia kartongin laadullisiin ominaisuuksiin. Runkoviiralle asennettiin säädettävät foililistat, joilla pyrittiin parantamaan runkokerroksen formaatiota.

Formaatioon vaikuttavia tekijöitä selvitettiin suorilla muuttujien välisillä korrelaatioilla, PLS-mallinnuksella ja koeajoilla. Merkittävimmiksi muuttujiksi formaation kannalta todettiin perälaatikon sakeus, suihkun ja viiran nopeuden suhde, massasuihkun iskuetäisyys ja formerin kuormituslistojen paine. Työssä selvitettiin myös painettavuuteen vaikuttavia tekijöitä, sekä määritettiin raja-arvoja, joilla saavutetaan entisten laaduntarkkailupainatusten perusteella hyviä painatustuloksia.

Säädettävillä foililistoilla saavutettiin lieviä parannuksia kartongin formaatioon, mutta laadunparannukset rajoittuivat ainoastaan yksittäisille laaduille. Listoilla saavutettiin huomattavasti tehokkaampi vedenpoisto viiraosalla. Tämän myötä entistä suurempien vesimäärien ajaminen perälaatikolta on mahdollista. Säättöjä tehdessä havaittiin, että liian pienillä vesimäärillä ajaminen hukkaa listojen luomalla turbulenssilla saavutetun hyödyn. Listasäättöjen optimointi jäi kesken, jonka vuoksi uudella laitteistolla ei pystytty vielä saavuttamaan täyttä potentiaalia.

## **ABSTRACT**

LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT  
LUT School of Engineering Science  
Chemical Engineering

Topias Luoma

## **IMPROVEMENT OF FOLDING BOX BOARDS MIDDLE PLY FORMATION**

Master's Thesis

2020

101 pages, 49 figures, 5 tables, 1 equation and 2 appendixes

Examiners: Prof. Satu-Pia Reinikainen  
TkT Eeva Jernström

Supervisors: Jorma Kemppainen (Stora Enso)  
Anni Käppi-Palomaa (Stora Enso)

Keywords: folding box board, middle ply, formation, mottling, foil

The target of this thesis was to examine the most significant variables affecting folding box boards middle ply formation. Middle ply formations effects on the quality measures was also examined. New height and angle adjustable foils were installed to the middle ply fourdrinier wire to improve formation.

The variables affecting the middle ply formation were examined with straight correlations between data, PLS-modelling and experimental drives. The most significant variables were headbox consistency, jet-to-wire ratio, landing distance of the jet and the pressure of formers loadable blades. Also, the quality measures affecting the printability of board were examined. Based on old test printings, crucial boundaries were defined for important variables affecting printing quality.

The adjustable foils made a slight improvement in formation, but the quality improvements were very limited. A big improvement was reached on the water removing capacity of the fourdrinier wire. This enables the usage of larger water amounts in the headbox. During foil adjusting it was noticed that the formation improvement gained with the foils will disappear, if the headbox consistency is too high. The optimization of the foil angles and heights is still undergoing, and the maximum benefit is still to be gained.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Stora Enso Oyj:n toimeksiannosta Inkeröisten kartonkitehtaalla marraskuun 2019 ja kesäkuun 2020 välisenä aikana. Haluan kiittää Stora Ensoa mahdollisuudesta tehdä diplomityöni Inkeröisissä KK4:lla. Erityiskiitokset Stora Enson työn ohjaajille Anni Käppi-Palomaalle ja Jorma Kemppaiselle, jotka mahdollistivat työn tekemisen tehtaalle. Haluan myös kiittää muita Stora Enson työntekijöitä, jotka ovat olleet osaltaan mukana diplomityöni valmistumiseen liittyvissä koeajoissa ja valmisteluissa. Monelta eri taholta saadut neuvot ja aito kiinnostus työtä kohtaan antoi uutta motivaatiota jatkaa eteenpäin.

Haluan kiittää koulun ohjaajia Satu-Pia Reinikaista ja Eeva Jernströmiä hyvästä työn ohjaamisesta ja avusta esimerkiksi Matlab-koodin kanssa.

Kevät 2020 on ollut sattuneesta syystä erittäin kummallinen. On hienoa huomata, miten hyvin asiat saatiin kuitenkin etätöinäkin järjestettyä, sekä koulun, että tehtaan puolesta. Työn lopputulokset jäivät harmillisen vajaiksi vallitsevien olosuhteiden vuoksi. Itävaltalaiset ammattilaiset eivät päässeet tekemään säätöjään koneelle, jonka vuoksi oma kädenjälki näkyy vielä toistaiseksi uusien listojen säädöissä. Ehkä sitä tuli opittua niistäkin jotain tuon reilun kuukauden aikana, kun teki kaikki säädöt muutaman kerran uusiksi.

Lopuksi haluan lähettää loputtomat kiitokset perheelleni ja ystäväilleni, keiltä olen saanut tsempejä työni tekemisen aikana. Kova huolehtiminen työn etenemisestä on ollut läsnä, ja ehkä sitä on ottanut itseään senkin vuoksi tiukemmin niskasta kiinni. Lopulta kiireisen kevään jälkeen työ kuitenkin valmistui, ja nyt ollaan valmiita katsomaan, mitä se kuuluisa tulevaisuus tuo tullessaan!

Kouvola 21.6.2020

*Topias Luoma*

## **LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO**

### **LYHENTEET**

AL	Autoline
CD	Poikkisuuntainen (Cross Direction)
FBB	Taivekartonki (Folding Box Board)
MD	Konesuuntainen (Machine Direction)
PLS	Partial Least Squares
PPS	Parker-Print Surf
TB	Tambrite
TF	Tamfold
QCS	Quality Control System

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	10
2	Viiraosan yleinen esittely .....	11
2.1	Taivekartonki .....	11
2.2	Perälaatikko.....	13
2.3	Viiraosa.....	16
2.4	Formeri.....	19
3	Formaatio.....	20
3.1	Formaatio ilmiönä .....	20
3.2	Kuitujen asettuminen .....	21
3.3	Kuitujen käyttäytyminen vesifaasissa.....	22
3.4	Formaatioon vaikuttavat tekijät.....	22
3.5	Formaation vaikutus kartongin laatuun .....	23
4	Kartongin painettavuus .....	25
4.1	Mottling.....	25
4.2	Painettavuuden ja formaation suhde.....	26
5	Käytetyt mittausmenetelmät .....	28
5.1	Käytetyt formaation mittausmenetelmät ja laitteistot.....	28
5.2	Sileyksien ja painettavuuden mittaukset.....	29
5.3	Online-mittausmenetelmät .....	30
5.4	Mittausmenetelmien arviointi .....	32
6	Kulma- ja korkosäädettävät listat .....	34
6.1	Toimintaperiaate.....	34
6.2	Vaikutus viiraosan toimintaan.....	37
6.3	Vaikutus formaatioon ja muihin mittausarvoihin.....	38
7	Mittausdatan analysointi .....	39



7.1	Prosessiparametrien vakiointi .....	39
7.2	Kaikkien neliöpainojen data.....	40
7.2.1	Flokkien kokoon ja esiintymistiheyteen vaikuttavat tekijät.....	40
7.2.2	Pinnan sileyksien vaihtelu.....	48
7.3	Lajikohtainen data-analyysi .....	50
7.4	Formaatiodatan mallinnus.....	55
7.5	Testipainatusnäytteiden analysointi.....	60
7.6.1	Painatusnäytteiden mottlingiin vaikuttavat tekijät .....	61
7.6.2	Testipainatusnäytteiden sileydet .....	63
7.6.3	Mottlingia ennustavat online-mittaukset .....	66
8	Koeajot .....	71
8.1	Sakeuden vaikutus kartongin laatuun .....	71
8.1.1	Kevyt kartonki.....	71
8.1.2	Keskipainoinen kartonki .....	74
8.1.3	Painava kartonki .....	79
8.1.4	Sakeuden vaikutus formaatioon säädettävillä foililistoilla .....	82
8.2	Imulaatikoiden ajoparametrien vaikutus kartongin laatuun.....	88
9	Säädettävillä foililistoilla saavutetut vaikutukset .....	90
9.1	Laitteiston ja ajotavan muutokset.....	90
9.2	Asennuksen vaikutus formaatioon ja laatuarvoihin .....	91
9.3	Vaikutus painatuslaatuun .....	96
10	Yhteenveto.....	98
	LÄHTEET.....	102
	LIITTEET .....	104

## 1 Johdanto

Kartonki on yksi maailman tärkeimmistä pakkausmateriaaleista. Muovipakkausten aiheuttamat ympäristöongelmat, kuten suurien vesistöjen saasteet, korostavat ekologisten pakkausmateriaalien käytön tärkeyttä. Esimerkiksi muovisten pillien ja muovipakkausten käyttöä vähennetään jatkuvasti yritysten toimesta. Tämä on mahdollisuus kartonkipakkausten käytön kasvulle tulevaisuudessa. Taivekartonki onkin ominaisuuksiltaan sopiva ratkaisu esimerkiksi ruoka- ja lääkepakettien pakkausmateriaaliksi. (Kuusipalo, 2008) Todennäköisesti kartonkipakkausten kysyntä tulee kasvamaan entisestään tulevaisuudessa. Kartonkitekiteollisuudessa pyritään myös pienempään kemikaalien kulutukseen tulevaisuudessa. Tämä voi nostaa kartongin suosiota entisestään verrattuna muovipakkauksiin.

Tuotetta ostettaessa ensimmäisenä huomio kiinnittyy pakkauksen ulkonäköön. Tärkeä osa tätä on pakkaukseen painetut logot ja tekstit. Jos pakkaus ei näytä päällisin puolin houkuttelevalta, esimerkiksi huonon painojäljen vuoksi, saattaa se vaikuttaa asiakkaan ostopäätökseen. Tämän vuoksi kartongin painettavuus on yksi merkittävimmistä ominaisuuksista valmiin tuotteen kannalta. Tämän lisäksi pakkauksen lujuudet ja sileydet vaikuttavat merkittävästi valmiin pakkauksen laatuun. Lujuuksilla ja sileyksillä on myös suurta merkitystä hyvän painatuslaadun saavuttamisen kannalta. (Paulapuro, 2000) Näillä muuttujilla on yksi yhteinen tekijä, jonka parantaminen voi vaikuttaa merkittävästi kaikkiin näihin ominaisuuksiin. Tämä tekijä on kartongin formaatio, joka kuvaa kuitujen jakautumisen tasaisuutta. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

Tämän diplomityön tarkoituksena on tarkastella Inkeröisten kartonkitehtaalla tuotettavan kolmikerroksisen taivekartongin runkokerroksen formaatiota, sekä siihen vaikuttavia tekijöitä. Tekijät on rajattu viiraosalle, jolloin esimerkiksi raaka-aineet ja kemikaalit on suljettu pois tutkimuksesta. Näitä tekijöitä analysoidaan olemassa olevan datan perusteella, ja pyritään löytämään optimaaliset ajo-olosuhteet formaation kannalta. Formaation tason parannusta tavoitellaan viiraosalle asennettavien säädettävien foililistojen avulla. Formaation ja laatutekijöiden muutosta tarkastellaan ennen ja jälkeen tämän asennuksen.

## 2 Viiraosan yleinen esittely

Inkeröiden kartonkitehtaalla valmistetaan kolmikerroksista taivekartonkia. Kullekin kerrokselle on oma perälaatikko ja viiraosa. Tässä työssä käsitellään kartongin runkokerroksen rakenteen parantamista runkoviiralle asennettavan foilistojen säätölaitteiston avulla. Viiraosan päivityksillä pyritään vakioimaan formerille tulevan massan kiintoainepitoisuus neliöpainosta riippumatta. Päivityksellä viiraosan vedenpoisto paranee myös huomattavasti, joka mahdollistaa suurempien vesimäärien käyttämisen prosessissa.

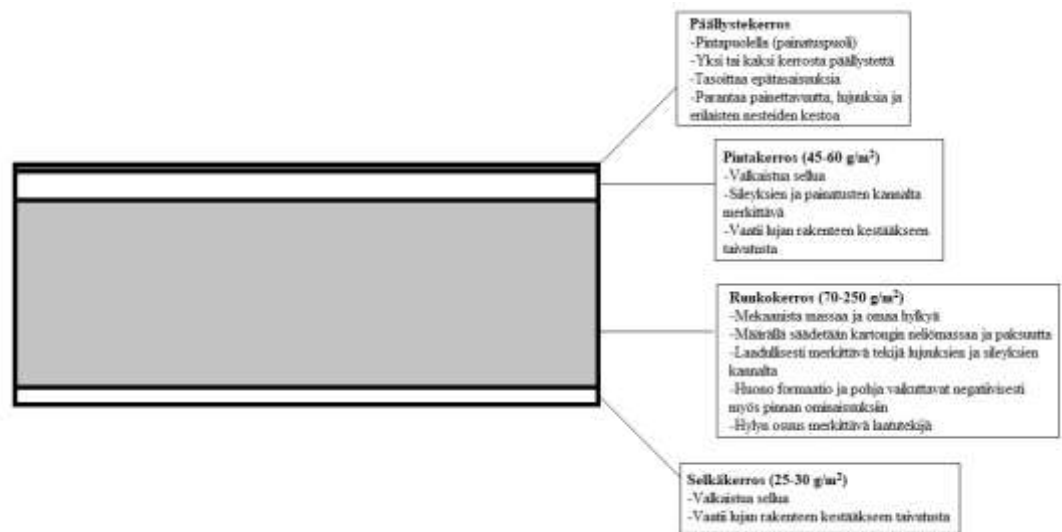
### 2.1 *Taivekartonki*

Taivekartonki, eli folding boxboard (FBB), on kolmesta kerroksesta koostuva kartonkilaji, jota käytetään usein esimerkiksi elintarvike ja kosmetiikkatuotteiden pakkauksissa. (Paulapuro, 2000) Taivekartonki sopii pakkausmateriaaliksi hyvin, koska siitä voidaan muotoilla monenlaisia pakkauksia. (Holik, 2006) Monet eri laatutekijät ovat tällaiselle pakkausmateriaalille tärkeitä. Pakkauksilla tulee olla hyvät lujuudet, jotta ne kestävät liikuttelua ja päällekkäin pinoamista. Taivekartongille tärkeitä lujuuden arvoja on esimerkiksi pinnan ja selän irrotusluvut, Z-suuntainen lujuus ja taivutusjäykkyys. Irrotuslujuudet kuvaavat vaadittavaa voimaa irrottamaan pinta- tai selkäkerros rungosta. Z-suuntainen lujuus kuvaa voimaa, joka vaaditaan murtamaan kartongin rakenne paksuussuunnassa. Z-suuntainen lujuus on tärkeää esimerkiksi offsetpainatuksessa, jolloin kartongin pintaan kohdistuu paljon rasitusta. (Paulapuro, 2000) Taivutusjäykkyys taas kuvaa kartongin taivutukseen vaadittavaa voimaa. Taivutuslujuus on pakkauksien pinoamisen kannalta oleellinen tekijä, koska litistyessä pakkauksen reunat taipuvat. Myös kartongin veto- ja puhkaisulujuus on olennaisia tekijöitä valmiiden tuotteiden käyttökestävyyden kannalta. (Paulapuro, 2000)

Pakkausten pintojen tarvitsee myös olla tasalaatuisia ja sileitä, jotta painatuksista tulee laadukkaita (Paulapuro, 2000) Tämä tarkoittaa painoväriin hyvää asettumista kartongin pintaan, jolloin painatusjäljestä tulee tasainen. Jos painoväriin imeytyminen on pinnan ominaisuuksista tai formaatiosta johtuen epätasainen, painojäljessä näkyy värittömiä kohtia, tai kiiltäviä kohtia, joissa väriä on enemmän

(Saarelma, Oittinen, 2009). Tämä on yksi tärkeimmistä valmiin pakkauksen muotoseikoista, koska se kiinnittää ensimmäisenä asiakkaan huomion. Kartongista ei saa myöskään tarttua hajua tai makua tuotteisiin. Sileyksien ja painojäljen lisäksi myös päällystekerroksen tulee olla mahdollisimman tasainen. Tasainen päällystekerros voi tasoittaa kartongin pohjasta johtuvia epätasaisuuksia, mutta epätasainen päällystekerros voi esimerkiksi aiheuttaa painatuksen laatuun vaihtelua. Taivekartongin painatuspuoli päällystetään yleensä yhdellä tai kahdella päällystekerroksella. Myös taivekartongin selkäpuoli voidaan päällystää, mutta yleensä vain painatuspuoli päällystetään. (Paulapuro, 2000) Tässä työssä käsiteltävät kartonkilajit ovat kahden päällystekerroksen Tambrite (TB) tuotteita. Inkeroisissa tehdään myös yhden päällystekerroksen Tamfold (TF) tuotteita. (Stora Enso, 2020).

Taivekartongin pinta- ja selkäkerrokset valmistetaan lujista raaka-aineista, koska kartonkia taitettaessa suurin rasitus kohdistuu niihin. Pinnassa ja selässä käytetään yleensä valkaistua pitkälle jauhettua havupuu- tai lehtipuusellua. Lyhyt kuituisilla raaka-aineilla saavutetaan hyvä formaatio, jolloin pintakerroksista tulee sileitä. Pinta- ja selkä kerroksien neliöpaino on usein lajista riippumatta vakio, ja kartongin neliöpainoa kasvatetaan lisäämällä runkokerroksen paksuutta. Runkokerroksessa käytetään massana esimerkiksi hioketta, mekaanista massaa ja omaa hylkyä. (Paulapuro, 2000) Runkokerroksen lujuuksia ja formaatiota säädellään vaihtelemalla näiden raaka-aineiden suhteita. Oman hyllyn määrää lisäämällä runkokerrokseen saadaan pinta- ja selkäkerroksissa olevaa pitkälle jauhettua sellua myös runkoon, ja näin rungon formaatiota paremmaksi. Hyllyn osuutta pienentämällä taas hiokkeen osuus rungossa kasvaa, ja lujuudet paranevat. Taivekartongin neliöpaino on keskimäärin välillä 150-350 g/m<sup>2</sup>, josta pinta on noin 50 g/m<sup>2</sup> ja selkä noin 25 g/m<sup>2</sup>. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Kuvassa 1 on esitetty taivekartongin tyypillinen rakenne.



Kuva 1 Taivekartongin tyypillinen kolmikerrosrakenne (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) (Mukaiutu)

Taivekartongin runkokerros on laatutekijöiden kannalta erittäin merkittävä osa rakennetta, koska runkokerroksen huono formaatio ja pohja vaikuttavat niin moneen laatutekijään. Runkokerroksen laadun heikkeneminen näkyy olennaisesti esimerkiksi pintojen sileyksissä ja repäisyjuuksissa. Runkokerros on myös kooltaan suurin kerros, joka osaltaan lisää tätä vaikutusta. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

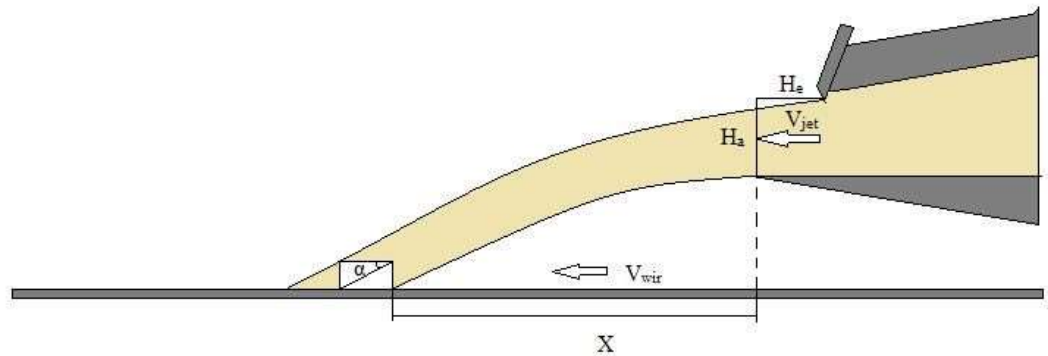
## 2.2 Perälaatikko

Paperi- ja kartonkikoneen perälaatikon päätarkoituksena on levittää massa tasaisesti koneen poikkisuunnassa viiran päälle. Perälaatikolla kontrolloidaan syötön painevaihteluita ja pyritään tuottamaan riittävä turbulenssi massan flokkien hajottamiseen ja estämään uusien flokkien muodostuminen. Perälaatikolla myös säädellään viiralle suihkutettavan massakerroksen sakeutta. Kartongin laadun kannalta merkittävimmät perälaatikon asetukset ovat huuliaukon asetukset, sekä massasuihkun ja tasoviiran nopeuden ero. (Holik, 2006) Huuliaukolla säädetään esimerkiksi massasuihkun iskuetäisyyttä ja iskukulmaa tasoviiralle. Näillä asetuksilla on oleellinen vaikutus kartongin pohjanmuodostukseen ja kuitujen

asettumiseen. Näiden lisäksi perälaatikkosakeus on merkittävä tekijä kartongin laadun kannalta. Pienemmällä perälaatikkosakeudella formaatio paranee, ja suuremmalla sakeudella lujuudet paranevat. (Paulapuro, 2007) Perälaatikon sakeutta säädetään huuliaukon koolla. Huuliaukon kasvaessa huulivirtaus kasvaa. Koska konesäiliöltä perälaatikkoon tulevan massan määrä on vakio, laimennusveden määrä kasvaa huulivirtauksen pyynnin kasvaessa. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

Hitailta nopeuksilla operoitavilla koneilla, kuten kartonkikoneilla on käytössä reikätelaperälaatikko. Reikätelaperälaatikon sisällä pyörii rei'itetty tela, joka aiheuttaa pyöriessään massaan pyörteitä. Näin hajotetaan syntyneitä flokkeja, sekä estetään uusien flokkien syntyminen. Reikätelojen ohitse virtaava massa saapuu lopulta huulelle, josta suihku muodostaa tasaisen kerroksen massaa tasoviiralle. (Paulapuro, 2007)

Perälaatikon huulelta lähtevä suihku on kartongin laadun kannalta merkittävä tekijä. Juuri suihkun iskuetäisyys ja iskukulma viiralle, sekä suihkun ja viiran nopeuden suhde vaikuttavat merkittävästi massaan kohdistuviin leikkausvoimiin. (Paulapuro, 2007) Vedenpoisto alkaa välittömästi suodattumalla viiran läpi sillä hetkellä, kun massa iskeytyy viiraan. Suodattuneen veden määrä riippuu myös huuliaukon asetuksista. Pienemmällä iskukulmalla enemmän vettä kimpoaa pois viirasta, ja pienempi osuus suodattuu läpi. (Holik, 2006) Huulisuihkun geometriaa ja käytettyjä mittasuureita on esitetty kuvassa 2.



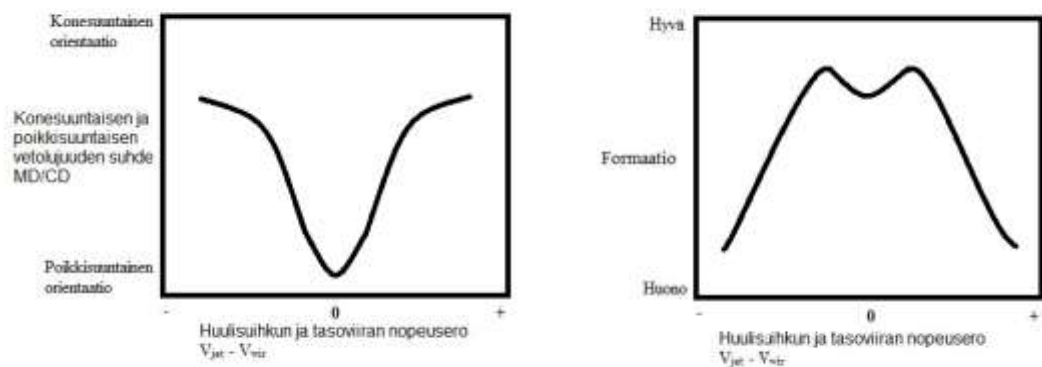
Kuva 2 Huulisuihkun geometriaa, ja käytetyt mittasuureet (Holik, 2006) (Mukailtu)

Jossa	$H_e$	Huuliero
	$H_a$	Huuliaukko
	$V_{jet}$	Massasuihkun nopeus
	$V_{wir}$	Viiran nopeus
	$X$	Iskuetäisyys
	$\alpha$	Iskukulma

Merkittävimmät näistä asetuksista ovat iskukulma, sekä suihkunopeuden ja viiran nopeuden ero. Iskukulma vaikuttaa veden suodattumismäärään heti iskuhetkellä. Iskukulma muuttuu iskuetäisyyden muuttuessa, joten siihen voidaan vaikuttaa esimerkiksi huulen vaakasuuntaisella säädöllä ja kokonaisvirtauksen määrällä. (Holik, 2006)

Viiran nopeuden ja suihkun nopeuden ero vaikuttaa massaansa turbulenssia luovien leikkausvoimien suuruuteen. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Hybridiformerilla formaation ja pohjanmuodostuksen, ja näin myös lujuuksien kannalta paras vaihtoehto on ajaa lähellä tasaperää, eli pienellä suihkun ja viiran nopeuden erolla. Tasaperällä on pieni epästabiili alue, jossa formaatio huononee satunnaisen orientaation vuoksi. Paras formaatio saavutetaan pienellä nopeuserolla kumpaan tahansa suuntaan tasaperästä, mutta nopeuseron kasvaessa formaatio heikkenee nopeasti. (Paulapuro, 2007) Suihkun nopeuden ja viiran nopeuden

muutos vaikuttaa erityisesti konesuuntaiseen lujuuteen, koska suuremmalla erolla kuidut pyrkivät orientoitumaan enemmän konesuuntaisesti. (Holik, 2006) Liian suuri, tai liian pieni suihkusuhde heikentää formaatiota huomattavasti enemmän kuin tasaperällä ajaminen. (Paulapuro, 2007) Kuvassa 3 on esitetty suihkun nopeuden ja viiran nopeuden eron vaikutusta formaatioon, sekä kone- ja poikkisuuntaisen lujuuden suhteeseen.



Kuva 3 Suihkusuhteen vaikutus kuitujen konesuuntaiseen orientoitumiseen ja formaatioon. (Paulapuro, 2007) (Mukailtu)

Kuten kuvasta 3 nähdään, formaatio paranee suihkun nopeuden ja viiran nopeuden eron poiketessa hieman nolasta. Liian suurella nopeuserolla formaatio kuitenkin heikkenee erittäin nopeasti. Tämän vuoksi suihkun nopeuden ja viiran nopeuden ero on yksi merkittävimmistä tekijöistä kartongin laadun suhteen. Paraneva kuituorientaatio ja formaatio parantavat merkittävästi muitakin laatuaroja. (Paulapuro, 2007)

### 2.3 Viiraosa

Monet kartongin ja paperin laatutekijöistä määräytyvät heti viiraosalla. Kartongin konesuuntainen ja poikkisuuntainen neliöpainovaihtelu määrittäytyy täysin viiraosalla ja formerilla tapahtuvan vedenpoiston, ja rainanmuodostuksen pohjalta. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Kuitujen orientoituminen ja vedenpoisto



vaikuttavat esimerkiksi formaatioon ja lujuuksiin merkittävästi. (Paulapuro, 2007) Viiraosalla on kartongin valmistamisen kannalta kolme tehtävää:

- Erottaa vettä kuiduista suodattamalla viiran läpi
- Muodostaa kuiduista tasainen kerros viiran päälle
- Estää liiallinen kuitujen flokkaantuminen (Holik, 2006)

Viiraosalla vedenpoisto tapahtuu tasoviiralla pääasiassa imulaatikoiden luoman alipaineen, sekä foililistojen avulla. Foilit ovat keraamisia tai muovisia listoja, jotka luovat alipainetta ja poistavat vettä painautumalla viiraa vasten. Foilit vuolevat viiran läpi suodattuneen veden, joka jää ohueksi kerrokseksi viiran pohjaan kiinni. Käytettyjä listamalleja on esimerkiksi normaalit kulmalistat, askel foilit ja iso-flo foilit. Kulmalistoilla listakulma vaikuttaa vedenpoiston määrään niin, että suuremmalla kulmalla jättöreunalle syntyvä alipaine on suurempi. Tällöin luotu turbulenssi ja vedenpoisto on listalla suurempaa. (Paulapuro, 2007) Kiinteiden kulmalistojen kulmat ovat vakioita neliöpainosta riippumatta. Yleensä kulmalistoissa käytetyt kulmat ovat maksimissaan kolme astetta. (Holik, 2006) Askelfoilit ovat imulaatikoiden päälle asetettuja kiinteitä litteitä vedenpoistoelementtejä. Yhden kiinteän listan jälkeen on toinen samansuuntainen lista, joka on askeleen alempana, kuin ensimmäinen. Askelfoilien luomaa turbulenssia säädetään foililaatikon alipaineen säädöllä. Iso-flo foilit ovat vaakasuuntaisia korkeussäädettäviä listoja, joista joka toinen on hieman alempana. Näillä foileilla turbulenssin syntyminen perustuu näiden listojen korkeuseroon. Suurempaa turbulenssia varten listojen korkeuseroa kasvatetaan, jolloin viiran liike aiheuttaa suuremman turbulenssin. (Paulapuro, 2007)

Vedenpoisto tulee jakaa melko tasaisesti viiraosan alueelle. Jos vettä poistetaan liikaa heti viiran alkuvaiheessa, kuituverkko muodostuu nopeasti, eikä viiraosan loppupuolella vettä pystytä juurikaan suodattamaan kuituverkon lävitse. (Holik, 2006) Vedenpoistoon liittyy myös olennaisesti massan hienoainejakauma, joka vaikuttaa esimerkiksi retentioon. Jos hienoainesta on liikaa, tai kartongista poistetaan suodattamalla liikaa vettä, veden mukana poistuu myös hienoainetta. (Häggblom-Ahnger, Komulainen, 2005) Hienoaineen alhainen osuus vaikuttaa

negatiivisesti esimerkiksi lujuuksiin. Viiraosan asetuksia muuttamalla tulisi löytää säädöt, joilla päästään sopivaan formerille tulevaan kuiva-ainepitoisuuteen, sekä hyvään formaatioon. (Holik, 2006)

Viiraosan päätarkoitus on muodostaa mahdollisimman tasainen verkko kuiduista viiran päälle. Näin kartonki saadaan täyteen konelevyteen, ja raina voidaan muodostaa formerilla. Mitä tasaisemmin massa pystytään levittämään, sitä pienempää neliöpainovaihtelua ja esimerkiksi lujuusvaihtelua kartongissa on. (Holik, 2006)

Viiraosalla rainaa muodostettaessa kuitujen flokkaantuminen pyritään estämään luomalla turbulenssia massaan, kun se kulkee viiran päällä. Turbulenssia luodaan sekä perälaatikon asetuksilla, että foilien avulla. Nämä asetukset vaikuttavat samalla myös poistetun veden määrään. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Viiralla kuitujen flokkaantumiseen vaikuttaa kolme erilaista voimaa, jotka hajottavat syntyneitä flokkeja ja estävät uusien flokkien muodostumisen. Näitä massaan vaikuttavia voimia kutsutaan hydrodynaamisiksi voimiksi. (Paulapuro, 2007) Näiden voimien vaikutukset on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4 Viiralla massaan kohdistuvat hydrodynaamiset voimat (Hägglom Ahnger & Komulainen, 2005) (Mukailtu)

Viiran ja massan välinen kitka aiheuttaa nopeuseroja massassa. Viiran kanssa kosketuksissa oleva kerros liikkuu hitaammin, jonka vuoksi massakerrokseen syntyy turbulenssia. Myös foilien avulla viiraan kohdistettava liike-energia

aiheuttaa massaan turbulenssia. Viira tärähtelee foilien kosketuksesta, sekä osa vedestä myös iskeytyy viiraa vasten korkeussäädettäviltä listoilta. Viiraosalle luodulla turbulenssilla pystytään tehokkaasti rikkomaan flokkeja, ja estämään uusien muodostuminen, mutta turbulenssin lakattua viiraosan loppupuolella flokit muodostuvat uudelleen. (Paulapuro, 2007) Tämä pienentää huomattavasti alkuosan turbulenssilla saavutetusta hyödystä.

Veden virtaus muodostuneen kuituverkon ja viiran läpi on viimeinen viiralla vaikuttavista hydrodynaamisista voimista. Veden alaspäin suuntautuva virtaus pakottaa flokkeja asettumaan viiraa vasten, jolloin foilit rikkovat niitä. (Paulapuro, 2007) Veden suodattuessa kuituverkon lävitse, se suosii kohtia, joissa on vähemmän kuitua. Näin se kuljettaa mukanaan näihin aukkoihin kuituja ja tasapainottaa neliöpainovaihtelua (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005).

#### 2.4 *Formeri*

Formeri on kartonkikoneen ja paperikoneen osa, jossa kaksi samaan suuntaan liikkuvaa viiraa muodostavat nipin, johon massavirta ohjataan. Formerilla runkokerroksen massasta poistetaan vettä formeritelalla, multi-blade listoilla ja listakengällä. Formerilla vedenpoisto tapahtuu yhdeltä tai kahdelta puolelta formerin rakenteen mukaan. (Paulapuro, 2007) Formerilla tavoitteena on poistaa vettä niin, että perälaatikon vesimäärästä on poistettu noin 80 %, ja kartonkiraina muodostuu. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

Multi-blade yksikkö on merkittävä osa kartongin pohjan muodostusta (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005). Tämä yksikkö koostuu useista painelistoista, jotka puristavat viiraa vasten kartonkirainaa. Yläpuolen viiralla on kiinteät listat, ja alapuolen listojen painetta voidaan säätää halutun puristuksen mukaan. Paineletojen korkealla paineella voidaan parantaa formaatiota huomattavasti, koska listat hajottavat muodostuneita flokkeja rainasta. (Paulapuro, 2007) Liian suuren paineen seurauksena jo muodostunut rainan rakenne voidaan myös rikkoa formerin listoilla, jonka seurauksena kartongin pohjan laatu heikkenee

### 3 Formaatio

Formaatio on paperin ja kartongin tarkkailtava ominaisuus, joka kuvaa pienimittakaavaista vaihtelua neliöpainossa, joka johtuu kuitujen flokkaantumisesta eri tavoin kartongin eri kohdissa. Tämä vaikuttaa moniin muihin kartongin laatuominaisuuksiin, kuten jäykkyyksiin ja pinnan ominaisuuksiin. Tässä kappaleessa käsitellään formaatioon liittyviä peruskäsityksiä, sekä sen vaikutuksista valmiin tuotteen laatuominaisuuksiin.

#### 3.1 *Formaatio ilmiönä*

Formaatio on laadullinen arvo, joka kuvaa kuinka tasaisesti kuidut ovat asettuneet kuituverkkoon. Formaatio on kirjallisuudessa määritelty pienimittakaavaisena neliöpainovaihteluna, jonka maksimi aallonpituus on maksimissaan neljä senttimetriä. (Paulapuro, 2007) Tämä tarkoittaa käytännössä kuitujen muodostamien flokkien koon ja määrän vaihtelua kartonkiarkin eri kohdissa. Tämän on todettu vaikuttavan kartongin lopulliseen laatuun ja esimerkiksi painatusjälkeen päällystetyillä paperilajeilla. (Guesalaga, Alvarez & Rodriguez, 1993) Flokkisuus näkyy visuaalisesti kartonkiarkkia tarkasteltaessa valoa vasten tummina ja vaaleina alueina. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Kuvassa 5 on esitetty valopöydällä kuvatut kartonkinäytteet, joissa toisessa on merkittävästi huonompi formaatio. Näytekappaleet ovat peräisin koeajosta, jossa säädettiin rungon perälaatikkosakeutta.



Kuva 5 Koeajonäytteet hyvästä ja huonosta formaatiosta

Kuvasta 5 voidaan nähdä, että suurella sakeudella aiheutettu flokkisuus näkyy selkeästi valoa vasten tarkasteltaessa. Suuret flokit ovat havaittavissa selkeästi suurina tummina esiintyminä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa ei havaita suuria flokkeja hyvän formaation takia.

