



Atte Hepo-oja

Kartongista valmistetun juomapul- lonkorkin alustava suunnittelu kar- tonkiseen juomapulloon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

20.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Atte Hepo-oja
Otsikko:	Kartongista valmistetun juomapullonkorkin alustava suunnittelu kartonkiseen juomapulloon
Sivumäärä:	33 sivua
Aika:	20.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja Riitta Lehtinen Toimitusjohtaja Kaj Pelamo

Työn tavoitteena oli suunnitella kartonkiseen juomapulloon kartongista valmistettu korkki. Korkille annettiin tavoitteeksi paineenkestävyys, vedenpitävyys, kierrätettävyys ja sen tulisi olla valmistettu uusiutuvasta materiaalista. Työhön ei sisällytetty korkin estetiikkaa. Projektin aikana tuli lisävaatimuksena korkin uudelleensuljettavuus. Tulevan tuotteen omistaa Fizzy Oy, jolla on valikoimassaan pahvinen juomapullo muovisella korkilla. Tästä syystä lähdettiin hakemaan pulloon soveltuvaa pahvista korkkia. Projektin on tarkoitus jatkaa insinööriyön jälkeen.

Työ toteutettiin pienryhmässä. Työn aikana pidettiin palavereita, joissa mietittiin erilaisia konsepteja ja ratkaisuja. Suunnittelun tuloksena lähdettiin kehittämään kahta todennäköisintä konseptia. Toisessa kierteet sijoitettiin pullon ulkopuolelle ja toisessa sisäpuolelle. Molemmat ratkaisut rakennettiin samalla menetelmällä, ja niiden toimintatapa jäljitteli muovisen korkin toimintaa. Korkit rakennettiin liittämällä kartonkisia levyjä toisiinsa lämmön avulla.

Korkeille ja materiaaleille suoritettiin neljä erilaista koetta. Kokeilla oli tarkoitus selvittää korkin ominaisuuksia ja toimintaa. Mekaanista lujuutta, korkin toimintaa ja vedenpitävyyttä kokeiltiin aistinvaraisesti. Lujuutta ja toimintaa kokeiltiin käsin pyörittäen ja voimaa käyttäen. Vedenpitävyydessä pulloihin laitettiin vettä ja niille tehtiin erilaisia liikkeitä. Painekehteitä varten tehtiin pullot, joiden testaamiseen käytettiin painemittaria. Pullo paineistettiin, kunnes se hajosi. Paine ja hajonnut osa dokumentoitiin.

Sisäkierteisillä korkeilla oli parempi paineenkesto, mutta ne eivät olleet vedenpitäviä. Niiden mekaaninen lujuus tuntui vahvemmalta ja käsittely oli helpompaa. Ulkokierteiselle korkille saatiin vastakkaiset tulokset. Ne pitivät paremmin vettä, mutta painetta mitattaessa arvot olivat pieniä. Mekaanisesti korkit pystyttiin repimään käsin osiin ja korkkia suljettaessa sen kierteet vastustivat liikettä. Alkuperäisestä materiaalista valmistettu ulkokierteinen korkki oli vaihtoehtoista parempi.

Korkeissa esiintyi useita ongelmia, joista suurin oli paineenkesto. Pulloihin lisättiin muoviset pussit antamaan arviota paineesta. Kokeissa oli lisäksi pieni otos. Korkeissa esiintyneet haasteet on huomioitu tuotteen edelleen kehittämisessä. Korkki saavutti kaikki tavoitteet lukuun ottamatta paineenkestävyyttä ja muovittomuutta. Insinööriyön tuloksena löydettiin materiaali ja malli pahviselle korkille.

Avainsanat: kartonki, korkki, pullonkorkki

Abstract

Author: Atte Hepo-oja
Title: Cardboard bottle caps initial design for cardboard bottle
Number of Pages: 33 pages
Date: 20.5.2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering
Supervisors: Riitta Lehtinen, Principal Lecturer
Kaj Pelamo, CEO

The aim of this project was to design a bottle cap for a cardboard bottle. The required properties of the cap were pressure resistance, waterproofness, recyclability, plastic-free design, and renewability of the material. Aesthetics of the bottle cap were not included in the design project. A new requirement was set for the bottle cap during the project: resealability. Currently Fizzy Oy owns a cardboard bottle with a plastic bottle cap. Therefore, a search for a cardboard bottle cap for the cardboard bottle was started. This project was supposed to continue after this thesis.

The design work of this thesis was done in a small group, and meetings were held during it. Two different concepts were selected to advance into development. One had its spiral on the outside and the other had its spiral on the inside. They were built using cardboard plates that were attached to each other with heat. The caps acted in the same way as plastic bottle caps.

Different tests were conducted on bottle caps made from three different materials. The goal of these tests was to gain knowledge of the properties and usage of the bottle caps. Mechanical strength, function and waterproofness were tested using sensory methods. Strength and function were tested using hand strength. Bottles were filled with water and were moved in a specific way during waterproof tests. Pressure was tested using manometer. The bottles were pressurized until they broke.

The inner spiraled cap had better pressure resistance, but it was not waterproof. Its mechanical strength felt stronger, and its handling was easier. The outer spiraled cap gained the opposite results. It was waterproof but it did not hold pressure. It could also be torn apart using hands. Its spiral also resisted closing. The outer spiral cap was better than inner spiral cap for which the original material was better.

