



KARTONKIKONEEN MIKROBIHALLINNAN OPTIMOINTI

Miika Mäki

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2020

Biotuote- ja prosessitekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka

MÄKI MIIKA:
Kartonkikoneen mikrobihallinnan optimointi

Opinnäytetyö 22 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Joulukuu 2020

Tämä tutkimus suoritettiin Solenis Finland Oy:n toimesta Metsä Board Takon kartonkitehtaalla. Työssä tutkittiin neljän erilaisen biosidin ja kahden eri pitoisuuden toimivuutta anaerobisissa olosuhteissa. Tutkimustuloksia voidaan käyttää hyväksi valmistusprosessin eri raaka-aineiden biosidi-käsittelyä optimoitaessa.

Kyseessä oli kvantitatiivinen tutkimus, jossa selvitettiin kuinka rinnakkaiset biosidit toimivat näytteessä kahdella eri pitoisuudella. Tutkimuksessa tarkoituksena oli mitata näytteiden ATP-, redox- ja pH-pitoisuuksia, jotka ovat keskeisimpiä mittauksia kartonkikoneen mikrobihallinnassa. Tulosten pohjalta voidaan selvittää, kuinka biosidit eri pitoisuuksissa toimivat näytteissä ja kuinka kauan niiden teho kestää. Mittaustuloksista muodostetaan havainnollisia kuvaajia, joiden avulla pystytään havainnollistamaan mahdolliset biosidien aiheuttamat muutokset näytteessä.

Tulosten perusteella selvisi, että suurin vaikuttava tekijä oli biosidin pitoisuus näytteessä. Useimmissa näytteissä etenkin ATP- ja redox-tasot olivat korkeammilla pitoisuuksilla paremmat koko mittausjakson ajan. Muutamia poikkeuksia havaittiin massatärkin näytteissä, joissa biosidin lisäämisellä ei nähty selvää vaikutusta lopputuloksiin, johtuen todennäköisesti jo massatärkkelysnäytteen sisältämästä biosidista. Lisäksi eroja havaittiin myös hylkyjen kohdalla, joissa toinen rinnakkaisista biosideista toimi paremmin kummallakin vertailussa olevalla pitoisuudella. Tutkimuksessa selvisi, että ilmatiiviin purkin sisälle muodostui nopeasti anaerobinen tila, joka vaikutti osan redox-tulosten luotettavuuteen. Polymeeri säilyi kerätyistä näytteistä parhaiten ja tulosten perusteella sen biosidi-käsittelyssä voidaan käyttää kumpaakin vertailussa olevaa biosidia alhaisemmillä pitoisuuksilla. Jatkotutkimusehdotuksena olisi suorittaa samankaltainen tutkimus myös aerobisissa olosuhteissa, jotka ovat lähempänä todellisia olosuhteita kartongin valmistusprosessissa.

Opinnäytetyön kokeellinen osuus, tulokset ja johtopäätökset ovat salassa pidettäviä ja näin ollen poistettu julkisesta versiosta.

Asiasanat: ATP, redox, pH, mikrobi, anaerobinen, bakteeri, taivekartonki

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and Process Engineering

MÄKI MIIKA:
Optimization of Microbial Control of a Board Machine

Bachelor's thesis 22 pages, appendices 0 pages
December 2020

This study was carried out by Solenis Finland Oy at Metsä Board Tako's board mill. The work investigated the functionality of four different biocides and two different concentrations under anaerobic conditions. The research results can be used to optimize the biocide treatment of different raw materials in the manufacturing process.

The purpose of the study was to measure ATP, redox and pH concentrations of the samples, which are the most important measurements in the microbial control of a board machine. Based on the results, it can be determined how the biocides at different concentrations work in the samples and how long their potency lasts.

The results showed that the main influencing factor was the concentration of the biocide in the sample. In most samples, especially ATP and redox levels were better at higher concentrations throughout the measurement period. A few exceptions were observed in pulp starch samples where the addition of the biocide did not show a clear effect on the results, due to the biocide already contained in the sample. In addition, differences were also observed for broke where one of the parallel biocides performed better at both concentrations compared. The study revealed that an anaerobic state rapidly formed inside the airtight jar, which affected the reliability of the results of some of the redox potential. A further study proposal would be to perform a similar study under aerobic conditions that are closer to the actual conditions in the board manufacturing process.

The experimental part, results and conclusions of the thesis are confidential and thus removed from the public version.

Keywords: ATP, redox, pH, microbe, anaerobic, bacteria, folding boxboard

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TAIVEKARTONKI	7
	2.1 Taivekartongin rakenne ja ominaisuudet.....	7
	2.2 Taivekartongin valmistus.....	8
	2.2.1 Rainanmuodostus.....	9
	2.2.2 Märkäpuristus.....	9
	2.2.3 Kuivatusosa	10
	2.2.4 Pintaliimaus	11
	2.2.5 Päälystys	12
	2.2.6 Kalanterointi	12
3	TAIVEKARTONKI ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA	14
	3.1 Elintarvikekontaktimateriaalit.....	14
4	MIKROBIOLOGIA.....	15
	4.1 Enterobakteerit.....	15
	4.1.1 Maaperäbakteerit.....	16
	4.1.2 Pilaaja- ja anaerobiset mikrobit.....	16
5	MIKROBIOLOGISEN PUHTAUDEN HALLINTA JA SEURANTA	17
	5.1 Mikrobin kasvu ja hallinta prosessiolosuhteissa	17
	5.2 Puhtauden seuranta.....	18
	5.2.1 Luminometria.....	18
	5.2.2 Kastolevyt.....	19
	5.2.3 Redox-potentiaali.....	19
	5.2.4 Vapaa kloori ja pH	20
	LÄHTEET.....	22