Formaatio muodostuu lopulliseen muotoonsa kartonkikoneen viiraosalla, jossa vedenpoiston aikana kuidut muodostavat helpommin sidoksia keskenään ja pääsevät flokkaantumaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005) Vedenpoistoon ja pohjanmuodostukseen voidaan vaikuttaa useilla eri tekijöillä, kuten viirapöydän ja perälaatikon asetuksilla, kemikaaleilla ja erilaisilla raaka-aineilla. (Holik, 2006)

### 3.2 *Kuitujen asettuminen*

Kartongin formaatio syntyy kuitujen asettumisesta kuituverkkoon. Kuituverkko muodostuu, kun selluloosa- tai hemiselluloosamolekyylien hydroksyyliyhymien välille muodostuu vetysidoksia. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Näiden sidoksien muodostumisen ja verkon rakenteen kannalta tärkeitä tekijöitä ovat kuitujen orientaatio, kuitujen pituus ja paksuus, massan sakeus ja käytetyt kemikaalit. (Paulapuro, 2007)

Kuituorientaatio tarkoittaa kuitujen suuntautumista kone- tai poikkisuuntaisesti. Suurempi kuituorientaatio tarkoittaa kuitujen asettumista enimmäkseen konesuuntaisesti, ja pienempi kuituorientaatio tarkoittaa kuitujen asettumista poikkisuuntaisesti. Suuri kuituorientaatio tarkoittaa käytännössä tiiviimpää kerrostunutta kuituverkkoa, jolloin konesuuntaiset repäisylujuudet paranevat. Pienempi orientaatio taas tarkoittaa enemmän poikki- ja pystysuuntaisia kuituja, joka luo huopaantuneen rakenteen, jolloin poikki- ja pystysuuntainen lujuus paranee. Kuituorientaatio muodostuu, kun massaa suihkutetaan viiralle. Tässä vaiheessa suurin osa kuiduista ovat orientoituneet konesuuntaisesti. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Suurin vaikutus sen lopulliseen orientaatioon on suihkun nopeuden ja viiran nopeuden suhteella. Mitä suurempi ero näillä nopeuksilla on, sitä suurempi orientaatio saavutetaan. Jos nopeudet ovat samat, orientaatio on satunnaista. (Holik, 2006) Tämä on esitetty myös kuvassa 3.

### 3.3 *Kuitujen käyttäytyminen vesifaasissa*

Perälaatikossa ja viiraosalla kuidut liikkuvat massassa ympäriinsä turbulenssin vaikutuksesta. Kuidut pääsevät liikkumaan vapaasti, kunnes ne törmäävät toisiinsa ja flokkaantuvat. Perälaatikkosakeudella voidaan säätää tehokkaasti kuitujen flokkaantumista vesifaasissa. Suurempi määrä vettä tarkoittaa pienempää todennäköisyyttä kuitujen yhteen törmäykselle. (Niskanen, 2008) Pienemmällä sakeudella vettä joudutaan toisaalta poistaa enemmän, joka taas laskee retentiota. Tämä tarkoittaa, että osa pienimmästä hienoaineesta poistuu rainan läpi veden mukana runsaan vedenpoiston seurauksena. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

Viiraosalla kuitujen ja veden erotusprosessi on yhdistelmä suodatusta ja saostumista. (Holik, 2006) Suodattuessa kuidut laskeutuvat vapaasti gravitaation vaikutuksesta tasaiseksi kerrokseksi. Suodattuessaan kuidut muodostavat niin kutsutun kerrostuneen rakenteen, jossa kuidut ovat konesuuntaisesti orientoituneita. Tällöin vettä suodattuu tasaisesti muodostuneen kuituverkon lävitse. Saostuessaan kuidut flokkaantuvat ennen veden poistumista, eikä selkeää kuituverkkoa pääse muodostumaan. (Niskanen, 2008) Saostuessa kuituja jää runsaasti myös pystysuuntaisesti kartonkiin, jonka seurauksena rakenne on huopaantunut. Tällaisessa rakenteessa paksuussuuntainen lujuus on korkeampi. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Tähän jakautumiseen voidaan vaihtaa suihkun nopeuden ja viiran nopeuden suhteella, kuten aiemmin on kerrottu.

### 3.4 *Formaatioon vaikuttavat tekijät*

Kartongin lopullinen formaatio muodostuu viirapöydällä, kun suurin osa vedestä poistuu imulaatikoiden ja foilien kautta. Viiraosalla ja perälaatikolla formaatioon vaikuttavia tekijöitä on esimerkiksi perälaatikon suuttimien suihkun nopeuden ja viiran nopeuden suhde, sekä viirapöydän foililistojen luoma turbulenssi. Kuitujen flokkaantumista pyritään estämään luomalla turbulenssia massaan, kun se kulkee viirapöydällä. Kun massaan luodaan turbulenssi, kuidut eivät pääse muodostamaan suuria flokkeja, ja olemassa olevat flokit hajoavat. Jos turbulenssi pystytään pitämään optimaalisella tasolla, kartongin kuivuessa muodostuva kuituverkko on

tasainen ja kartongin formaatio on hyvä. (Paulapuro, 2007) Kun lopulta massa on viirapöydän päässä, turbulenssi tapetaan, jolloin kuidut asettuvat lopulliseen muotoonsa. Tämä on tärkeää, koska turbulenssi tässä vaiheessa haittaa formerin toimintaa ja rikkoo muodostuvan rakenteen. (Holik, 2006)

Kuitujen laatu ja pituus ovat tärkeitä muuttujia, kun puhutaan flokkaantumisesta ja formaatiosta. Kuidut muodostavat flokkeja niiden törmätessä toisiinsa. Luonnollisesti näiden törmäyksien määrää voidaan vähentää laimentamalla massaa, jolloin kuituja on vähemmän vesimäärään suhteutettuna. Näin myös formaatio paranee flokkisuuden vähentyessä. Näitä kuitujen välisiä törmäyksiä voidaan säädellä myös raaka-aineen valinnalla ja käsittelyllä. Pidemmät ja paksummat kuidut törmäävät toisiinsa enemmän ja näin ollen flokkaantuvat helpommin. Esimerkiksi havupuu kuidut ovat huomattavasti pidempiä kuin lehtipuukuidut, jonka vuoksi havupuupohjainen massa flokkaantuu enemmän. (Paulapuro, 2000) Toisaalta myös kemikaaleilla ja jauhamisella voidaan vaikuttaa kuitujen kokoon ja paksuuteen. Hyvin jauhettu massa sisältää lyhyitä ja ohuita partikkeleita, jotka myös taipuvat helpommin törmäysten tapahtuessa. Näin ollen flokkaantumista ei tapahdu yhtä helposti, vaikka kuidut törmäisivät. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

Myös formerilla voidaan vaikuttaa merkittävästi formaatioon. Formerin multiblade yksikön painelistoilla voidaan rikkoa rainaan muodostuneita flokkeja. (Paulapuro, 2007) Formaatioon vaikutetaan myös formerin vedenpoistosuunnalla. Jos vettä poistetaan vain toiselta puolelta, saadaan sille puolelle korkea hienoainepitoisuus. Kun vettä poistetaan molemmilta puolilta, pintaan ja selkään saadaan molempiin suurempi hienoainepitoisuus. (Holik, 2006) Näin tehtäessä keskikerroksen hienoainejakauma kuitenkin laskee, ja palstautumislujuus heikkenee. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

### 3.5 *Formaation vaikutus kartongin laatuun*

Huono formaatio tarkoittaa, että kuidut muodostavat suuria flokkeja epätasaisesti kuituverkkoon. Tämän seurauksena kartongin veto-, murto- ja puhkaisulujuudet heikkenevät. Tämä johtuu siitä, että pienemmän neliömassan alueilla kuituverkko

on heikompi ja alttiimpi repeämiselle. Kuituverkon epätasaisuuden ja flokkisuuden aiheuttama vaihtelu näkyy myös kartongin pinnassa. Pinnan epätasaisuus vaikuttaa negatiivisesti pinnan sileyteen, sekä esimerkiksi päällystyksen ja painatuksen laatuun. Pinnan epätasaisuuden voi havaita esimerkiksi painatusjäljen laikullisuudesta. (Holik, 2006) Useat laatuarvot paranevat formaation parantuessa. Formaation todetaankin olevan lähes ainoa kartongin mitattava laatuarvo, jonka parantaminen ei vaikuta negatiivisesti mihinkään muuhun laatuarvoon. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

Formaatio voidaan havaita kartongista parhaiten visuaalisesti, koska flokkisuus näkyy selkeästi tarkasteltaessa kartonkia valoa vasten. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Flokkien keskimääräisellä koolla on myös oleellisesti tekemistä formaation kannalta. Suuremmat flokit aiheuttavat kartongissa niin kutsuttua pilvisyyttä. Tämä on neliöpainovaihtelua, joka ylittää formaatioksi määriteltävän taajuuden ja luokitellaan pohjanmuodostukseksi. Pienempien flokkien suuri määrä ja taajuus taas aiheuttavat kartonkiin ryynimäisyyttä. (Saarelma, Oittinen, 2009) Pohjanmuodostuksen ja formaation välillä on kuitenkin selkeä korrelaatio, ja tässä työssä tarkastellaan myöhemmin erikokoisten flokkien määrän vaikutusta kartongin eri laatuarvoihin. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)



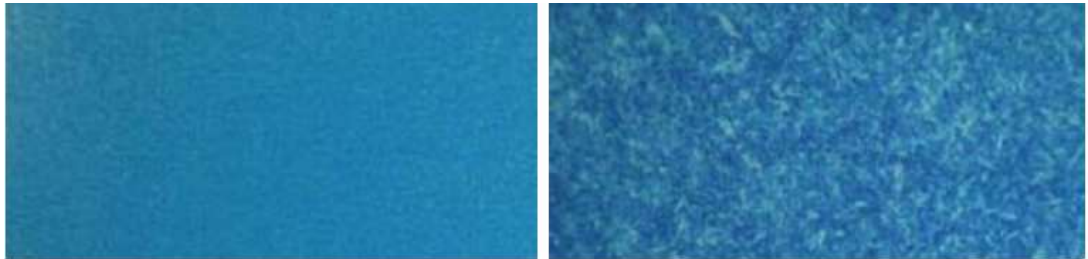
## 4 Kartongin painettavuus

Painettavuus on yksi tärkeimmistä valmiin kartonkituotteen ominaisuuksista, koska painatukset ovat usein ensimmäinen asia, johon asiakas kiinnittää huomiota nähdessään tuotteen esimerkiksi kaupan hyllyllä. Yksi painatusjäljen laatua kuvaavista arvoista on mottling, joka kuvaa painatusjäljen tasaisuutta. Painatusjäljen tasaisuuden parantaminen runkokerroksen formaation avulla on myös yksi tämän työn päätavoitteista.

### 4.1 *Mottling*

Painatusjäljen tiheys kuvaa painetun ja painamattoman alueen suhdetta painatusalueella. Tämä tarkoittaa käytännössä painoväriin epätasaisuutta painatuksen eri kohdissa. Tämän mittausrvon vaihtelua kutsutaan mottlingiksi. Mitä suurempaa vaihtelua painatusjäljen tiheydessä on, sitä huonompi mottling-arvo saadaan. (Saarelma, Oittinen, 2009) Mottlingin mittaamenetelmät perustuvat usein näytteen valokuvaamiseen, josta testipainatuksessa käytettyjen värien suhteista saadaan laskukaavalla arvo painojäljen epätasaisuudelle. (Lu, 1998) Visuaalisesti mottling havaitaan painatusjäljen laikullisuutena ja epätasaisena valon heijastamisena. (Saarelma, Oittinen, 2009)

Mottlingin päätekijöitä ovat vaihtelut kartongin pinnan ominaisuuksissa. Esimerkiksi sileydet ja huokoisuus vaikuttavat painoväriin imeytymiseen ja tasaiseen jakautumiseen kartonkiin. (Lu, 1998) Myös esimerkiksi kartongin pohjan epätasaisuus, sekä flokkien koko ja jakautuminen vaikuttavat värin imeytymiseen (Holik, 2006). Nämä ovat myös ne tekijät, joiden vaikutusta tarkastellaan testipainonäytteistä, sekä verrataan iTable asennuksen jälkeisiin näytteisiin. Myös esimerkiksi päällystekerroksen tasaisuus ja käytetyt kemikaalit vaikuttavat painoväriin tasaiseen imeytymiseen. Päällystekerros tasoittaa pinnan epätasaisuuksia ja näin parantaa painoväriin tasaista imeytymistä. (Holik, 2006) Näin ollen myös mottling vähenee. Kuvassa 6 on esitetty näytteet päällystetystä ja päällysteettömästä offset paperista.



Kuva 6 Päällystetyn ja päällystämättömän paperin mottling  
(Kasajová, Gigac, 2013)

Kuten kuvasta 6 voidaan nähdä, päällystekerros vähentää merkittävästi mottlingia. Päällystämättömän paperin näytteestä nähdään selkeästi, kuinka painoväriin tiheys vaihtelee. Tämä voidaan huomata vaaleina ja tummina alueina.

Mottlingin kontrollointi on kartonkikoneella ongelmallista, koska testipainatus kokeita ei pystytä tekemään Inkeröissä. Näin ollen tulokset saadaan pitkällä viiveellä, eikä ole mahdollista reagoida huonoihin mottling-tuloksiin. Painatustuloksia voidaan kuitenkin kontrolloida kalanterin ja päällystysosan asetuksilla. Esimerkiksi kalanterin kuorma ja päällysteen kuivatuslämpötila vaikuttavat painatusväriin tasaisuuteen. (Garcia, Luiz, Fernando de Lima Luz Junior & Vieira, 2018) Painatusjäljen aktiivisen seurannan kannalta olisi suotavaa esimerkiksi etsiä mottling-arvoista ja sileyden arvoista korrelaatio ja määrittää sileydelle raja-arvo, jolla päästään yleensä hyvään painatustulokseen.

#### 4.2 *Painettavuuden ja formaation suhde*

Kartongin pinnan sileys ja huokoisuus ovat päätekijöitä painatusjäljen mottlingille. Pinnan vaihtelut aiheuttavat painoväriin imeytymiseen epätasaisuutta, ja näin ollen painatusjälki tahriintuu. (Lu, 1998) Koska formaatio ja pohjanmuodostus vaikuttavat myös pinnan ominaisuuksiin, voidaan todeta formaatiolla olevan selkeä suhde myös painettavuuteen. Huonosta formaatiosta johtuvasta pinnan vaihtelusta seuraa esimerkiksi päällystekerroksen paksuuden vaihtelua ja sileyksien huononemista. Päällystekerroksen paksuus vaikuttaa oleellisesti painatusväriin imeytymiseen. Ohuemmalla kerroksella väriä imeytyy huomattavasti enemmän, joka näkyy vaaleampana kohtana painatuksessa. (Holik, 2006) Tätä vaihtelua

voidaan tasoittaa kalanterilla, mutta vain rajoitetusti. (Lu, 1998) Flokkien koosta keskultaessa täytyy myös huomioida, onko eri kokoisilla flokeilla erilainen vaikutus värin imeytymiseen. Jos esimerkiksi suuret flokit kalanteroidessa kartongin pohjasta tulee pilvistä, vaikuttaako se yhtä paljon painovärin imeytymiseen, kuin pienien flokkien aiheuttama ryynmäisyys.

Esimerkiksi Hu et al. tutkivat formaation ja bulkin vaikutusta paperin Bendtsen-sileyteen ja mottlingiin. Tutkimuksen tuloksissa nähtiin selkeästi, että huonomalla formaatiolla paperin bulkki on suurempi ennen ja jälkeen kalanteroinnin. Formaation heikentyessä myös Bendtsen-sileytykset heikkenevät. Näytteille tehtiin myös harmaan värin testipainatukset. Näytteiden harmaan värin vaihtelu kasvoi suuremaksi formaation huonontuessa, eli näytteet mottlaantuivat. (Hu, Li & Hu, 2012)

## 5 Käytetyt mittaussmenetelmät

Formaation mittaaminen on jo ajatuksen tasolla hankalaa, koska taajuudeltaan niin pientä vaihtelua on hankalaa havaita. Formaation mittaukseen käytetyt menetelmät perustuvatkin valon läpäisykyyn, säteilyn absorbointiin ja visuaaliseen arviointiin. Formaation muutos näkyy kuitenkin useissa muissakin kartongin laatuarvoissa, kuten lujuuksissa ja sileyksissä.

### 5.1 Käytetyt formaation mittaussmenetelmät ja laitteistot

Formaation mittaussmenetelmät perustuvat usein valon kykyyn läpäistä kartonkia eri kohdissa. Valon läpäisykyky vaihtelee riippuen kunkin tarkasteltavan kohdan kuitukerroksen paksuudesta. Näin pyritään kuvaamaan kartongin formaatiota flokkien määrän ja koon kautta. (Figiel et al., 2010) Tämä ei kuitenkaan näin ollen lopulta kuvaa varsinaisesti formaatiota, koska nämä mittaussmenetelmät eivät kerro neliöpainovaihtelusta, vaan valon intensiteetistä, joka on sidottu neliöpainoon. Lähes jokaisella tehtaalalla on rullaimen läheisyydessä valopöytä, jossa laaduntarkkailija analysoi kustakin konerullasta poikkisuuntaisen näytteen. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Tästä näytteestä kartongin formaatiosta saadaan selkeä käsitys, joka voi usein antaa tarkempaa tietoa kuin pelkkä formaation online-mittaus. Valopöytä näytteistä tarkastellaan pohjan tasaisuutta ja näkyvien flokkien kokoa. Koneenhoitajat tarkastelevat onko pohjassa suuria flokkeja, eli pilvisyyttä vai pieniä flokkeja, eli ryynimäisyyttä.

Kartongin pienimittakaavainen neliömassa vaihtelu tutkitaan laboratoriossa säteilyyn pohjautuvalla neliöpainomittarilla. Säteilyyn perustuvassa mittauksessa kartonkiin ohjataan säteilyä, ja kartongista takaisin päin kimpoavat hiukkaset mitataan. Suuremmalla neliöpainolla pienempi osuus säteilystä kulkeutuu kartongin läpi, jolloin takaisin kimpoavien hiukkasten määrä kasvaa. Tällä hetkellä formaatiolla ei ole omaa standardoitua online-mittaussmenetelmää, joka korreloisi täysin säteilyllä tehdyn neliöpainomittauksen kanssa. (Figiel et al., 2010)

Formaation vaikutusta voidaan myös havainnoida muiden kartongin laatumittausten avulla. Koska useat kartongin laadulliset arvot ovat suoraan

verrannollisia formaatioon, esimerkiksi lujuuksien tai sileyksien satunnainen heikkeneminen voi johtua heikosta formaatiosta. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

## 5.2 *Sileyksien ja painettavuuden mittaukset*

Pinnan ominaisuudet ovat valmiiden kartonki- ja paperituotteiden laadun kannalta tärkeitä. Esimerkiksi painatusjäljen laadun on osoitettu korreloivan pinnan sileyksien kanssa. (Enomae Toshiharu, Onabe Fumihiko, 1997) Kartongin pinnan sileyden mittaukset perustuvat ilman kulkuun kartongin pinnan huokosissa. Suuremman mittakaavan pintavaihtelua kutsutaan makrosileydeksi, jota mitataan esimerkiksi Bendtsen-sileydellä. Pienempää pintavaihtelua, eli mikrosileyttä mitataan Parker Print Surf-mittauksella (PPS). PPS-sileyden on todettu kirjallisuudessa korreloivan hyvin kartongin painatuslaadun kanssa. (Abd El Aleem, Morsi, 2013) Molemmissa näissä sileyden mittaaminen perustuu ilman kulkemiseen pinnan huokosissa. Näytteen päälle asetetaan mittapää, jota painetaan näytteen pintaa vasten tietyllä paineella. Mittapään lävitse ohjataan ilmavirta, ja painon alta huokosista kulkeutuva ilmamäärä mitataan. Nämä mittausmenetelmät ovat standardoituja menetelmiä. Standardoidut mittausmenetelmät ovat Bendtsen-sileydelle ISO 8791-2 ja PPS-sileydelle ISO 8791-4. (Levlin, Söderhjelm, 1999)

PPS- ja Bendtsen-sileyksiä tarkkaillaan myös online-mittauksella. Sileyden online-mittaukset perustuvat valon säteiden hajoamiseen kohdissa, joissa kartongin pinnassa on epätasaisuutta. Online-mittauksia käytettäessä on tärkeää pitää huolta laitteiden kalibroinnista, koska mittaustavat poikkeavat niin merkittävästi laboratorioissa tehdyistä mittauksista. (Borch et al., 2002)

Mottlingille ei ole standardoitua mittausmenetelmää, vaikka se onkin yksi tärkeimmistä painatuslaadun tekijöistä. Painatusnäytteiden analysointi perustuu usein vertailuun omien aiempien näytteiden tasoon. Mottlingin mittausmenetelmät perustuvat näytteen värimaailman vaihteluun, jota analysoidaan valokuvaamiseen perustuvilla laitteilla, jotka havaitsevat eri värien osuuksia skannauksesta. Yksi esimerkki mottlingin laskumenetelmistä on sanomalehtipainatusten tutkimiseen käytettävä print mottle number, joka lasketaan yhtälöllä tummien ja vaaleiden

alueiden lukumääristä. (Lu, 1998) Inkeröiden kartongille tehtävät laaduntarkkailukokeet tehdään kolmella eri värillä, joiden mottling-keskiarvoa käytetään painovärin tasaisuuden kuvaamiseen. Nämä värit ovat magenta, syaani ja musta. Kuvassa 7 on esimerkkikappale laaduntarkkailupainatuksen valmiista arkista.



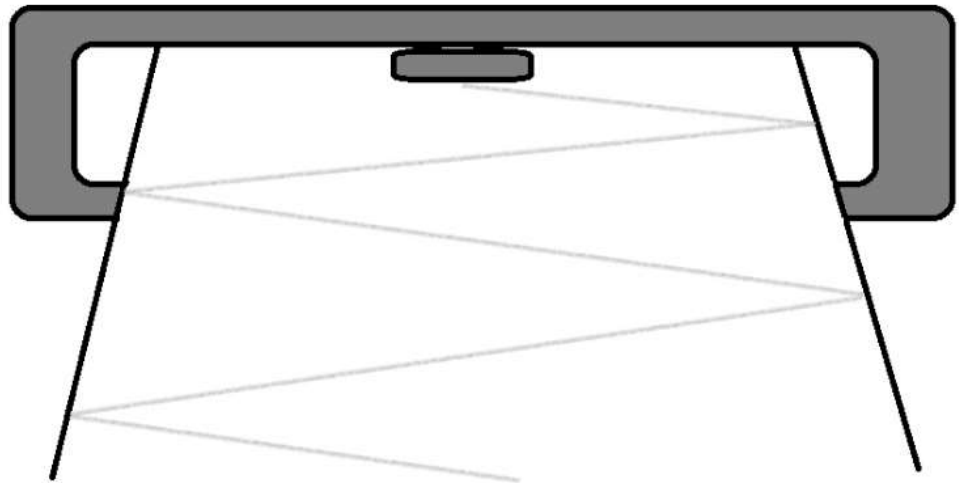
Kuva 7 Laaduntarkkailupainatuksen näytekappale

Kuvasta 7 nähdään esimerkiksi koepainatuksessa testattavat eri värit, sekä alareunassa väinvaihtopainatus. Näytekappaleita voidaan käyttää tehtaalla painatusjäljen havainnointiin, jotta ei tarvitse tulkita painatusjälkeä pelkästään mitattujen lukuarvojen perusteella.

### 5.3 *Online-mittausmenetelmät*

Useita kartongin laatuja tarkkaillaan online-mittauksilla. Online-mittauksiin käytetään niin kutsuttua quality control systems- järjestelmää (QCS). Mittausmenetelmä perustuu mittalaitteeseen, joka skannaa kartonkirainaa

poikkiradan suunnassa. QCS laitteisto liikkuu edestakaisin koneella olevaa raamia pitkin. Skanneri on joko yhdellä tai kahdella puolella rainaa. Useimmiten skanneri on kahdella puolella rainaa, koska usein valoon perustuvilla metodeilla valon lähde on rainan toisella puolella ja reseptori toisella. Mittapään havaitsema kohta rainasta liikkuu viistottain johtuen rainan nopeudesta. Näin ollen skannauksesta saadut poikkiradan tulokset eivät ole täysin samasta kohdasta pituussuunnassa. (Figiel et al., 2010) Hahmotelma QCS järjestelmästä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8 QCS mittalaitteen toimintaperiaate (Figiel et al., 2010) (Mukailtu)

Yhdessä skannerissa on kiinni useita eri sensoreita. (Figiel et al., 2010) Kuten kuvasta 8 voidaan nähdä, poikkiradan skannaus on hieman viistossa, jolloin käytännössä jokainen mittapiste on pituussuunnassa eri kohdasta. Näin pieni ero ei kuitenkaan olennaisesti vaikuta tuloksiin. Tässä työssä tarkasteltavat online-mittaukset ovat flokki-intensiteetti, keskimääräinen flokkikoko ja Bendtsen- ja PPS-sileyden kanssa korreloivat online-mittaukset.

Formaatiomittaus on yksi olennaisista online-laaturatkailumittauksista. Formaatiomittaus perustuu valon intensiteetin muutokseen kartonkiarkin läpäisyn aikana. Tämä voidaan tehdä kahdella eri tavalla. Ensimmäisellä tavalla valon läpäisykyky mitataan pienellä tutkitulla alueella ja tätä verrataan suuremman alueen

skannaukseen, joka toimii keskiarvona kyseiselle neliöpainolle. Näin saadaan kullekin pienen alueen skannaukselle oma formaation arvo verrattuna keskiarvoon. Toisella tavalla tutkitaan pienen skannattavan alueen valon läpäisykykyä, ja tarkkaillaan sen vaihtelua kartonkiarkin eri kohdissa. (Borch et al., 2002) Inkeröisissä ei käytetä formaatioindeksiä, vaan mittasuureina käytetään flokkien kokoa ja esiintymistiheyttä. Flokkien koon ja esiintymistiheyden mittaaminen perustuu kuitenkin samaan mittaustapaan. Koneen nopeuden ja valon intensiteetin muutoksen perusteella voidaan laskea flokin koko, sekä muoto. Esiintymistiheys taas saadaan intensiteetin muutoksien määrästä. (Honeywell, 2010) Eri kokoisten flokkien esiintymistiheydet voidaan myös määrittää näiden mittausten pohjalta.

PPS- ja Bendtsen-sileyksiä voidaan mitata kahdella eri valoon perustuvalla metodilla. Ensimmäisellä tavalla valo heijastetaan suoraan ylhäältä päin kartonkiin, ja heijastuvaa valon sädetä mitataan kahdella eri vastaanottimella. Jos vastaanottimien saama valon intensiteetti on yhtä suuri, kartonki on sileää. Toisella metodilla valon säteet heijastetaan pienestä kulmasta kohti useita rinnakkaisia vastaanottimia. Tällöin jos kartonki on sileää, vain muutama vastaanotin aktivoituu, kun taas karhealla kartongilla valon säteet hajoavat useisiin vastaanottimiin. (Borch et al., 2002)

#### 5.4 *Mittausmenetelmien arviointi*

Inkeröisissä käytetty online-formaatiomittari on vanha, mutta formaation mittaamiseen käytetyt teknologiat eivät ole juurikaan muuttuneet. Valoon perustuva mittaus on käytännössä hyvin toimiva metodi, koska se huomioi kussakin kohdassa olevan massan määrän. Toisaalta kuinka tarkasti valoon perustuva mittari kykenee määrittämään yksittäisten flokkien koon ja esiintymistiheyden. Vaikuttavatko esimerkiksi kemikaalien annostelu tai raaka-aineen laatu mittauksen yleiseen tasoon?

Säteilyyn perustuva offline-formaatiomittari, joka on oletuksena paras formaation mittaustapa, perustuu neliöpainon vaihtelun mittaamiseen. Tämä menetelmä ei kuitenkaan ota huomioon kartonkiin jäävää kosteutta. Jos esimerkiksi valmiin kartongin kosteuspitoisuus on noin 10 %, kuinka paljon se vaikuttaa tähän



mittaustulokseen. Oletettavasti myös kartonkiin jäänyt kosteus on enimmäkseen kohdissa, joissa ei ole flokkeja, jolloin mittari havaitsee realistista pienempää neliöpainovaihtelua.

Formaation online-seurannan helpottamiseksi voitaisiin harkita esimerkiksi kameraa, joka kuvaa kartonkia valon lähdettä vasten ja päivittäisi valvomoon tästä saatavaa kuvaa. Uusimmat formaatiomittarit perustuvatkin jo nykyään rainan valokuvaukseen, josta pystytään analysoimaan tummien ja vaaleiden alueiden määriä. (Honeywell, 2010)

Sileysmittauksia tehdään Inkeroisissa online-mittauksena ja Autoline-laitteella. Online-mittauksen heikkous on mittapään pieni skannausalue, joka esimerkiksi Bendtsen-sileydellä ei riitä kuvaamaan totaalisesti kartongin makrosileyttä. Mikrosileydellä online-mittarin tulos voi olla valoon perustuvalla menetelmällä lähempänä todellista arvoa. Autoline-mittaukset ovat sileyden suhteen luotettavia, koska laitteen mittausmenetelmät ovat laboratoriomittauksia vastaavia.

Painettavuuden mittauksiin ei juurikaan voida vaikuttaa, koska ne tehdään tehtaan ulkopuolisella tutkimuskeskuksella. Mottlingin mittausmenetelmät ovat kuitenkin olleet jo pitkään nykyistä vastaavia, ja tulokset ovat oletettavasti luotettavia. Kuukausittain tehtävien laaduntarkkailupainatusten välillä voi olla painatuslaitteistosta johtuvia tason muutoksia, jotka johtuvat esimerkiksi painotelojen kunnosta ja käytetyistä painoväreistä.

## 6 Kulma- ja korkosäädettävät listat

iTable on IBS:n valmistama laitteisto, jolla säädetään viiraosan foililistojen kulmia ja korkeuksia. Säädettyjen listojen avulla pystytään optimoimaan viiraosan turbulenssia alusta loppuun asti, jolloin formaatioon ja moniin muihin kartongin ominaisuuksiin saadaan huomattavaa parannusta. Myös muilla laitevalmistajilla on vastaavia tuotteita.

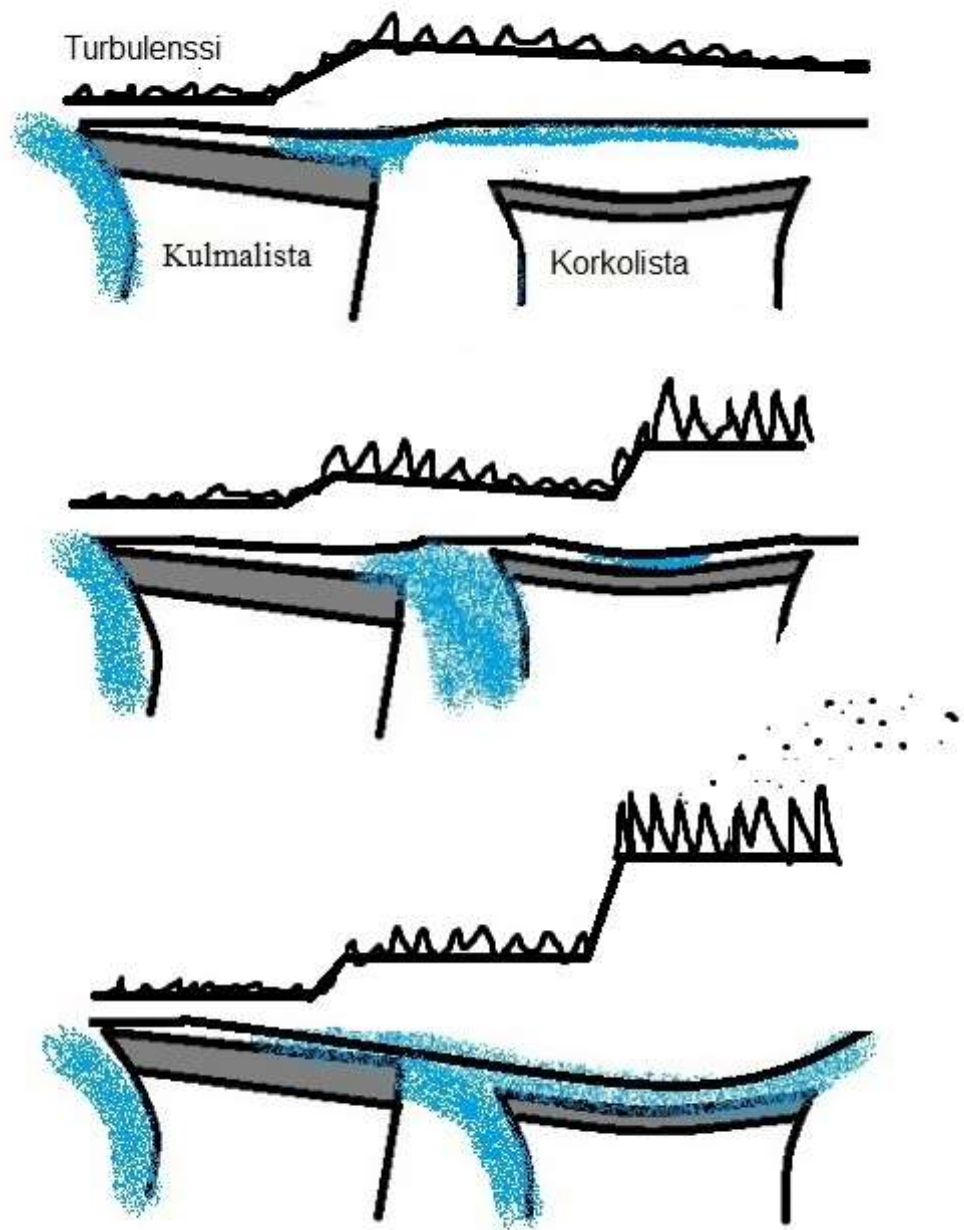
### 6.1 Toimintaperiaate

Viirapöydällä olevien foililistojen tarkoitus on luoda turbulenssia viiralla kulkevaan massaan, ja näin estää kuitujen flokkaantumisen. Foilit ovat myös oleellinen osa viiraosan vedenpoistoa. Vettä suodattuu viiran läpi, jolloin foililistat vuolevat vesikerroksen irti viiran pohjasta. (Paulapuro, 2007) iTable on tasoviiran foililistojen säätöön suunniteltu laitteisto, jolla foililistoja säätämällä voidaan säädellä viiraosan vedenpoistoa ja turbulenssia laajalla sakeuden alueella. Turbulenssin ja vedenpoiston avulla voidaan säätää vedenpoistolla esimerkiksi retentiota ja formerille saapuvan massan kiintoainepitoisuutta. Säädettyillä listoilla voidaan säädellä massaan kohdistuvaa turbulenssia, joka vähentää kuitujen flokkaantumista viiran päällä. (IBS (b), 2020)

iTable-systeemissä on kahdenlaisia säädettyjä listoja. Ensimmäinen on tasainen lista, jonka kulmaa säätämällä voidaan säätää poistuvan veden määrää, sekä muodostuvaa turbulenssia. Näissä kulmasäädettävissä listoissa perälaatikon puoleinen reuna pysyy paikallaan ja formerin puoleinen kulma laskee alas päin kulmaa kasvattaessa. Kulmasäädettävien listojen kulmaa nostamalla listan synnyttämä alipaine listan jättöreunalla kasvaa, ja viira siirtyy alas päin listan mukana. Paine-eron kasvaminen nostaa vedenpoistoa ja aiheuttaa voimakkaampaa turbulenssia. (Paulapuro, 2007) Toinen käytetyistä listoista on V-muotoinen lista, joka ohjaa osan viiran lävitse poistuvasta vedestä takaisin viiraan aiheuttaen viiran tärinällä turbulenssia massaan. Korkosäädettävässä listassa 0-tasolla lista on viirassa kiinni, jolloin vedenpoisto ja syntyvä turbulenssi on suurta. Toisessa ääriasennossa lista ei osu ollenkaan viiraan, jolloin vedenpoisto ja turbulenssi ovat molemmat olemattomia. Suurin tehokkuus V-listalla saadaan siirrettäessä sitä

alaspäin. Juuri ennen kuin alipaine ei riitä enää pitämään viiraa tasaisesti kiinni listassa, turbulenssi on suurimmillaan. Suuren turbulenssin muodostuminen tässä tilanteessa perustuu viiran suureen vertikaaliseen liikkeeseen listan kohdalla. (IBS (b), 2020)

iTablen listoja on asennettu runkoviiran kolmelle ensimmäiselle foililaatikolle niin, että kahdessa ensimmäisessä kulma- ja korkolistoja on vuorotellen ja kolmannessa laatikossa on ainoastaan kulmalistoja. Kahden ensimmäisen laatikon aikana turbulenssi pyritään nostamaan nopeasti korkeaksi, jonka jälkeen se pyritään säilyttämään korkeana mahdollisimman pitkään. (IBS (b), 2020) Kunkin korkosäädettävän listan korkeutta ja kulmalistan kulmaa voidaan säätää erikseen. Näin turbulenssia pystytään säätämään tarkasti jokaisen listan kohdalla. (IBS (a), 2020) iTablen toimintaa eri asetuksilla on hahmoteltu kuvassa 9.