Several problems were encountered. The greatest problem was the inability of both bottle caps to hold air. Therefore, plastic bags were inserted inside the bottles for evaluated values of pressure resistance. The tests also had a small sample. All requirements were achieved except for pressure resistance and plastic freedom. The material and the model for the bottle cap were found as a result of this thesis. All results have been noted for the future development of the cardboard bottle cap.

Keywords: bottle cap, cap, cardboard

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoriaa	2
2.1	Juomapullojen korkit	2
2.1.1	Metalliset pullonkorkit	2
2.1.2	Muoviset korkit	3
2.1.3	Korkista valmistetut pullonkorkit	3
2.1.4	Lainsäädäntöä	4
2.2	Kartonki materiaalina	6
2.2.1	Kartonkilajikkeita	6
2.2.2	Sellukartonki	7
2.2.3	Nestepakkauskartonki	7
2.2.4	Aaltopahvi	7
2.2.5	Kierrätys	8
3	Kokeellinen osio	8
3.1	Esikokeet	8
3.1.1	Korkin muoto	9
3.1.2	Korkin materiaali	10
3.2	Hylättyjä ideoita	11
3.2.1	Konsepti 3, ”Sinetti”	11
3.2.2	Konsepti 4, ”Lättänokka”	13
3.2.3	Konsepti 9, ”Täysin pahvinen sisäkierre”	13
3.2.4	Konsepti 12, ”Limupullo”	14
3.3	Ensimmäinen vaihtoehto, sisäkierteinen korkki	15
3.4	Toinen vaihtoehto, ulkokierteinen korkki	16
4	Kokeita korkeille	18
4.1.1	Käsittely	19
4.1.2	Mekaaninen lujuus	19
4.1.3	Paine	20
4.1.4	Vedenpitävyys	21
4.2	Kokeita materiaaleille	22

4.2.1	Käsittely ja mekaaninen lujuus	23
4.2.2	Paine ja vedenkestävyys	23
4.2.3	Päätelmät	27
5	Yhteenveto	28
	Lähteet	31

Lyhenteet

HDPE: High density polyethylene, korkean tiheyden polyeteeni

LDPE: Low density polyethylene, matalan tiheyden polyeteeni

PE: Polyeteeni, muovilaatu

PP: Polypropeeni, muovilaatu

1 Johdanto

Juomapulloissa on olemassa lähes poikkeuksetta jonkinlainen korkki pitämässä juomaa sen sisällä. Korkeille on yleistä, että ne ovat tiiviitä ja pitävät paineet sisällä. Muovista valmistetuille korkeille vaihtoehtoja ovat metallista valmistetut, esim. kruunukorkki, sekä puumassasta ja kumista valmistetut korkit. Kaupoissa kävellessä voi huomata, että muovinen korkki on kuitenkin ylivoimaisesti suosituin materiaali pulloissa. Korkkeja on erilaisia ja erimuotoisia. Yksinkertaisin on puumassasta valmistettu korkki, joka on ympyrälieriön muotoinen. Muovisia korkkeja on monenlaisia, ja niihin voidaan yhdistellä muitakin materiaaleja, kuten patenttikorkissa metallinen sankka ja kuminen tulppa.

Muovi on kierrätettävää materiaalia, ja Suomen Palautuspakkaus Oy kerää pulloja pantin avulla takaisin kiertoon. Muovi on kierrätysasteensa kannalta heikompi, sillä sen kierrätysaste on 27 %, kun metallin kierrätysaste on 90 %. [1;2.] Metallinen kruunukorkki on hyvä kiertotalouden kannalta metallin kierrätettävyyden vuoksi, sillä metallia voi kierrättää useaan kertaan [3]. Korkista tehty pullonkorkki on valmistettu puumassasta ja päätyy hyvin hitaan hajoamisen vuoksi sekajätteeseen [4]. Kartongista valmistettua korkkia ei ole markkinoilla.

Esbottle Oy kehitteli pahvisen juomapullon ja nyt juomapullon omistajuus on siirtynyt Fizzy Oy:lle. Fizzy Oy:llä on olemassa pahvinen juomapullo muovisella korkilla. Kierrätettävyyden ja paremman ympäristöystävällisyyden vuoksi olisi hyvä saada pullosta muoviset osat pois.

Tässä työssä tavoitteena on kehittää täysin pahvista valmistettua korkkia ja siihen mahdollisesti vaadittavaa sopivaa kierrettä. Korkin tulisi olla myös tiivis ja paineenkestävä sekä täysin kierrätettävä ja uusiutuvasta materiaalista valmistettu. Työn edetessä tultiin päätökseen, että korkin tulisi olla uudelleensuljettava. Sen ei kuitenkaan tarvitsisi olla yhtä kestävä kuin muovisen korkin. Pahvikorkin tulisi kuitenkin kestää noin viisi kertaa avaamista ja sulkemista. Tämän

työn aikana ei tarvinnut kiinnittää huomiota estetiikkaan ja tarkoituksena oli vain löytää toimiva ratkaisu kartonkiselle korkille.

2 Teoriaa

2.1 Juomapullojen korkit

2.1.1 Metalliset pullonkorkit

Metallisia pullonkorkkeja valmistetaan alumiinista tai teräksestä [5]. Tyypillinen esimerkki metallisesta juomapullon korkista on kruunukorkki, mutta voivat olla myös repäistäviä korkkeja tai kierteellisiä. Näissä repäistävissä korkeissa on jonkinlainen vetokohta, kuten metallinen rengas, josta vetämällä korkki repeää pullon suusta irti. Metallisessa korkissa voidaan myös yhdistää muovia, esimerkiksi alumiininen ulkopinta ja muoviset kierteet ja tukirengas, jolloin molempien materiaalien hyvät ominaisuudet yhdistyvät [6]. Metallisia korkkeja ei yleensä näe muovisissa pulloissa, ja niitä käytetäänkin usein lasista valmistetuissa pulloissa.