1 JOHDANTO

Taivekartonki toimii pakkausmateriaalina monissa erilaisissa kuluttajatuotteissa. Taivekartongilta vaaditaan jäykkyyttä, puhtautta sekä hyviä optisia ominaisuuksia. Usein sekundääripakkauksena oleva taivekartonkipakkaus toimii tuotteen suojaamisen lisäksi myös informatiivisena ja myyntiä edistävänä pintana. Tämän takia taivekartongilta vaaditaan myös hyviä painettavuusominaisuuksia, jotta sen pintaan on mahdollista painaa tarkka ja virheetön painokuva. Primääri- tai sekundääripakkauksena siltä vaaditaan riittävää mikrobiologista puhtautta, jotta pakkaus ei vaarantaisi kuluttajan terveyttä tai kontaminoisi itse tuotetta.

Kartongin valmistusprosessi toimii otollisena elinympäristönä erilaisille mikrobeille. Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen ja lisääntyäkseen riittävästi happea, ravintoa, lämpöä, kosteutta sekä sopivan happaman ympäristön. Ilman minkäänlaista mikrobihallintaa ne lisääntyvät räjähdysmäisesti. Bakteerien liikakasvu aiheuttaa valmistusprosessissa huomattavien ajettavuusongelmien lisäksi myös terveydellisen riskin työntekijöille. Ongelmia näkyy myös lopputuotteen laadussa ja hygieniassa, joka voi pahimmillaan vaarantaa kuluttajan terveyden.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia kahden uuden biosidin toimivuutta vertaamalla niitä kahteen, referenssinä toimivaan biosidiin. Työssä on kerätty kartongin valmistusprosessista erilaisia näytteitä, joihin syötetään joko referenssinä toimivaa tai tutkittavaa uutta biosidia tietty määrä. Tuloksissa vertaillaan esimerkiksi biosidin määrän vaikutusta sekä biosidin tehon hiipumista aikaan nähden.

Mittaukset suoritetaan pienessä mittakaavassa kartongin valmistusprosessin sijaan, jotta muuttujia olisi mahdollisimman vähän. Tämän takia lopputuloksista ei voida tehdä lopullisia johtopäätöksiä, koska olosuhteet tehtävän työn ja itse kartongin valmistusprosessin kanssa ovat hyvin erilaiset, mutta suuntaa antavia tuloksia työ kuitenkin tarjoaa. Tuloksia voidaan käyttää apuna pohtiessa, onko

mahdollisesti uuden biosidin käyttö taloudellisesti sekä toimivuuden kannalta järkevää.

2 TAIVEKARTONKI

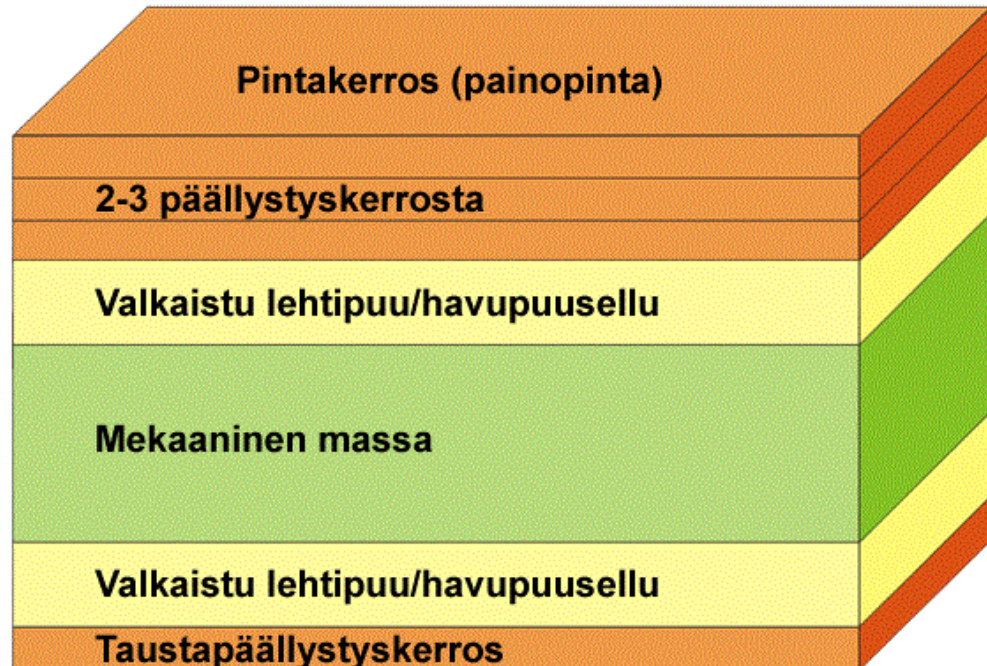
2.1 Taivekartongin rakenne ja ominaisuudet