Kuva 9 Säädetävien listojen vaikutuksia turbulenssitason (IBS (b), 2020)

Kuvassa 9 on hahmoteltu eri tilanteita, joita saadaan luotua listojen avulla. Ensimmäisessä kuvassa korkolista on alhaalla, ja tarvittava turbulenssi luodaan kulmalistojen avulla. Tällöin korkolistat eivät poista vettä, eivätkä luo turbulenssia. Korkolistoja ei käytetä pienimmillä neliöpainoilla, koska silloin riittävä turbulenssi pystytään luomaan pelkillä kulmasäätöisillä listoilla. Kun kulma säädetävistä listoista loppuu säätövara, otetaan korkosäädettäviä listoja viiraan kiinni

turbulenssin luomiseksi. Tällöin joudutaan tiputtamaan kulmasäätöisten listojen kulmia, koska turbulenssi kasvaa merkittävästi korkosäädettävän listan toimesta. Jos turbulenssi ei ole riittävä korkosäädettävän listan ollessa kiinni viirassa, tai korkolistan veden iskeytyminen viiraan aiheuttaa epätasaisen kiinnittymisen kulmalistaan, voidaan korkolistaa laskea alaspäin. Tällöin viira vetäytyy alaspäin korkolistan mukana, ja listan synnyttämä paine-ero kasvaa. Tällöin myös korkolistaa seuraava kulmalista osuu varmasti kunnollisesti viiraan ja poistaa vettä tehokkaasti. (IBS (a), 2020)

Viirapöydän alkupäässä turbulenssi pyritään nostamaan nopeasti korkeaksi, jotta kuidut eivät ehtisi flokkaantumaan ja muodostamaan sidoksia. Jos näin tapahtuu, veden poistuminen kuituverkon läpi on huomattavasti vaikeampaa viiran loppua kohden. (Holik, 2006) Turbulenssi pyritään pitämään melko tasaisena koko säädettävien listojen matkan. Näin vedenpoisto jakautuu tasaisesti, eikä massa pääse flokkaantumaan. Neljän viimeisen laatikon listoilla turbulenssi pyritään tappamaan. Viimeiset laatikot ovat kiinteäkulmaisia imulaatikoita, joissa kulmat pienenevät porrastetusti. Näin turbulenssi pienenee vaiheittain laatikoiden päällä kulkiessaan kohti formeria. Tavoitteena on, että kitaan tulevassa massassa ei ole juurikaan enää väreilyä. Tämä mahdollistaa hyvän pohjan muodostuksen formerilla. (IBS (a), 2020)

## 6.2 *Vaikutus viiraosan toimintaan*

Varsinaisesti kyseinen laiteasennus ei vaikuta viiraosan toimintaan. Kun neliöpainokohtaiset asetukset on tallennettu iTablen asetuksiin, listojen asetukset vaihtuvat automaattisesti riippuen siitä, mitä lajia ajetaan. Turbulenssia säädettäessä tulee ottaa huomioon, että turbulenssi pysyy siedettävällä tasolla koko viirapöydän ajan. Jos turbulenssi on liian matala, massa flokkaantuu, ja formaatio heikkenee. Jos turbulenssi on taas liian korkea, massaa voi roiskua ympäriinsä, ja esimerkiksi vedenpoisto voi heikentyä. Liian korkea turbulenssi voi heikentää myös esimerkiksi retentiota. Vedenpoistokapasiteetti kasvaa merkittävästi säädettävillä listoilla, joka mahdollistaa suuremman vesimäärän ajamisen rungon perälaatikolta

runkokerrokseen. Tällöin massan sakeus pienenee, ja formaatio paranee. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005)

### 6.3 *Vaikutus formaatioon ja muihin mittausarvoihin*

Parantuneen formaation myötä kartongin lujuudet paranevat. Tasaisemman pohjan vuoksi esimerkiksi puhkaisu- ja vetolujuudet paranevat. Turbulenssi aiheuttaa huopamaisemman rakenteen, jonka seurauksena Z-suuntainen lujuus paranee. (Levlin, Söderhjelm, 1999) Formaation ja kuituorientaation parantuessa lopullisten kartonkiarkkien peruspaino laskee. Parantunut vedenpoisto mahdollistaa suuremmat vesimäärät, jolloin suurella vesimäärällä ajettaessa kartongin sileys paranee. Tämä taas parantaa kartongin kiinnittymistä ja kosketuspinta-alaa kuivatussylimintereihin ja näin mahdollistaa tehokkaamman kuivatuksen. Tasainen ja hienoaineesta tukkiutumaton pohja parantaa vedenpoistoa viiraosalla, sekä myös esimerkiksi formerilla ja puristimella. Lisääntynyt vedenpoisto ja tehokkaampi kuivatusosan toiminta mahdollistaa suuremman tuotantonopeuden, jolla päästään silti samaan tai parempaan lopputuotteeseen. (IBS (a), 2020)

## 7 Mittausdatan analysointi

Tämän työn data-analyysi osuus sisältää tarkastelua taivekartongin formaatioon vaikuttavista tekijöistä, sekä formaation vaikutuksesta esimerkiksi sileyteen ja painatusjälkeen. Mittausdatasta etsitään suoria korrelaatioita, sekä pyritään mallintamaan formaatiota matlabilla monimuuttujamenetelmien avulla. Aikaisemmin kerätystä datasta saatuja tuloksia verrataan iTablen asennuksen jälkeisiin tuloksiin, joista nähdään säädettävillä foililistoilla saavutettava hyöty verrattuna aiempaan dataan. Vertailun kohteina ovat esimerkiksi flokkien keskimääräinen koko ja määrä, sileydet ja painatusjäljen värin tiheyden vaihtelu.

### 7.1 Prosessiparametrien vakiointi

Viiraosan prosessiparametrit, kuten huulisuihkun iskuetäisyys ja iskukulma, vaikuttavat oleellisesti viiraosan toimintaan, sekä viiraosalla massaan muodostuvaan turbulenssiin. Näin ollen ne vaikuttavat suoraan kartongin formaatioon ja lopulta myös sileyteen ja lujuusarvoihin. Yhtenä oleellisena osana tutkimusta oli näiden arvojen vakiointi. Nämä prosessiparametrit tulisi asettaa mahdollisesti kullekin neliöpainolle omalle vakiotasolle. Yhtenä tavoitteena oli myös, että jokainen neliöpaino pystyttäisiin ajamaan samalla kiintoainepitoisuudella formerille. Tähän päästäisiin iTablen optimoidun vedenpoiston kautta.

Prosessiparametrien vakiointia varten tehtiin muutamia koeajoja, jotta löydetään esimerkiksi optimaalinen rungon perälaatikkosakeus hyvän formaation saavuttamiseksi. Olemassa olevaa dataa myös analysoitiin ja mallinettiin, jotta esimerkiksi saadaan käsitystä perälaatikon asetusten vaikutuksesta mitattuihin formaation arvoihin. Selkeä linjaus eri ajoasetuksista voisi esimerkiksi tasoittaa tuotteen laatua, jolloin laatuun vaikuttavien tekijöiden optimointi olisi helpompaa. Jos eri vuorojen ajotavoissa on runsaasti vaihtelua, joka näkyy myös lopputuotteessa, on ajoparametrien optimointi ja datan analysointi huomattavasti vaikeampaa.

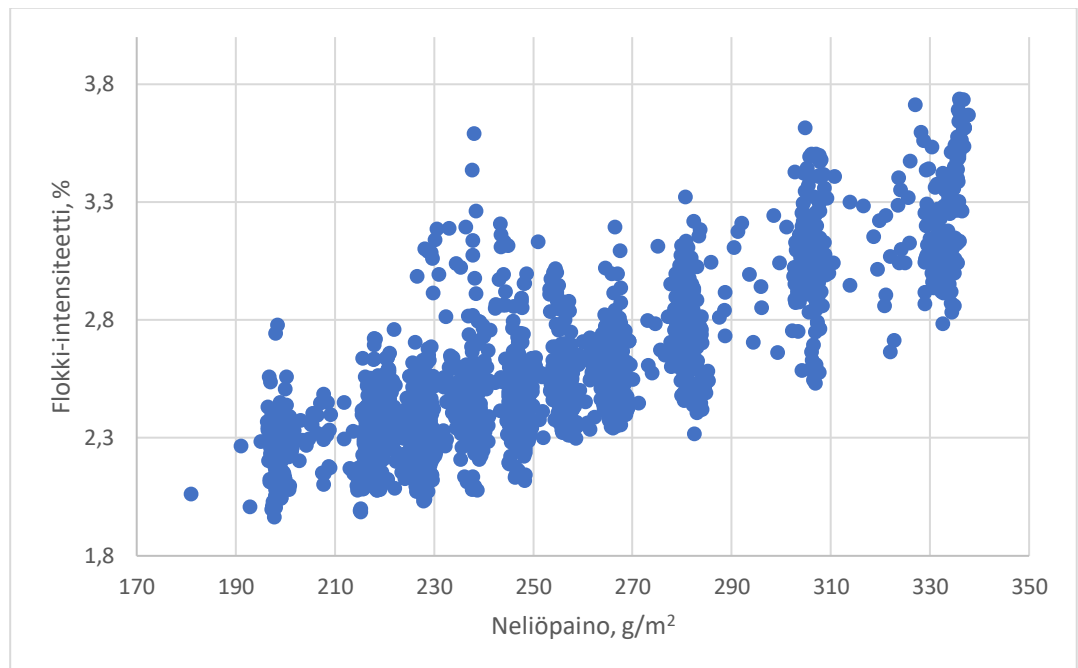
## 7.2 *Kaikkien neliöpainojen data*

Ensimmäiseksi tarkasteltiin koko vuoden 2019 mittausdataa. Kootusta datasta poistettiin kaikki katkot, sekä selkeät mittauslaitteiston häiriöt. Käytetyt datapisteet oli kerätty yhden tunnin välein. Tämän datan pohjalta tarkasteltiin flokkikoon ja esiintymistiheyden muutosta esimerkiksi neliöpainon ja koneen nopeuden muuttuessa. Myös perälaatikon ja viiraosan säätöjen vaikutuksia flokkisuuteen tarkasteltiin. Lähes kaikki perälaatikon asetukset kuitenkin muuttuvat neliöpainon vaihtuessa, joka osaltaan piilottaa korrelaatiota formaatioon.

### 7.2.1 *Flokkien kokoon ja esiintymistiheyteen vaikuttavat tekijät*

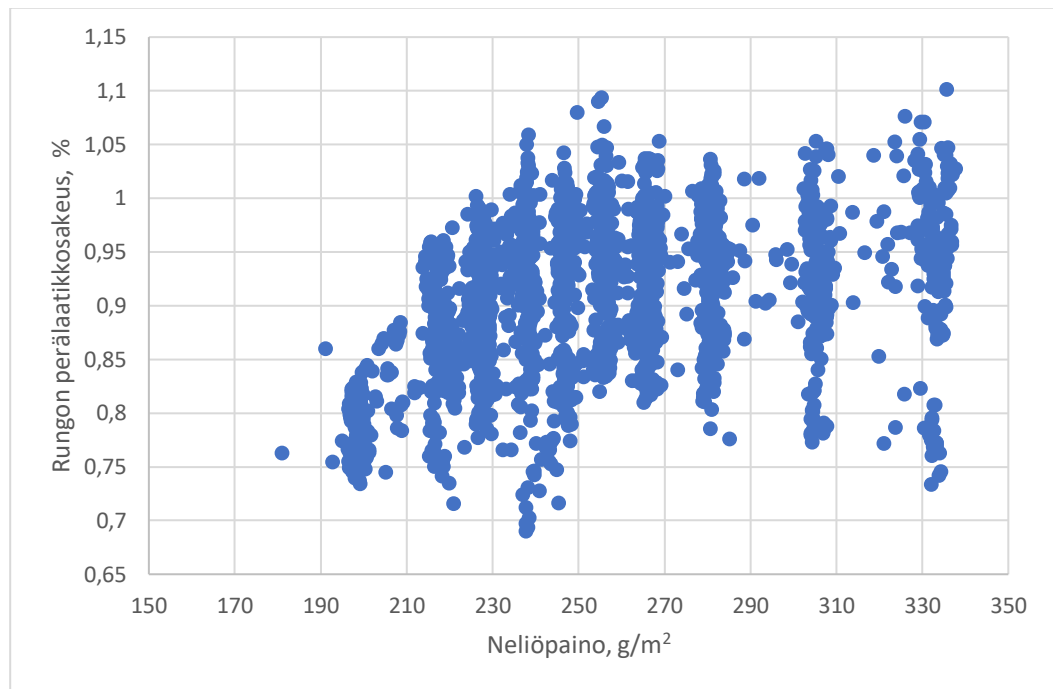
Kartongin neliöpainon kasvaminen tarkoittaa taivekartongissa runkokerroksen paksuuden kasvamista. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, ettei kone- tai poikkisuuntaisella neliöpainovaihtelulla pitäisi olla suoraa verrannollisuutta neliöpainon kanssa. Kasvanut neliöpaino tarkoittaa kuitenkin suurempaa massan määrää viiran päällä, joka pienentää foilien luoman turbulenssin määrää. Suurempia neliöpainoja ajettaessa koneen nopeus on myös hitaampi, joka myös tarkoittaa pienemmän turbulenssin syntymistä massan ja foilin välisen iskeytymisnopeuden hidastuessa. Flokkien koko ja esiintymistiheys piirrettiin neliöpainon funktiona kaikkien lajien datoista. Flokki-intensiteetti neliöpainon funktiona on esitetty kuvassa 10.





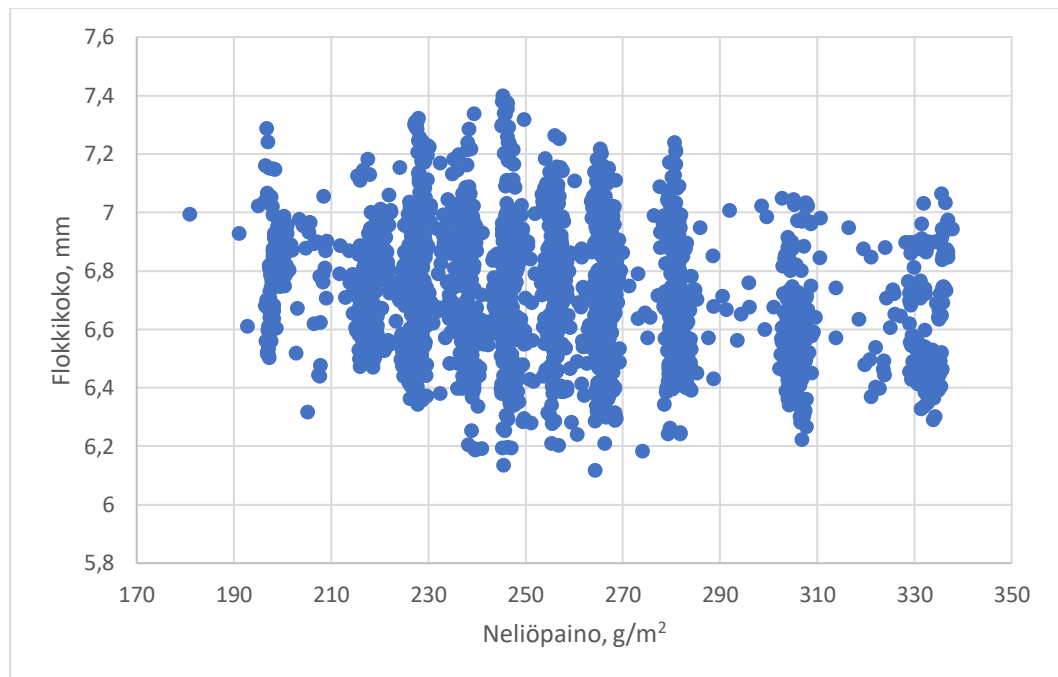
Kuva 10 Flokkien esiintymistiheys neliöpainon funktiona

Kuvasta 10 voidaan nähdä, että neliöpainon kasvaessa flokkien esiintymistiheys kasvaa lineaarisesti. Tästä voidaan päätellä, että turbulenssin vähentyessä muodostuneiden flokkien määrä kasvaa. Tähän voi myös vaikuttaa osaltaan, että suuremmalla neliöpainolla rungon sakeus on hieman suurempi. Kuten Häggblom-Ahnger (2005) totesi, sakeuden kasvaessa kuitujen törmäysten määrä kasvaa, joka taas johtaa kuitujen flokkaantumiseen. Tätä teoriaa varten tarkistetaan myös sakeuden vaihtelu eri neliöpainoilla. Tämä on esitetty kuvassa 11.



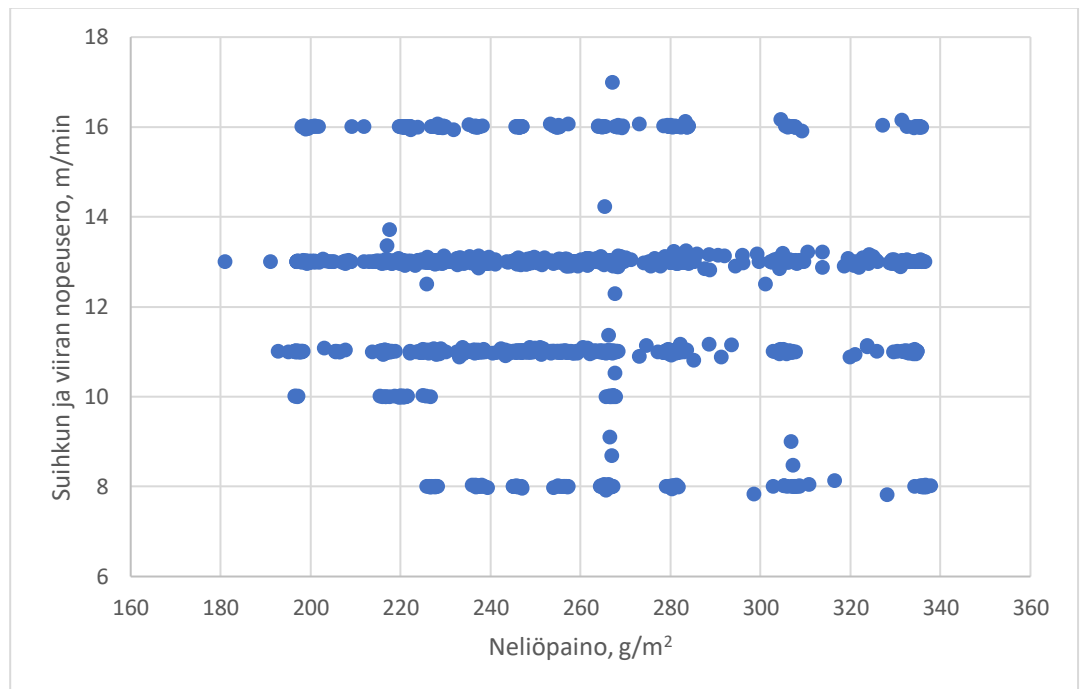
Kuva 11 Rungon perälaatikkosakeuden muutos neliöpainoittain

Kuvasta 11 voidaan todistaa, että suuremmalla neliöpainolla käytetään keskimäärin suurempaa perälaatikkosakeutta. Tämä voi olla yksi syy sille, että flokki-intensiteetti kasvaa neliöpainon kasvaessa. Toisaalta sakeuden nostamisen pitäisi myös kasvattaa flokkien kokoa. Näin ei kuitenkaan jostain syystä datan perusteella ole. Flokkien koko on esitetty neliöpainon funktiona kuvassa 12.



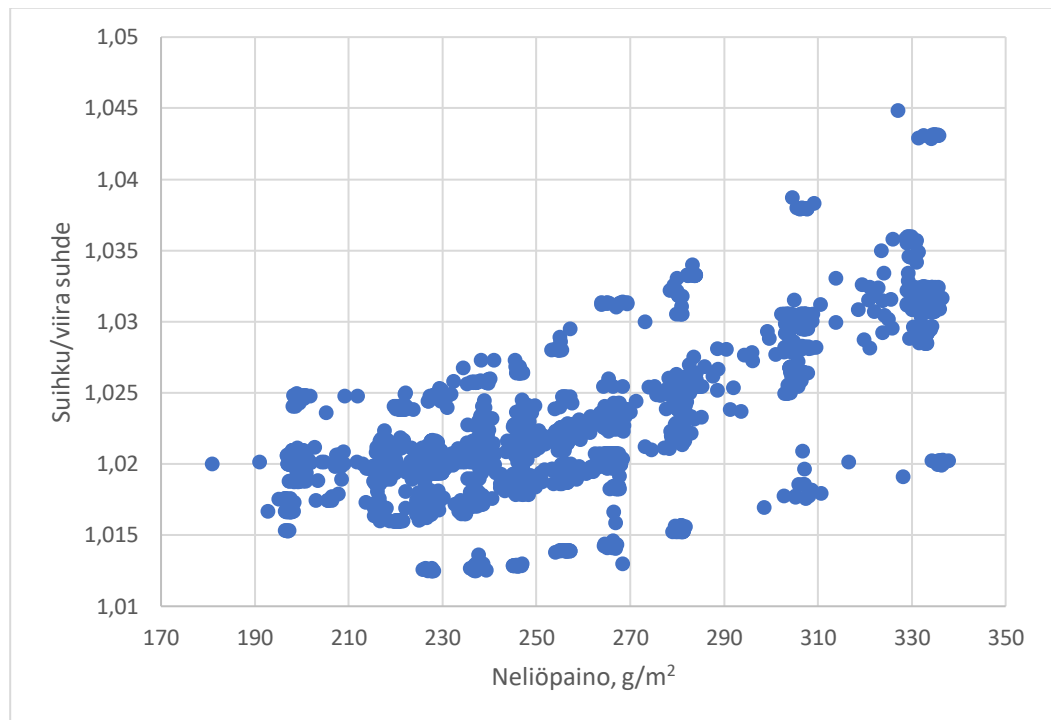
Kuva 12 Flokkien keskimääräinen koko neliöpainon funktiona

Kuvan 12 perusteella näyttäisi, että flokkikoko jopa pienenesi neliöpainon kasvaessa. Koska flokkien esiintymistiheys käyttäytyi neliöpainon kasvaessa täysin päinvastaisesti, pieneneminen suurella neliöpainolla on outoa. Yksi mahdollinen selitys löytyy suihkun nopeuden ja viiran nopeuden suhteesta. Inkeroisissa suihkun ja viiran nopeuseroa säädetään nopeuserolla, eikä nopeuksien suhteella. Tämän vuoksi tarkasteltiin, miten nopeusero ja nopeuksien suhde käyttäytyi neliöpainon funktiona. Kuvassa 13 on esitetty suihkun ja viiran nopeusero neliöpainon funktiona.



Kuva 13 Suihkun ja viiran nopeusero neliöpainon funktiona

Kuten kuvasta 13 voidaan nähdä, suihkun ja viiran nopeuden eroa ei säädetä neliöpainon mukaan. Koska koneen nopeus muuttuu neliöpainon mukaan, se tarkoittaa saman suihkun ja viiran nopeuden eron tarkoittavan aivan suihkusuhdetta kevyellä ja painavalla kartongilla. Tätä havainnollistetaan kuvassa 14, jossa on esitetty suihkusuhde neliöpainon funktiona.

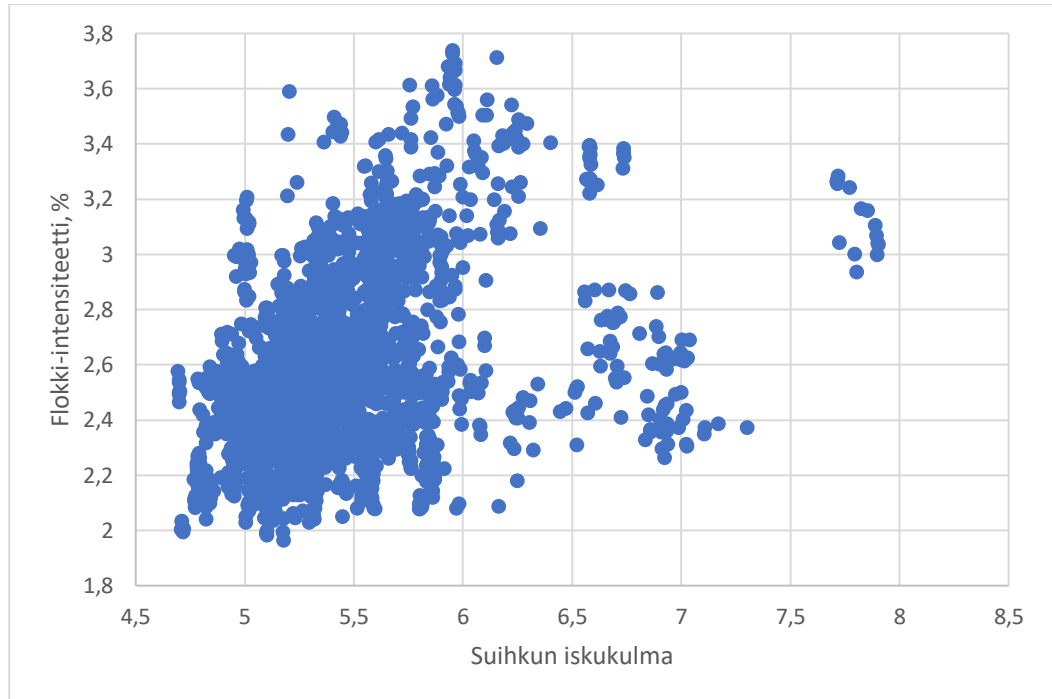


Kuva 14 Suihkun ja viiran nopeuden suhde neliöpainon funktiona

Kuten kuvasta 14 nähdään, suihkun ja viiran nopeuksien suhde on paljon suurempi suurella neliöpainolla koneen nopeuden muutoksen takia. Tämä on mahdollisesti selitys sille, että keskiverto flokkikoko näyttäisi olevan datan perusteella pienempi neliöpainon kasvaessa. Suihkun ja viiran nopeuden eroa tulisikin näiden johtopäätöksien mukaan säätää koneen nopeuden mukaan. Tätä voitaisiin tutkia jatkossa esimerkiksi koeajolla, jossa säädetään suihkusuhdetta ja tarkastellaan tämän vaikutuksia flokkien kokoon ja esiintymistiheyteen. Kun tarkastellaan flokkikoon ja flokki-intensiteetin muutosta nopeuseron funktiona, vaihtelu on suurta, eikä selkeitä korrelaatioita löydy. Tämä johtuu siitä, että samalla nopeuserolla ajetaan kaikkia eri neliöpainoja, jolloin muut tekijät vaikuttavat merkittävästi formaatioon.

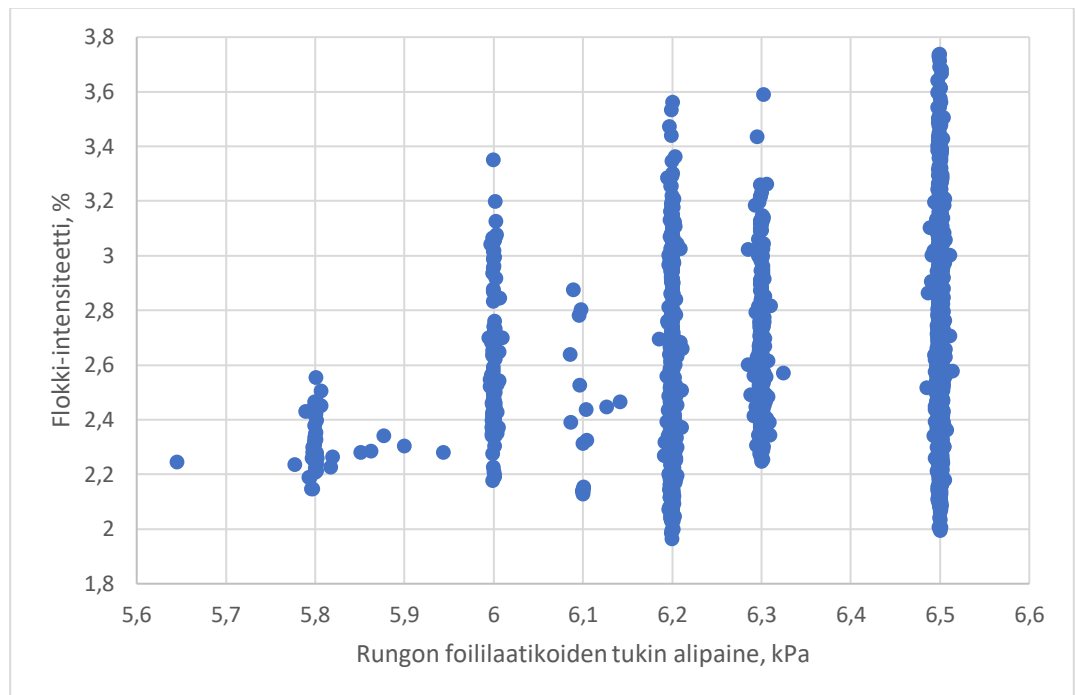
Suihkun iskukulma viiralle on myös vedenpoiston ja formaation kannalta merkittävä tekijä, koska suuremmalla iskukulmalla suurempi osa vedestä suodattuu heti iskuhetkellä viiran läpi. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2005) Iskukulman vaikutus keskiverto flokkikokoon ei näytä suurta korrelaatiota, mutta iskukulman

vaikutus flokkien esiintymistiheyteen vaikuttaisi selkeältä. Tämä on esitetty kuvassa 15.



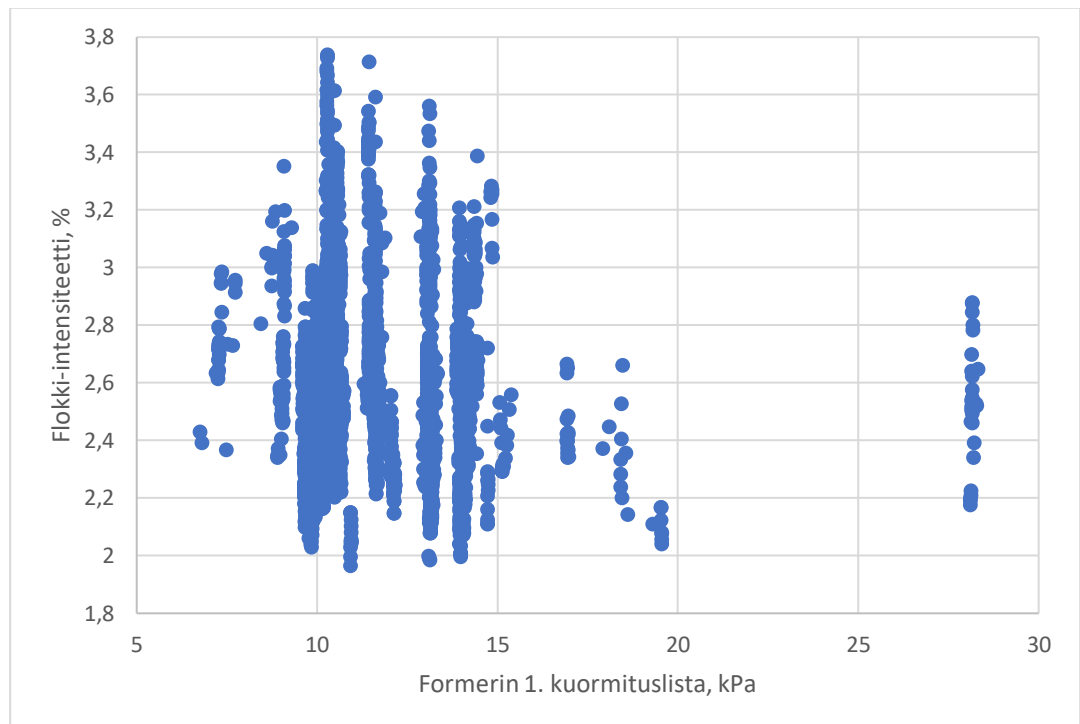
Kuva 15 Flokkien esiintymistiheys suihkun iskukulman funktiona

Kuvasta 15 voidaan nähdä, että pienimmät flokki-intensiteetit on saavutettu pienillä iskukulmilla. Kuvassa on havaittavissa useita mahdollisia lineaarisia sovituksia, jotka ovat mahdollisesti eri neliöpainojen ajoista. Viiraosan asetusten muodostuneiden flokkien esiintymistiheyteen vaikuttaa vedenpoiston jakautuminen tasoviiralla. Kuten aiemmin mainittiin, liian tehokas vedenpoisto viiran alkuosassa vaikeuttaa vedenpoistoa myöhemmin, ja muodostuneet flokit eivät enää hajoa. (Holik, 2006) Tämän vuoksi tarkastellaan flokkien esiintymistiheyttä rungon foililaatikoiden painetukin alipaineen funktiona kuvassa 16.



Kuva 16 Rungon foililaatikoiden tukin alipaineen vaikutus flokkien esiintymistiheyteen

Kuvasta 16 voidaan nähdä, että alipaineen kasvaessa flokkisuuden hajonta on huomattavasti suurempaa. Voidaan myös todeta, että pienimmät flokkisuuden arvot on saavutettu pienillä alipaineilla ja suuret flokki-intensiteetit suurilla alipaineilla. Tämä data puoltaa liiallisen aikaisen vedenpoiston aiheuttamaa flokkisuutta. Kunkin runkofoililaatikon alipainetta voidaan säätää myös omalla venttiilillä, mutta tukin paine vaikuttaa foilien painetasoon oleellisesti. Ennen formeria olevan viimeisen foilaatikon alipaine on sama, joka on tukissa. Tämäkin voi olla yksi mahdollinen tekijä, joka selittää flokki-intensiteetin muutosta. Liian suuri alipaine juuri ennen formeria voi mahdollisesti aiheuttaa myöhäistä turbulenssia massaan. Muodostuneita flokkeja pyritään myös hajottamaan formerin kuormituslistoilla. Kuormituslistan paineen kasvaessa muodostuneiden flokkien tulisi hajota. Ensimmäisen kuormituslistan paineen vaikutusta flokki-intensiteettiin on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17 Flokkien esiintymistiheys kuormituslistan paineen funktiona

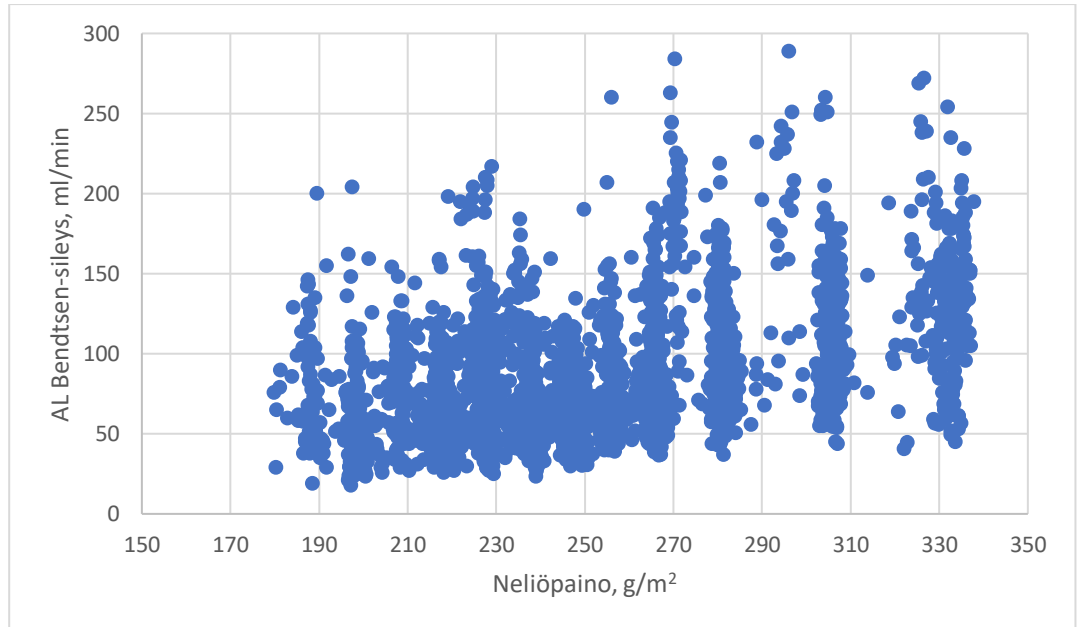
Kuvasta 17 voidaan nähdä, että kuormituslistan paineen kasvaessa flokki-intensiteetin maksimiarvo laskee. Tämän perusteella kuormituslistan paineen nostaminen on varsin tehokas menetelmä muodostuneiden flokkien hajottamiseen. Flokkikoon pienenemistä neliöpainon kasvaessa voidaan myös selittää kuormituslistojen toiminnalla. Kuormituslistoja ajetaan yleensä vakioaineella, jolloin suuremmalla neliöpainolla paksumpi kartonkirata joutuu samalla suurempaan puristukseen formerin kärkilistaa vasten, kuin kevyellä kartongilla ohut kartonkirata. Myös painelistojen säätämistä neliöpainokohtaisesti voitaisiin kokeilla koeajon muodossa.