Metalli on erittäin hyvä kierrätettävä materiaali, sillä se saadaan lähes kokonaan uudelleen hyötykäyttöön ja sitä voi täten uudelleen muokata lähes loputtomasti [3]. Muoviin verrattuna metalli on vahvaa, kestävä ja kovaa [7].

Kruunukorkki pysyy erittäin hyvin kiinni, ja sen avaamiseen tarvitaan pullonavaaja tai jokin muu työkalu metallin vahvuuden vuoksi. Metalliset repäisykorkit lähtevät helpommin irti niissä olevan vetomenetelmän sekä ohuemman metallin ansiosta. Metallin kovuuden vuoksi kruunukorkkia ei saa enää takaisin pulloon tiiviisti, kun se on otettu irti. Jotkin kruunukorkit voivat kestää painetta jopa 8 baaria [8].

2.1.2 Muoviset korkit

Muovi on erittäin yleinen pakkausmateriaali elintarvikepakkauksissa, eivätkä korkit ole poikkeus. Muovisissa korkeissa on käytössä useita erilaisia muoveja, kuten PE eli polyeteeni ja PP eli polypropeeni [9]. Kaupasta löytyvistä juomapulloista yleisin muovikorkin malli on kierteellinen varmistusrenkaalla varustettu korkki. Sitä näkee mm. virvoitusjuomapulloissa sekä mehutiiviste- ja mehutölkkien päällä. Muovista voidaan myös muotoilla venttiilin tapainen urheilujuomille tarkoitettu venttiili, joka voidaan nostaa ja laskea juoman saamiseksi pullosta.

PE on käytetyin muovilaatu ottaen huomioon sen laajan tyyppikirjon, joka voidaan jakaa HDPE ja LDPE-ryhmiin. HDPE, eli high density polyethylene on korkean tiheyden omaava materiaali ja LDPE, eli low density polyethylene on taas matalan tiheyden. Näiden ryhmien alla on useita erilaisia muovilajeja, mutta yhteistä kaikille on keveys, sitkeys, liukkaus ja kemikaalikestävyys. [10.]

Erilaisten PE-muovien lisäksi muovisissa korkeissa on käytössä polypropeeni, joka on polyeteeniin verrattuna kevyempi, kovempi, karheampi ja kemiallisesti kestävämpi. Se on kuitenkin herkkä kylmälle, sillä se ei kestä mekaanista rasitusta alle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n [11;12.]

Toisin kuin metallisen kruunukorkin, muovista valmistetun kierteellisen korkin voi uudelleen sulkea. Metalliset kierrekorkit voidaan kuitenkin sulkea uudelleen. Metallisiin on välillä tarpeellista lisätä pieni osa muovia tiivistämään esimerkiksi kruunukorkin pullonsuu. Muoviset korkit ovat helpommin muokattavia ja muokkaukseen tarvittavien laitteiden kannalta halvempia kuin metalliset [13].

2.1.3 Korkista valmistetut pullonkorkit

Korkki on luonnollista materiaalia, jota saadaan korkkitammen kuoren sisäpinnalta. Korkin ominaisuudet vaihtelevat puun iän, sijainnin ja ympäristön ominaisuuksien perusteella. Yleensä korkki kuitenkin muodostuu suberiinistä, ligniinistä, polysakkarideista ja uutettavista aineista. Näistä suberiini saa aikaan

korkin korkean elastisuuden ja huonon läpäisevyyden. Korkilla on myös matala tiheys sekä hyvä kestävyys. Näiden ominaisuuksien vuoksi korkkia on käytetty pullojen korkkien materiaalina, koska se tiivistää pullon suun nesteiltä ja kaasuilta. Tämän luonnollisen materiaalin lisäksi korkkia voidaan valmistaa myös synteettisesti. Korkki materiaalina on hiilineutraali, sillä puu sitoo hiilidioksidia, mutta hiilidioksidi vapautuu korkin palaessa. [14.]

Korkkia käytetään yleensä lasisissa pulloissa, kuten viinipulloissa sen ominaisuuksien vuoksi. Korkin avaamiseen tarvitaan siihen tarkoitettu työkalu, samalla tavalla kuin metallisessa kruunukorkissa. Kruunukorkin saa kuitenkin avattua esimerkiksi iskemällä pöytää vasten, kun taas korkkia ei saa avattua ilman työkalua. Korkin voi laittaa takaisin avaamisen jälkeen, mutta se vaurioituu avaamisessa, eikä se enää pidä pullon suuta tiiviinä. Korkki on mekaanisesti heikompa kuin metalli, mutta vahvempaa kuin muovi. Sen ominaisuudet muistuttavat polymeerivaahoja [14].

2.1.4 Lainsäädäntöä

EU on tuonut uuden direktiivin (2019/904), joka pyrkii vähentämään muovijätteen päätymistä luontoon ja erityisesti vesistöihin. Tätä pyritään estämään kiinnittämällä muoviset pullonkorokit pulloon kiinni, jolloin myös korkki menee kierrätykseen. Tämä koskee vain täysin muovisia korkkeja, eikä metallisia, joissa on muovia mukana. Pulloon tulisi direktiivin mukaan vielä lisätä maininta pakkauksen kierrätyksestä ja siinä käytetyn muovin haittavaikutuksista virheellisen hävittämisen seurauksena. Tämä pulloon kiinnitettävän korkin määräys astuu voimaan kesäkuussa 2024. [15.]