Kartonki ja paperi erotellaan toisistaan yleisesti neliömassan sekä kerrosrakenteen avulla. Paperiksi voidaan luokitella neliömassan mukaan yksikerrostuotteet, joiden neliömassa on alle 225 g/m². Vastaavasti taas kartongit ovat muutamaa tuotetta lukuun ottamatta monikerrostuotteita ja niiden neliömassat vaihtelevat 150–600 g/m² välillä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 8–9)

FBB (Folding Box Board) eli taivekartonki on monikerroskartonki, jonka yleisimmät käyttökohteet ovat kosmetiikka-, alkoholi-, elintarvike-, savuke- sekä lääkepakkaukset. Taivekartongilta vaaditaankin hyvien jäykkyys- ja lujuusomaisuuksien lisäksi ulkonäköön liittyviä ominaisuuksia, kuten hyvää painettavuutta, koska pakkaus toimii myös informatiivisena ja tuotetta myyvänä pohjana. Tämän lisäksi taivekartongin tulee olla puhdasta, eikä siitä saa siirtyä hajuja, makuja tai haitallisia aineita tuotteeseen. Pakkaukselta vaaditaan hyvää nuutattavuutta, eli pakkausta muodostettaessa saumojen taitekohtien tulee olla siistejä, eikä pinta saa revetä, kun se taitellaan muotoonsa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 73–74)

Taivekartonki koostuu useimmiten kolmesta kerroksesta, pinta-, sisä- ja taustakerroksesta. Tyypillisesti pintakerroksen neliömassa on 45–60 g/m² ja taustakerroksen 25–30 g/m². Kartongin pinta- ja taustakerrokset koostuvat valkaistusta havu- tai lehtipuusellusta. Pinta- ja taustakerroksien neliömassat pyritään pitämään vakiona, jolloin sisäkerroksen neliömassaa muuttamalla vaikutetaan lopputuotteen neliömassaan. Kuluttajapakkauksen yhtenä suurimpana laatuvaatimuksena on sen hyvä jäykkyys. Tähän ominaisuuteen vaikutetaan kartongin sisäkerroksella, jonka valmistukseen käytetään mekaanista massaa tai esim. CTMP:tä sekä omaa hylkyä. Sisäkerros pyritään valmistamaan mahdollisimman bulkikiseksi ja paksuksi laatuvaatimusten rajoissa, jolloin voidaan edullisesti vaikuttaa kartongin jäykkyyteen. Vastaavasti pinta- ja taustakerros valmistetaan lujimmista massoista, jolloin voidaan kasvattaa niiden

kimmomodulia ja jäykkyyttä. Pinta- ja taustakerrokseen altistuu suurin rasitus esim. nuuttauksen ja taittelun aikana, joten niiden on kestävä nämä ilman pinnan hajoamista. Pintakerroksessa käytettävä massa on usein pitkälle jauhettua hyvän sileyden, painettavuuden ja jäykkyyden vuoksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 73–74)



KUVIO 1. Taivekartongin raaka-ainekoostumus (KnowPap 2020)

2.2 Taivekartongin valmistus

Kartonkikone voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, märkápäähän, johon kuuluu perälaatikko, viiraosa ja puristinosa sekä kuivapäähän, joka koostuu kuivatusosasta ja rullaimesta. Kuivatusosan yhteydessä voi olla myös on-line pintaliimaus, päällystys sekä kalanterointi. Rullaimen jälkeen valmis konerulla leikataan joko pituus- tai arkkileikkurilla asiakkaan vaatimusten mukaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 15–16)

2.2.1 Rainanmuodostus

Kartonkikoneen rainanmuodostusosaan kuuluu perälaatikko ja sen syöttöputkisto sekä viiraosa. Monikerroskartonkien kerrokset valmistetaan usein erikseen omilla rainanmuodostusosilla. Monikerroskartonki on myös mahdollista valmistaa monikerrosperälaatikon avulla yhdelle viiraosalle, mutta sillä voi olla negatiivisia vaikutuksia esim. kuituorientaation säätöön, 0-vesien erotukseen ja formaation säätöön. Rainanmuodostuksen aikana voidaan vaikuttaa moneen tärkeään lopputuotteen ominaisuuteen, kuten orientaatioon ja formaatioon, joihin ei juurikaan voida enää rainanmuodostuksen jälkeen vaikuttaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 131, 135, 144)

Rainanmuodostusosalla perälaatikon ja syöttöputkiston tehtävänä on tuottaa viiraosalle koneen levyinen tasainen suihku, hajottaa kuituflokkeja turbulenssin avulla sekä tasata painevaihteluita ja virtaushäiriöitä. Lyhyen kierron putkistosta oikea sakeuksinen sulppu virtaa ennen perälaatikkoa olevaan jakotukkiin, jonka tehtävänä on tasata perälaatikkoon menevän sulpun virtausnopeutta. Perälaatikossa sulppuun aiheutetaan erilaisia leikkausvoimia sekä turbulenssia, jotta mahdolliset kuituflokkit voidaan hajottaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 131)