### 7.2.2 Pinnan sileyksien vaihtelu

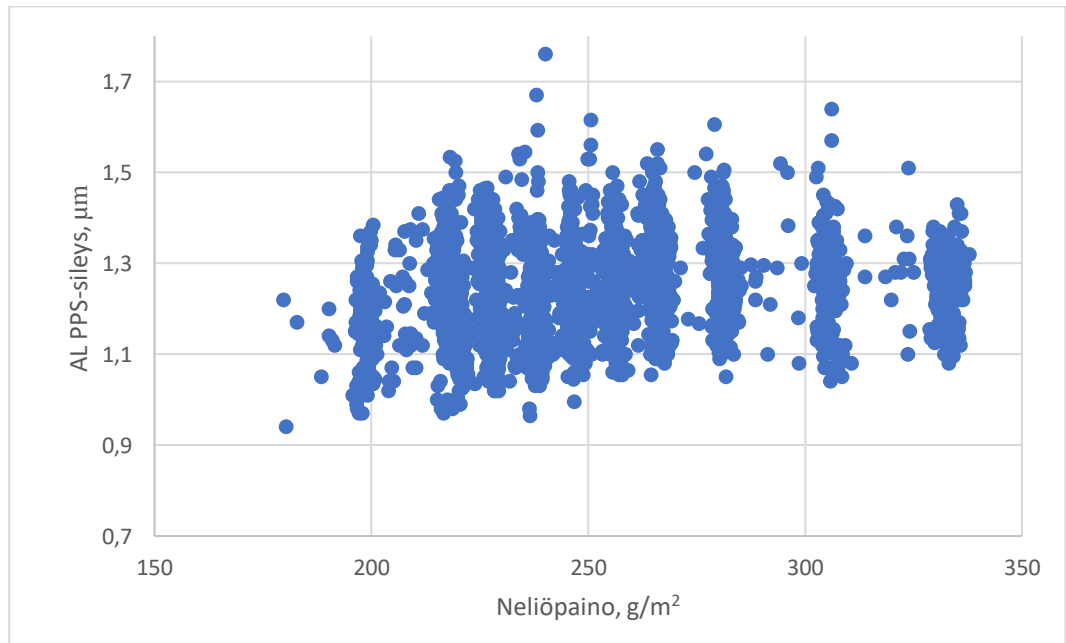
Pinnan karheus on yksi tärkeistä arvoista, jonka todettiin muuttuvan formaation vaikutuksesta. Pinnan sileyksiä mitataan, sekä Autoline-laitteella, että online-mittarilla. Autolinen mittauseriaate perustuu ilmavirtaukseen, kuten laboratoriossa, kun taas online-mittaus perustuu valon heijastumiseen pinnan muutosten mukaan. Tämän vuoksi sileyksiä tarkasteltaessa, keskitytään Autoline



mittauksiin. Kuvissa 18 ja 19 esitetään makrosileyden, eli Bendtsen-sileyden, ja mikrosileyden, eli PPS-sileyden (1MPa) muutosta neliöpainon funktiona.



Kuva 18 Autolinen Bendtsen-sileyden neliöpainon funktiona



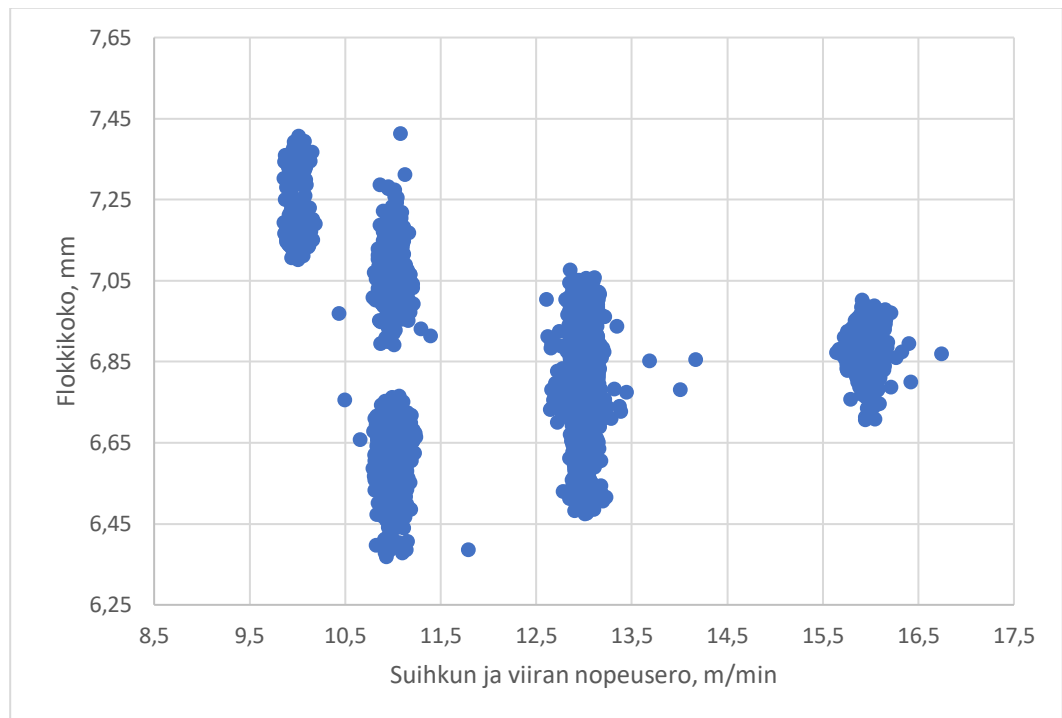
Kuva 19 Autolinen PPS-sileyden (1MPa) neliöpainon funktiona

Kuvista 18 ja 19 voidaan nähdä, että Bendtsen-sileyden keskimääräinen arvo heikkenee merkittävästi neliöpainon kasvaessa. PPS-sileyden sen sijaan pysyy melko samalla tasolla neliöpainosta riippumatta. Mikrosileyden todettiin aiemmin riippuvan paljon esimerkiksi päällysteen tasaisuudesta, kun taas makrosileyden riippuu enemmän kartongin pohjan rakenteesta. Koska flokki-intensiteetti kasvoi neliöpainon kasvaessa flokkikoon pienentyessä, voidaan olettaa flokkien esiintymistiheydellä olevan korrelaatiota makrosileyden kanssa.

### 7.3 *Lajikohtainen data-analyysi*

Lajikohtainen analyysi tehdään kolmella eri neliöpainolla. Näin saadaan huomioitua neliöpainosta johtuva säätöjen muutos, sekä neliöpainon vaikutus formaatioon. Käytetyt lajit ovat TB200, TB250 ja TB310. Kyseiset lajit valittiin tarkasteltavaksi, koska samat kolme lajia ovat käytössä myös kuukausittain tehtävissä laaduntarkkailupainatuksissa. Näillä kolmella lajilla saadaan myös dataa neliöpainojakauman eri kohdista, jolloin nähdään, millaista eroa on esimerkiksi kevyen ja painavan kartongin välillä. Käytetty data on vuoden 2019 toukokuun ja joulukuun väliltä minuutin aikaväleillä, jolloin pienemmän mittakaavankin vaihtelu saadaan mukaan. Kullakin neliöpainolla tarkasteltiin esimerkiksi runkoperän asetusten, koneen nopeuden ja foilien imujen vaikutusta flokkien kokoon ja intensiteettiin.

Aluksi kullakin neliöpainolla piirrettiin vastaavia XY-kuvaajia, kuten koko datallakin. Kuvaajia tarkastellessa ongelmaksi havaittiin erillisten ajojen täysin erilaiset ajoparametrit. Kuvaajista pystyttiin havaita useita pistekeskittymiä, jotka ovat selkeästi eri ajoista. Pisteryhmien pohjalta ei pystytty juurikaan löytää selkeitä lineaarisia korrelaatioita formaation ja muuttujien välillä. Esimerkkinä tästä TB200 laadun ajojen flokkien keskimääräinen koko suihkun ja viiran nopeuseron funktiona. Tämä on esitetty kuvassa 20.



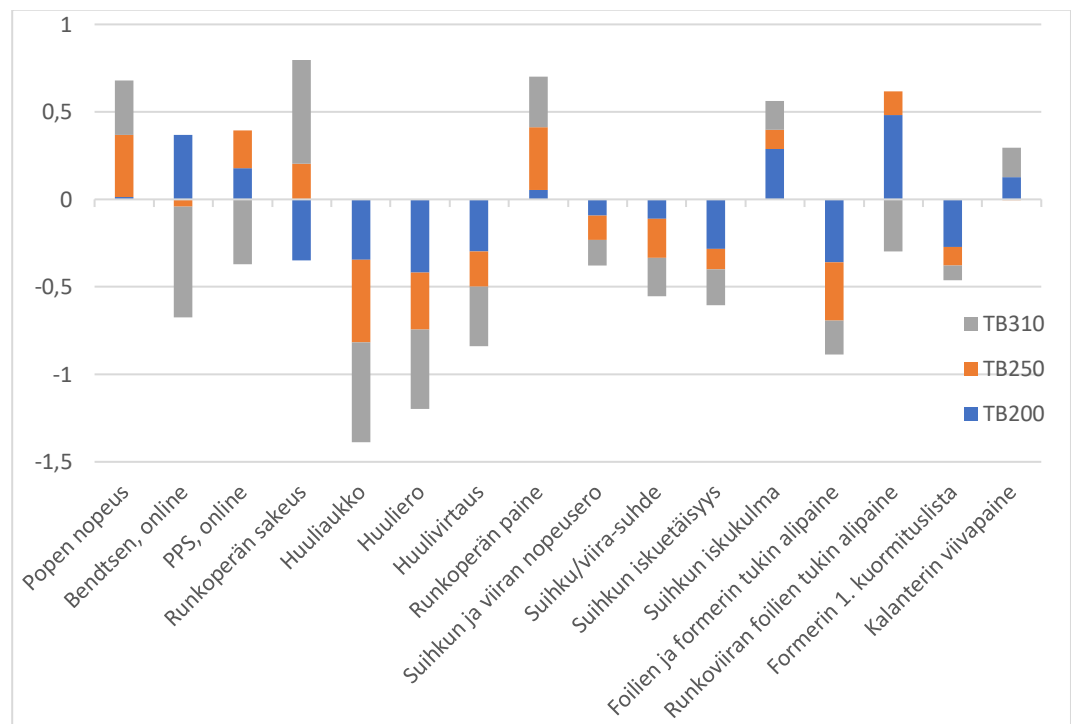
Kuva 20 Flokkikoko suihkun ja viiran nopeuseron funktiona TB200 laadulla

Kuvan perusteella suurimmat keskimääräisen flokkikoon arvot on saavutettu pienimmällä nopeuserolla, mutta toisaalta pienimmät flokkikoon arvot on myös saavutettu pienellä nopeuserolla. (Paulapuro, 2007) totesi, että parhain formaatio saavutetaan hieman tasaperästä poikkeavalla nopeuserolla, kun taas suurella nopeuserolla formaatio heikkenee merkittävästi. Kuvaajasta ei havaita selkeää tällaista yhdensuuntaista korrelaatiota, joka johtuu mahdollisesti useiden eri muuttujien vaikutuksista. Koska XY-kuvaajista ei löydetty selkeitä korrelaatioita, käytettiin datan analysointiin excelin omaa korrelaatiofunktioita, jolla pyrittiin hahmottamaan muuttujien vaikutusta formaatioon. Excelin korrelaatiofunktion yhtälö on esitetty kaavassa 1.

$$\text{Correl}(x, y) = \frac{\sum(x-\bar{x}) \cdot (y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \cdot \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

jossa	x	Ensimmäisen muuttujan arvo
	$\bar{x}$	Ensimmäisen muuttujan arvojen keskiarvo
	y	Toisen muuttujan arvo
	$\bar{y}$	Toisen muuttujan arvojen keskiarvo

Korrelaatiofunktioista saadaan arvo miinus yhden ja yhden välille. Negatiivinen arvo tarkoittaa käänteistä korrelaatiota ja positiivinen arvo suoraa korrelaatiota. Mitä kauempana nolasta saadut arvot ovat, sitä suurempi korrelaatio on. (Office Support, 2020) Korrelaatiokertoimet laskettiin data-analyysityökalun avulla kaikkien muuttujien välille jokaisella neliöpainolla. Korrelaatioita selviteltiin, sekä flokkikoon, että flokki-intensiteetin suhteen. Parhaiden korrelaatioiden löytämiseksi kertoimet laskettiin eri neliöpainoilta yhteen, ja näistä tuloksista piirrettiin pylväsdiagrammit. Pylväsdiagrammeista tarkastellaan, millä muuttujilla on suurimmat korrelaatiokertoimet ja millä muuttujilla korrelaatiot ovat samansuuntaiset neliöpainosta riippumatta. Flokkikoon korrelaatiopylväät on esitetty kuvassa 21.



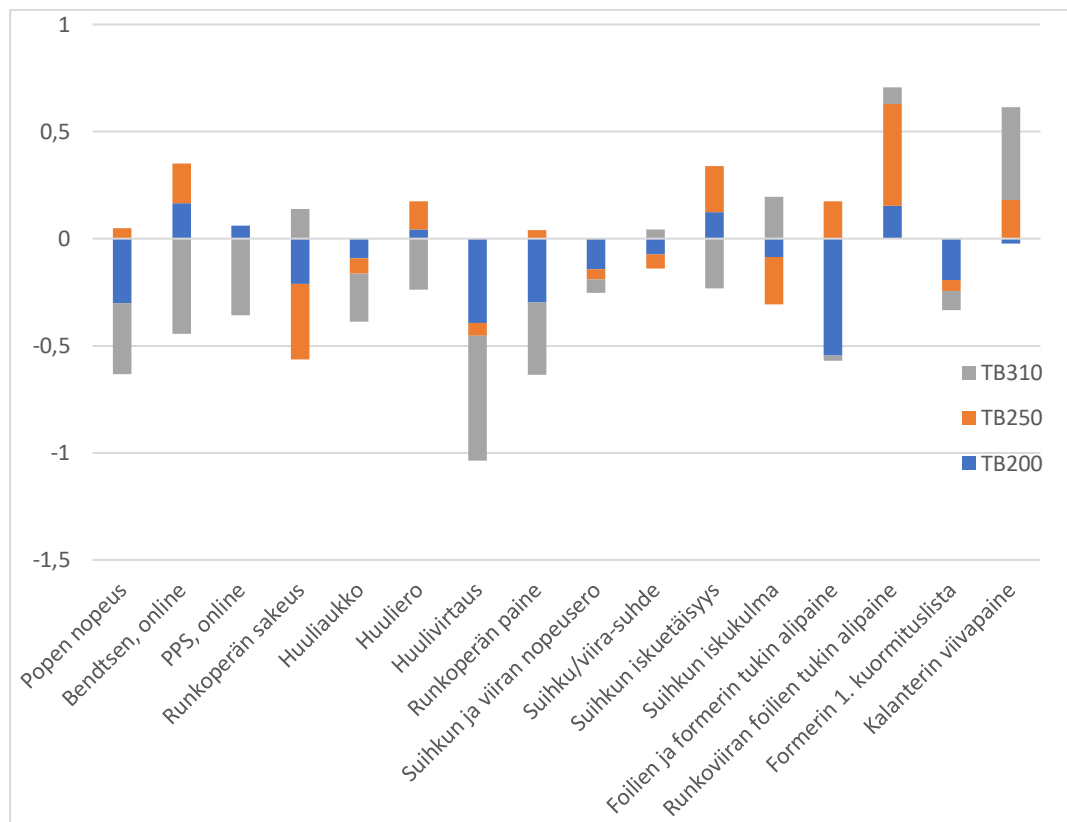
Kuva 21 Flokkikoon korrelaatiokertoimet tarkasteltavien muuttujien suhteen

Runkoperän sakeuden kasvaminen pitäisi olla yksi merkittävimmistä flokkisuuden kasvattavista tekijöitä. Sakeus korreloi flokkikoon kanssa suoraan TB250 ja TB310 laaduilla, kun taas kevyellä laadulla korrelaatio näyttää negatiivista. Kun tarkastellaan huuliaukkoa, huuliero ja huulivirtausta, nähdään kuitenkin kaikilla laaduilla vahva negatiivinen korrelaatio. Tämä tarkoittaa, että pienemmällä huulen koolla ja pienemmällä huulivirtauksella flokkisuus kasvaa. Käytännössä tämä tarkoittaa siis suurempaa sakeutta, koska veden määrä virtauksessa vähenee. Vastaava korrelaatio nähdään myös runkoperän paineessa, koska suuremmalla sakeudella virtaukseen tarvittava paine kasvaa.

Kuvasta 21 voidaan nähdä, että neliöpainosta riippumatta suuremmalla nopeudella keskimääräinen flokkikoko kasvaa. Suihkun ja viiran nopeusero ja nopeuksien suhde korreloivat negatiivisesti flokkikoon kanssa. Suuremmalla nopeuserolla ja suhteella saavutetaan pienempi keskimääräinen flokkikoko. Myös suihkun iskukulma ja iskuetäisyys korreloivat flokkikoon kanssa kaikilla neliöpainoilla. Suurempi iskukulma tarkoittaa veden suurempaa suodattumista heti viiran lävitse,

jolloin flokkikoko kasvaa. Iskuetäisyys korreloi käänteisesti, koska pienempi iskuetäisyys tarkoittaa suurempaa iskukulmaa.

Foilien ja formerin tukin alipaineella on negatiivinen korrelaatio flokkikokoon, eli pienemmällä alipaineella flokkikoko kasvaa. Pelkillä runkoviiran vacufoilien tukin alipaineella korrelaatio on kuitenkin päinvastainen, ja suurempi imu tarkoittaa suurempaa flokkikokoa TB200 ja TB250 laaduilla. Tämän aiheuttaa mahdollisesti veden liian nopea poistuminen suurilla imuilla. Tämän datan perusteella nähdään selkeitä korrelaatioita flokkikokoon kanssa, vaikka esimerkiksi rungon sakeus ja sileydet korreloivatkin eripäin eri neliöpainoilla datan mukaan. Edellä esitetyistä korrelaatioista suurimmat yhteenlasketut korrelaatiokertoimet ovat huuliaukolla ja huulierolla, joka tarkoittaa käytännössä siis sakeuden muutosta. Vastaava pylväsdiagrammi piirrettiin myös flokki-intensiteetistä. Tämä on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22 Flokki-intensiteetin korrelaatiokertoimet valittujen muuttujien suhteen

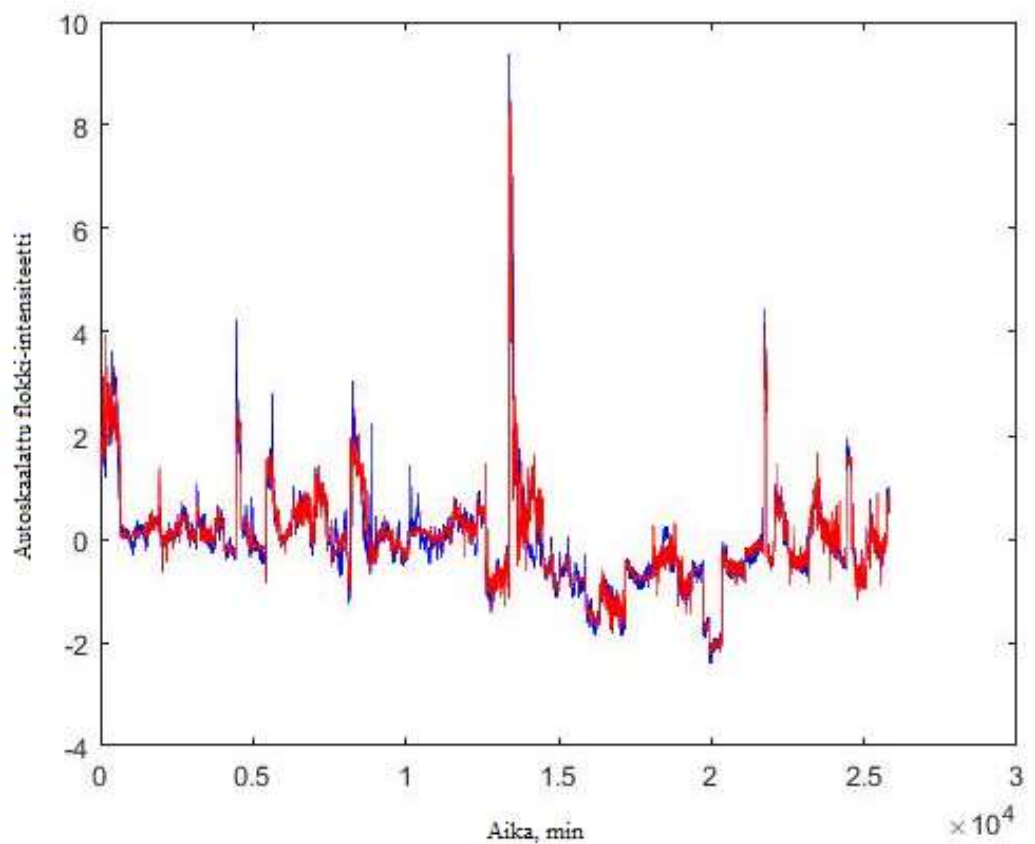
Flokki-intensiteetin korrelaatiokertoimia tarkasteltaessa huomataan, että useat muuttujat ovat jakautuneet riippuen käytetystä lajista. Korrelaatiot ovat myös melko pieniä verrattaessa flokkikoon kertoimiin. Suurimmat samansuuntaiset korrelaatiot löytyvät huulivirtauksesta ja runkoviiran foilien tukin alipaineesta. Pienemmällä huulivirtauksella, eli suuremmalla sakeudella flokkien esiintymistiheys kasvaa. Myös suuremmalla runkovoilien tukin alipaineella flokki-intensiteetti kasvaa. Kaikilla muilla tekijöillä korrelaatiokertoimet jäävät mitättömän pieniksi. Osa korrelaatioista, jotka olivat merkittäviä flokkikoolla korreloivat päinvastaisesti flokki-intensiteetillä. Esimerkiksi hitaammalla koneen nopeudella flokki-intensiteetti kasvaa. Myös rungon perälaatikkosakeus ja runkoperän paine näyttävät korreloivan päinvastaisesti, kuin flokkikoolla. Suorat korrelaatiot flokkisuuden ja runkoperän asetusten välillä ovat vaihtelevia todennäköisesti reilusti muuttuvien prosessiolosuhteiden vuoksi. Tämän vuoksi flokkikoon ja flokki-intensiteetin muodostavia tekijöitä pyritään analysoimaan tarkemmin matemaattisen mallinnuksen avulla.

#### 7.4 *Formaatioidatan mallinnus*

Formaation ennustettavuutta ja viiraosan asetusten vaikutusta havainnollistettiin Matlab-mallinnuksen avulla. Mallinnuksessa käytetään Partial Least Squares-menetelmää. PLS on regressiomenetelmä, jota käytetään toisiensa kanssa korreloivien muuttujien mallinnukseen. PLS-menetelmällä saadun mallin tarkkuus riippuu esimerkiksi niin kutsuttujen latenttien muuttujien määrästä, sekä mallinnettavan muuttujan ja käytettävän pohjadatan korrelaatiosta. (Escabias, Aguilera & Valderrama, 2007) Mallinnus tehdään kolmella eri neliöpainolla, ja mallinnuksella tarkastellaan flokkikokoa ja -intensiteettiä. Piirretyistä mallinnoista tarkastellaan mallin kykyä ennustaa formaation muutokset, sekä pohjadatan ja mallinnettavien muuttujien välisiä korrelaatiokertoimia. Pohjadatana formaation mallinnukseen käytetään ennalta tärkeiksi todettuja viiraosan ja formerin asetuksia, sekä koneen nopeutta.

Mallinnettava ajopätkä on vuoden 2019 toukokuun ja joulukuun väliltä. Data jaettiin palasiksi kunkin erillisen ajon osalta, jolloin jokaisella omalla ajopätkällä

on omat korrelaatiokertoimet mallinnettavien muuttujien ja pohjadataan välillä. Tämä tehtiin, koska mallinnus ei osannut seurata eri ajopätkien välillä olevaa tasoeroa formaatiossa, ja näin heikensi koko mallin toimintaa. TB250 lajin datasta tehdyt mallinnukset esitetään tässä kappaleessa, ja TB200 ja TB310 on esitetty liitteissä. Flokki-intensiteetin mallinnus kolmella latentilla muuttujalla on esitetty kuvassa 23.

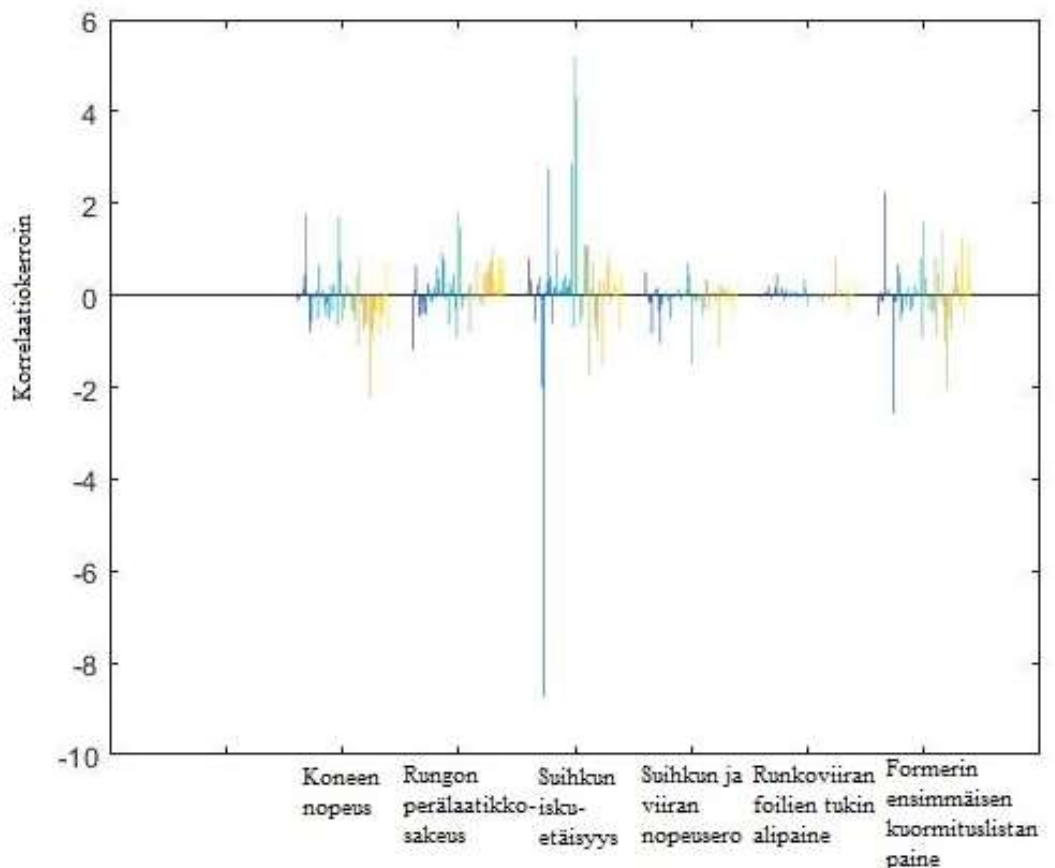


Kuva 23 TB250 lajin flokki-intensiteetti, ja sen estimaatti mallinnettuna PLS-menetelmällä

Kuvassa sinisellä on esitetty flokki-intensiteetin mitta-arvot, ja punaisella pohjadataan perusteella mallinnetut flokki-intensiteetin pisteet. Kuvasta 23 voidaan todeta, että mallinnus toimii flokki-intensiteetillä erittäin hyvin, ja malli pystyy selittämään suurimmatkin piikit flokkien määrässä. Joissain kohdissa

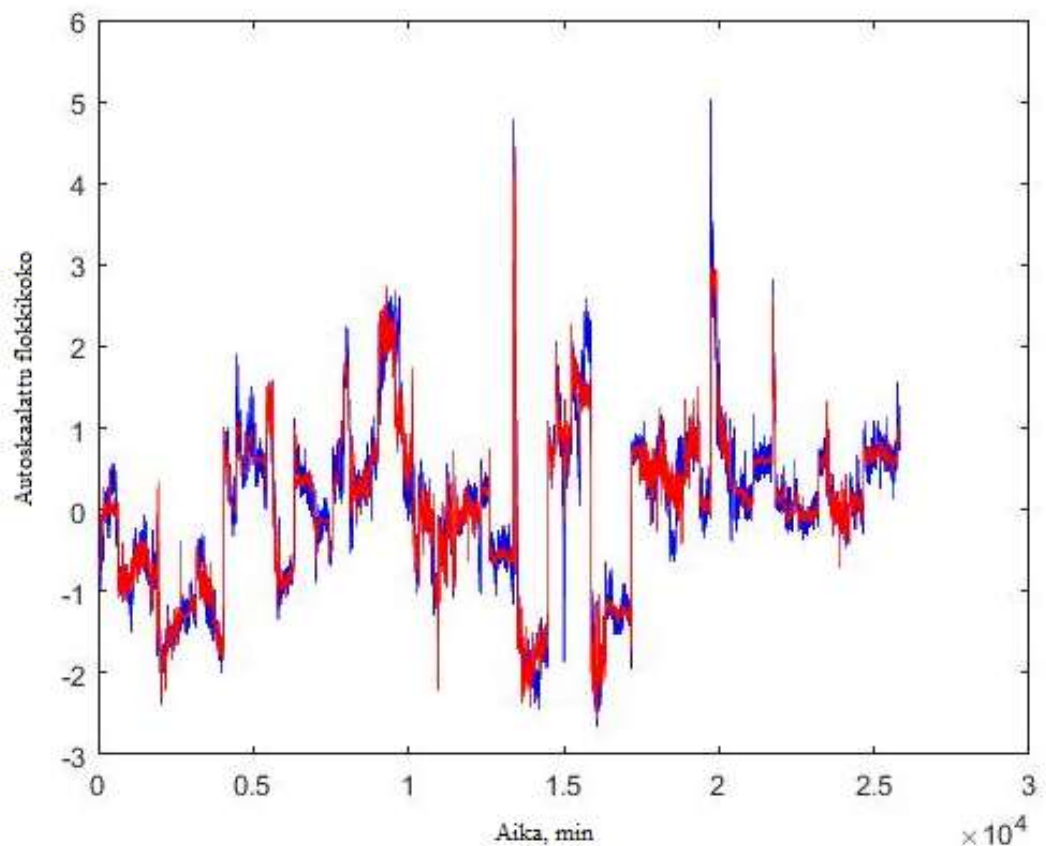


pienimittakaavainen vaihtelu ei mallinnu täydellisesti, mutta flokki-intensiteetin yleinen taso on ennustettavissa mallin mukaan erittäin tarkasti. Pohjadataa käytettyjen muuttujien ja flokki-intensiteetin väliset korrelaatiokertoimet on esitetty kuvassa 24. X-akselilla on käytetyt muuttujat ja Y-akselilla on korrelaatiokerroin flokki-intensiteetin kanssa. Kunkin muuttujan kohdalla yksi pylväs kuvaa yhtä ajopätkää. Saman väriset pylväät kullakin muuttujalla on peräisin samasta ajosta. Korrelaatioista pyritään löytämään muuttujia, jotka osoittaisivat mahdollisimman monessa eri ajotilanteessa samansuuntaista korrelaatiota. Muuttujat on autoskaalattu, jolloin saatuja regressiokertoimia voidaan käyttää muuttujien väliseen vertailuun.



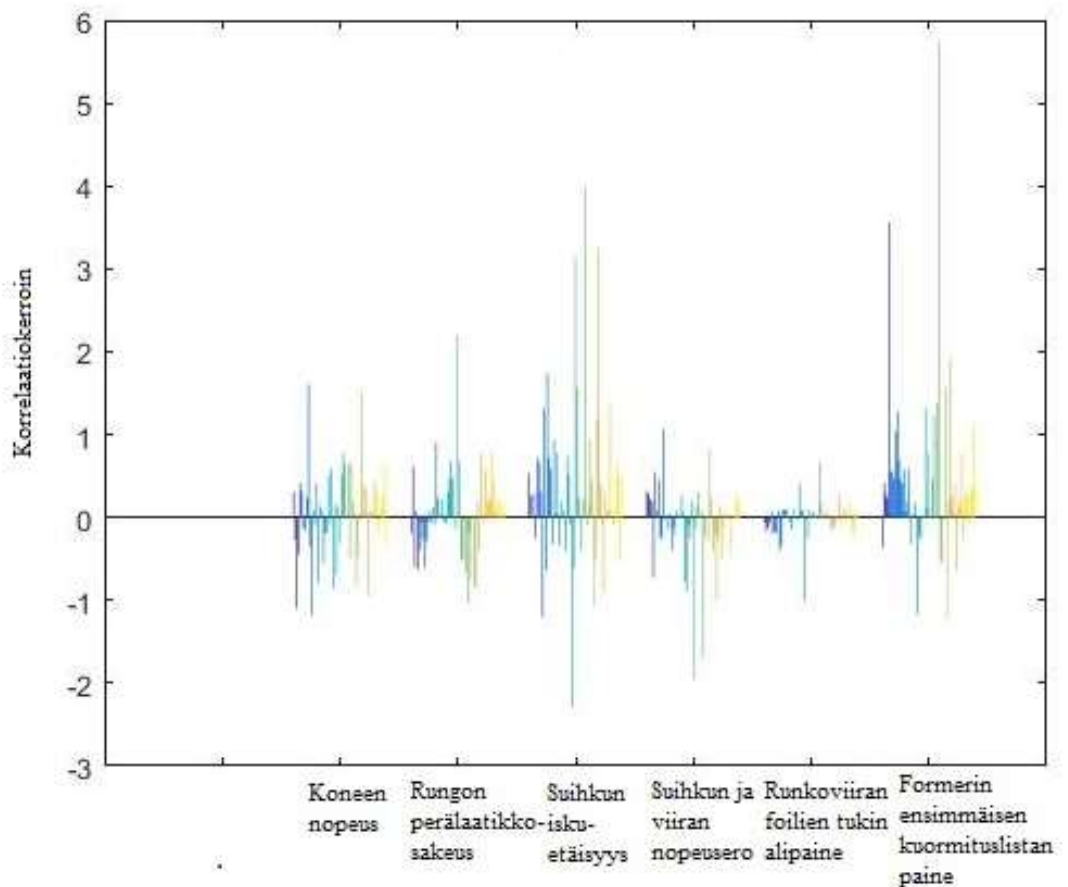
Kuva 24 TB250 lajin flokki-intensiteettiä selittävien muuttujien regressiokertoimet PLS-mallissa

Kuvasta 24 voidaan nähdä, ettei millään kyseisistä muuttujista ole täysin selkeää yksisuuntaista korrelaatiota ajotilanteesta riippumatta, vaan eri muuttujien aiheuttamat vaikutukset muuttuvat prosessi olosuhteiden mukaan. Eri ajotilanteiden välillä muuttuu esimerkiksi raaka-aineet ja kemikaalit, jotka vaikuttavat formaatioon. Selkeimpiä havaittavia korrelaatioita tämän mallin perusteella ovat, että koneen nopeuden pienentyessä flokki-intensiteetti kasvaa, suuremmalla sakeudella flokki-intensiteetti kasvaa, ja iskuetäisyyden pidentyessä flokki-intensiteetti kasvaa. Nopeuserolla ja foilien alipaineilla korrelaatiokertoimet ovat erittäin pieniä ja suunnat vaihtelevia, ja formerin ensimmäisen kuormituslistan vaikutus vaihtelee huomattavasti ajotilanteen mukaan. Vastaavat kuvat on tehty kullekin neliöpainolle myös keskimääräisestä flokkikoosta. TB250 ajojen flokkikoon mallinnus on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25 TB250 lajin keskimääräinen flokkikoko, ja sen estimaatit mallinnettuna PLS-menetelmällä

Kuvasta 25 voidaan nähdä, että flokkikoon tason ennustaminen onnistuu yhtä hyvin, kuin flokki-intensiteetin. Pienimittakaavaisen vaihtelun ennustaminen on arviolta heikompaa flokkikoolla. Joissain kohdissa vaihtelua ei pystytä ennustamaan ollenkaan, vaan malli piirtää lähes suoraa viivaa. Flokkikoon ja tarkasteltavien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26 TB250 lajin flokkikokoja selittävien muuttujien regressiokertoimet PLS-mallissa

Kuvasta 26 voidaan nähdä, että flokkikoossa vaihtelu eri ajotilanteiden välillä on vielä radikaalimpaa, kuin flokki-intensiteetillä. Lähes jokaisella muuttujalla korrelaatioiden suunta ja suuruus vaihtelee huomattavasti ajon mukaan. Eniten samansuuntaisia korrelaatioita löytyy iskuetäisyydestä ja formerin ensimmäisen

listan kuormasta. Suuremmalla iskuetäisyydellä ja suuremmalla formerin listakuormalla keskimääräinen flokkikoko kasvaa.