EU:n pakkausdirektiivin on tarkoitus ehkäistä pakkausjätteen syntyä ja vähentää pakkausmateriaalien vaikutusta ympäristöön. EU yrittää saada vuoden 2025 joulukuun loppuun mennessä 65 % kokonaispakkausjätteestä kierrätettyä ja nostaa edelleen 70 %:iin vuoden 2030 joulukuun loppuun mennessä. Kaikilla materiaaleilla on omat tavoitearvonsa, mutta prosentit ovat kokonaisuudesta.

Kierrätysprosentteihin pyritään pääsemään EU-maissa erilaisten panttijärjestelmien ja taloudellisten kannustimien avulla. [16.]

EU-maiden on määrä itse valvoa pakkauksia ja varmistaa, että direktiiviä noudatetaan. Annettuja vaatimuksia ovat mm. pienentää pakkausten kokoa ja painoa mahdollisimman pieneksi, vähentää vaarallisten aineiden määrää sekä suunnitella uudelleenkäytettäviä ja kierrätettäviä pakkauksia. EU-maiden olisi myös otettava käyttöön materiaalien käsittelyjärjestelmiä, kuten kierrätys. [16.]

Pullonkorkkeja koskee sama lainsäädäntö kuin elintarvikepakkauksiakin. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa sitä, ettei tuotteen käyttäjälle koidu haittaa sen käytöstä. Hieman enemmän avattuna se tarkoittaa, etteivät kontaktimateriaalit ole kemiallisella ja biologisella tavalla haitallisia ja että materiaalin tulee olla jäljitettävissä. Tuotteen kemiallinen koostumus ei saa muuttua, eikä siitä saa irrota juomaan mitään tai muuttaa sen aistinvaraisia ominaisuuksia. [17.] Erilaisille muovimateriaaleille on myös rajoituksia, kuten mitä materiaaleja saa käyttää muovin valmistuksessa ja kuinka paljon muovista saa siirtyä haitallisia aineita elintarvikkeeseen [18].

Elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevia materiaaleja kutsutaan elintarvikekontaktimateriaaleiksi. Nämä elintarvikekontaktimateriaalit ovat kosketuksissa joko suoraan tai epäsuoraan pakatun elintarvikkeen kanssa. Näitä ovat normaalien pakkausten lisäksi esimerkiksi kertakäyttöiset lautaset sekä elintarvikkeen valmistuksessa käytetyt laitteet ja siirtimet, kuten rekan säiliö, tehtaan putkistot ja erilaiset pumput. Kontaktimateriaaliin kuuluu myös sen valmistuksessa käytetyt materiaalit, kuten lakat ja värit. Elintarvikkeiden omat syötäväksi tarkoitamat tomat kuoret eivät kuitenkaan kuulu kontaktimateriaaliin. Tällaisia ovat esimerkiksi joidenkin juustojen omat kovat kuoret. [19.]

Myös erilaisilla materiaaleilla on erilaisia säännöksiä. Tämän projektin materiaaleille, eli kartongeille ei ole erityyssäädöksiä, ainoastaan erilaisia sovellettavia suosituksia. Suosituksia voi saada esimerkiksi Bundesanstalt für Risikobewertungsta, joka on Saksan liittovaltion riskiarvioelin. Kartongit tarvitsevat turvallisuuden vuoksi tutkimusnäyttöä. [19.]

Elintarvikekontaktimateriaalista ei saa koitua haittaa kuluttajalle eikä elintarvikkeelle. Näitä haittoja voivat olla mm. haitta ihmisten terveydelle tai elintarvikkeissa aistinvaraiset muutokset. Kuten muissakin tuotteissa, pakkauksessa olevat merkinnät eivät saa johtaa kuluttajaa harhaan. Vastuu elintarvikekontaktimateriaalien turvallisuudesta on koko ketjulla, alkaen raakamateriaalien toimittajista aina kauppiaseen saakka. Tähän ketjuun kuuluvat kaikki, joilla on jotakin tekemistä materiaalin kanssa, kuten pakkauksen valmistaminen ja materiaalien kuljetus. Kaikilla vastuuhenkilöillä tarvitsee olla kyky jäljittää materiaalia takaisinvetojen tai turvallisuuden vuoksi. Vastuuhenkilöiden tulee tietää edellinen ja seuraava ketjun osa. [19.]

2.2 Kartonki materiaalina

Kartonki on kuitumassasta valmistettua ohutta materiaalia. Sen valmistusmenetelmä muistuttaa paperin valmistusta. Kuiduista tehdään massaa, massa levitetään levyksi, siitä poistetaan vesi, puristetaan kasaan ja kierretään sylinterin ympärille kuivamaan sekä painetaan haluttuun paksuuteen. Näiden vaiheiden jälkeen kartonkiin voidaan lisätä pinnoite. [20.]

Kartongilla on useita eri alalajeja, kuten nestepakkauskartonki ja aaltopahvi. Kartongit eroavat papereista niiden massan ja kerrosten osalta. Paperit ovat massaltaan 6–300 g/m², kun taas kartongeiksi luokitellaan massaltaan 125–600 g/m² olevat. Näiden arvojen lisäksi valmistuksella on merkitystä. Esimerkiksi kartongeissa käytetään monikerrostekniikkaa ja papereilla taas yksikerrostekniikkaa. [21.]