Perälaatikolta tuleva sulppu suihkutetaan viiraosalla olevalle viirakudokselle, jonka suurimpana tehtävänä on poistaa rainasta vettä suotauttamalla, hallita hydrodynaamisia voimia halutun kuitu- ja täyteaineretention aikaan saamiseksi sekä saattaa raina riittävään kuiva-ainepitoisuuteen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 131)

2.2.2 Märkäpuristus

Viiraosan jälkeen, ennen puristinosaa rainan kuiva-ainepitoisuus on noin 15–20 %. Puristinosalla raina kulkee yhden tai kahden puristinhuovan kanssa yhdessä kahden toisiaan vasten olevan telan muodostaman nipin välistä. Nipin aiheuttaman puristuksen avulla vesi siirtyy rainasta huopaan hydraulisen paineen avulla ja siitä edelleen teloille. Veden siirtymiseen vaikuttaa moni asia, kuten

lämpötila, huovan ja telan rakenne, viivakuorma ja viipymäaika nipissä sekä massan koostumus ja jauhatustaso. Puristusosan jälkeen kuiva-ainepitoisuus on 40–55 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 155–161)

Kartonkikoneiden puristinosalla käytetään usein imutelaä tai sokeaporattua telaa varsinkin 1-puristimella suurien vesimäärien takia. Nykypäivänä puristinosalla käytetään myös isotelapuristimia, joilla nipin pituutta saadaan kasvatettua. Näin ollen vedellä on enemmän aikaa virrata nipistä pois. Taivekartonkikoneiden viimeinen puristin on usein isotelapuristin, joka mahdollistaa suuren viivakuorman ja nipin pituuden. Puristimien kuorma ei kuitenkaan voi olla liian suuri, jotta kartongin bulkkisuus ja taivutusjäykkyys säilyy halutulla tasolla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 155–161)

2.2.3 Kuivatusosa

Kuivatusosalla rainaa kuivataan höyryllä lämmitettyjen telojen avulla. Sylinterien sisään syötetään kuumaa höyryä, joka lämmittää sylinterin pintaa. Raina on kosketuksissa sylinterin pintaan, jonka aikana rainan lämpötila nousee ja siitä haihtuva vesi siirtyy kuivatusviiraan ja sen läpi. Raina on vielä hauras sen siirtyessä kuivatusosalle, joten kuivatusosan alussa se kulkee kahden viiran välissä tuettuna ala- ja yläsylinterien välillä. Tätä kutsutaan yksiviiravienniksi. Kaksiviiraviennissä ala- ja yläsylintereillä on omat kuivatusviirat. Kuivatusosalla on monta erillistä kuivatusryhmää, joiden sylinterien lämpötilat kasvavat kuivatusosan loppua kohden. Kuivatusosan alussa sylinterien lämpötilat ovat hieman alhaisemmat, jotta raina ei palaisi sylinteriin kiinni. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 163–164)

Kuivatusosalla säädetään on-line -mittausten avulla rainan kosteusprofiilia riippuen siitä, mitä rainalle tehdään kuivatuksen jälkeen. Mikäli paperi tai kartonki halutaan päällystää tai pintaliimata, kosteus säädetään yleensä noin 1,5–4 %:iin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 163)

Taivekartongin valmistuksessa käytetään usein kuivatusosalla myös jenkki sylinteriä, joka on muita kuivatussyntereitä huomattavasti suurempi,

halkaisijaltaan noin 4–7 m. Jenkkisyylinterin tehtävänä on kuivata ja kiillottaa kartonkia ilman suurta puristusta, jolloin bulkki ja jäykkyys säilyy. Rainan saapuessa jenkkisyylinterille sen kuiva-ainepitoisuus on noin 58–60 % ja sylinterin jälkeen 68–70 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 169)

2.2.4 Pintaliimaus

Pintaliimaus on tyypillinen osaprosessi kartonkikoneilla. Liimauksessa kartongin jäykkyyttä, pinalujuutta ja absorptio-ominaisuuksia pyritään parantamaan. Pintaliimauksessa käytetään yleensä tärkkelysliuosta, mutta siinä voidaan käyttää myös CMC:tä ja PVA:ta sekä näiden kahden yhdistelmäseoksia. Pintaliimausyksikkö sijoitetaan kuivatusosalle niin, että kuivatusosan kokonaiskapasiteetista on noin kolmasosa jäljellä liimauksen jälkeen. Pintaliimausmekanismeja on kaksi: lammikkoliimapuristin ja filminsiirtoliimapuristin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 180)

Lammikkoliimapuristimessa kahden telan nipin välissä on lammikkona pintaliimaa, jonka läpi raina ajetaan. Liimapuristimen alatela on kumia tai polyuretaania ja ylätela taipumasäädettävä metallitela. Rainaan imeytyvän kuivan tärkkelyksen määrä riippuu liuoksen viskositeetista, väkevyydestä, rainan huokoisuudesta, karheudesta ja neliömassasta. Lammikkoliimapuristimen heikkoutena voidaan pitää sen nopeusrajoittuneisuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 180–181)

Filminsiirtoliimapuristimessa liimafilmi annostellaan telojen päälle ja siitä rainan pintaan. Filminsiirtopuristimen etuina ovat muun muassa korkeammat ajonopeudet, pintaliiman suurempi kuiva-ainepitoisuus, mahdollisuus käyttää pigmenttejä pintaliimassa sekä pienempi ratakatkoherkkyys. Huonona puolena voidaan pitää rainan huonompaa palstautumislujuuutta, koska liima jää rainan pintaan eikä penetroidu yhtä syväälle. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 181)