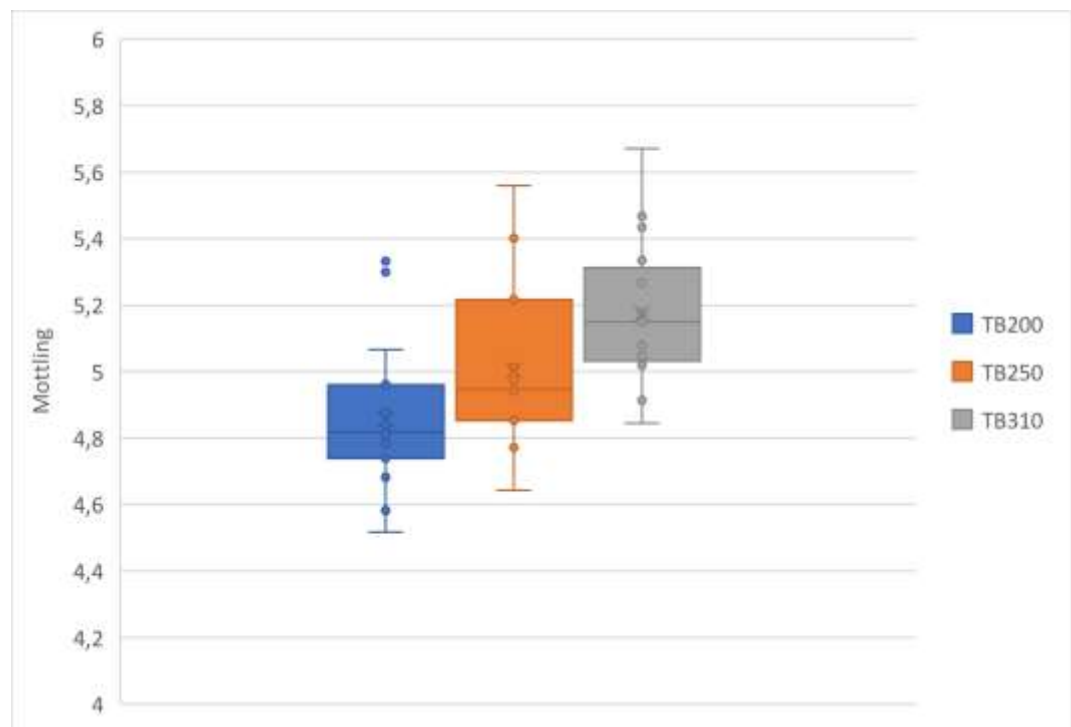
Mallinnuksien perusteella voidaan todeta, että PLS-menetelmällä pystytään mallintamaan erinomaisesti flokkien määrää ja keskimääräistä kokoa. Korrelaatiot ovat kuitenkin erittäin vaihtelevia eri ajotilanteiden välillä, eikä täysin selkeitä johtopäätöksiä pysty tehdä muuttujien vaikutusten suhteen. Joissain kohdissa mallit eivät myöskään osaa täysin ennustaa formaation vaihtelua, vaan malliin tarvitsisi lisätä esimerkiksi kemikaalien annosteluja tai hylkyosuuksia, jotta mallinnus tarkentuisi. Tämä mallinnus on kuitenkin esimerkkinä siitä, että flokkisuuksia voidaan ainakin jollain tasolla ennustaa, ja formaation mallinnus voisi olla potentiaalinen jatkotutkimuksen aihe.

### 7.5 *Testipainatusnäytteiden analysointi*

Inkeröissä tehdään säännöllisesti laaduntarkkailupainatukset kolmella eri kartonkilajilla, jotka ovat TB200, TB250 ja TB310. Laaduntarkkailupainatusnäytteillä tehdään tarkempia laboratoriotutkimuksia arkkileikkauksen jälkeen. Näytteistä mitataan esimerkiksi laboratoriolaitteilla Bendtsen- ja PPS-sileyys (1MPa), vaaleuksia ja värintarpeita. Tämän jälkeen näytteet testipainaetaan Stora Enson Imatran testipainossa. Testipainatuksen tuloksissa tarkkaillaan esimerkiksi mottlingin arvoa ja painovärin kulumista. Koottujen testipainatusnäytteiden perusteella tehdään analyysi eri formaatioon liittyvien tekijöiden vaikutuksesta painatuksen tasaisuuteen, sekä pyritään löytämään kriittisiä raja-arvoja esimerkiksi sileydelle, jolloin myös mottlingia voitaisiin ennakoida jo ajon aikana. Käsiteltävä data on noin kahden vuoden ajalta. Myös vanhempaa testipaino dataa on tallennettuna, mutta painatuslaitteistoa on muutettu, jonka vuoksi mottlingin arvojen taso on muuttunut merkittävästi. Näin ollen näitä vanhempia testipisteitä ei oteta huomioon tässä analyysissä.

### 7.6.1 Painatusnäytteiden mottlingiin vaikuttavat tekijät

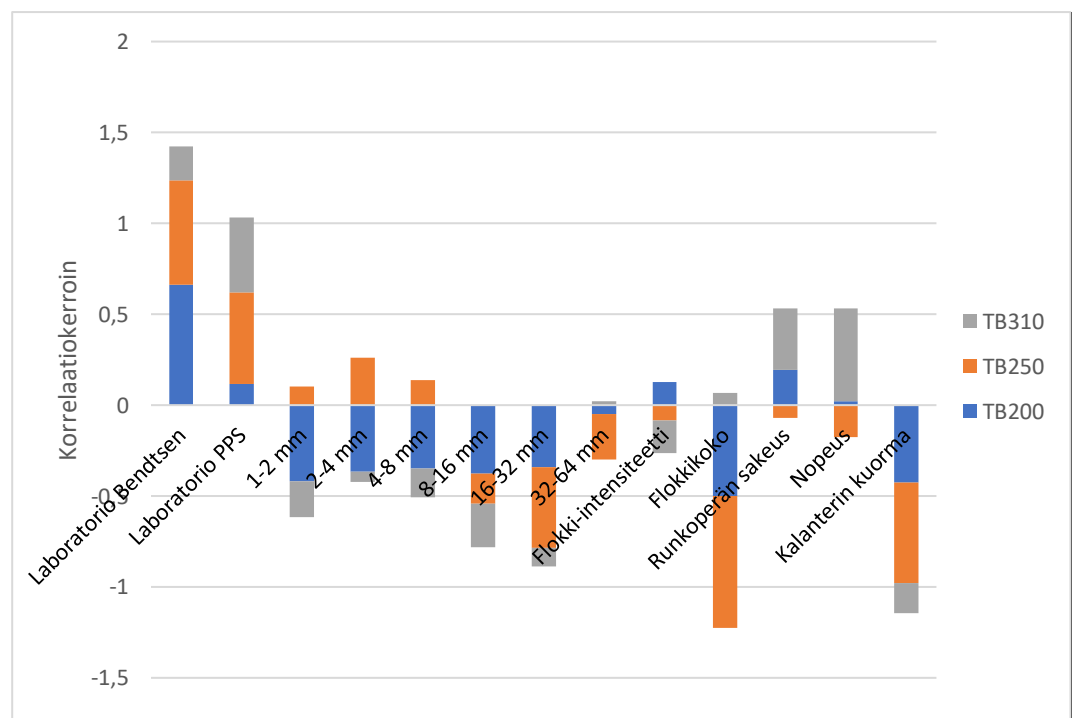
Ensimmäisenä tarkasteltiin mottlingin vaihtelua riippuen neliöpainosta. Vaihtelun määrittelyyn käytettiin boxplot-kuvaajaa, josta nähdään datan vaihteluväli, mediaani ja mahdolliset virheelliset mittapisteet. Boxplotissa laatikko indikoi datan ensimmäisen ja kolmannen neljänneksen väliä, ja laatikosta jatkuva viiva kuvaa viimeistä neljännestä. Laatikon sisällä oleva viiva kuvaa mediaania, ja rasti keskiarvoa. (Office Support, 2020) Boxplot-kuvaan piirrettiin rinnakkain kaikkien kolmen neliöpainon mottling-datat. Tämä on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27 Mottlingin boxplot kaikilla testatuilla neliöpainoilla

Kuvasta 27 voidaan nähdä, että mottlingin arvo kasvaa neliöpainon kasvaessa. Myös vaihtelu on pienempää kevyellä neliöpainolla. Tämä oli myös ennakkoon oletettavaa, koska aiemmin todettiin esimerkiksi Bendtsen-sileyden ja formaation huonontuvan neliöpainon kasvaessa. Vaihtelun perusteella voidaan myös todeta, että kevyemmillä kartonkilaaduilla pysytään helpommin vaaditussa painatuslaadussa.

Tarkasteltaessa mottlingiin vaikuttavia tekijöitä, tarkastellaan esimerkiksi eri kokoisten flokkien määrän, pintojen sileyksien ja kalanterin viivapaineen vaikutusta. Flokkien kokojakauman vaikutuksen perusteella pyritään toteamaan, vaikuttavatko pienet flokit negatiivisemmin näytteen mottlingiin, kuin suuret flokit. Kullakin neliöpainolla testipainatusnäytteitä on arkistoituna noin 15, jonka vuoksi selkeiden korrelaatioiden löytäminen voi olla vaikeaa vaihtuvien prosessiolosuhdeiden johdosta. Vain pieniä korrelaatioita oli havaittavissa XY-koordinaatistossa muuttujien välillä. Tämän vuoksi mottlingin muutosta kartongin laatuun tarkasteltiin excelin korrelaatiofunktion avulla, ja eri neliöpainojen korrelaatiot kullekin muuttujalle laskettiin yhteen. Korrelaatiot on esitetty pylväsdiagrammina kuvassa 28.



Kuva 28 Mottlingin ja tarkasteltavien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet

Kuvasta 28 voidaan nähdä, että merkittävimmät korrelaatiot mottlingin kannalta ovat molemmat sileydet, keskimääräinen flokkikoko ja kalanterin kuormitus. Molemmat sileydet korreloivat positiivisesti mottlingin arvon kanssa kaikilla neliöpainoilla. Huonommalla sileydellä myös painovärin tiheyden vaihtelu kasvaa.

Suuremmalla neliöpainolla PPS (1MPa), eli mikrosileyks näyttäisi korreloivan mottlingin kanssa paremmin. Pienemmällä neliöpainolla taas Bendtsen-sileyks näyttäisi korreloivan paremmin. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että suuremmalla neliöpainolla flokkien luomat makrotason epätasaisuudet voivat tasoittua paksuuden kasvaessa. Näiden kolmen neliöpainon yhteenlaskettu korrelaatiokerroin on kuitenkin suurempi Bendtsen-sileydellä.

Kun tarkastellaan eri kokoisten flokkien korrelaatioita mottlingiin, nähdään TB200 ja TB310 lajeilla kaikkien eri flokki-intensiteettien kanssa negatiivinen korrelaatio mottlingin kanssa. Tämän mukaan suurempi määrä flokkeja parantaisi painatustulosta. TB250 laadulla taas pienien flokkien intensiteettien kasvaessa mottling lisääntyy, ja suurimpien lisääntyessä vähenee. Tämä tukee teoriaa, jonka mukaan pienien flokkien suuri määrä, eli ryynimäisyys, on huono asia painatuksen kannalta. Eri flokki-intensiteettien korrelaatiokertoimet mottlingiin olivat pieniä.

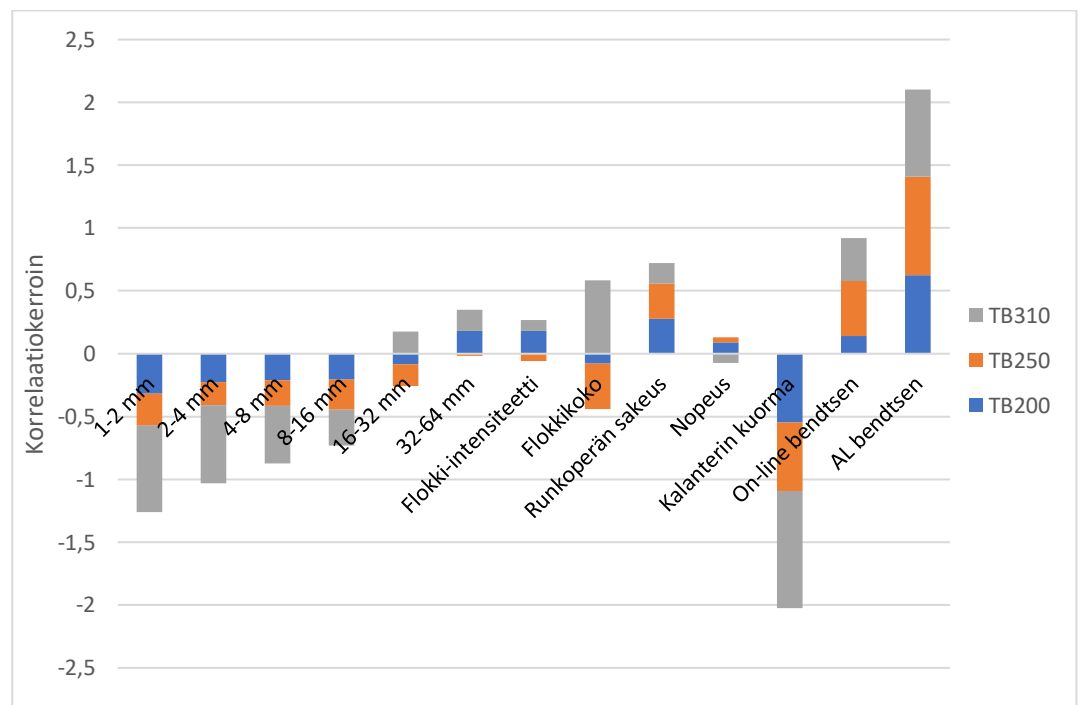
Ryynimäisyyden negatiivista vaikutusta painatusjälkeen todistaa myös flokkikoon negatiivinen korrelaatio mottlingin kanssa. Näin ollen keskimääräisen flokkikoon pienentyessä, painoväri jakautuu epätasaisemmin. Flokkikoon vaikutus mottlingiin voi muuttua merkittävästi säädettävien foililistojen jälkeen, koska sen tulisi vähentää kaikkien eri flokkikokojen esiintymistiheyttä kartongissa, ja näin ollen keskimääräinen flokkikoko putoaa pienemmäksi. Erona aiempaan on se, että aiemmin pieni flokkikoko saavutettiin lisäämällä vettä, jolloin suuret flokit hajoavat pienemmiksi. Näin tapahtuessa pienien flokkien määrä lisääntyy ja aiheuttaa ryynimäisen rakenteen.

Runkoperän sakeudella tai koneen nopeudella ei havaita selvää korrelaatiota painatusjäljen mottlingin kanssa. Kalanterilla viivapainetta muuttamalla säädellään valmiin kartongin paksuutta. Kalanterin painetta kasvattamalla voidaan myös parantaa kartongin pinnan sileyttä, joka myös näkyy mottlingin arvoissa.

### 7.6.2 *Testipainatusnäytteiden sileydet*

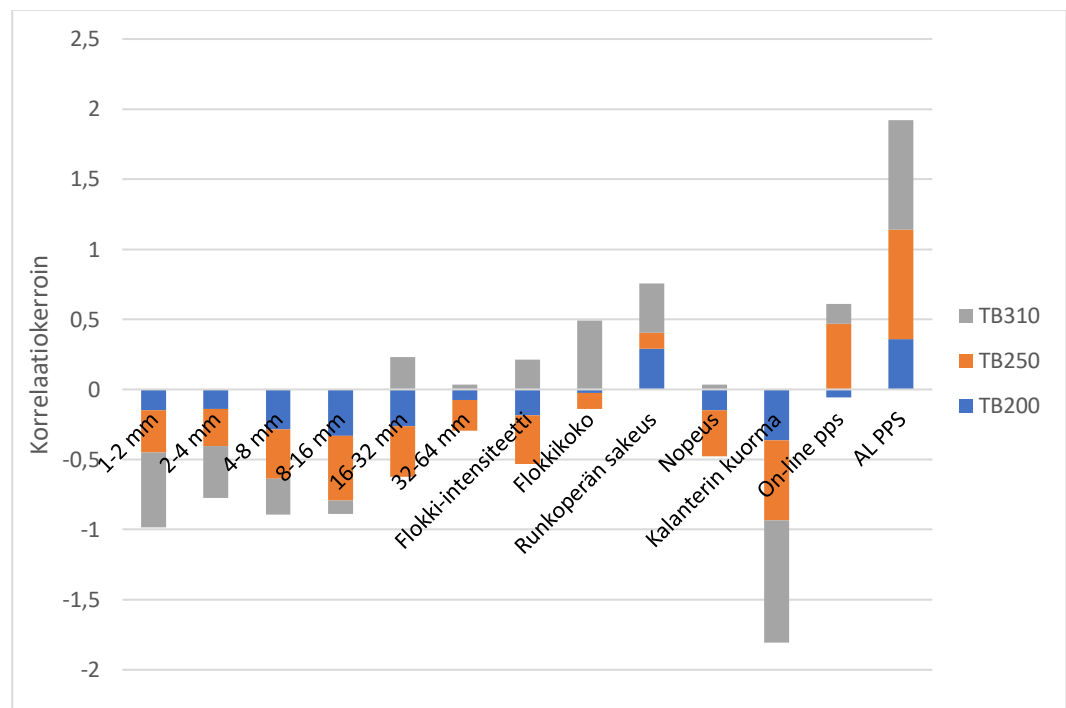
Testipainoon lähteville näytteidelle tehdään arkkileikkauksen jälkeen muutamia painatukseen olennaisesti liittyviä testejä, kuten Bendtsen- ja PPS-sileyks kokeet.

Koska sileyksien todettiin olevan tärkeitä muuttujia mottlingin kannalta, tarkastellaan myös sileyksiä tarkemmin. Molempiin sileyksiin vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan excelin correl-funktion avulla. Tutkimukseen lisätään mukaan myös online- ja autolinen sileysmittaukset, jotta nähdään mikä mittauksista korreloi parhaiten laboratoriomittauksen kanssa. Tämä helpottaa sileyksien tarkkailemista mottlingia ajattellen, koska laboratoriosileyksiä tehdään harvoin. Bendtsen-sileyden korrelaatiokertoimet on esitetty kuvassa 29 ja PPS-sileyden (1MPa) kuvassa 30.



Kuva 29 Testipainatusnäytteen laboratorio Bendtsen-sileyteen vaikuttavia tekijöitä





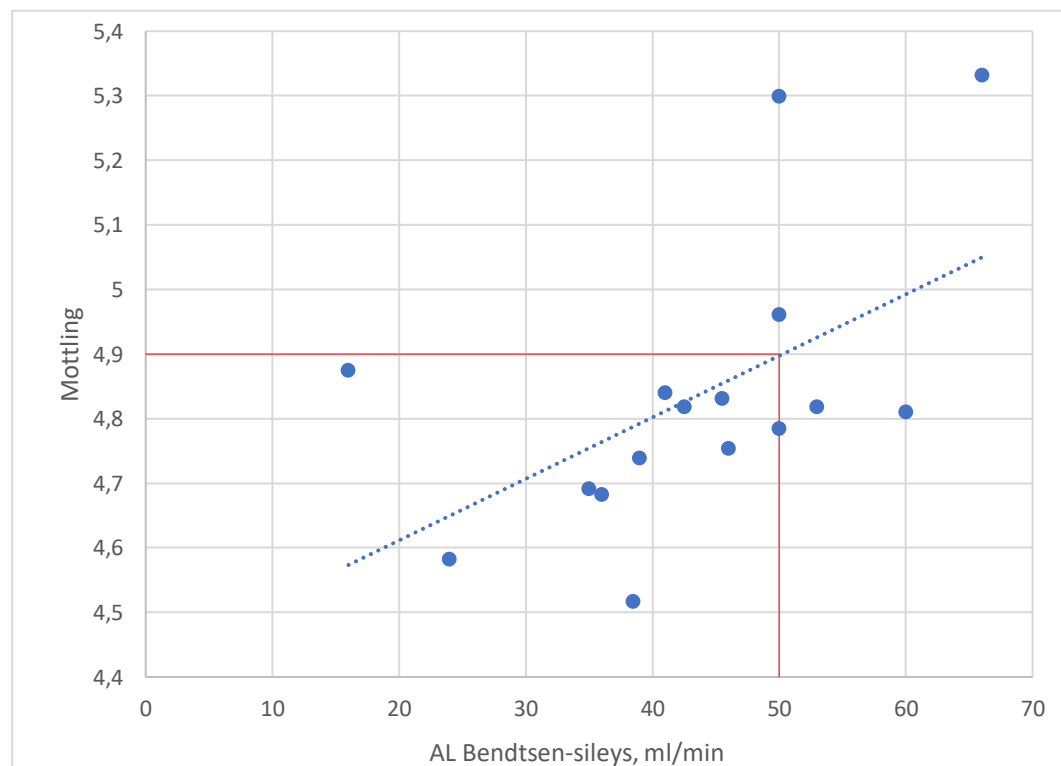
Kuva 30 Testipainatusnäytteiden laboratorion PPS-sileyteen (1MPa) vaikuttavia tekijöitä

Kuvista voidaan nähdä, että molempiin sileyksiin vaikuttaa samat asiat. Suurin vaikuttava tekijä sileyksiin on kalanlerin kuorma. Vahva negatiivinen korrelaatio tarkoittaa, että suuremmalla kuormalla sileyden arvot paranevat. Eri kokoisten flokkien esiintymistiheydet näyttävät myös korreloivan sileyksien kanssa negatiivisesti, mutta korrelaatiokerroin on alhainen. Vastaava korrelaatio ei kuitenkaan näy kokonaisflokki-intensiteetissä. Runkoperän sakeus korreloi suoraan molempiin sileyksiin neliöpainosta riippumatta. Suuremmalla runkoperän sakeudella kartonki on karheampaa.

Kun vertaillaan laboratoriossa mitattujen sileyksien arvoja autolinen (AL) ja online-mittarin sileyksiin, huomataan että parhaiten laboratoriomittauksien kanssa korreloivat autolineltä saatavat sileyden arvot. Autolinen mittaukset tehdään yleensä jokaisesta konerullasta, jolloin Autolinen Bendtsen-sileys tai Autolinen PPS-sileys olisivat erinomaisia mittauksia ennakoimaan painatusjäljen mottlingia.

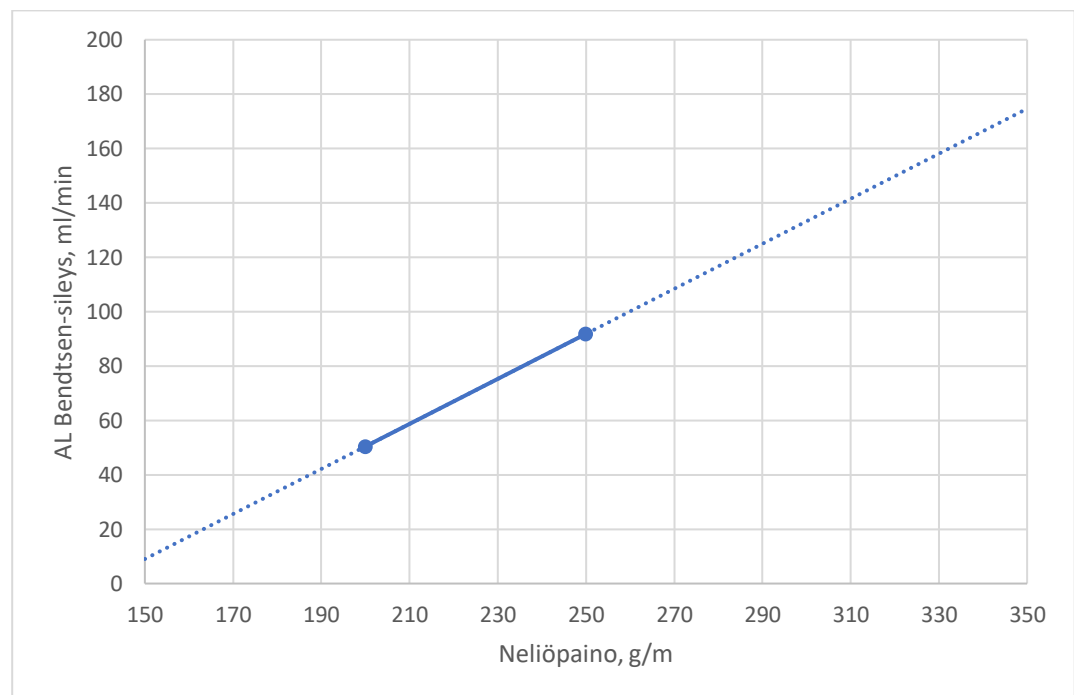
### 7.6.3 *Mottlingia* ennustavat online-mittaukset

Koska mottlingia ei voida jatkuvasti tarkistaa kartonkitehtaalla, vaan testipainatukset tehdään kuukausittain testipainolla, pyritään löytyneiden korrelaatioiden avulla löytämään raja-arvoja muuttujille, jotka vaikuttavat painatusjäljen tasaisuuteen. Kuvasta 28 todettiin eniten mottlingin kanssa korreloivien muuttujien olevan Bendtsen-sileyys, flokkikoko ja kalanterin kuormitus. Tämän jälkeen jokaiselle neliöpainolle piirrettiin kuvaajat kunkin näiden muuttujien ja mottling-pisteiden välille. Kuvasta 27 määritetään kaikille kolmelle neliöpainolle mottlingin raja-arvo boxplotin mediaaniarvosta. Ylärajaksi arvioidaan TB200:lle 4,9, TB250:lle 5,0 ja TB310:lle 5,2. Mottlingin arvojen ja tarkasteltavien muuttujien välille piirretyistä kuvaajista arvioidaan trendiviivan avulla maksimiarvo Bendtsen-sileydelle ja minimiarvot kalanterin kuormalle ja keskimääräiselle flokkikoolle, jotta päästäisiin haluttuihin mottling-tavoitteisiin. Esimerkki tästä on esitetty kuvassa 31. Kuvassa on arvioitu TB200 lajin maksimi AL Bendtsen-sileyden arvo, jotta mottlingin arvo pysyisi alle 4,9.



Kuva 31 TB200 laadun raja-arvo Bendtsen-sileydelle mottlingin suhteen

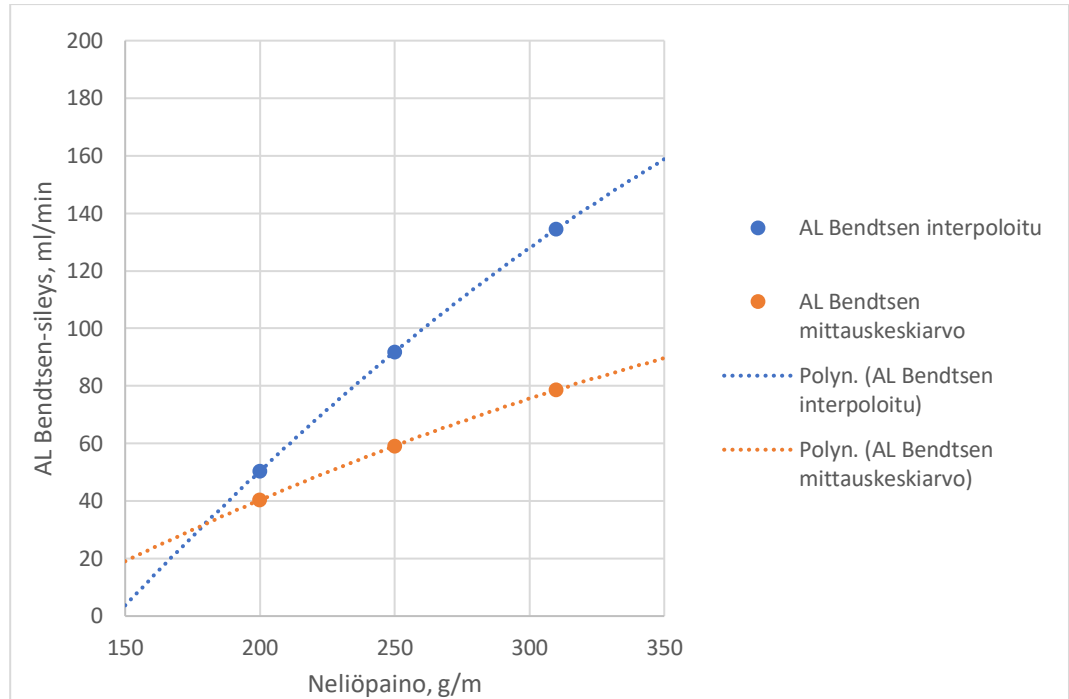
Kuvasta 31 nähdään, että kevyellä kartongilla mottlingia voidaan ennustaa hyvin autolinen Bendtsen-sileyden mittauksen avulla. Kuvaajan perusteella 50 ml/min sileyden arvo takaa alle 4,9 mottlingin. Myös TB250 laadulla voidaan tehdä vastaava ennuste, jolloin sileyden raja-arvoksi saadaan 92 ml/min. Painavan kartongin painatusnäytteillä Bendtsen-sileyden korrelaatio on heikko, eikä tällaista raja-arvoa pystytä löytämään. Näin ollen painavien kartonkien sileystavoitteet ennustetaan lineaarisella sovituksella kevyiltä laaduilta saatujen pisteiden perusteella. Näistä pisteistä saatu sileystavoite on esitetty kuvassa 32.



Kuva 32 Autolinen Bendtsen-sileyden raja-arvot mottling-näytteiden perusteella

Kuvassa 32 katkoviivalla merkitty alue on ennustetta, ja tummalla viivalla merkitty alue tunnettujen pisteiden väli. Koska lineaarisen sovituksen korrektiudesta ei olla täysin varmoja, tarkastellaan Bendtsen-sileyksien neliöpainokohtaisia keskiarvoja noin puolen vuoden ajalta. Keskiarvoista huomataan, että sileyden muutos hidastuu neliöpainon kasvaessa. Sileyksien keskiarvojen muutoksesta laskettiin suhdeluku näiden neliöpainojen välille. Tällä suhdeluvulla laskettiin mottling-mittausdatasta

määritetyistä rajoista raja-arvo myös TB310 lajille. Nämä kuvaajat on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33 AL Bendtsen-sileyden raja-arvot interpoloidulla pisteellä

Kuvasta 33 nähdään, että polynominen sovitus kuvaa hyvin sileyden muutosta neliöpainon funktiona. Katkoviivojen yhtälöiden perusteella voidaan laskea kullekin neliöpainolle sileyden tavoitearvot molemmilla sovituksilla. Saadut tavoitearvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Painatusnäytteitä ennakoivat Bendtsen-sileyden raja-arvojen ennusteet neliöpainoittain

Neliöpaino, g/m	AL Bendtsen-sileyys (lineaarinen sovitus), ml/min	AL Bendtsen-sileyys (polynominen sovitus), ml/min
200	50	49
210	59	57
220	67	66
230	75	74
240	84	82
250	92	89
260	100	97
270	108	104
285	121	115
310	142	131
335	162	146

Taulukosta 1 nähdään, että sileyksien raja-arvot polynomisella sovituksella ovat tiukemmat raskailla neliöpainoilla. Polynominen sovitus näyttäisi antavan datan perusteella paremmat raja-arvot, koska painavillakaan laaduilla Bendtsen-sileyden keskiarvo ei ylitä 100 ml/min. TB310 lajilla 131 ml/min näyttää myös mottling-datan perusteella olevan kelvollinen raja-arvo, vaikka sileyden hajonta olikin runsasta.

Muut mottlingin kannalta kriittiseksi todetut muuttujat olivat flokkien keskimääräinen koko, sekä kalanterin kuormitus. Flokkikokoa ja kalanterin kuormitusta arvioidaan vastaavalla menetelmällä, jolla tarkasteltiin Bendtsen-sileyden raja-arvoa kuvassa 32. Myös flokkikoolla ja kalanterin kuormalla näyttäisi olevan TB200 ja TB250 lajeilla huomattavasti selkeämmin havaittavat raja-arvot, kuin raskaalla kartongilla. Flokkikoon ja kalanterin kuormituksen raja-arvo ei juurikaan muutu eri neliöpainojen välillä, ja näiden tuloksien mukaan niille voidaan asettaa yksi raja-arvo kaikille neliöpainoille mottlingin suhteen. TB200 ja TB250 lajien mottling-arvot jäävät raja-arvoja pienemmäksi, kun keskimääräinen flokkikoko on enemmän kuin 6,5 mm. Samoin kalanterin kuorman ollessa vähintään 20 kN/m, mottling-arvot näyttäisivät nousevan keskiarvoa paremmaksi.

Flokkikoolle ja kalanterin kuormalle tehdyt raja-arvojen määritykset on esitetty liitteessä I. Nämä molemmat tukevat osaltaan aiemmin esitettyä teoriaa. Pienempien flokkien kerrottiin tekevän kartongista ryynimäistä, joka aiheuttaa enemmän mottlingia. Tämän vuoksi keskimääräisen flokkikoon ollessa minimiarvoa suurempi, kartongin pohjasta tulee tarpeeksi pilvistä, jolloin painoväri imeytyy tasaisemmin. Myös kalanterin viivapaineen kasvaessa, muodostuneita flokkeja voidaan tasoittaa tehokkaammin, jolloin sileydet ja painatuslaatu paranevat.

## 8 Koeajot

Kartonkikoneella järjestettiin formaation tutkimiseen liittyen kaksi koeajoa. Ensimmäisessä koeajossa tutkittiin runkokerroksen perälaatikkosakeuden vaikutusta kartongin formaatioon, sileyksiin ja lujuuksiin. Tämä koeajo tehtiin kaikilla aiemmin mainituilla lajeilla. Koeajon tarkoituksena oli saada selkeä kuva rungon sakeuden vaikutuksesta formaatioon ja formaatiosta riippuviin laatutekijöihin. Sama koeajo tehtiin ennen ja jälkeen säädettävien foililistojen asennuksen. Toisena koeajona selvitettiin runkoviiran foilien imujen vaikutusta formaatioon ja vedenpoistoon.

### 8.1 *Sakeuden vaikutus kartongin laatuun*

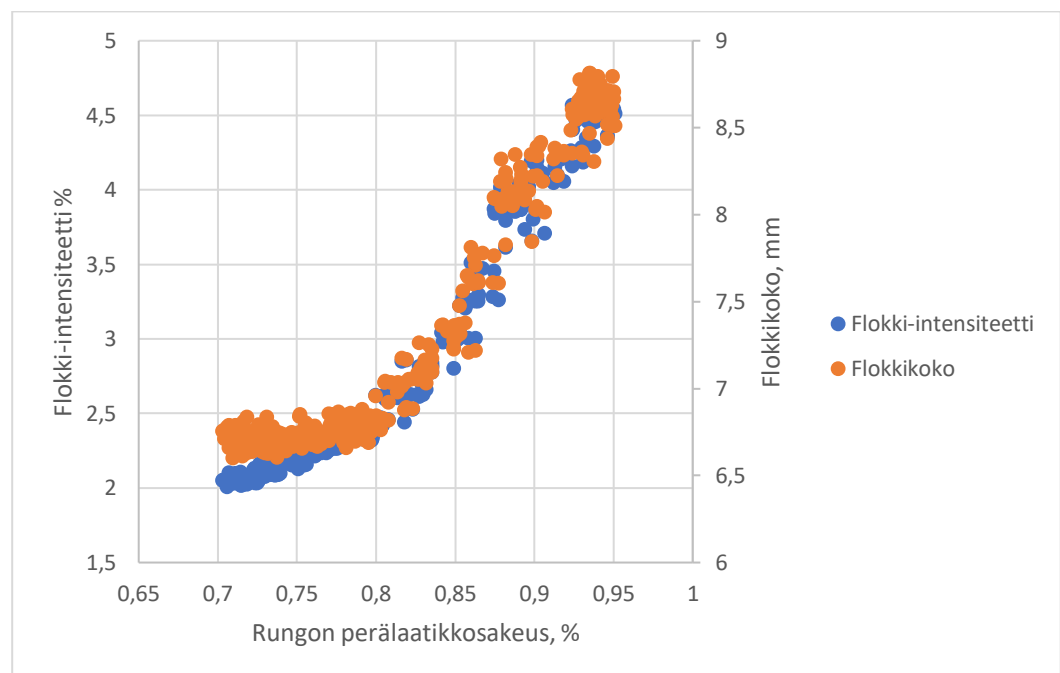
Kuten Häggblom-Ahnger (2005) totesi, formaatiota voidaan parantaa laskemalla perälaatikon sakeutta. Tämä johtuu siitä, että suuremmalla vesimäärällä kuitujen välisiä törmäyksiä tapahtuu vähemmän vesifaasissa. Veden määrän kasvaessa veden poiston mukana poistuu kuitenkin enemmän hienoaainesta, joka johtaa lujuuksien heikkenemiseen. Kartonkikoneella järjestettiin koeajot, joissa tarkasteltiin sakeuden muuttuessa flokkien määrää, eri kokoisten flokkien esiintymistiheyttä, sekä lujuuksien muutosta. Lujuuksien ja formaation muutoksen perusteella pyrittiin etsimään jotain kriittistä sakeuden arvoa, jolloin molemmat arvot olisivat mahdollisimman hyvät. Koeajo suoritettiin kolmella eri neliöpainolla, jotta saatujen sakeuspisteiden perusteella voitaisiin mahdollisesti ennustaa optimaalinen sakeus kaikille neliöpainoille. Kussakin koeajossa oli kolme eri perälaatikkosakeuden arvoa. Koeajon tuloksia on esitetty tässä kappaleessa.