2.2.1 Kartonkilajikkeita

Kartongit lajitellaan niiden paksuuden ja ominaisuuksien sekä käyttötarkoitusten perusteella. Esimerkiksi valkaisemattomat sellukartongit ovat yli 500 g/m², kun taas aaltopahveissa esiintyvän lainerin massa voi olla alle 100 g/m². [21.]

2.2.2 Sellukartonki

Sellukartonkeja on valkaistuja ja valkaisemattomia. Molemmat ovat nimensä mukaan valmistettu sellusta. Sellu koostuu hemiselluloosasta ja selluloosasta [22]. Valkaistu sellukartonki koostuu vain kemiallisesti valkaistusta sellusta, ja se yleensä koostuu kolmesta kerroksesta. Näistä valkaistuista sellukartongeista voidaan valmistaa esimerkiksi kertakäyttöisiä astioita sekä pakkauksia elintarvikkeille sekä kosmetiikalle. [21.]

Valkaisemattomia sellukartonkeja ei valkaista erikseen ja ne ovat huomattavasti painavampia kuin valkaistut. Valkaistuja kartonkeja esiintyy kaikissa kartonkien massaluokissa, kun valkaisemattomat ovat yli 500 g/m²:n. Valkaisemattomia sellukartonkeja on kaksi- ja kolmikerroksisia tuotteita. [21.]

2.2.3 Nestepakkauskartonki

Nestepakkauskartonkeja käytetään nesteitä sisältävissä pakkauksissa. Sellukartonkien tapaan ne voidaan jakaa kahteen. Ensimmäinen koostuu molemmilta puolilta päällystetystä kartongista. Toisessa lisätään jotakin muuta materiaalia vahvistamaan kartonkia. Näitä lisämateriaaleja voivat olla esimerkiksi muovi, toinen kartonki tai metalli, kuten alumiini. Nämä kartongit ovat monikerroksisia ja niissä voi olla erilaisia pinnoitteita. Pinnoitteissa voidaan käyttää vaikka PE:tä tai hartsia. [21.]

2.2.4 Aaltopahvi

Aaltopahvi voi olla yksi-, kaksi- tai kolmeaaltoista. Nämä kaikki muodostuvat melko samalla tavalla. Yksinkertaistettuna ne koostuvat aalloista ja välilevyistä. Yksiaaltoisessa on yksi levy ja yksi aalto. Tämä ei sovellu itsenään pakkaukseksi, ja sitä käytetäänkin suojana toisille materiaaleille. Kaksiaaltoisessa on kaksi aaltoa ja kolme levyä. Kolmeaaltoisessa on kolme aaltoa ja neljä levyä. [21.]

Näitä välilevyjä kutsutaan lainereiksi. Ne ovat kaksikerroksisia ja sen valmistusmateriaali vaihtelee. Aaltojen kutsumanimi on taas fluting, jonka materiaali myös vaihtelee. [21.]

2.2.5 Kierrätys

Kartongille tarkoitettuja kierrätysastioita löytyy lähes aina kierrätyspisteiltä. Kierrätyspisteiltä kartonki viedään lajittelulaitokseen, josta se lähtee edelleen tehtaisiin. Tehtaissa kartongit päätyvät pulpperiin, jossa kuidut ja pinnoitteet irtoavat. Kuidut jatkavat eteenpäin samaan aikaan kun pinnoitteet lähtevät kuivaukseen ja voimalaitokseen poltettavaksi. Jos kartongissa on muuta kierrätettävää materiaalia, kuten alumiinia, se siirretään edelleen kierrätettäväksi. Kuiduista voidaan tehdä mm. aaltopahvia, kirjekuoria, vessapaperihylsyjä sekä muita kartonkipakkauksissa käytettäviä raaka-aineita. [23.]

Kartonkia ei voi kierrättää loputtomasti, sillä kuidut lyhenevät jokaisessa kierrossa. Tämän johdosta sitä voi kierrättää vain 3–5 kertaa. Suomessa vuonna 2019 kartonkeja otettiin talteen 68 %. Suuresta talteenottoasteesta huolimatta, vain 5 % kierrätettyä kartonkia oli Suomessa käytössä vuonna 2019. [24.]

3 Kokeellinen osio

3.1 Esikokeet

Korkkien ideointi ja suunnittelu toteutettiin pääosin pienessä suunnitteluryhmässä. Ryhmä kokoontui viikoittain palaveriin, jossa mietittiin erilaisia konsepteja ja ratkaisuja korkeille. Palavereissa käsiteltiin ja mietittiin myös korkkien rakentamista sekä niiden toimintatapoja. Useita erilaisia konsepteja oli esillä, mutta suurin osa niistä ei olisi toiminut käytännössä tai mallin rakentamisessa tuli liian suuria ongelmia.

Ryhmän ideoinnin ja asiantuntemuksen perusteella insinööriyön tekijä valmisti erilaiset prototyypit ja toteutti kokeet. Prototyypit valmistettiin tuotantoalueella.

Työ tehtiin erilaisin käsityökaluin. Tarkoitukseen sopivia koneita tai laitteita ei ollut, sillä tuote on täysin uusi.

Luvuissa 3.1.1 ja 3.1.2 on mietitty korkin muotoa ja materiaalia. Kappaleessa 3.2 on esitelty joitakin hylättyjä ideoita ja kappaleissa 3.3 ja 3.4 on esitelty kaksi mallia, joihin keskityttiin tämän projektin aikana.