2.2.5 Päällystys

Kartonki voidaan päällystää erilaisilla aineilla parantaakseen kartongin ulkonäköä ja painettavuusominaisuuksia sekä täyttämään pinnan epätasaisuudet. Päällystyksellä voidaan vaikuttaa myös rasvan ja veden kestoon sekä kartongin jäykkyyteen. Näitä aineita ovat muun muassa pigmentit, muovit, vahat, sideaineet ja näiden yhdistelmät. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 184)

Päällyste syötetään rainan pintaan vesiseoksena, jonka jälkeen ylimääräinen vesi haihdutetaan siitä pois päällysteen kuivatukseen tarkoitetuilla laitteilla, kuten infrapuna- ja leijukuivaimilla. Kartonki voidaan päällystää useampaan kertaan molemmilta tai vaan toiselta puolelta. Pinnat voivat päällystysen jälkeen olla identtisiä tai toispuoleisia, riippuen lopputuotteen vaatimuksista. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 184, 201)

Päällystykseen kuuluu kaksi vaihetta, päällysteen applikointi eli sively ja päällysteen tasoitus. Applikointivaiheessa päällystyspasta tuodaan rainan pintaan esimerkiksi telan, applikointikammion tai suuttimien avulla. Ero päällystyslaitteiden välillä nähdäänkin usein niiden applikointitapahtumassa. Päällysteen tasoitusvaihe on kuitenkin lähes kaikilla laitteilla sama. Päällysteen applikoinnin jälkeen sen määrää säädellään kaavinterällä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 191–194)

2.2.6 Kalanterointi

Kalanteroinnissa kartonki ajetaan kahden telan välisestä nipistä. Tällöin sen muoto muuttuu tason ja pakkaussuunnassa. Kalanterointi on viimeinen kartongin valmistuksen osaprosessi, jolla voidaan merkittävästi vaikuttaa kartongin ominaisuuksiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 204)

Kalanterointiin kuuluu kaksi vaihetta, esi- ja loppukalanterointi. Esikalanterointi tapahtuu ennen päällystysyksiköitä ja sen tehtävänä on hallita karheus- ja huokoisuustasoja sekä neliömassa- ja kosteusvaihteluita. Loppukalanteroinnilla vaikutetaan pinnan paino-ominaisuuksiin kuten sileyteen ja kiiltoon. Liian

voimakas kalanterointi aiheuttaa kartongissa myös ei-toivottuja ominaisuuksia, kuten lujuuksien, jäykkyyden ja paksuuden laskua. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 204)

3 TAIVEKARTONKI ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA

Taivekartonkia käytetään pakkausmateriaalina monille erilaisille tuotteille, kuten esimerkiksi suklaalle, pakastetuotteille, savukkeille ja hygienia tuotteille. Tuotteesta ja pakkaustavasta riippuen ne ovat joko suorassa tai epäsuorassa kontaktissa tuotteeseen.

3.1 Elintarvikekontaktimateriaalit

Kontaktimateriaaleiksi luetaan kaikki elintarvikkeeseen epäsuorassa tai suorassa kontaktissa olevat materiaalit. Elintarvikekontaktimateriaalit eivät saa vaikuttaa haitallisesti kontaktissa olevaan tuotteeseen tai kuluttajan terveyteen. Kartongin ja paperin kohdalla tuotteen valmistajan on myös ilmoitettava, mikäli tuotteeseen on käytetty valkaisua sekä kierrätyskuidun määrää. Kontaktimateriaali ei saa aiheuttaa elintarvikkeelle kemikaalista, fysikaalista tai mikrobiologista vaaraa. Kontaktimateriaalien puhtaus on hyvin tärkeää, koska mikrobiologisesti saastunut pinta saastuttaa myös siihen kosketuksissa olevan elintarvikkeen. (Elintarviketeollisuus 2018)

Pakkauksen on suojattava tuotetta ulkoisilta rasituksilta, kuten kuljetuksien aikana syntyviltä mekaanisilta rasituksilta, valolta, lämpötilan ja kosteuden muutoksilta, haju- ja makuhaitoilta, mikrobiologiselta kontaminaatiolta sekä pölyltä ja lialta. Nämä ulkoiset haitat voivat vaikuttaa pakatun tuotteen puhtauteen ja laatuun. (Kuusipalo 2008, 287)

4 MIKROBIOLOGIA

Lopputuotteen kemiallisten, fysikaalisten ja biologisten vaarojen lisäksi siihen voi liittyä mikrobiologisia vaaroja. Näitä mikrobiologisten vaarojen aiheuttajia ovat patogeeniset eli tautia-aiheuttavat mikro-organismit, pilaajamikrobit tai mikrobien tuottamat toksiniit ja myrkylliset aineet. Usein mikrobien eloonjääminen ja ei-toivottu lisääntyminen jossain valmistusvaiheessa, lopputuotteessa tai prosessiympäristössä vaikuttavat tuotteen laatuun, puhtauteen ja turvallisuuteen. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