#### 8.1.1 *Kevyt kartonki*

Kevyen kartongin koeajo tehtiin TB200 laadulla. Sakeuden raja-arvot määrittyivät ajo-olosuhteiden mukaan. Minimisakeus määräytyi veden määrän lisääntyessä huulivirran maksimiarvosta ja maksimisakeus määräytyi formerilla poistettavan veden määrästä. Näin suurella sakeudella foilien imujen automaattisessa säädössä havaittiin toimintavika silloin, kun vesiraja ei ylety foilien loppuun asti. Näin

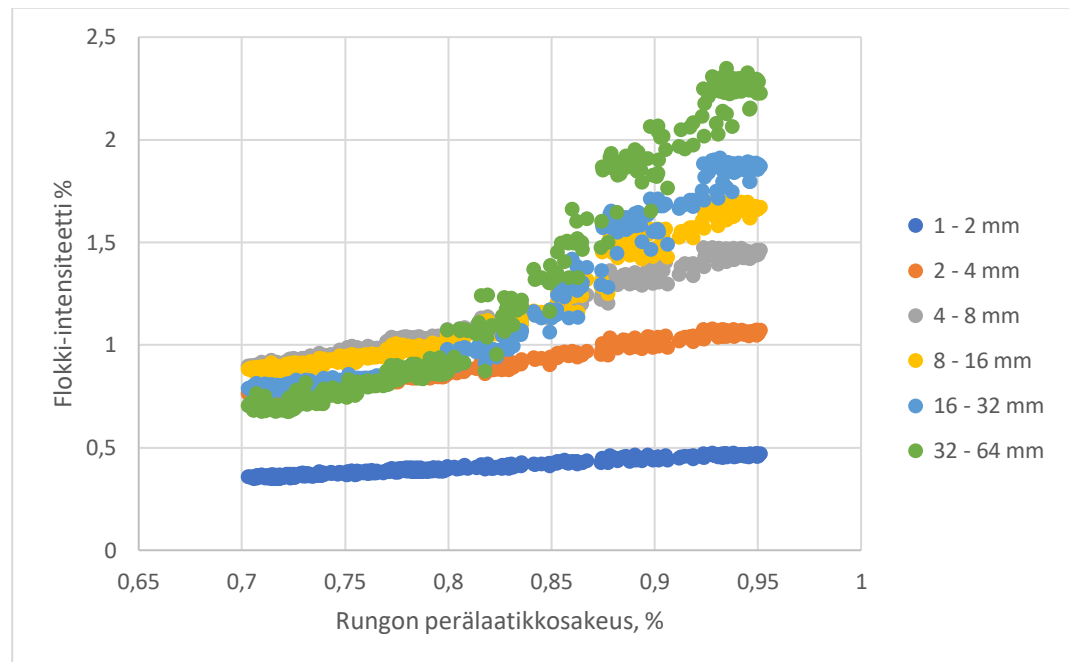
tapautuessa alipaine häviää, kun pumput imevät ilmaa veden sijaan. Tällöin automaatti pyrkii kasvattamaan alipainetta, jolloin vesimäärä pienenee entisestään, eikä formerille jää juurikaan poistettavaa. Tämä johtuu siitä, että suurella sakeudella vesimäärä on niin pieni, että foilit saavat poistettua suurimman osan vedestä jo viiran alkupäässä. Käytetyt sakeuden pisteet olivat 0.71 %, 0.79 % ja 0.93 %.

Sakeuden muuttuessa tarkasteltiin flokkien kokoa ja esiintymistiheyttä. Kuvassa 34 on esitetty flokkikoon ja flokkien tiheyden muutos rungon perälaatikkosakeuden muuttuessa minimiarvosta maksimiin. Näiden arvojen lisäksi tarkasteltiin erikokoisten flokkien esiintymistiheyttä. Eri kokoisten flokkien esiintymistiheydet on esitetty kuvassa 35.



Kuva 34 Flokkien koko ja esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB200 lajilla



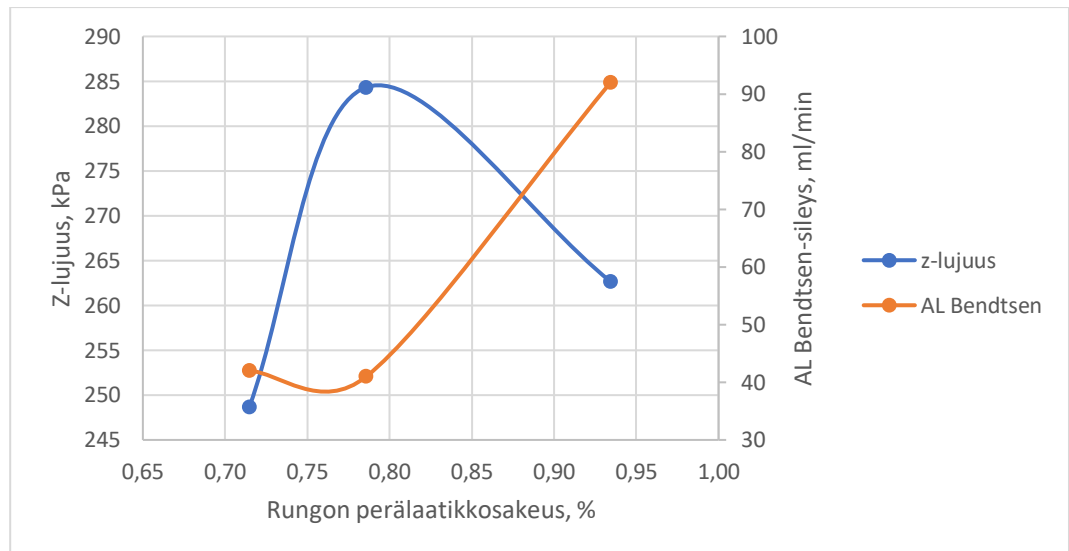


Kuva 35 Eri kokoisten flokkien esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB200 lajilla

Kuvista 34 ja 35 voidaan todeta, että sakeuden noustessa suurien flokkikokojen esiintymistiheys, sekä keskiverto flokkikoko kasvavat huomattavasti. Tämä näkyi myös merkittävänä pohjan epätasaisuutena valopöydällä. Näyttäisi kuitenkin, että sakeudella on kriittinen piste, jossa sakeuden laskemisen aiheuttama vaikutus hidastuu. TB200 laadulla tämä näyttäisi olevan noin 0,8 %. Tästä laimeammalla runkoperällä suuremmasta vedenkulutuksesta huolimatta, keskimääräinen flokkikoko ei juurikaan pienene. Suurimpien flokkien esiintymistiheys pienenee yhä 0,8 % pienemmillä sakeuksilla, muttei nekään enää yhtä merkittävästi kuin tämän pisteen yläpuolella.

Jokaisen kolmen eri sakeuspisteen näytteistä tehtiin laboratoriossa laatumittaukset lujuuksista, irrotusluvuista ja sileyksistä. Merkittävimmät muutokset havaittiin Z-suuntaisessa lujuudessa ja sileyden arvoissa. Koska Bendtsen-sileyden todettiin aiemmin olevan tärkeä mittari formaatiosta keskusteltaessa, käytetään laaduntarkkailussa Z-lujuutta ja Bendtsen-sileyttä. Suuremmilla sakeuksilla pitäisi päästä lujuuksiltaan parempaan tuotteeseen, mutta formaation huononeminen heikentää lujuuksien arvoja. Piirrettäessä kolmen pisteen kuvaajat Bendtsen-sileydestä ja z-lujuudesta sakeuden suhteen nähdään näiden arvojen käyttäytyvän

kuin toisen asteen funktio. Kuvassa 36 on esitetty Bendtsen-sileyden ja Z-lujuuden mitatut arvot, sekä pisteisiin sovitetut kuvaajat.



Kuva 36 Z-lujuus ja Bendtsen-sileyks rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB200 lajilla

Lujuuden arvot paranevat sakeuden noustessa, kunnes sakeuden nousu alkaa heikentää formaatiota niin paljon, että lujuus alkaa heikentymään uudelleen. Huonoimmat lujuuden arvot tulivat suurella runkoperän vesimäärällä. Sileydellä päästään hyvään arvoon myös vesimäärän ollessa suuri. Kuvasta 35 nähdään, että polynominen sovitus kuvaa hyvin laatuarvojen muutosta. Kuvasta 36 optimaalisin sakeuden arvo on se, jolla sovitusero on suurin. Tämä sakeus näyttäisi olevan välillä 0,78 - 0,80 %. Koska kriittinen sakeus flokkisuudella oli 0,8 %, voidaan todeta sen olevan TB200 laadulla optimaalinen sakeus.

### 8.1.2 Keskipainoinen kartonki

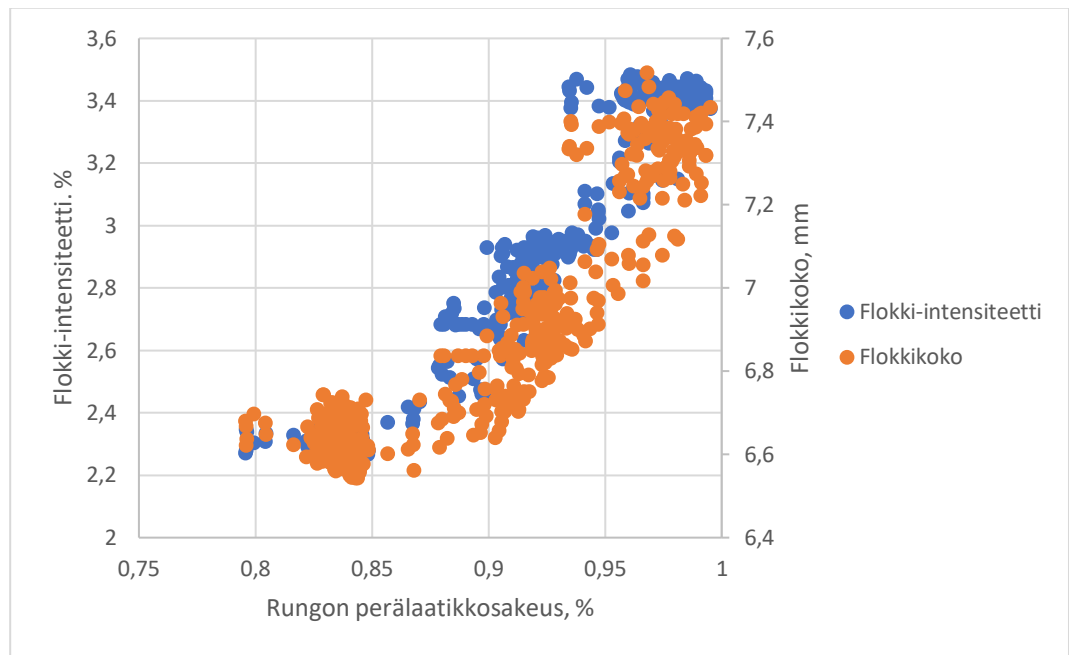
Keskipainoisen kartongin koeajo tehtiin TB250 lajilla, joka on yksi ajetuimmista kartonkilajeista Inkeröissä. Tätä koeajoa tehtäessä koneen nopeus oli erittäin suuri, joka pienensi mahdollista sakeuden vaihteluväliä huulivirtauksen ollessa korkealla muutenkin. Suurimmasta ja pienimmästä sakeudesta otettiin myös näytteet, joilla tehdään testipainatus mottling-arvoja varten. Näistä näytteistä

nähdään mahdollisesti, onko ryynimäisellä vai pilvisellä pohjalla enemmän vaikutusta painatusjäljen laikullisuuteen. Mottling-näytteiden tulokset on esitetty myöhemmin, kun vastaavat näytteet on otettu myös iTablen asennuksen jälkeen. Kuvassa 37 on esitetty kuva jokaisesta eri sakeudella ajetusta näytteestä valopöydällä. Pienin sakeus on vasemmalla, ja suurin oikealla. Käytetyt sakeuden arvot olivat 0.83, 0.93 ja 0.98.

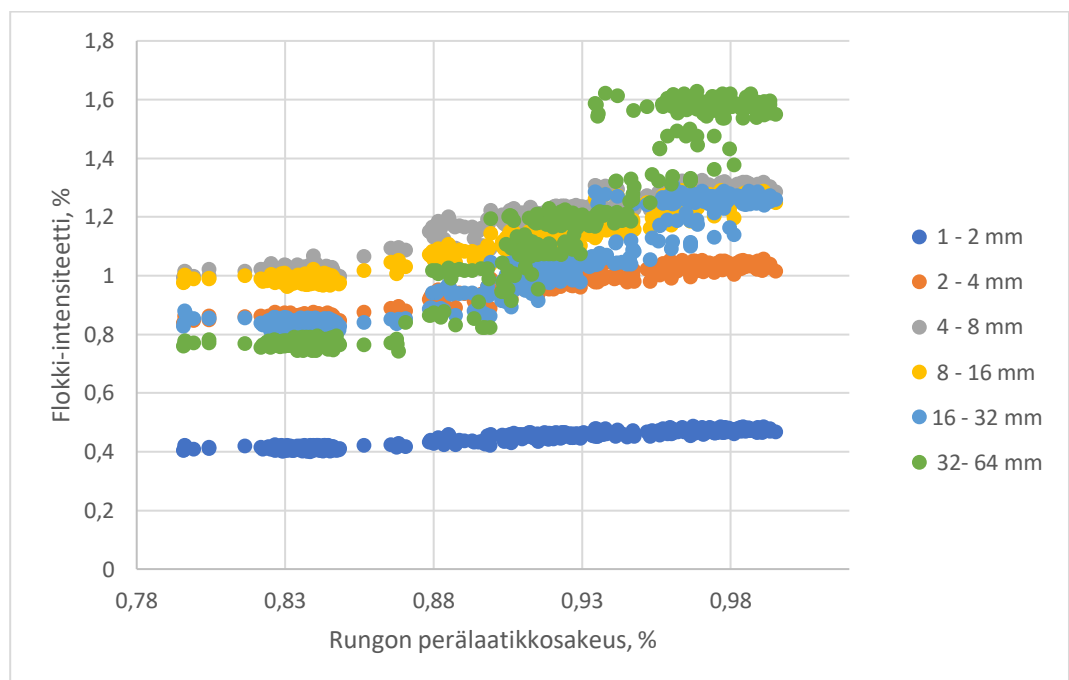


Kuva 37 Rungon perälaatikkosakeuden vaikutus kartongin ulkonäköön

Kuvasta 37 voidaan nähdä, että pienimmällä sakeudella kartonki näyttää vähän ryynimäiseltä, eli pieniä flokkeja pystyy havaitsemaan runsaasti. Keskimmaisella sakeudella havaitaan muutamia suurempia flokkeja, mutta kartonki ei näytä merkittävän huonolle. Suurimmalla sakeudella formaatio huononi merkittävästi, joka havaitaan valopöydällä suurina tummien alueiden esiintyminä. Flokkisuuden kasvaminen voidaan myös todeta flokkikoosta ja flokki-intensiteetistä. Flokkikoko ja esiintymistiheys on esitetty kuvassa 38 ja eri kokoisten flokkien esiintymistiheydet kuvassa 39.



Kuva 38 Flokkikoko ja esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona

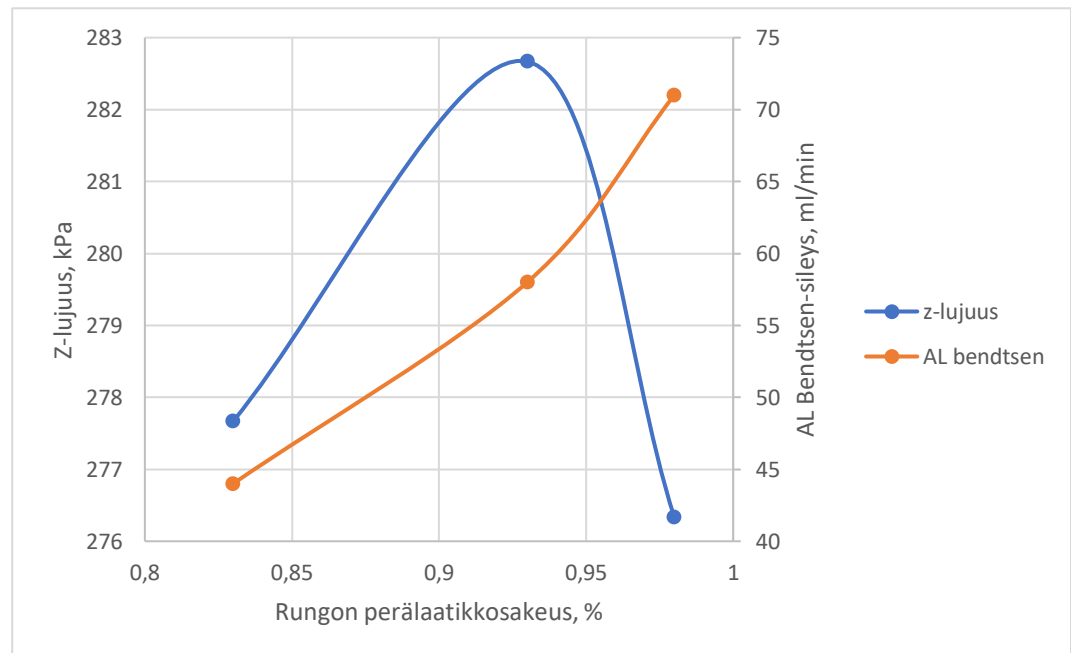


Kuva 39 Eri kokoisten flokkien esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona

Kuvia 38 ja 39 tarkasteltaessa nähdään, että keskimääräinen flokkikoko ja suurimpien flokkien esiintymistiheys kasvaa merkittävästi sakeuden noustessa,

kuten kevyellä kartongilla. Myös TB250 laadulla näyttää olevan flokkisuuden suhteen selkeä kriittinen sakeus, jonka jälkeen veden lisääminen ei enää laske flokkien esiintymistiheyttä. Kriittinen sakeus näyttäisi olevan noin 0,86.

Bendtsen-sileydestä ja Z-lujuudesta piirrettiin vastaava kolmen pisteen kuvaaja, kuin kevyelläkin kartongilla. Toisen asteen funktion sovitus sopi yhtä hyvin myös näihin pisteisiin, joista päästään arvioimaan optimaalista sakeutta näiden tekijöiden puolesta. Pisteet ja sovitukset on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40 Bendtsen-sileyys ja Z-lujuus rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB250 lajilla

Kuvasta 40 voidaan nähdä, että sakeuden kasvattaminen heikentää Bendtsen-sileyttä. Lujuus paranee jälleen tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen formaation heikkeneminen näkyy lujuuden putoamisessa. Näiden kuvaajien perusteella optimaalinen sakeuden arvo olisi TB250 laadulle noin 0,90-0,93. Flokkien perusteella optimaaliseksi sakeudeksi valittiin 0,86, joten tälle lajille optimaalisena ajosakeutena voitaisiin pitää 0,88 %.

Tällä neliöpainolla tehtiin myös testipainatukset suurimman ja pienimmän sakeuden näytteistä. Tällä pyrittiin saamaan parempi kuva pohjan flokkisuuden vaikutuksesta testipainatuksen tuloksiin. Ennako-odotuksena tehtaalla on pidetty sitä, että pienempien flokkien määrän lisääntyessä verrattuna isompien flokkien määrään pohja täyttyy pienistä flokeista, jolloin painatusjälki huonontuu. Näin ollen pienemmällä sakeudella painatuksen mottlingin tulisi kasvaa. Toisaalta sakeuden pieneneminen parantaa Bendtsen-sileyttä, jonka osoitettiin aiemmin parantavan painatusjälkeä. Flokkien keskimääräisten arvojen ja mitatut laatuarvot testipainonäytteistä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2 TB250-lajin sakeuskoeajon testipainatusnäytteistä mitattuja arvoja

	<b>Minimisakeus</b>	<b>Maksimisakeus</b>
<b>Rungon perälaatikkosakeus, %</b>	0,83	0,98
<b>Flokki-intensiteetti, %</b>	2,31	3,42
<b>Flokkikoko, mm</b>	6,63	7,36
<b>1-2 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,41	0,47
<b>2-4 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,86	1,03
<b>4-8 mm flokki-intensiteetti, %</b>	1,02	1,30
<b>8-16 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,99	1,27
<b>16-32 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,84	1,26
<b>32-64 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,77	1,58
<b>Z-lujuus, kPa</b>	277,67	276,33
<b>AL Bendtsen-sileys, ml/min</b>	44,00	71,00
<b>AL PPS-sileys 1MPa, µm</b>	1,18	1,16
<b>Mottling</b>	4,584	4,683

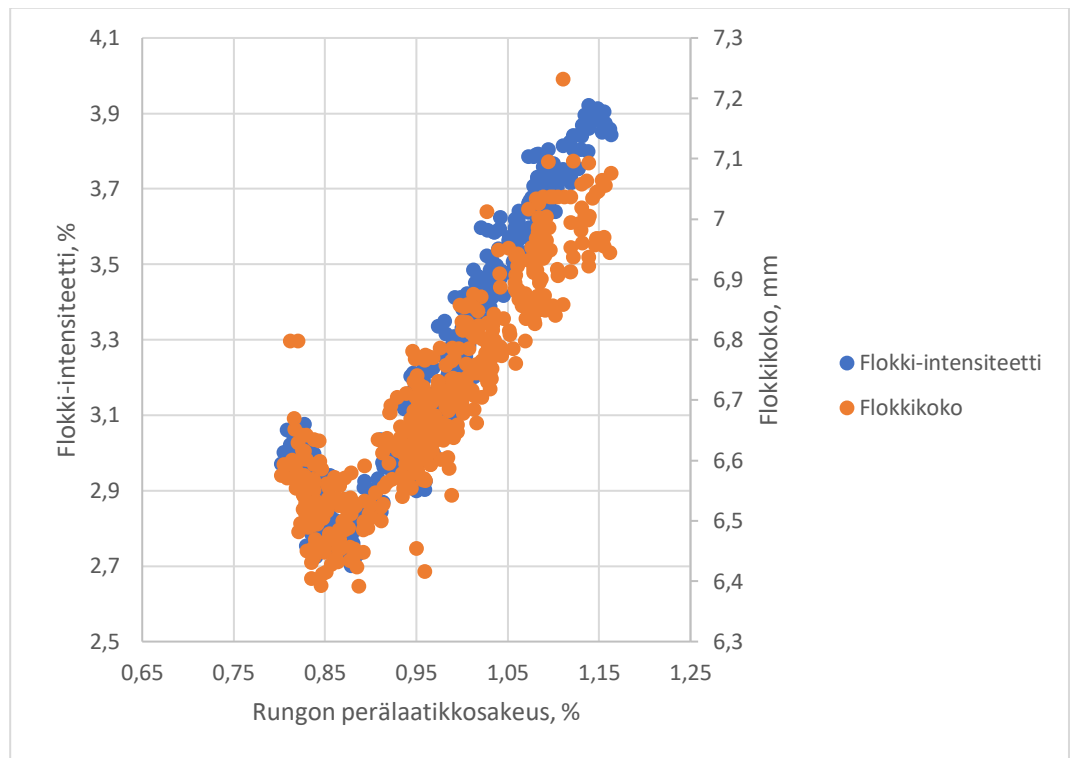
Taulukosta 2 voidaan nähdä, että painatusjäljen mottling on vastoin ennako-odotuksia pienempi pienemmällä runkoperän sakeudella. Kun verrataan näitä arvoja kuukausittain tehtyjen laaduntarkkailupainatusten arvoihin, voidaan todeta molemmilla eri sakeuksilla saatujen tuloksien olevan hyviä. Keskiarvo TB250 lajin testipainatusnäytteiden mottlingille oli 5,0 ja huonoimmat arvot jopa 5,5. Tämän perusteella voidaan olettaa, että pohjan ryynimäisyys tai pilvisyys eivät ole mottlingin kannalta vaikuttavimmat tekijät. Näin suuria sakeuden ääriarvoja ei kuitenkaan ajeta normaaleissa olosuhteissa. Laatuarvojen mittausten perusteella

voidaan todeta myös näiden mittakappaleiden perusteella Bendtsen-sileyden korreloivan suoraan mottlingin kanssa.

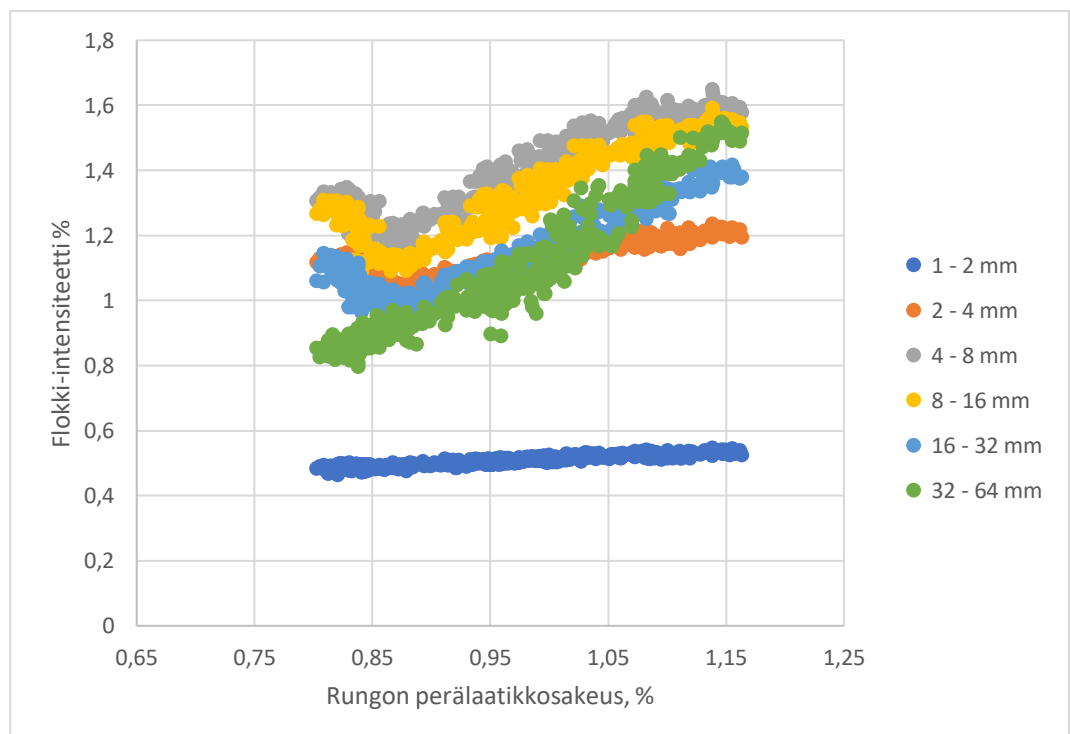
Flokkikokoa ja Bendtsen-sileyttä tarkasteltaessa voidaan myös todeta aiemmin määritettyjen raja-arvojen perusteella, että odotusarvoisesti mottlingin tulisi jäädä alle TB250 lajin keskiarvon. TB250 lajille testipainatusten mottlingin keskiarvon perusteella määritetty Bendtsen-sileyden maksimiarvo oli 92 ml/min ja flokkikoon minimiarvo oli noin 6,5. Näiden arvojen perusteella hyvä painatustulos oli odotettavissa. Jos minimisakeudella sakeutta olisi saatu tiputettua vielä alemmas, jolloin keskimääräinen flokkikoko olisi laskenut alle asetetun raja-arvon, olisi mottlingin arvo voinut olla huonompi.

### *8.1.3 Painava kartonki*

Täysin vastaava koeajo suoritettiin myös painavalla kartongilla. Koeajossa käytetty laji oli TB310. Painavalla laadulla ei havaittu valopöydällä merkittävää visuaalista heikkenemistä koeajon aikana. Yksi mahdollinen syy on tälle, että painavilla laaduilla kartongin formaatio on heikkoa pienemmilläkin rungon sakeuksilla. Koeajossa käytetyt sakeuspisteet olivat 0,8, 0,95 ja 1,15. Flokkien koko ja esiintymistiheys sakeuden muuttuessa on esitetty kuvassa 41, ja eri kokoisten flokkien esiintymistiheys kuvassa 42.



Kuva 41 Flokkien koko ja esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB310 lajilla

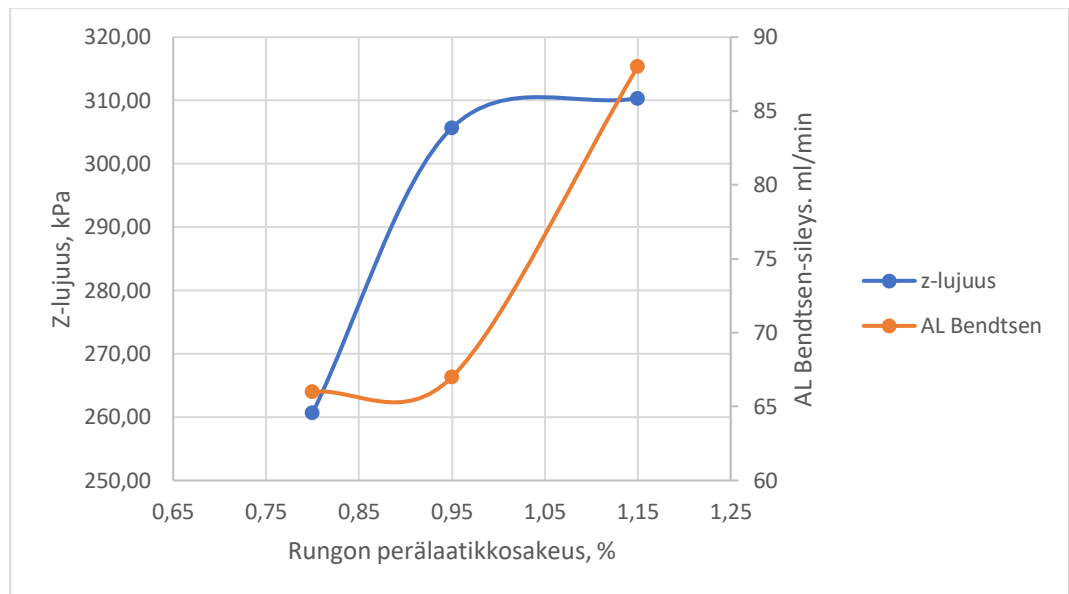


Kuva 42 Eri kokoisten flokkien esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB310 lajilla



Kuvista 40 ja 41 voidaan nähdä, että flokkikoko ja flokki-intensiteetit nousevat sakeuden noustessa, mutta nousu ei ole yhtä jyrkkää kuin kevyemmällä neliöpainoilla. Flokkikokoa tarkasteltaessa nähdään myös suurempaa vaihtelua ajon aikana, kuin esimerkiksi kevyellä lajilla. Sakeuden muuttuessa suurimpien flokkien intensiteetti laskee lineaarisesti sakeuden mukana, kun taas pienimpien flokkien tiheys ei muutu lähes ollenkaan. Muilla flokkiko' oilla näyttäisi olevan taas sakeudessa kriittinen piste, jonka jälkeen veden lisäämisen vaikutus loppuu. Tämä piste on noin 0,87 %. Toisin kuin kevyemmällä kartongilla, tätä pistettä pienemmällä sakeuksilla flokkien koko lähteekin uudelleen kasvuun. Tämä voi johtua siitä, että liiallisen veden lisäämisen seurauksena massan määrä on viiralla niin suuri, että pieninkin turbulenssi häviää, ja flokkeja pääsee muodostumaan enemmän.

Kuten koeajon aikana todettiin valopöydän näytteistä, ei formaatio näyttäisi heikentyvän erityisesti sakeuden kasvaessa. Tämä todettiin myös lujuus ja sileyšnäytteistä, joissa sakeuden aiheuttama muutos oli paljon pienempi, kuin kevyemmällä lajeilla. Sileys heikkeni sakeuden kasvaessa maksimiin, mutta Z-lujuuden paraneminen ainoastaan hidastui sakeuden kasvaessa, eikä lähtenyt laskemaan takaisin alas. Sileyden ja lujuuden pisteet, sekä sovitettu funktio on esitetty kuvassa 43.



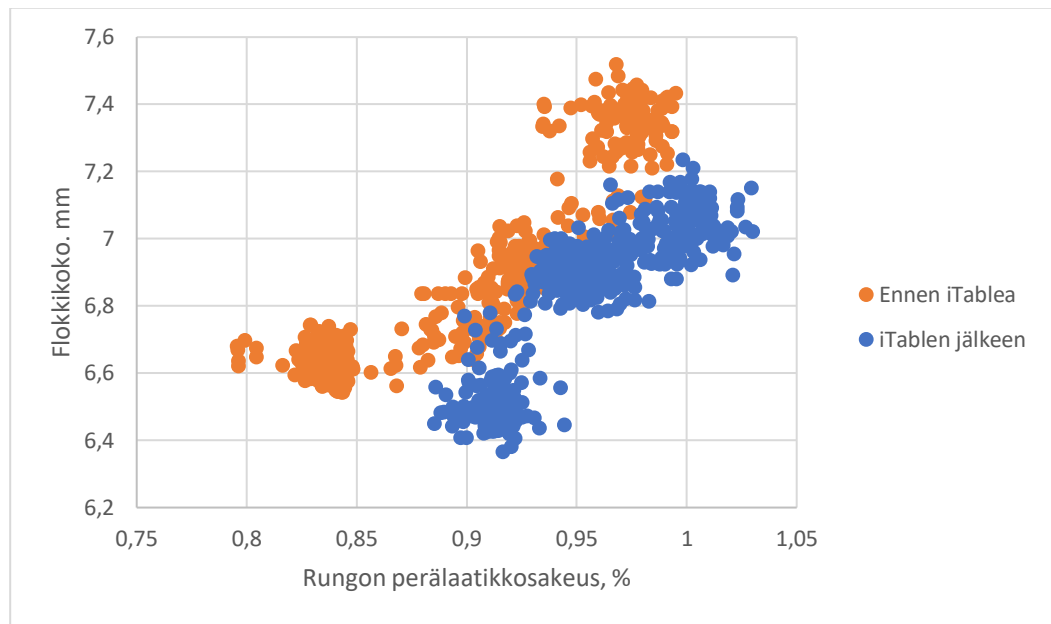
Kuva 43 Z-lujuus ja Bendtsen-sileyks rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB310 lajilla

Bendtsen-sileyttä ja Z-lujuutta tarkasteltaessa nähdään, että optimaalinen sakeuden arvo on noin sakeudessa 0,95 %, koska tämän jälkeen Bendtsen-sileyden arvo lähtee huononemaan merkittävästi. Koska flokkisuuden suhteen kriittinen piste sakeudelle oli noin 0,87 %, voidaan todeta TB310 lajin optimisakeuden olevan noin 0,91 %.

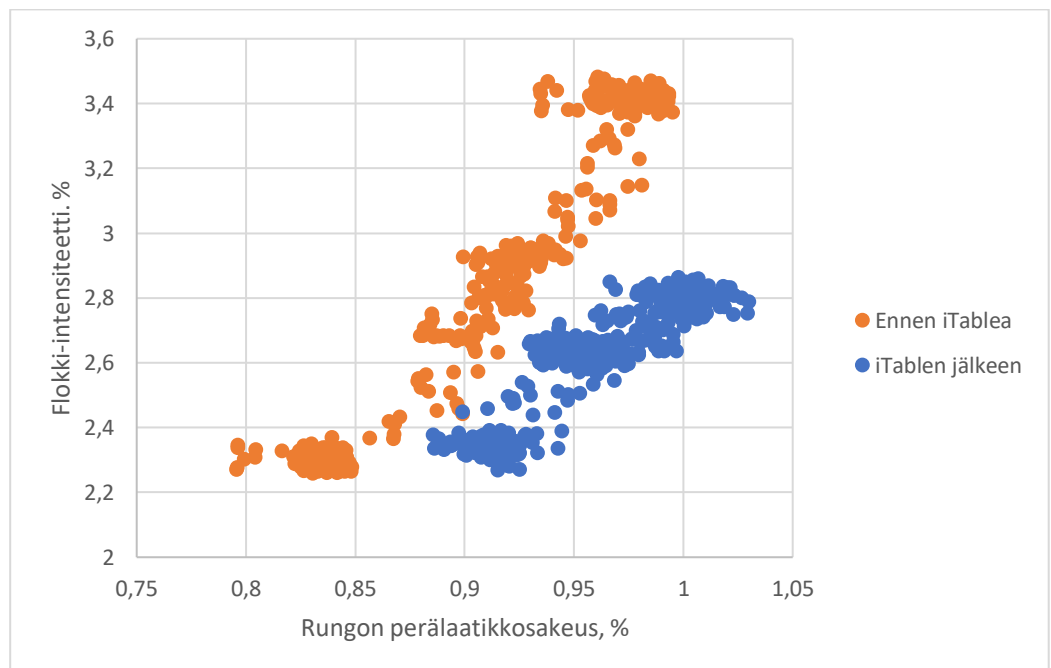
#### 8.1.4 Sakeuden vaikutus formaatioon säädettävillä foililistoilla

TB250 lajilla suoritettiin runkoperän sakeuden koeajo tarkoituksena tutkia sakeuden vaikutusta formaatioon, lujuuksiin ja sileyksiin. Koeajo toistettiin vastaavissa olosuhteissa, kun aiemmin keväällä tehty koeajo ennen iTable asennusta. Näiden koeajojen tuloksia vertaillaan, jotta nähdään iTablen tuoma vaikutus ajettavaan sakeusalueeseen. Koeajosta otettiin myös testipainonäytteet, joita verrataan ennen iTable asennusta tehtyihin painatuksiin.