3.1.1 Korkin muoto

Pahvi korkin valmistusmateriaalina asettaa suuria haasteita. Erityinen haaste on pahvin muotoilu kierteeksi. Pahvi ei taivu tarpeeksi muodostaakseen tasaista kierrettä, ellei siitä tehdä muovattavaa massaa. Tämän vuoksi normaalin muovisen korkin kierre ei toimi sellaisenaan pahvista valmistettuna. Tehtävänanto ei määritellyt korkille muotoa, mutta pyöreä pullon suu antaa lähtökohdan muotoilulle. Korkin tulee olla vesitiivis ja kestää painetta, minkä perusteella sitä ei voi vain asettaa löysästi pullon päälle. Työn tavoitteena oli suunnitella uusiutuvasta materiaalista yhdestä kuuteen kertaan uudelleen suljettava korkki. Näin ollen kertakäyttöisen ja pahvisen repäisyliuskan liimaaminen korkin suulle oli poissuljettu.

Pahvilla ei ole samanlaista vahvuutta kuin metallilla tai muovilla. Pahvi ei pysy sellaisenaan tiivisti kiinni pullon suulla, joten kierteet saattavat olla korkin toiminnan kannalta oleelliset.

Projektin edetessä suunniteltiin useita erilaisia malleja, osa monimutkaisia ja moniosaisia, mutta myös yksinkertaisia versioita. Suurin osa malleista jäi teoreettiselle tasolle, sillä alkuvaiheen suunnittelussa voitiin jo nähdä muodon sopimattomuus kartongille.

Ryhmässä tultiin suunnittelutyön ja erilaisten valmistettujen prototyyppien perusteella päätökseen kokeilla saada kierteet korkkiin kiinnittämällä kartonkisia kiekkoja toisiinsa. Kiekkoja pyöritetään ja muodostetaan näin askelmallinen kierre. Todettiin, että tapa olisi toteutettavissa ja kartonkia ei tarvitse taivuttaa kierteen aikaansaamiseksi.

3.1.2 Korkin materiaali

Käytössä oli useita erilaisia nestekartonkeja eri toimittajilta, joista valittiin kolme erilaista (taulukko 1). Ensimmäinen materiaali oli molemmin puolin PE-pinnoitettua valkaistua kartonkia. Toinen materiaali oli molemmin puolin hartsilla pinnoitettua valkaisematonta kartonkia. Kolmas materiaali vastasi ensimmäistä, mutta sen kartonkiosuus oli ensimmäistä paksumpi. Hylättyjä materiaaleja oli paljon. Valittujen materiaalien lisäksi olisi ollut esimerkiksi alumiinilla ja barr-pinnoitteella varustettuja materiaaleja. Vaihtoehtoja ei otettu tähän kokeiluun mm. valitun korkin kerrosrakenteen ja erikoispinnoitteiden sijainnin vuoksi.

Taulukko 1. Käytettävissä olleet materiaalit

Tunnus	Pinnoite	Paino (g/m ²)	Paksuus (mm)
A	PE	235	0,30
B	Hartsi	233	0,28
C	PE	335	0,95

Aivan täysin muovitonta korkkia on hyvin haastava lähteä valmistamaan ilman pahvista sekoitettua massaa. Massan valmistaminen ei ollut mahdollista saatavilla olevilla laitteilla. Toimeksiannosta huolimatta todettiin, että pieni määrä muovia oli välttämätöntä tuotteen valmistamiseksi. A- ja C-materiaaleissa oli vain 18 mikrometriä muovia molemmilla puolilla. Lämmitettäessä PE:tä voidaan kiinnittää kartongista valmistettuja osia toisiinsa, kun ne painetaan yhteen. Tällä tavalla voidaan pitää pullon korkissa olevan muovin määrä mahdollisimman

vähäisenä. Lisäksi kiinnitysaineita ei tarvita ollenkaan. Hartsilla varustettu pahvi voisi myös olla mahdollinen, sillä sen ominaisuudet muistuttavat PE:tä.

Kehitystyöstä jätettiin pois myös kartongit, joissa ei ole ollenkaan päällystettä, vaikka ne olisivat täysin muovittomia ja täten sinänsä parempi ratkaisu muovittoman korkin materiaaliksi. Niissä ei ole minkäänlaista toimivaa kiinnityspintaa, ja ne vaatisivat liimaa tai muuta kiinnitysainetta toimiakseen. Lisäksi yksipuoleiset pinnoitteet jätettiin kehitystyön ulkopuolelle. Ajateltiin kartongin pysyvän paremmin yhdessä, kun kartongissa on pinnoitetta molemmin puolin. Taulukossa 1 esiintyvissä materiaaleissa on siis päällystettä molemmin puolin.

3.2 Hylättyjä ideoita

Ryhmässä mietittiin ja kehitettiin useita erilaisia ideoita, joista osa ei edennyt ideaa pidemmälle. Pahvi ei soveltunut joidenkin mallien yksittäisiin osiin. Suurin osa hylätyistä malleista olisi tarvinnut pahvin lisäksi jotakin muuta materiaalia toimiakseen, kuten erillisiä kokonaan muovista valmistettuja osia tai metallia. Nämä ideat jäivätkin hyvin nopeasti pois suunnittelusta.