4.1 Enterobakteerit

Suolistoperäisiksi bakteereiksi kutsutut enterobakteerit ovat suoliston normaaliflooraan kuuluvia taudinaiheuttajia ja mikrobeja. Enterobakteereihin kuuluva *E. coli* kuuluu ihmisen suoliston normaaliflooraan, mutta sen serotyypit voivat aiheuttaa suolisto- ja virtsatieinfektioita. Varsinkin siipikarjasta ja pilaantuneesta ruuasta peräsin ovat *Salmonella ser. Typhimurium* ja *Salmonella ser. Enteritidis* voivat myös aiheuttaa suolistoinfektioita. Paperi- ja kartonkikoneen märässä päässä tavattu *Klebsiella pneumoniae* on myös merkittävä patogeeni, mutta sen sukuun kuuluu myös ihmisen suoliston normaaliflooraan kuuluvia bakteereja. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

Kyseisiä suolistoperäisiä bakteereja ei saa esiintyä pakkauksissa, jotka ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa. Bakteerit voivat mahdollisesti siirtyä pakkauksesta elintarvikkeeseen. Pitkät säilytysajat mahdollistavat bakteerien lisääntymisen. Näitä bakteereja voi joutua pakkaukseen muun muassa huonon henkilöstöhygienian, liimojen ja päällystyspastojen sekä tuholaisien, kuten lintujen ulosteen kautta. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

4.1.1 Maaperäbakteerit

Joillakin mikrobeilla on kyky selviytyä ja levitä haastavissakin olosuhteissa kestromuodon eli itiöitymisen avulla. Useimmiten itiönmuodostajat ovat maaperäbakteereja. Ne tuottavat itiöitä, jotka kestävät korkeita lämpötiloja, säteilyä, pesu- ja desinfiointiaineita sekä happoja. *Bacillus*-suvun bakteerit ovat tärkeä mikrobiryhmä paperin ja kartongin valmistusprosessissa. Kyseiset bakteerit selviävät esim. kuivatusosan korkeista lämpötiloista itiönmuodostumiskykynsä avulla, joissa useimmat muut bakteerit kuolevat. Tämän lisäksi *Bacillus*-lajit ovat resistenttejä useimmille käytetyille biosideille. Kontaminoitumislähteenä maaperäbakteereilla toimii massat, lisä- ja apuaineet, puristus- ja kuivatushuovat sekä kiertovedet. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

4.1.2 Pilaaja- ja anaerobiset mikrobit

Kartonginvalmistusprosessissa orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden kanssa runsaasti kasvavat mikrobit voivat aiheuttaa liman muodostumista. Limat aiheuttavat kartonkikoneella ajettavuusongelmia esimerkiksi, kun pieni limakasa irtoaa säiliön sisäpinnasta ja kulkeutuu aina perälaatikolle asti muodostaen rainaan reiän. Nämä lisäävät katkoriskiä sekä heikentävät tuotteen laatua reikien ja läiskien muodossa. Perinteisiä limaa muodostavia bakteerisukuja ovat *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Bacillus* ja *Pseudomonas*. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

Suuret varastosäiliöt pitkien viipymäaikojen takia ovat ongelmallisia anaerobisten mikrobien muodostumisen kannalta. Bakteerit, jotka pelkistävät sulfaattia, tuottavat aineenvaihdunnan sivutuotteena rikkivetyä, joka puolestaan voi aiheuttaa hajuhaittoja lopputuotteessa. Anaerobisten mikrobien kasvua voidaan hillitä esimerkiksi säiliöiden kierrätysnopeuksien avulla. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

5 MIKROBIOLOGISEN PUHTAUDEN HALLINTA JA SEURANTA

5.1 Mikrobien kasvu ja hallinta prosessiolosuhteissa

Kartongin valmistusprosessissa kasvavat bakteerit vaativat sopivaa elinympäristöä. Niiden lisääntyminen edellyttää sopivaa lämpötilaa, ravintoa ja kosteutta. Näiden lisäksi bakteerien lisääntymiseen vaikuttaa myös kasvualustan pH, raaka-aineiden koostumus sekä tuotantohygienian taso. Täysin bakteeritonta tilaa prosessissa on mahdotonta saada aikaan, joten näin ollen pyritäänkin rajoittamaan etenkin haitallisten bakteerien kasvua, jotka voivat vaarantaa työntekijöiden tai kuluttajan terveyttä tai aiheuttaa vahinkoa ja haittaa lopputuotteelle. Suotuisten olosuhteiden vallitessa bakteerien määrät kasvavat räjähdysmäisesti. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

Bakteerien lisääntymisessä täytyy ottaa huomioon eri bakteerilajien vaatimat elinolosuhteet, verraten esimerkiksi aerobisia ja anaerobisia bakteereja. Aerobiset bakteerit käyttävät soluhengitykseen happea, kun taas anaerobiset bakteerit saavat energiansa käymisen avulla. Esimerkiksi varasto- tai hylkyssä olevat aerobiset bakteerit hajottavat tärkkelystä ja puun uuteaineita, kunhan elinolosuhteet ovat suotuisat ja säiliössä on happea. Pitkän viipymäajan ja suuren aktiivisten aerobisten bakteerien määrän avulla ne voivat kuitenkin kuluttaa kaiken säiliössä olevan hapen. Heikommat aerobiset bakteerit kuolevat, mutta tämä avaa tilaisuuden anaerobisten bakteerien kasvulle hapettomassa tilassa. Anaerobisia bakteereja on lisäksi kahta eri tyyppiä: pakko anaerobinen ja fakultatiivisesti anaerobinen. Pakko anaerobinen vaatii kasvaakseen täysin hapettoman tilan, kun taas fakultatiivinen anaerobi selviää sekä happea sisältävissä, että hapettomissa tiloissa. (Alén 2007, 182–185)