Aluksi vertaillaan keskimääräisen flokkikoon ja flokkien esiintymistiheyden muutosta sakeuden suhteen. Samassa kuvaajassa on esitetty ennen ja jälkeen iTable asennusta suoritettujen koeajojen tulokset. Flokkikoon muutokset on esitetty kuvassa 44 ja flokki-intensiteetin kuvassa 45.



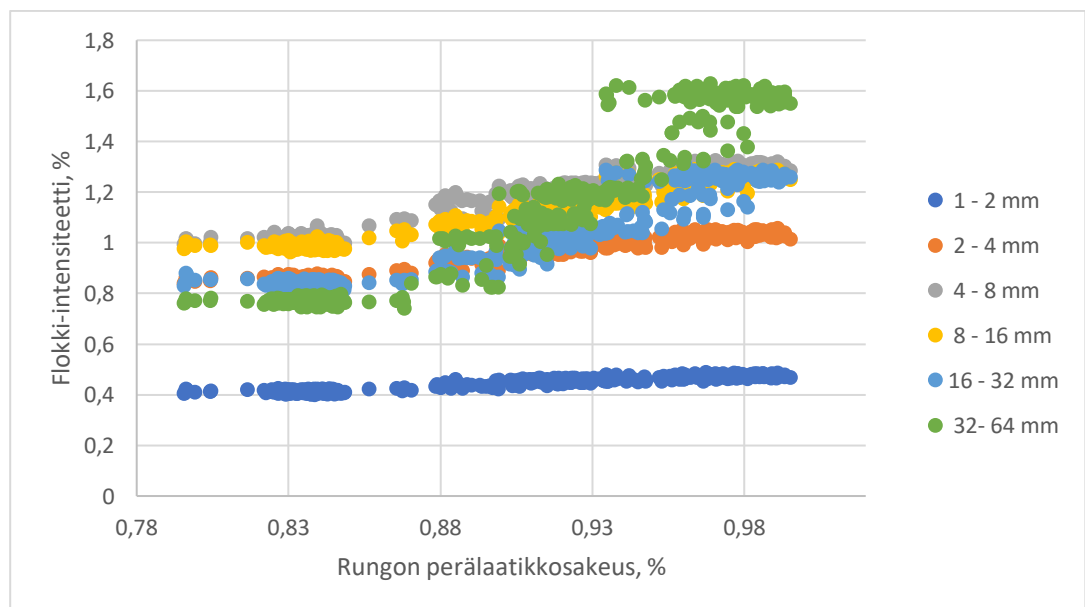
Kuva 44 Keskimääräisen flokkikoon muutos rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB250 lajilla



Kuva 45 Flokkien esiintymistiheyden muutos rungon perälaatikkosakeuden funktiona TB250 lajilla

Flokkikoon ja -intensiiteetin arvoista voidaan nähdä, että sakeudella ei ole niin selkeää kriittistä pistettä, jonka jälkeen formaatio heikkenisi merkittävästi nopeammin sakeuden kasvaessa, kuten ennen iTable asennusta tapahtui. Eräänlainen kriittinen piste sakeudella näyttäisi olevan 0,93 %, jolloin veden lisääminen pudottaa flokkikokoa ja flokki-intensiiteettiä reilusti alaspäin. Näin pienessä sakeudessa formerille tuleva veden määrä oli jo kuitenkin liian suuri, joka johti formerin viiran kastumiseen ja veden roiskuttamiseen. Tuloksista nähdään sekä flokkikoon, että -intensiiteetin laskeneen tasollisesti alaspäin iTable asennuksen jälkeen. Suurimmassa koepisteessä sakeus oli noin 0,04 % korkeammalla kuin aiemmassa kokeessa ja silti molemmat arvot ovat huomattavasti matalammalla. Tämä osoittaa, että iTablen asennuksen jälkeen esimerkiksi lujuuksia tarvittaessa sakeutta voidaan nostaa huolettomammin, kuin ennen asennusta, koska formaatio ei heikkene lähellekkään yhtä nopeasti. Tämän seurauksena kartongin visuaalinen ulkomuoto pysyy parempana, eikä huono formaatio rajoita lujuuksien nostamista sakeuden avulla.

Seuraavaksi tarkastellaan eri kokoisten flokkien esiintymistiheyden jakautumista sakeuden funktiona. Kuvassa 46 on esitetty flokkien kokojakauma sakeuden funktiona ennen iTablen asennusta, ja kuvassa 47 iTable asennuksen jälkeen.

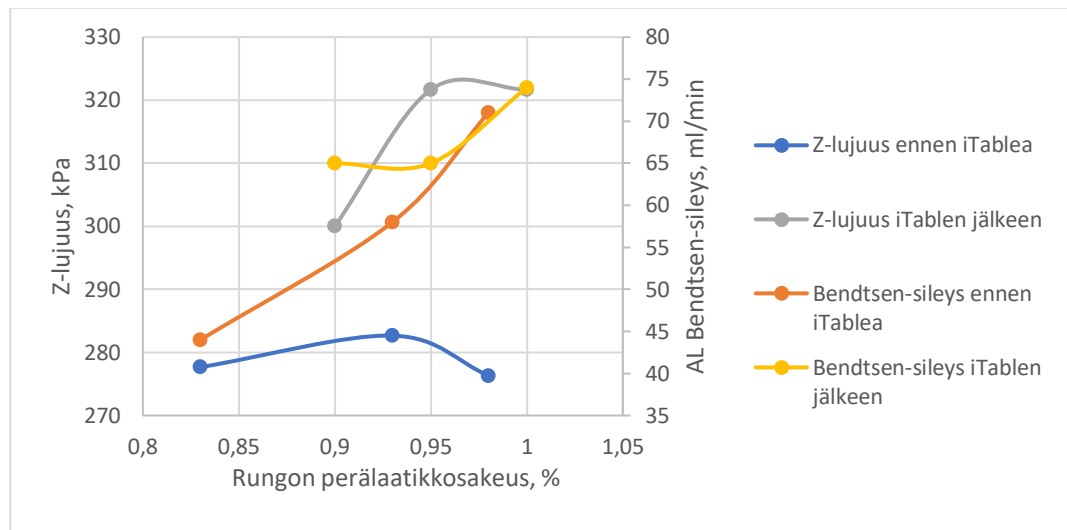


Kuva 46 Eri kokoisten flokkien esiintymistiheys runگون پرآلاتیکوساڪهوس funktiona ennen iTable-asennusta



Kuva 47 Eri kokoisten flokkien esiintymistiheys rungon perälaatikkosakeuden funktiona iTable-asennuksen jälkeen

Myös eri kokoisten flokkien esiintymistiheyksistä voidaan nähdä, että sakeuden kasvattaminen ei aiheuta merkittävää muutosta, vaan intensiteetit nousevat tasaisesti paljon hitaammin kuin ennen iTable asennusta. Suurimpien flokkien määrässä nähdään suuremmat siirtymät sakeuksissa 0,93 % ja 0,98 %, mutta nekin ovat huomattavasti pienempiä kuin vastaavat siirtymät ennen iTable asennusta. Koeajopisteistä tehdyt Bendtsen-sileyks ja Z-lujuus arvot on esitetty kuvassa 48.



Kuva 48 Z-lujuudet ja Bendtsen-sileydet rungön perälaatikkosakeuden funktiona ennen, ja jälkeen iTable asennuksen

Laatumittauksia tarkasteltaessa nähdään, että sakeuden nostaminen ei heikentänyt enää Z-lujuutta yhtä merkittävästi, kuten ennen iTablen asennusta. Tämä todistaa osaltaan formaation paranemista myös suurilla sakeuksilla, kuten todettiin myös flokkien arvoista. Todennäköisesti jossain kohtaa suuremmalla sakeudella löytyisi myös piste, jolloin lujuudet heikkenevät runsaammin, mutta säädettävien listojen avulla luotu turbulenssi nostaa tätä rajaa huomattavasti. Mittausten perusteella sileys alkaa heikkenemään sakeuden kasvaessa myös iTable asennuksen jälkeen. Lujuuksia verrattaessa voidaan myös huomata, että Z-lujuuden arvojen taso on huomattavasti suurempi iTable asennuksen jälkeen suoritetussa koeajossa. Toisaalta sileyden arvot ovat huonompia, joten nämä muutokset voivat riippua muista tekijöistä, kuten kalanteroinnista tai kemikaaleista. Lujuus- ja sileyspisteiden perusteella parhain sakeus on noin 0,96 %. Tämä myös mahtuu flokki-intensiteettien perusteella arvioidun ylärajan alle, joten tätä voitaisiin pitää sakeuden optimaalisena arvona.

Tämän sakeuskoeajon minimi- ja maksimisakeuden näytteistä tehtiin myös laaduntarkkailupainatukset. Näiden pisteiden lisäksi otettiin normaalista ajosta yksi referenssipiste, jolla tehtiin myös testipainatukset. Näillä testipainatustuloksilla pyrittiin näkemään iTablen tuoman formaation parannus painatusjäljessä. Nämä näytteet painettiin samaan aikaan ennen iTablea otettujen TB250

sakeuskoeajonäytteiden kanssa, jolloin painatusolosuhteet olivat samat. Kaikkien testipainatusnäytteiden tulokset on esitetty yhdessä taulukossa 3

Taulukko 3 Sakeuskoeajoista otettujen painatusnäytteiden tuloksia

	ENNEN iTABLEA		iTABLEN JÄLKEEN		
	Minimi-sakeus	Maksimi-sakeus	Minimi-sakeus	Maksimi-sakeus	Referenssi-piste
<b>Rungon perälaatikko-sakeus, %</b>	0,83	0,98	0,90	1,00	0,93
<b>Flokki-intensiteetti, %</b>	2,31	3,42	2,34	2,81	2,35
<b>Flokkikoko, mm</b>	6,63	7,36	6,49	7,07	6,74
<b>1-2 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,41	0,47	0,40	0,42	0,39
<b>2-4 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,86	1,03	0,93	0,96	0,89
<b>4-8 mm flokki-intensiteetti, %</b>	1,02	1,30	1,06	1,20	1,07
<b>8-16 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,99	1,27	0,93	1,11	0,98
<b>16-32 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,84	1,26	0,82	0,97	0,80
<b>32-64 mm flokki-intensiteetti, %</b>	0,77	1,58	0,79	1,16	0,81
<b>Z-lujuus, kPa</b>	277,67	276,33	300,00	321,67	283,00
<b>AL Bendtsen-sileys, ml/min</b>	44,00	71,00	65,00	74,00	52,00
<b>AL PPS-sileys 1MPa, µm</b>	1,18	1,16	1,36	1,38	1,29
<b>Mottling</b>	4,58	4,68	4,66	4,66	4,77

Painatustuloksista nähdään, että minimi- ja maksimisakeuden välinen painatusjäljen mottlingin arvo on hyvin lähellä toisiaan toisin kuin ennen asennusta. Tämä viittaisi iTablen tuomaan formaation tasaisuuten sakeudesta riippumatta. Mottlingin määrä on melko samaa luokkaa ennen iTablen asennusta tehtyjen

testipainatusten kanssa. Kaikista pienin mottlingin arvo oli kuitenkin ennen iTable asennusta ajetun koeajon minimisakeuden piste. Tässä pisteessä flokki-intensiteetti oli pienempi kuin iTable asennuksen jälkeinen minimisakeus. Myös Bendtsen-sileyds oli huomattavasti pienempi, joka voi olla yksi päätekijöistä mottlingin pienuuteen. Eri kokoisten flokkien esiintymistiheyksissä ei näy koeajojen välillä merkittävää eroa, joka kertoisi pohjan ryynimäisyydestä eri koeajojen välillä. Ennen iTablen asennusta saavutettiin pienempi runkoperän sakeus koeajon aikana, joka saattaa olla yksi tämän mottling-eron tekijöistä.

Kun tarkastellaan iTablen asennuksen jälkeen ajettua referenssipistettä, nähdään että mottlingin arvo tässä pisteessä on suurempi kuin koeajossa ajetuissa sakeuden ääriarvoissa. Tämä on selittämätön tulos, koska referenssipisteessä molemmat sileydetkin ovat parempia, kuin koeajopisteissä. Tulosten vaihtelu pohjanmuodostuksesta riippumatta viittaisikin siihen, että painatusjäljen laadun kannalta merkittävimmät tekijät löytyvät jostain muualta kuin pohjan formaatiosta. Esimerkiksi päällystekerroksen tasaisuus oli todettu kirjallisuudessa painatusjäljen laadun kannalta merkittäväksi tekijäksi. Näiden koeajojen välillä kalanterin kuormitus pidettiin vakiona, mutta mahdollisesti päällystyksessä tai raaka-aineessa oli muutoksia, jotka aiheuttivat erot mottlingin arvoihin. TB250-lajilla laaduntarkkailupainatusten mottling-arvo oli keskiarvoltaan noin viisi, joten kaikki tulokset ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä kuin normaali keskitaso. Kaikki testipainetut näytteet olivat kuitenkin flokkikooltaan ja Bendtsen-sileydeltään aiemmin määritetyissä rajoissa, jonka vuoksi hyvä mottlingin arvo oli odotettavissa.

## 8.2 *Imulaatikoiden ajoparametrien vaikutus kartongin laatuun*

Runkokerroksen foilien tukin alipainesäätö toimii automaattimekanismilla, joka pyrkii pumpun imua säätämällä pääsemään tavoitteeksi asetettuun alipaineeseen. Imun määrän vaikutusta formaatioon ja vedenpoistoon selvitettiin lyhyellä kokeella, jossa alipainesäätö asetettiin manuaalille. Alipainetta muutettiin saman vaihteluvälin mukaisesti, jolla se liikkuu normaalisti automaattiasetuksen kanssa. Normaaliajossa tukin alipaine on noin 6,5 kPa, jolloin paineensäätöventtiili on auki



noin 40 %. Koeajon aikana venttiiliä säädettiin manuaalilla 30 – 50 % välillä, jolloin nähtiin tukin alipaineen muuttuvan välillä 4,1 – 7,0 kPa.

Koeajon aikana ei havaittu mitään muutosta flokkien koossa tai esiintymistiheydessä alipaineen muuttuessa. Alipaineen määrällä vaikutetaan poistuvan veden määrään imulaatikoiden kautta, jolloin se vaikuttaa formerin toimintaan. Alipaine ei saa olla liian korkea, tai formeri jää kuivaksi, kun poistettavaa vettä ei riitä tarpeeksi sinne asti. Paineen muuttaminen aiheutti ainoan huomattavan muutoksen formerin kautta poistettavan veden määrään. Kokeilun aikana formerin poistoveden määrä muuttui noin 30 l/s tällä paineen muutoksella.

Imulaatikoiden automaattiasetuksen toiminnassa havaittiin myös sakeuskoeajon aikana ongelma, joka liittyy vesirajan liikkumiseen sakeuden muuttuessa. Kun vesiraja ei ulotu kaikkien imulaatikoiden yli, ja alipaine putoaa saadessaan ilmaa, yrittää automaatti nostaa imua avaamalla venttiiliä. Tämä taas korostaa entisestään vedenpoistoa, jolloin formerille päättyy vielä vähemmän vettä.

## 9 Säädetävillä foililistoilla saavutetut vaikutukset

Kartonkikoneen runkoviiralle asennettiin säädetävät kulma- ja korkolistat, joilla voidaan optimoida viiraosan turbulenssia ja vedenpoistoa. Nousut turbulenssi rikkoo massasta syntyneitä flokkeja, sekä estää uusien flokkien syntymisen. Tehokkaampi vedenpoisto myös mahdollistaa entistä suurempien vesimäärien ajamisen runkoon ilman, että formerille saapuva vesimäärä olisi liian suuri. Kuten aiemmin todettiin, pienemmällä rungon sakeudella saavutetaan huomattavasti parempi formaatio.

### 9.1 *Laitteiston ja ajotavan muutokset*

Kartonkikoneen asennettiin säädetävät foililistat kolmelle runkoviiran foililaatikolle, jotta runkokerroksen formaatio parantuisi. Säädetävät listat ovat runkoviiran kolmella ensimmäisellä foililaatikolla. Näillä laaticoilla pyritään listojen säädöillä luomaan korkea turbulenssi viiraosalle, joka hiipuu vähitellen formeria lähestyessä. Turbulenssi vähenee formeria ennen olevien imulaatikoiden kiinteiden kulmalistojen porrastuksen seurauksena. Kahdella ensimmäisellä foililaatikolla joka toinen lista on korko- ja joka toinen kulmasäädettävä. Kolmannessa laatikossa on ainoastaan kulmasäädettäviä listoja. Kahden ensimmäisen laatikon korkosäädettävien listojen avulla on tarkoitus nostaa turbulenssi halutun suuruiseksi, jonka jälkeen kulmasäädettävillä listoilla voidaan hienosäätää turbulenssia. Listojen myötä myös vedenpoisto parantuu runsaasti, jonka vuoksi vedenpoistoelimiä laajennettiin uuden parantuneen vedenpoiston mukaiseksi. (IBS (b), 2020)

Parantuneen vedenpoiston myötä pienempien perälaatikkosakeuksien käyttäminen mahdollistuu. Vettä saadaan huomattavasti helpommin viiraosalla pois, mutta myös formerilla ja puristimella tapahtuva vedenpoisto tehostuu paremman pohjan ansiosta. Kun pohja ei ole tukkiutunut hienoaineesta ja flokkeista, vesi poistuu helpommin. iTable optimointien aikana saatiin selkeitä havaintoja siitä, miten helposti listojen turbulenssilla saatu hyöty häviää viiran loppuosalla, mikäli massa pääsee flokkaantumaan. Kuten (Paulapuro, 2007) totesi, jos turbulenssi loppuu liian aikaisin, massa flokkaantuu uudelleen. Tämä havaittiin säätöjä tehtäessä formerilla

poistettavan veden määrästä. Kun formerilta poistettavan veden määrä oli normaalia pienempi, formaatio heikkeni välittömästi. Tämä havaittiin myös jo formerin kitaan menevästä massakerroksesta paakkuisuutena. Käytännössä tämä viittaa siihen, että perälaatikossa on liian vähän vettä, jolloin tehokkaiden säädettävien listojen vedenpoiston seurauksena massan kiintoainepitoisuus viiran loppuosalla on liian suuri, ja niin kutsuttu vesiraja ei ulotu formerille asti.

Kokeilujen perusteella vesirajan saavuttaessa formerin, flokkien arvot putoavat huomattavasti alaspäin. Tämän pisteen jälkeen runkoperän veden lisääminen lisää suoraan formerilta poistettavan veden määrää. Tämän perusteella formerilta poistettavan veden määrään voisi esimerkiksi asettaa minimiarvon, jonka ylittäessä vesiraja ulottuu varmasti formerille asti. Riittävä veden määrä voidaan myös havaita formerin kitaan menevässä massassa pienenä väreilynä.

## 9.2 *Asennuksen vaikutus formaatioon ja laatuarvoihin*

iTablen listoja säädettiin jokaisella lajilla optimaalisten asetusten löytämiseksi kullekin neliöpainolle. Säädöillä pyrittiin luomaan korkea turbulenssi viiraosan alku- ja keskiosalle. Tämän jälkeen turbulenssi hiipuu kiinteiden listojen vaikutuksesta. Säätöjä tehdessä tarkkailtiin jatkuvasti valopöytänäytteiden pohjaa, sekä muutoksia online-mittarin flokki-intensiteeteissä ja -koossa. Optimaalisten säätöjen löytäminen vaati useita erilaisia asetuskokeiluja. Myöhemmänä ajankohtana asiantuntevat asentajat tulevat vielä optimoimaan listat oman näkemyksensä mukaan, jolloin formaatiotulokset voivat parantua entisestään.

Tarkasteltavia parametrejä tarkastellaan koko alkuvuoden katkotonta ajoaikaa ja verrataan sitä iTable asennuksen jälkeiseen aikaan. Näiltä ajoilta lasketaan flokki-intensiteetille ja flokkikoolle keskiarvot, joita verrataan toisiinsa. Formaatioarvojen muutokset on laskettu prosentteissa. Näiden arvojen lisäksi tarkkailtiin myös koneen nopeutta ja runkoperän veden määrää. Nämä ovat formaation kannalta oleellisessa osassa ja kertovat onko niillä ollut oma vaikutuksensa syntyneisiin formaatioeroihin tässä vertailussa. Flokkikoon ja -intensiteetin lisäksi lasketaan myös Z-lujuuden, sileyksien ja paksuuden keskiarvojen muutokset. Taulukossa 4 on esitetty jokaisen lajin flokkikoon ja -intensiteetin muutos iTable asennuksen jälkeen prosentteina.

Samassa taulukossa on esitetty rungon kokonaisvirtauksen, koneen nopeuden ja formerilta poistuvan veden määrien muutokset.

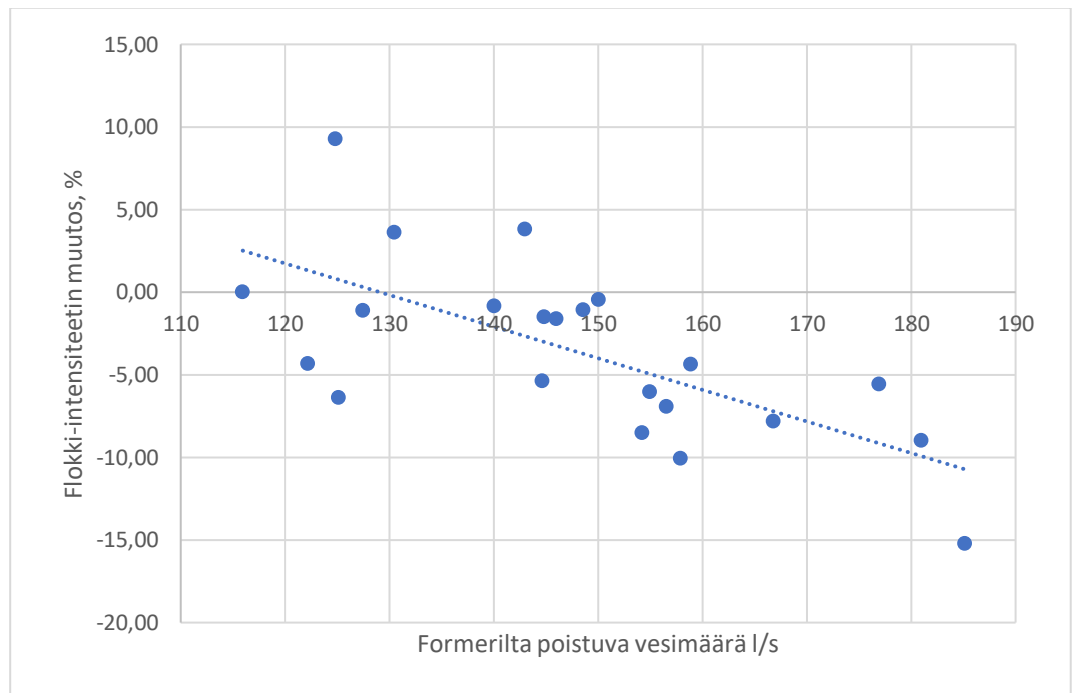
Taulukko 4 Saavutetut lajikohtaiset formaation muutokset prosentteina

	Neliöpaino, g/m <sup>2</sup>	Flokkikoko, %	Flokki- intensiiteetti, %	Rungon kokonaisvirtaus, %	Koneen nopeus, %	Formerin poistovesi, %
TB	200	-0,09	0,07	0,91	-0,72	-0,08
TB	210	-1,92	3,62	3,59	0,16	-0,07
TB	220	-1,74	-1,11	1,26	-0,77	-0,10
TB	230	-0,61	-1,63	4,03	1,79	-0,04
TB	240	-0,03	-0,84	0,89	1,84	-0,12
TB	250	-0,62	-0,45	-0,34	0,66	-0,09
TB	260	-2,22	-1,06	0,00	-1,77	-0,10
TB	270	-3,22	-4,36	1,42	-1,81	0,01
TB	285	-1,85	-1,51	2,69	0,15	-0,09
TB	310	2,20	3,80	0,07	0,98	-0,10
TB	335	1,24	-6,04	-1,66	-0,24	-0,04
TF	190	0,08	-6,37	1,54	2,53	0,02
TF	200	1,45	-4,31	-1,38	5,35	-0,09
TF	210	2,02	-10,05	3,95	8,34	0,18
TF	220	0,09	-15,22	2,00	5,49	0,30
TF	230	-0,53	-8,51	1,44	4,26	0,03
TF	240	2,26	-5,36	-1,30	6,02	0,00
TF	250	1,38	9,29	2,69	4,28	-0,26
TF	260	-2,42	-5,59	9,23	3,65	0,15
TF	275	-1,05	-8,99	12,57	0,81	0,16
TF	300	1,25	-7,83	7,27	2,32	-0,07
TF	325	2,21	-6,91	3,77	-2,16	-0,08

Taulukosta 4 voidaan nähdä, että säädettävillä listoilla ei saatu selkeää muutosta keskimääräiseen flokkikokoon. Datan perusteella näyttäisi, että keskimääräinen flokkikoko on kasvanut kertapäälystetyillä Tamfold lajeilla, ja pienentynyt Tambrite lajeilla. Flokki-intensiiteetti on myös pienentynyt vähän Tambriteilla, mutta Tamfoldilla se on pudonnut merkittävästi enemmän. Flokkien esiintymistiheyden perusteella iTablen avulla on saatu toistaiseksi pientä parannusta pohjan laatuun. Flokki-intensiiteetin minimoiminen tarkoittaa flokkien pientä määrää ja samalla pohjan tasaisuutta. Muutamalla lajilla flokki-intensiiteetti

on kasvanut, mutta ne ovat selitettävissä esimerkiksi liian pienten vesimäärien kanssa. iTable-asennuksen jälkeiset ajomäärät ovat muutamilla lajeilla vähäisiä. Esimerkiksi TF250 lajia on ajettu vain kerran, jonka vuoksi otanta tähän vertailuun on heikko. Datassa on myös mukana iTablen säätämistä sisältäviä ajoja, jolloin listojen asennot eivät olleet vielä optimoituja, eikä optimaalinen ajotapa pohjanmuodostuksen kannalta selvillä. Asennuksen jälkeen oli myös muutamia ajoja, jolloin esimerkiksi kemikaalien annostelussa tunnistettiin ongelmia, jotka saattoivat vaikuttaa formaation arvoihin. Ajojen määrä asennuksen jälkeen olisi vähäinen, jos ainoastaan hyvät ajopätkät olisi otettu mukaan, jonka vuoksi koko kuukauden data asennuksen jälkeen on mukana.

Nopeuden arvoissa ei näy merkittävää muutosta Tambriten ajoissa, mutta Tamfoldilla nopeutta on lisätty kaikilla muilla paitsi raskaimmalla lajilla. Veden määrää rungon perälaatikolla on nostettu lähes kaikilla lajeilla, eniten raskailla Tamfoldeilla. Tehostuneen vedenpoiston vuoksi tämän tulisi olla suurempi kaikilla laaduilla, jotta päästään parhaaseen mahdolliseen formaatioon. Kun tarkastellaan formerilta poistuneen veden määrää, ei muutokset ole merkittäviä kumpaankaan suuntaan. Suurimmassa osassa formerilta poistuvan veden määrä on prosentuaalisesti pienempi, joka kuitenkin vaikuttaa aiempien päätelmien perusteella negatiivisesti formaatioon. Tämä voidaan myös todeta, kun verrataan formerilta poistetun vesimäärän keskiarvoa flokki-intensiteetin muutokseen iTable-asennuksen jälkeen. Tämä on esitetty kuvassa 49.



Kuva 49 Flokki-intensiteetin muutos formerin poistoveden määrän funktiona

Kuvan perusteella voidaan todeta selkeä korrelaatio formerin poistovesimäärän ja formaation parannuksen välillä. Lajeilla, joissa keskiverto formerin poistoveden määrä jää reilusti alle 150 l/s formaation parannus on erittäin pieni, tai formaatio on jopa huonontunut. Tätä vastoin taas lajit, joilla poistoveden määrän keskiarvo on lähes 200 l/s, formaation parannus on selkeästi suurempi. Tämän perusteella voidaan todeta, että jos runkoperään pystytään ajamaan koko ajan vettä niin paljon, että formerin poistomäärä olisi vähintään 150 l/s, formaatioiden parannukset olisivat luultavasti huomattavasti parempia kaikilla neliöpainoilla.

Laatuarvoista iTable-asennuksen jälkeen tarkasteltiin Bendtsen- ja PPS-sileyksiä ja Z-lujuutta. Oletuksena on, että erityisesti makrosileyks paransi tasaisemman pohjan ansiosta. Näiden lisäksi tarkastellaan vielä kartongin paksuutta. Viiraosan turbulenssin ansiosta ennako-odotuksena oli huopaantunut rakenne, joka tuo lisää paksuutta. Paksuuden ja sileyden mittaukset ovat Autoline-mittauksia. Nämä kootut laatuarvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5 Tarkasteltavien laatuarvojen muutos prosentteina

	Neliöpaino, g/m <sup>2</sup>	Z-lujuus, %	AL Bendtsen- sileyys, %	AL PPS- sileyys 1MPa, %	AL paksuus, %
TB	200	4,37	7,66	-0,87	0,78
TB	210	-0,52	-3,30	-0,69	1,23
TB	220	2,64	-0,45	2,28	0,30
TB	230	1,91	-2,55	1,10	0,47
TB	240	2,29	7,89	2,15	0,24
TB	250	0,12	4,13	3,67	0,28
TB	260	3,86	4,56	-3,55	0,27
TB	270	-0,65	-5,64	-1,16	0,57
TB	285	0,52	7,39	-0,14	0,58
TB	310	-2,16	18,04	4,53	0,53
TB	335	0,50	11,13	-0,28	0,38
TF	190	-1,55	3,06	-2,86	-0,98
TF	200	-2,30	-8,87	-1,71	-0,29
TF	210	-0,84	1,36	1,77	0,24
TF	220	-3,95	7,96	8,93	0,32
TF	230	3,83	5,72	-0,82	0,62
TF	240	3,63	19,79	6,71	0,87
TF	250	-5,65	-3,98	-13,84	0,49
TF	260	-11,15	-15,28	-13,84	-0,62
TF	275	-1,83	-35,61	-21,01	0,11
TF	300	-8,67	-39,26	-20,33	0,58
TF	325	-0,63	-30,76	-14,48	-0,56

Taulukosta 5 nähdään, ettei laatuarvoissa ole saavutettu selkeää parannusta minkään mittauksen osalta. Paksuus on ainoa mittaus, joka on noussut lähes jokaisella lajilla. Huomion arvoinen asia on, että kaikilla raskaammilla kertapäälystetyillä TF-tuotteilla molemmat sileydet ovat parantuneet huomattavan paljon. Yksi mahdollinen selitys tälle on, että Tambritella kaksi päälystekerrosta piilottaa pintojen epätasaisuudet tehokkaasti, jolloin sileyksiin ei saada muutosta formaation parannuksella. Tamfoldilla taas yksi päälystekerros ei riitä paikkaamaan pohjasta aiheutuvaa epätasaisuutta, jolloin iTablen tuoma pohjan tasaisuus näkyy selkeänä parannuksena sileyden arvoissa.

Laatumittausten perusteella on toistaiseksi vaikeaa tehdä johtopäätöstä, onko säädettävillä listoilla onnistuttu parantamaan kartongin laatua. Mittausten keskiarvojen perusteella näyttää, että laatu olisi ollut keskimäärin alkuvuotta heikompaa asennuksen jälkeen. Toisaalta esimerkiksi kesäkuun puolella z-lujuus on noussut huomattavasti toukokuuhun verrattuna, vaikkei listoja olekaan säädetty lisää. Tämä viittaisi siihen, että jotkin laatuarvot ovat olleet mahdollisesti muiden tekijöiden takia heikkoja listojen säätöjen aikana, jonka vuoksi laatuparannukset näyttävät toistaiseksi olemattomilta. Pidemmän aikajakson jälkeen, kun keskiarvoihin tulee mukaan laajempi otos laadullisesti hyviä normaaleja ajoja, voivat tulokset muuttua huomattavasti paremmiksi.

### 9.3 *Vaikutus painatuslaatuun*

Yksi tämän työn pääasiallisista tarkoituksista oli parantaa taivekartongin painatuslaatua runkokerroksen formaation parannuksella. iTablen myötä parantuneen runkokerroksen formaation seurauksena tulisi myös esimerkiksi pintojen sileyden muuttua paremmaksi. Pinnan sileyden ja tasaisuuden vuoksi myös painoväri tulisi imeytyä tasaisemmin kartonkiin. Kartongin painatuslaatua tarkasteltiin testipainon laaduntarkkailupainatuksilla, jossa tarkasteltiin esimerkiksi painoväri tiheyden vaihtelua. Laaduntarkkailupainatukset tehtiin ennen ja jälkeen iTable asennuksen, ja niiden tuloksia verrattiin aiempiin kuukausittaisiin laaduntarkkailupainatuksiin.

Koska iTablen jälkeisiä laaduntarkkailupainatuksia ei ole vielä tehty, painatustulosten tarkka analysointi on mahdotonta. Sakeuskoeajon yhteydessä tehtyjen tulosten perusteella ei voida juurikaan tehdä vielä painatuksesta selkeitä johtopäätöksiä. Taulukossa 3 esitettyjen sakeuskoeajon pisteiden perusteella todettiin, että pohjan ryynimäisyys ja pilvisyys eivät ole suurimmat mottlingin aiheuttajat. Sekä ennen iTablen asennusta, että sen jälkeen saadut testipainatustulokset olivat huomattavasti keskiarvoja laaduntarkkailupainatuksia parempia. Tulosten perusteella aiemmin määritetyt raja-arvot Bendtsen-sileydelle, kalanterin kuormalle ja flokkikoolle ovat myös hyviä mittareita painatusjäljen kannalta. Tulevaisuudessa laaduntarkkailupainatusten perusteella voidaan



analysoida tarkemmin, onko iTablen tuoma pohjan tasaisuus tuonut tason muutosta mottlingin arvoihin. Myös esimerkiksi päällystysosan toiminnasta voisi tehdä painatusnäytteiden suhteen jatkotutkimusta.

## 10 Yhteenveto

Tämän työn tavoitteena oli selvittää taivekartongin runkokerroksen formaatioon oleellisesti vaikuttavat tekijät, sekä formaatiota parantamalla parantaa kartongin laatua ja painettavuutta. Runkokerroksen formaation parannusta tavoiteltiin säädettävillä foililaatikoiden listoilla, jolloin viiraosan turbulenssia pystytään kontrolloimaan, ja vedenpoistosta tulee tehokkaampaa. Formaation ja laatutekijöiden arvoja tarkasteltiin ennen ja jälkeen iTable-asennuksen. Asennuksen jälkeen tehtiin myös testipainatukset, joiden arvoja verrattiin aiempiin kuukausittaisiin laaduntarkkailupainatuksiin.

Runkokerroksen formaatioon vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin kaikkien vuoden 2019 ajojen datalla, sekä erikseen kolmella yksittäisellä eri painoluokan lajilla. Data-analyysia tehtiin tarkastelemalla suoria XY-kuvaajia muuttujien välillä, ja laskemalla muuttujien välisiä korrelaatiokertoimia. Inkeroisissa käytettävä online-formaatiomittari antaa kaksi eri arvoa, joiden arvoja tarkastellaan. Nämä muuttujat ovat keskimääräinen flokkikoko, sekä flokki-intensiteetti, eli flokkien esiintymistiheys. Neliöpainon kasvamisen todettiin nostavan flokkien esiintymistiheyttä, mutta laskevan keskimääräistä flokkikokoa. Flokkikoon päinvastainen käyttäytyminen saattaa oletuksena johtua suihkun ja viiran nopeuden suhteesta, tai formerin kärkilistan kovemmasta painautumisesta paksumpaa rataa vasten. Koko vuoden datan perusteella suihkun ja viiran suhteen lisäksi formaatioon vaikuttaviksi tekijöiksi todettiin esimerkiksi suihkun iskukulma viiralle, viiraosan foililaatikoiden tukin tyhjiö ja formerin kuormituslistojen paine.