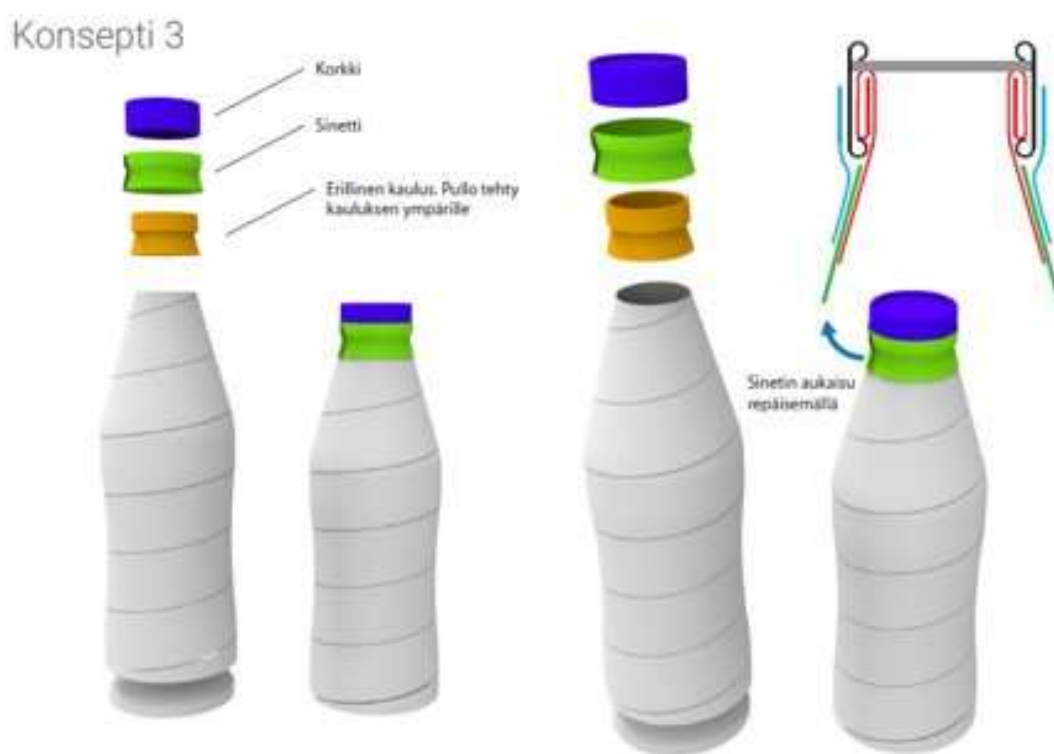
Aluksi mallit valmistettiin A-materiaalilla. Kaikki konseptit tehtiin käsin, joten inhimillinen muuttuja oli mukana kaikkien korkkien valmistuksessa. Suunnittelun ja pienten valmistusyritysten perusteella päädyttiin kahteen malliin. Loput neljä tässä työssä esiteltyä mallia jätettiin tässä vaiheessa pois. Tässä luvussa on esitelty muutama tällainen hylätty konsepti ja hylkäykseen johtaneita asioita.

3.2.1 Konsepti 3, ”Sinetti”

Sinetti-tyyppisessä konseptissa korkki olisi koostunut useasta erilaisesta osasta, joista olisi taiteltu osia pullon sisälle, ulkopuolelle ja vielä korkin ympärille sinetiksi. Näiden lisäksi korkki olisi ollut repäistävän korkin tapainen, eikä sitä olisi pystynyt sulkemaan uudelleen. Tämä konsepti jäi ideatasolle pahvin käsittelyn takia, sillä pahvi ei taivu tarpeeksi notkeasti näihin muotoihin ja malliin pitäisi liimata kaksi eri osaa korkkiin. Arvioitiin myös, että kartonki ei ole

tarpeeksi tiivis sinettinä. Lisäksi pullo olisi pitänyt rakentaa korkin ympärille, jolloin itse pullon valmistusmenetelmää olisi jouduttu muuttamaan.

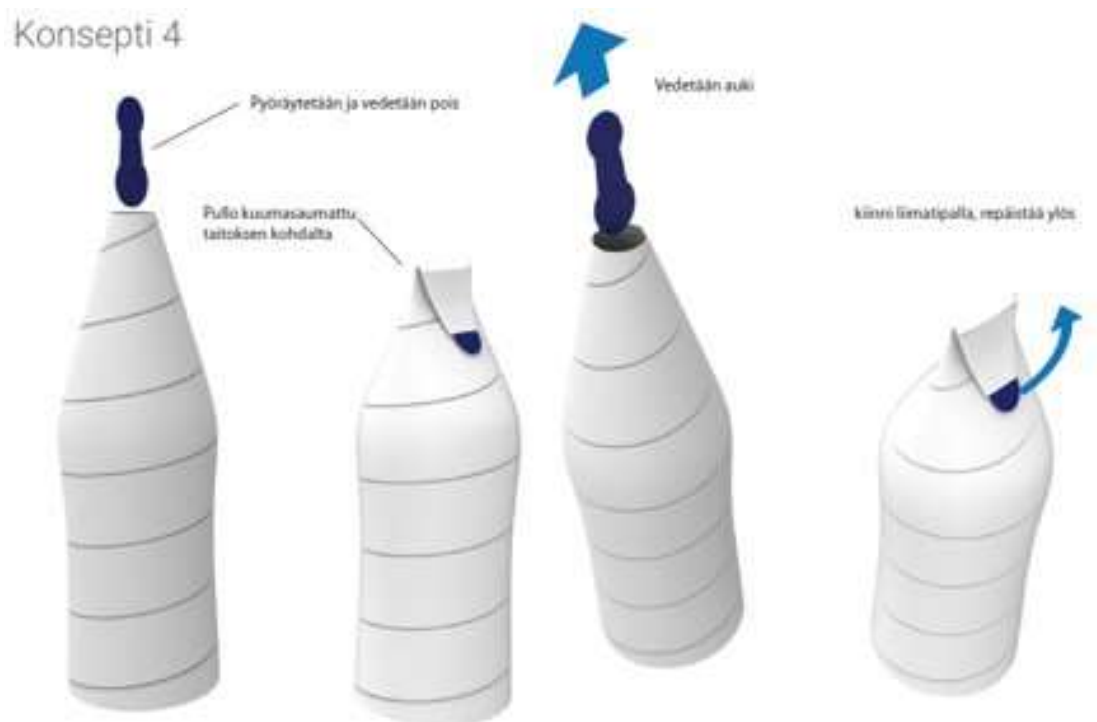
Erlaisia sinettikonsepteja oli suunnittelun alkuvaiheessa useampia, mutta niissä kaikissa esiintyi samankaltaisia ongelmia. Suurimmassa osassa malleja pullo olisi täytynyt rakentaa korkin kauluksen ympärille, mikä olisi vahvistanut korkin kestävyyttä repäisylle ja parantanut paineenkestoa. Tämä parantaa pullon ja korkin paineenkestävyyttä, koska paineen täytyisi repiä pullon yläosa irti korkin mukana. Mallin kehittäminen olisi vaatinut pullon valmistusmenetelmän vaihdon. Lisäksi alkuperäiset suunnitelmat koostuivat täysin pahvista, mutta lähemmällä tarkastelulla todettiin, että osa materiaaleista olisi täytynyt vaihtaa esimerkiksi metalliin tai muoviin paremman soveltuvuuden takia. Alla olevassa kuvassa 1 on esitelty yksi näistä ideoista.