Mikrobien lisääntymistä voidaan hallita biosidien tai prosessiolosuhteiden säätämisen, kuten lämpötilojen, vesikiertojen avaamisen ja säiliöiden viipymäaikaavien avulla. Lämpötilojen nostaminen ei kuitenkaan toimi kaikkein resistenteimpiin bakteereihin, vaan se aiheuttaa niiden itiöitymisen, kun elinolosuhteet huononevat. Näitä haitallisia bakteereja, kuten patogeeneja ja limantuottajia vastaan käytetäänkin biosideja eli limantorjunta-aineita.

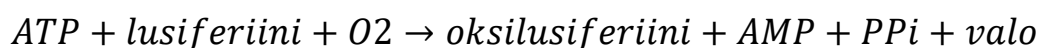
Kartonkikoneen prosessiolosuhteiden mikrobiologiaa seurataan ja hallitaan erilaisten säännöllisten mittausten ja raja-arvojen avulla. Prosessista, raaka-aineista ja lopputuotteesta tehdään mittauksia, joille on yleensä annettu jonkinlaiset raja-arvot, joiden puitteissa tulosten tulisi olla. Tulosten ylitettyä raja-arvot, on yleensä syytä ryhtyä valvonnan puitteissa tehtäviin korjaaviin toimenpiteisiin. Näiden mittausten avulla pystytään myös kartuttamaan prosessissa olevia mahdollisia kontaminaatiolähteitä ja ennalta ehkäisemään bakteerien lisääntyminen. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

5.2 Puhtauden seuranta

Prosessin mikrobiologisen puhtauden takaamiseksi on säännöllisesti suoritettava näytteiden ottoja ja mittauksia. Näytteitä voidaan mitata esimerkiksi yksinkertaisten ja helppojen pikaviljelymenetelmien avulla. Mittauksiin liittyvien raja-arvojen asettamiseen vaaditaan usein pitkäaikaista seurantaa normaalista poikkeavien tulosten todentamiseksi, sillä kartongin valmistusprosessiin liittyy monia muuttujia, joilla voi olla suuriakin vaikutuksia mittaustuloksiin. (Sillanpää, Raaska, Sipiläinen-Malm, & Sjöberg 2004)

5.2.1 Luminometria

Kaikki elävät solut sisältävät keskimäärin saman määrän korkeaenergistä adenosiinitrifosfaattia (ATP), jota solut käyttävät niiden energiantuotannossa. ATP-mittauksessa luminometrillä pystytään mittaamaan solujen tuottaman valon määrä, kun solujen ATP reagoi näytepuikossa olevan reagenssin, lusiferiinin kanssa. Mitattu valon määrä on siis suoraan verrannollinen aktiivisten solujen määrään. (Rahkio 2013, 13)



KUVIO 2. Luminometrisen mittauksen toimintaperiaate (Rahkio 2013, 13)

Näytteen mittaukseen käytettävä laite on nimeltään luminometri. Sen antamat tulokset ilmoitetaan suhteellisina valoyksikköinä (RLU eli Relative Light Unit). ATP-mittaus on nopea ja luotettava ja sen myötä sitä käytetäänkin laajasti esim. ravintoloiden ja elintarviketeollisuuden hygieniaseurannassa. ATP-mittauksia voidaan myös soveltaa vesinäytteiden mittaamiseen. ATP-mittauksen etuina voidaan pitää nopeasti saatavia tuloksia, mittauksen herkkyyttä ja soveltuvuutta sekä numeerisia tuloksia, joiden tulkinta ja analysointi on helppoa. Haittapuolena ATP-mittauksessa on, että saatava tulos kertoo näytteen kokonaishygieniasta, eikä sillä näin ollen voida eritellä, mitä eri mikrobeja näytteessä on. (Rahkio 2013, 14–15)

5.2.2 Kastolevyt

Perinteisiä kastolevyjä käytetään kokonaisbakteerien, enterobakteerien, β -glukuronidaasia tuottavien bakteerien, kuten *E.coli*-, *Shigella* ja eräät *Salmonella* sukujen sekä homeiden ja hiivojen toteamiseen. Kastolevyissä on yleensä kaksi puolta, joihin voi olla valettuna yhtä tai kahta erilaista elatusainetta. Eri elatusaineiden avulla voidaan määrittää, mitä mikrobeja näytteellä halutaan tutkia. (Rahkio 2013, 18)

Kastolevyt inkuboidaan elatusaineen mukaan 35–37 °C:ssa 1–2 vuorokautta tai huoneenlämmössä 3–5 vuorokautta. Kastolevyillä olevaa kasvutiheyttä verrataan mallitauluun ja tulokset arvioidaan silmämääräisesti. Etuina kastolevyjä käyttäessä voidaan elatusaineen valinnan avulla määrittää, minkä tyyppisiä mikrobeja halutaan tutkia. (Rahkio 2013, 18–19)