Yksittäisten neliöpainojen analyysi tehtiin kahden päällystekerroksen Tambrite 200, 250 ja 310 g/m<sup>2</sup> neliöpainoilla. Pieni flokkikoko saavutetaan suurella rungon vesimäärällä, pienellä iskukulmalla ja optimaalisella suihkun ja viiran nopeuserolla. Flokkikoossa huomattiin myös sama suihkun ja viiran nopeuseron ongelma, jolloin suurempi nopeus kasvattaa flokkikokoa, koska suihkun ja viiran nopeuden suhde pienenee. Flokki-intensiteetti taas paranee suurella nopeudella. Myös flokki-intensiteetti paranee rungon vesimäärän kasvaessa. Runkofoilien tukin tyhjiön pienellä alipaineella flokki-intensiteetti paranee, mutta muilla muuttujilla ei löytynyt selkeitä korrelaatioita. Koska sakeus on todettu jo kirjallisuudessa yhdeksi

merkittävimmäksi tekijäksi formaation kannalta, tehtiin runkoperän sakeudella koeajot näillä kolmella neliöpainolla. Koeajoilla tutkittiin formaation ja laatuarvojen muutosta sakeuden ääriarvoilla. Koeajon perusteella pystyttiin määrittämään optimaaliset runkoperän sakeudet, jonka jälkeen veden lisääminen ei enää merkittävästi paranna formaatiota, ja lujuudet ovat hyviä. Näillä kolmella neliöpainolla pyrittiin myös mallintamaan formaation arvoja matlab-sovelluksen avulla. PLS-menetelmällä mallinnettiin, sekä flokkikokoa, että -intensiteettiä. Mallinnuksen tulokset olivat positiivisia ja sen perusteella todistettiin, että formaatiota pystytään ennustamaan erittäin tarkasti jo kuuden eri viiraosan asetuksen pohjalta. Mallinnuksen perusteella olennaisesti formaatioon vaikuttaa esimerkiksi nopeus, suihkusuhde, runkoperän sakeus ja suihkun iskuetäisyys. Formaatiotutkimusta voitaisiin jatkaa esimerkiksi suihkusuhteen tai iskuetäisyyden koeajoilla, jolloin näiden muuttujien vaikutuksesta formaatioon saataisiin selkeämpi käsitys. Myös formerin painatuslistojen painetta voitaisiin kokeilla koeajolla, koska painatuslistaa ajetaan vakioaineella kartongin paksuudesta riippumatta. Myös uuden formaatiomittarin hankkiminen voisi olla ajankohtaista online-seurannan helpottamiseksi.

Kuukausittaisten laaduntarkkailupainatusten pohjalta tutkittiin painatusvärin tiheyden vaihteluun. Mottlingin todettiin kasvavan neliöpainon kasvaessa. Suurimmat korrelaatiot painatusjäljen heikentymiseen olivat pintojen sileyksistä, keskimääräisestä flokkikoosta ja kalanterin kuormasta. Näille arvoille määritettiin raja-arvoja, joilla saavutetaan hyvä painatusjälki. Kevyemmillä lajeilla selkeät raja-arvot pystyttiin määrittämään muuttujille. Selkeät korrelaatiot muuttujien välillä kuitenkin heikkenivät merkittävästi raskaalla lajilla. Näin ollen raskaiden lajien raja-arvot ennustettiin kevyemmiltä lajeilta saatujen arvojen perusteella. Bendtsen-sileyks oli suurin mottlingiin korreloiva mittaus ja sille määritettiin uudet raja-arvot kullekin neliöpainolle. Tarpeeksi pienellä pinnan karheudella päästään lähes aina hyvään painatustulokseen. Sileyden raja-arvot määritettiin Autolinen mittauksille, jotka tehdään jokaisesta konerullasta. Flokkikoolle ja kalanterin kuormalle määritettiin raja-arvot, jotka pysyvät vakioina neliöpainosta riippumatta. Hyvään painatusjälkeen päästään, kun kalanterin kuorma on aina vähintään noin 20 kN/m ja

keskimääräinen flokkikoko ei mene alle 6,5 mm, jolloin pohja muuttuu liian ryynimäiseksi painatuksen kannalta.

Säädettävien runkoviiran foililistojen asennuksen jälkeen tarkasteltiin flokkikoon ja -intensiteetin muutosta, sekä olennaisten laatuarvojen muutosta. Sakeuskoeajo toistettiin myös asennuksen jälkeen, jotta nähtäisiin, onko sakeudella saatava muutos muuttunut merkittävästi. Sakeuskoeajon yhteydessä otettiin myös testipainatusnäytteet, joita verrattiin aiempiin laaduntarkkailupainatuksiin. Analyysissä tarkasteltiin 2020 alkuvuoden ajojen formaatioiden arvojen keskiarvoja ja verrattiin niitä iTable-asennuksen jälkeisten ajojen keskiarvoihin. Tuloksista todettiin, ettei säädettävät listat vaikuttaneet merkittävästi keskimääräiseen flokkikokoon, mutta flokki-intensiteetit olivat pienentyneet lähes jokaisella lajilla. Suurimmat erot nähtiin kertapäälysteisten Tamfold-tuotteiden flokki-intensiteeteissä. Tätä selittää mahdollisesti Tamfold ajojen lyhyt kesto, jolloin optimaalisiin ajosakeuksiin ei välttämättä ehditä aina siirtymään ennen uutta lajinvaihtoa. iTable saattaa osaltansa parantaa näitä ajoja huomattavasti paremmin tämän vuoksi. iTable-asennuksen jälkeen huomattiin myös, että tehostuneen vedenpoiston myötä rungon vesimäärä tulee nostaa huomattavasti. Mikäli formerilta poistettava vesimäärä on liian pieni, runkoviiran loppupuolella on liian vähän vettä, jolloin alkuosalla ylläpidetyn turbulenssin tuoma hyöty katoaa. Tämän vuoksi formerilta poistettavan vesimäärän tulisi olla vähintään 150 l/s, jolloin vettä pysyy viiralla tarpeeksi riittävän pitkään. Laatutekijöitä tarkasteltaessa huomattiin, että kartongin paksuus on kasvanut hieman lähes jokaisella laadulla. Z-lujuuksissa ei ollut merkittäviä muutoksia parempaan suuntaan. Sileyksissä vaihtelua oli jollain lajeilla parempaan ja joillain huonompaan suuntaan. Raskailla Tamfold-tuotteilla molemmat sileydet olivat muuttuneet huomattavan paljon paremmiksi. Painatustuloksissa ei havaittu muutosta ennen- ja jälkeen vertailussa. Painatuskokeiden perusteella painatuslaatuun vaikuttaa enemmän pintojen sileydet, ja esimerkiksi päällystekerros. Koska iTablella ei onnistuttu saamaan huomattavaa muutosta ensimmäisiin painatuskokeisiin, voitaisiin painatusjäljen mottlingista tehdä jatkotutkimusta esimerkiksi päällysteen vaikutuksista. Tämä on kuitenkin jo kirjallisuudessa tärkeäksi todettu tekijä, joka mahdollisesti myös piilottaa varjoonsa osittain pohjan muutoksesta aiheutuvat erot. iTable-asennuksen jälkeinen ajoaika

jäi lyhyeksi, eikä asiantuntijat päässeet optimoimaan listojen asetuksia vallitsevan maailmantilanteen vuoksi. Sekä formaatioon, että laatuarvoihin on odotettavissa parannusta pidemmän ajoajan ja kunnollisen listojen optimoinnin jälkeen.

## LÄHTEET

- Abd El Aleem, S. & Morsi, W.M. 2013, "Characteristics", *HBRC Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 243-255.
- Borch, J., Lyne, M.B., Mark, R.E. & Habeger, C.C.J. 2002, *Handbook of physical testing of paper. Vol. 2*, 2nd ed., rev. and exp edn, Dekker, New York.
- Enomae Toshiharu & Onabe Fumihiko 1997, "Characteristics of Parker Print-Surf Roughness as compared with Bekk Smoothness", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, vol. 53, no. 3, pp. 30-41.
- Escabias, M., Aguilera, A.M. & Valderrama, M.J. 2007, "Functional PLS logit regression model", *Computational Statistics and Data Analysis*, vol. 51, no. 10, pp. 4891-4902.
- Figiel, K., Gill, J., MacHattie, R., Nuyan, S., Sturm, S. & Tippett, J. 2010, *Paper machine quality control systems (QCS). Vol. 1, Measurement systems and product variability*, TAPPI Press, Norcross (GA).
- Garcia, D., Luiz, Fernando de Lima Luz Junior & Vieira, O. 2018, "Analysis of the Behavior of Mottling in Coated Board using Neural Networks", *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 5, no. 5, pp. 161-168.
- Guesalaga, A.R., Alvarez, X. & Rodriguez, F. 1993, "Online measurement of quality variables in paper: formation and creping", *IEEE*, , pp. 366.
- Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005, *Paperin ja kartongin valmistus*, 3. [i.e.] 4. p. edn, Opetushallitus, Helsinki.
- Holik, H. 2006, *Handbook of paper and board*, Wiley, Weinheim.
- Honeywell 2010, , *Experion MX Formation Measurement*. Available: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/Experion-MX-Formation-PN-10-29-ENG.pdf> [2020, 18.3.].
- Hu, K.T., Li, M. & Hu, B. 2012, "The Impact of Paper Formation on Printability", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 217-219, pp. 849-852.
- IBS (a) 2020, , *iTable*. Available: <https://www.ibs-ppg.com/content/itable> [2020, Mar 4,].
- IBS (b) 2020, *iTable koulutusmateriaali*.

- Kasajová, M. & Gigac, J. 2013, "Comparison of print mottle and surface topography testing methods", *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, vol. 28, no. 3, pp. 443-449.
- Kuusipalo, J. 2008, *Papermaking Science and Technology: Paper and Paperboard Converting. Book 12*, Paperi ja Puu Oy.
- Levlin, J.E. & Söderhjelm, L. 1999, *Papermaking Science and Technology: Pulp and paper testing. Book 17*, Fapet.
- Lu, X. 1998, *PRINT MOTTLE OF WOOD-CONTAINING PAPER: THE EFFECT OF FINES AND FORMATION*, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto.
- Niskanen, K. 2008, *Papermaking Science and Technology: Paper Physics. Book 16*, Paperi ja Puu Oy.
- Office Support 2020, , *CORREL function*. Available: <https://support.office.com/en-us/article/correl-function-995dcef7-0c0a-4b> [2020, 14.4.].
- Paulapuro, H. 2007, *Papermaking Science and Technology: Papermaking, Part 1: Stock Preparation and Wet End. Book 8*, Paperi ja Puu Oy.
- Paulapuro, H. 2000, *Papermaking Science and Technology: Paper and board grades. Book 18*, Fapet.
- Saarelma, H. & Oittinen, P. 2009, *Papermaking Science and Technology: Print Media - Principles, Processes and Quality. Book 13*, Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.
- Stora Enso 2020, *Ingerois Mill (WeShare)*.

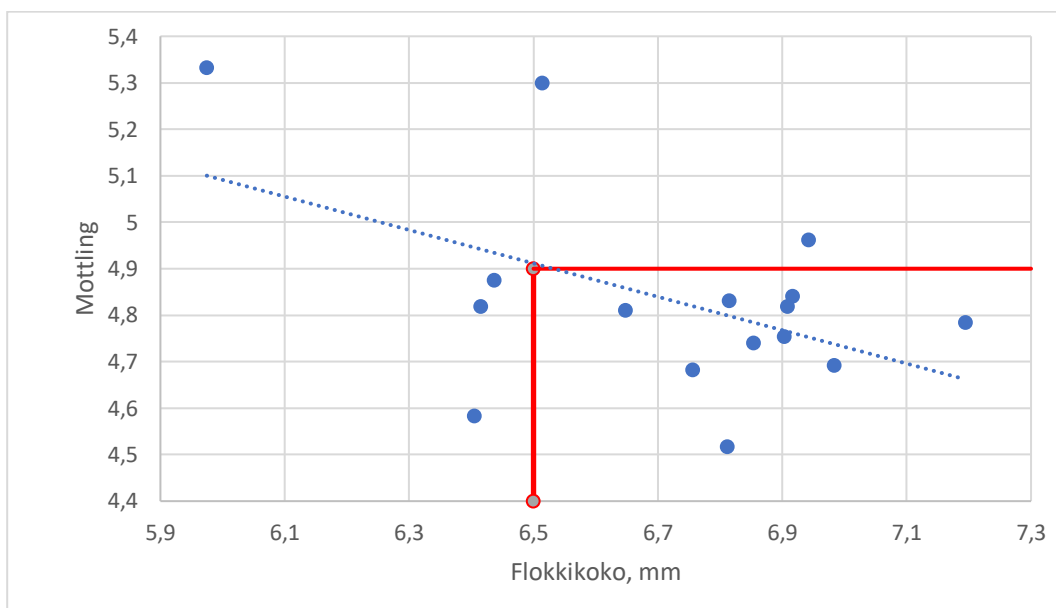
## **LIITTEET**

Liite I      Testipainatusten perusteella määritettyjä raja-arvoja

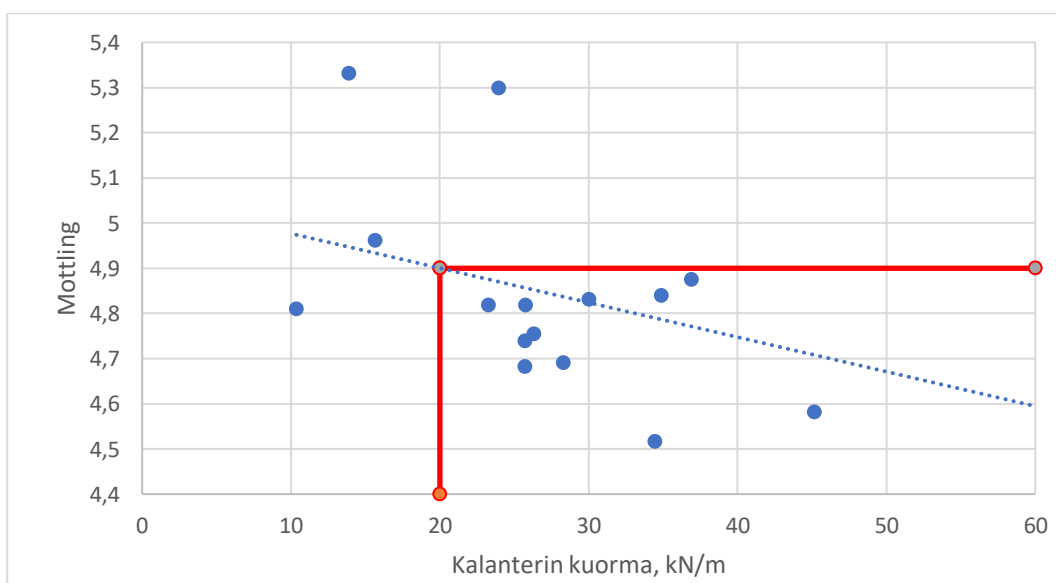
Liite II     PLS-mallit kevyelle ja painavalle kartongille



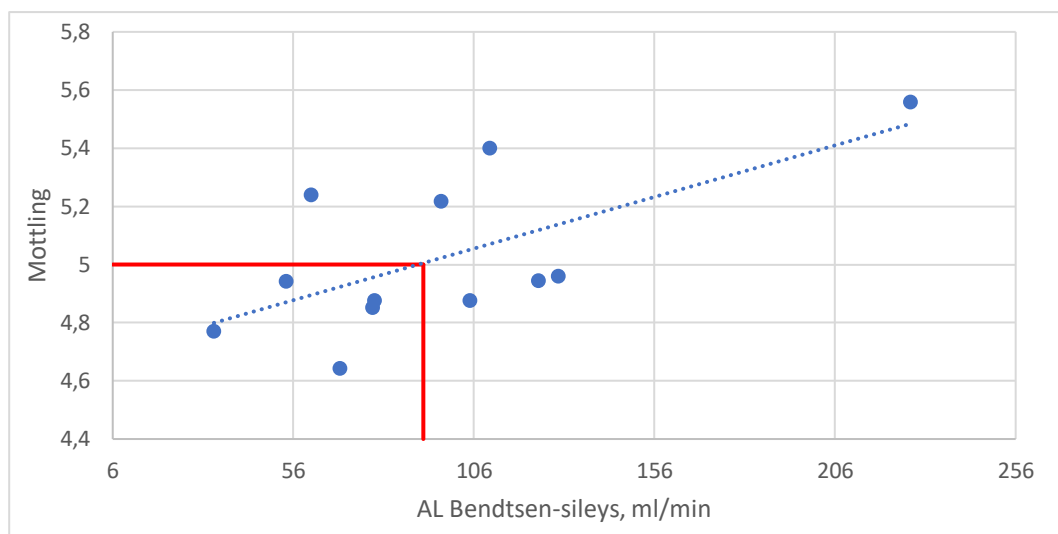
**Painatusnäytteiden pohjalta määritettyjä raja-arvoja Bendtsen-sileydelle, flokkikoolle ja kalanterin kuormalle TB200- ja TB250-lajeilla**



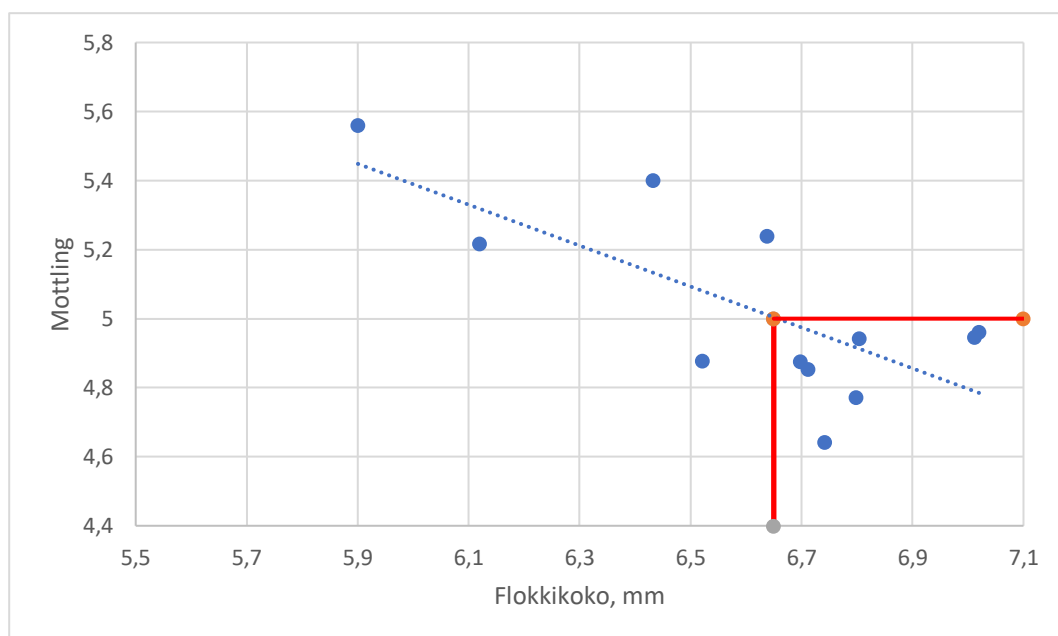
Kuva 1 Flokkikoon raja-arvon määrittäminen mottlingin perusteella TB200-lajilla



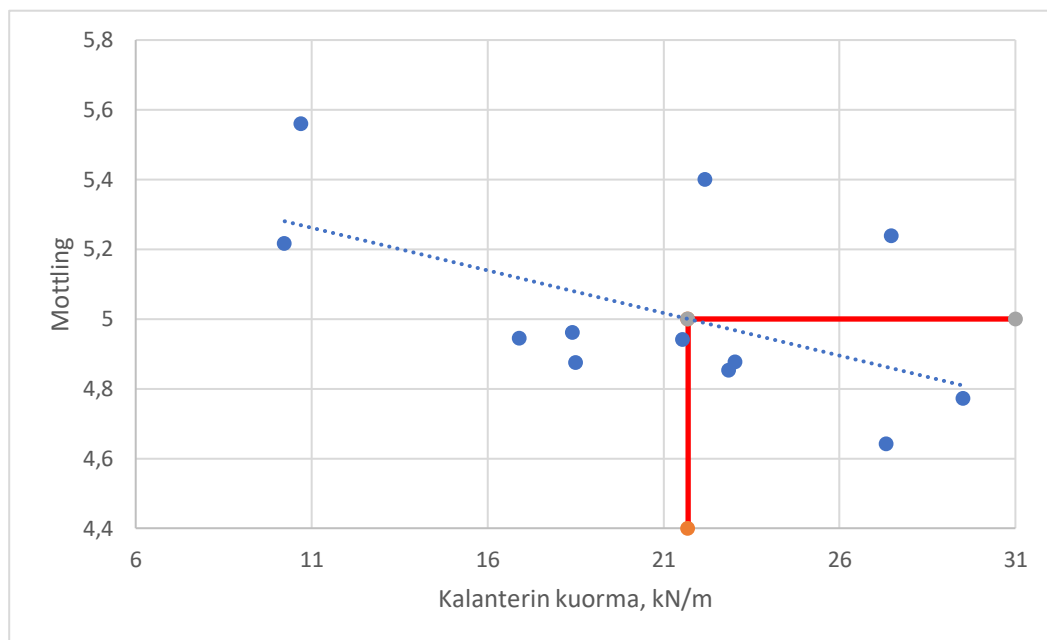
Kuva 2 Kalanterin kuorman raja-arvon määrittäminen mottlingin perusteella TB200-lajille



Kuva 3 AL Bendtsen-sileyden raja-arvon määrittäminen mottlingin perusteella TB250-lajilla

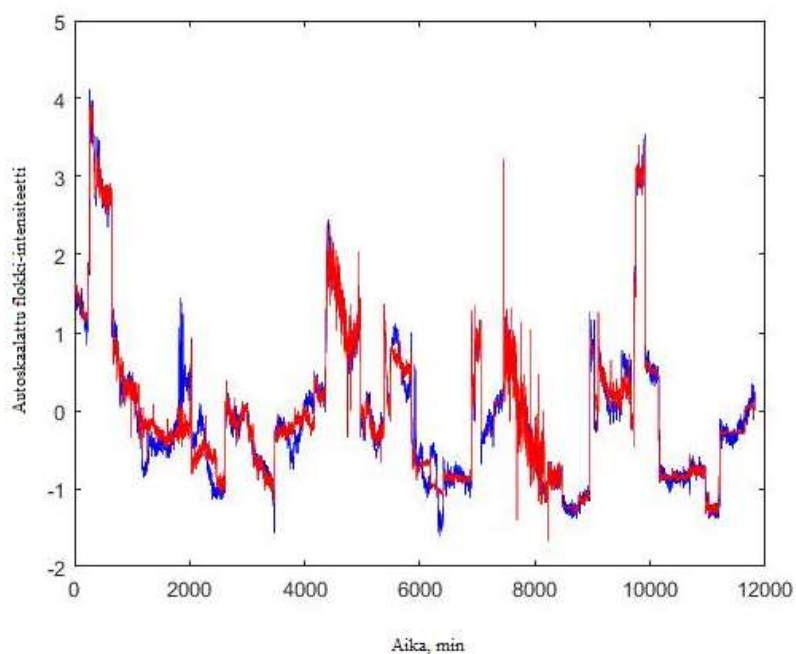


Kuva 4 Flokkikoon raja-arvon määrittäminen mottlingin perusteella TB250-lajilla

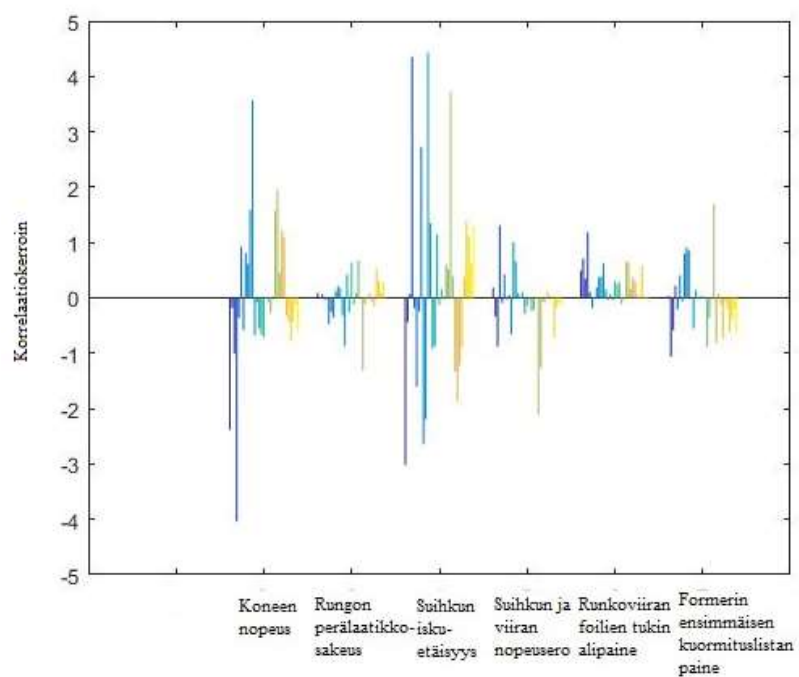


Kuva 5 Kalanterin kuorman raja-arvon määrittäminen mottlingin perusteella TB250-lajille

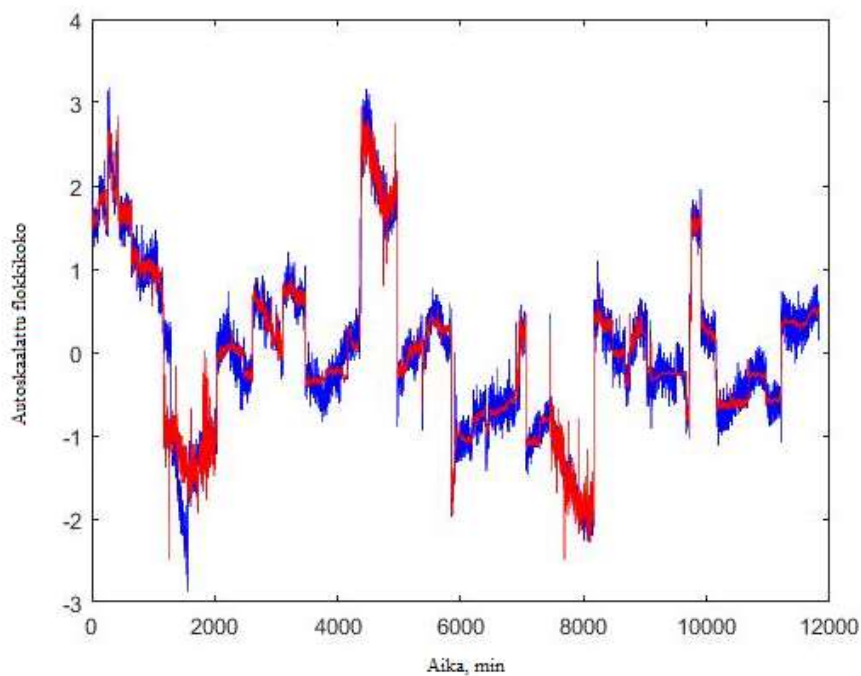
**Flokki-intensiteettien ja flokkikokojen PLS-mallit, ja muuttujien väliset regressiokertoimet TB200- ja TB310-lajeilla**



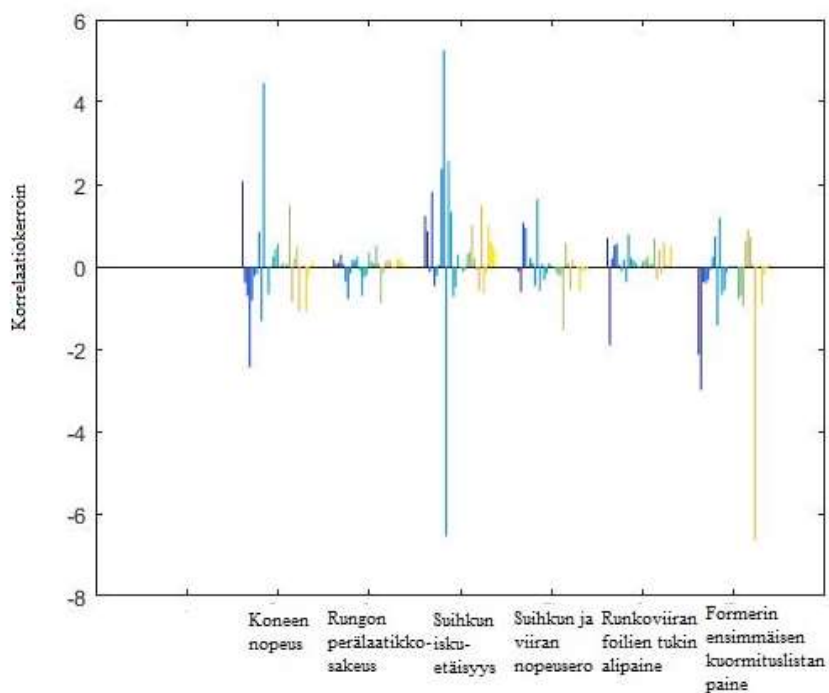
Kuva 1 TB200 lajin flokki-intensiteetti, ja sen estimaatit mallinnettuna PLS-menetelmällä



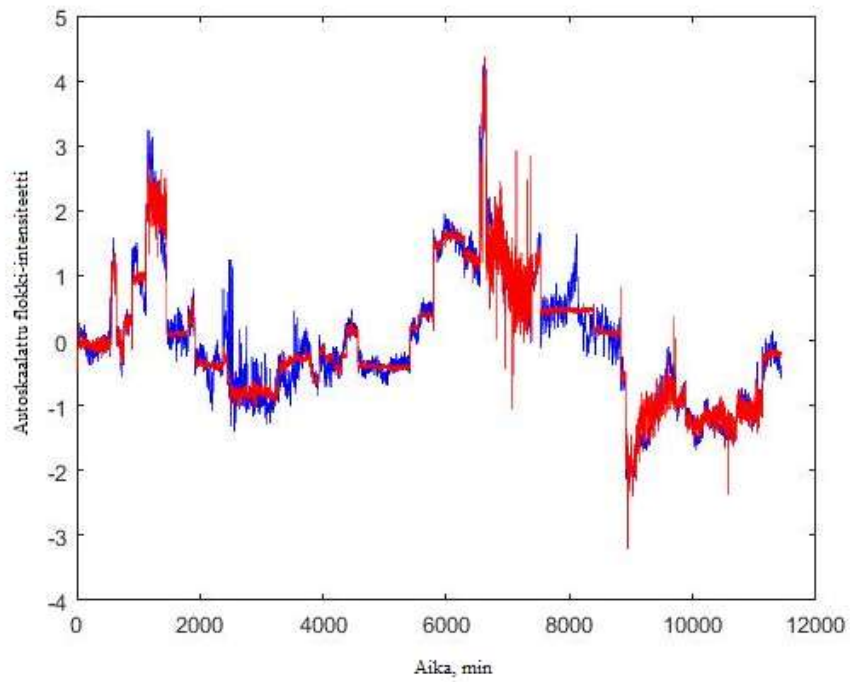
Kuva 2 TB200 lajin flokki-intensiteettiä selittävien muuttujien regressiokertoimet PLS-mallissa



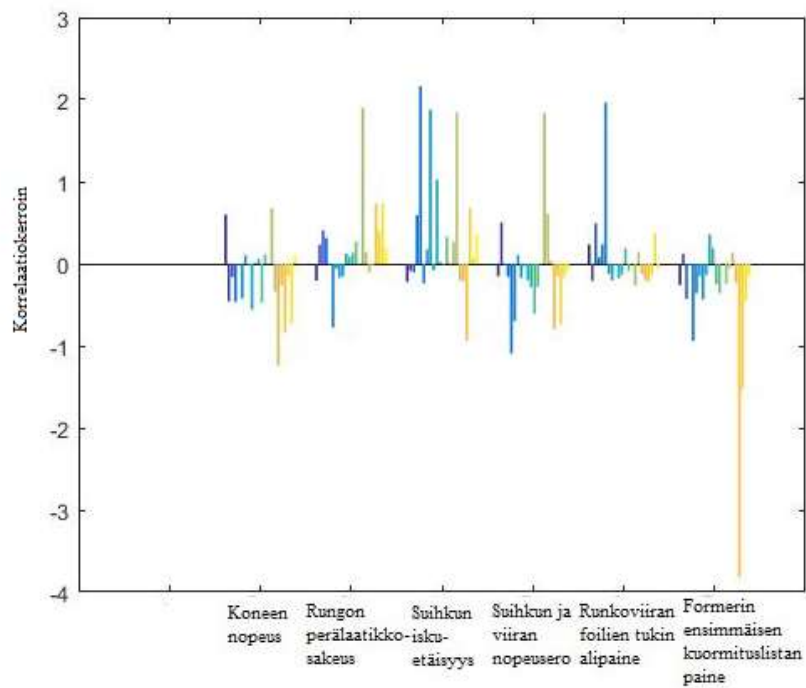
Kuva 3 TB200 lajin keskimääräinen flokkikoko, ja sen estimaatit mallinnettuna PLS-menetelmällä



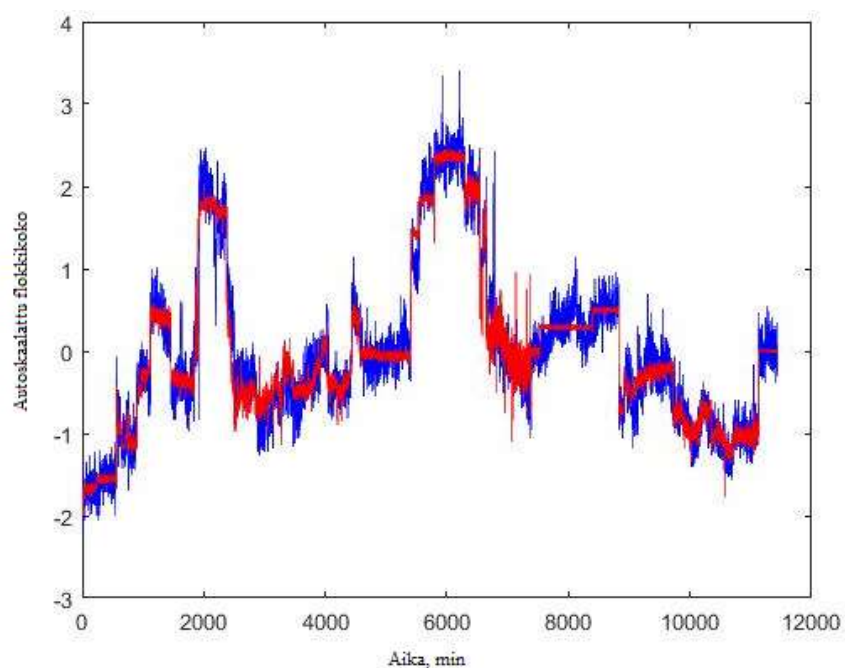
Kuva 4 TB200 lajin keskimääräistä flokkikokoa selittävien muuttujien regressiokertoimet PLS-mallissa



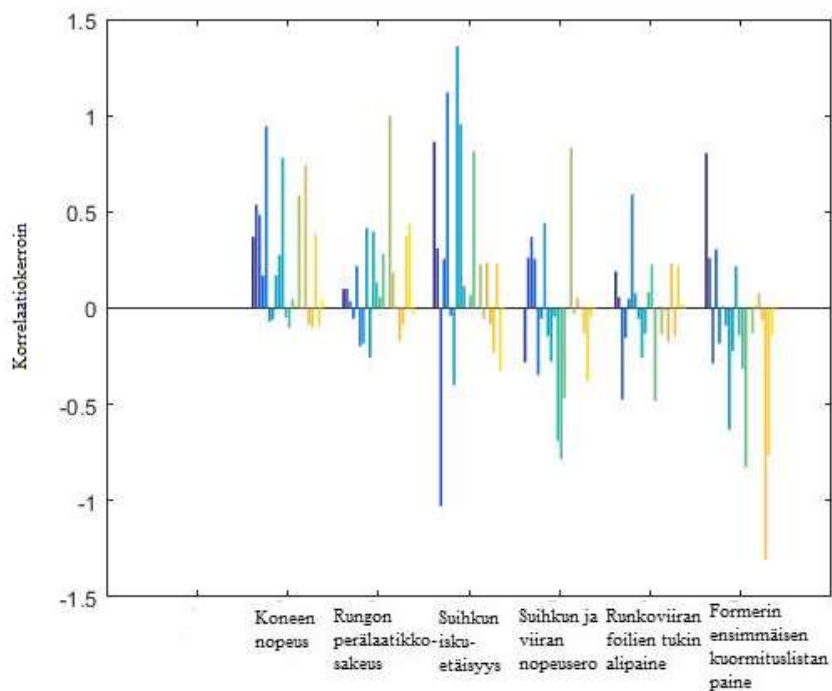
Kuva 5 TB310 lajin flokki-intensiteetti, ja sen estimaatit mallinnettuna PLS-menetelmällä



Kuva 6 TB310 lajin flokki-intensiteettiä selittävien muuttujien regressiokertoimet PLS-mallissa



Kuva 7 TB310 lajin keskimääräinen flokkikoko, ja sen estimaatit mallinnettuna PLS-menetelmällä



Kuva 8 TB310 lajin keskimääräistä flokkikokoja selittävien muuttujien regressiokertoimet PLS-mallissa