5.2.3 Redox-potentiaali

Mikrobien aktiivisuutta voidaan myös mitata redox-potentiaalin ja liuenneen hapen pitoisuuden avulla. Mikrobien kasvun energianlähteenä toimii biologinen hapettuminen, joka johtaa ympäristön pelkistymiseen. Näin ollen mikrobien kasvun aikana redox-potentiaali laskee. (Reichart et al., 2007)

Mittaus perustuu referenssi elektrodin ja vastaelektrodin väliseen jännite-eroon. Mittauksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että tulokseen vaikuttaa mitattavan liuoksen pH, lämpötila sekä referenssi- ja vastaelektrodien materiaali. (Pohjanne 1996) Mittayksikkönä on millivoltti (mV) ja mittaustulos voi olla joko positiivinen tai negatiivinen. (Valvira, 2017)

5.2.4 Vapaa kloori ja pH

pH ilmaisee liuoksen H^+ -ionien määrän, jonka perusteella voidaan todeta liuoksen happamuus ja emäksisyys. pH-asteikko on 0–14. Liuos on hapan, jos H^+ -ionien määrän on suuri. Happaman liuoksen pH on 0–7. Vastaavasti liuoksen ollessa emäksinen, OH^- -ionien määrä on suuri ja pH on 7–14. Neutraalin liuoksen pH on 7 ja se sisältää lähes yhtä suuren määrän H^+ - ja OH^- -ioneja. (Järvinen 2020)

pH:lla on suuri vaikutus paperinvalmistusprosessissa ja etenkin sen määrässä päässä. Määrässä päässä käytettävät kemikaalit, kuten biosidit vaativat sopivan pH:n toimiakseen optimaalisesti. pH:lla on vaikutuksia myös esimerkiksi pihkan torjuntaan sekä hienoaineiden käyttöön. (Knowpap 2020) Anaerobiset bakteerit tuottavat aineenvaihdunnan takia orgaanisia happoja, jotka voivat pahimmassa tapauksessa laskea koko kartonginvalmistusprosessin pH:ta. (Alén 2007, 185)

Neutraali pH luo optimaaliset olosuhteet mikrobien kasvulle, mutta kaikki mikrobit eivät vaadi sitä. Mikrobit pystyvät nopeasti lisääntymään kaikissa normaaleissa kartonginvalmistusolosuhteissa, missä pH on 4–9 välillä. Suuri määrä aktiivisia mikrobeja esimerkiksi hylkytornissa voi nopeasti laskea redox-potentiaalin ja pH:n. Määrässä päässä alhainen pH vaikuttaa ajettavuuteen ja kemikaalien toimintaan. Etenkin emäksisellä koneella käytettäessä karbonaattia, pH:n laskiessa alle 7 se voi johtaa hiilidioksidin syntymiseen ja vaahtoamiseen. (Alén 2007, 186–190)

Vapaa kloori kertoo liuoksessa olevan kloorin määrän, joka ei ole vielä yhdistynyt vedessä olevien epäpuhtauksien kanssa ja on näin ollen vapaa tuhoamaan

mikrobeja. Pieni vapaan kloorin määrä mahdollistaa aktiivisen veden puhtaanapidon, kunnes kaikki vapaa kloori on kulunut. (Sensorex 2020)

LÄHTEET

Alén, R. (2007) Papermaking science and technology. Book 4, Papermaking Chemistry. 2nd. ed. totally updated version. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus. 3. Tarkastettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Järvinen M. 2020. pH-arvo. Peda.net. Luettu 18.10.2020.
<https://peda.net/p/Markku%20J%C3%A4rvinen/kemia/m7lk2/hjea/ph-arvo>

KnowPap versio 22.0. 2020. AEL/Proledge Oy. Taivekartonki kartonkilajina. Luettu 27.12.2020.
http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/grades/2_boards/1_int_pack_boards/1_folding_boxboard/0_grade_specif/frame.htm. Saatavilla rajoitustusti.

Kuusipalo, J. (2008) Papermaking science and technology. Book 12, Paper and paperboard converting. 2nd ed. totally updated version. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.

Pohjanne, P. 1996. Otsonin vaikutus materiaalien korroosion kestävyteen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Luettu 18.10.2020
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1805.pdf>

Reichart, O., Szakmár, K., Jozwiak, Á., Felföldi, J. and Baranyai, L., 2007. Redox potential measurement as a rapid method for microbiological testing and its validation for coliform determination. International Journal of Food Microbiology, 114(2), pp.143-148.

Sensorex. 2020. Free Chlorine vs Total Chlorine: What's the Difference. Luettu 18.10.2020. <https://sensorex.com/blog/2020/02/11/free-chlorine-vs-total-chlorine/>

Sillanpää, J, Raaska, L, Sipiläinen-Malm, T & Sjöberg, A-M 1999, *Omavalvonta ja prosessihygienia paperi- ja pakkausteollisuudessa*. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes, no. 2004, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo.

Valvira. 2017. Allasvesiasetuksen soveltamisohje. Luettu 18.10.2020
https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Allasvesiasetuksen_soveltamisohje.pdf/f6bc9091-304e-49d3-a9ac-019bd7573db0