Kuva 1: Kuvituskuva 3. konseptista. Tämä on esimerkki, millaisia erilaisia sineillä varustettuja ratkaisuja esiteltiin ennen uudelleensuljettavuuden vaatimusta.

3.2.2 Konsepti 4, "Lättänokka"

Lättänokka-tyyppinen idea poikkesi paljon muista korkkiratkaisuista. Ideassa pullon suu olisi lämpöhitsattu suppeaksi, jonka jälkeen siihen olisi laitettu pak-sua kartonkia oleva muotoiltu liuska. Tämän lisäksi pullon suu olisi vielä laitettu taittamalla kiinni pullon kylkeen pienellä liimatipalla. Avaaminen olisi tapahtunut kahdella eri repäisyllä. Ongelmana ajateltiin olevan huono vedenpitävyys, sillä pullon kaula osoittaisi alaspäin. Pienempänä ongelmana esiintyi pullon muotoilu. Pullon olisi täytynyt mennä kasaan kaulan kohdalta ja sitten taipua vajaa 180 astetta omaan kylkeensä. Pullon kierrerakenteen takia pullo olisi hyvin jäykkä eikä suostuisi taipumaan haluttuun muotoon. Kuvassa 2 on esillä konseptin toimintatapa.



Kuva 2: Kuvituskuva 4. konseptista

3.2.3 Konsepti 9, "Täysin pahvinen sisäkierre"

Täysin pahvinen sisäkierre-tyyppinen idea muodostui ensimmäisen hyväksytyen jälkeen. Idea on sama kuin sisäkierteisessä mallissa, mutta muovisen kierteen

sijaan kierre olisi ollut pahvinen. Kokeilussa pahvi ei kuitenkaan taipunut kierreteiden malliin.

Kartonkinen levy taitettiin putken malliin ja tämän putken yläosa yritettiin taivuttaa alaspäin, muodostaen loven pullon huulille. Kun pahvia taivutettiin 180 astetta, se painui kovaa kiinni, eikä väliin saanut mahdutettua edes pullon huulia. Jäykkyyttä olisi voitu helpottaa tekemällä lovia kaulukseen. Arvioitiin kuitenkin, että lovet aiheuttaisivat vuotoja.

Kartonki olisi myös tarpeellista rypyttää tai liittää liimalla pahvisia kuhmuja kauluksen sisälle kierteiden aikaansaamiseksi. Tässä mallissa kuumentaminen ei onnistunut saatavilla olleilla työkaluilla, sillä lämmitysrauta oli liian suuri kaarevien pintojen painoon ja lämmittämiseen. Tähän kierteeseen kokeiltiin rakentaa vaakatasoon pahvisista levyistä kierre kauluksen sisälle. Sen arvioitiin antavan vahvemman rakenteen pahviselle kiinnitykselle. Idea kuitenkin jätettiin pois suunnitelmista, koska lämmityksessä tuli ongelmaksi liittää kierre korkin kaarevaan sisäpintaan. Kauluksen vaakatasossa olevien rakenteiden aiheuttama heikkous oli myös yksi syy hylätä idea. Hypoteesina oli myös huono vedenpitävyys.

3.2.4 Konsepti 12, "Limupullo"

Limupullo-tyyppinen konsepti oli hyvin paljon samankaltainen kuin ulkokierteinen konsepti, mutta normaaleilla muovisilla juomapullon kierteillä. Versio olisi ollut myös huomattavasti pienempi. Konsepti eteni käytännön kokeiluun ja tehtiin eriasteisilla kierteillä olevia malleja. Mallien perusteella todettiin, että korkin ulkoreunat olivat liian ohuet. Korkki repeytyi keskeltä halki kiinni käännettäessä. Kierteiden oikeaan kulmaan saaminen oli haastavaa.

Tästä konseptista päästiin toiseen jatkokehittelyyn valittuun konseptiin. Sen vastakappaleeksi laitettiin pahvinen kierre ja kokoa kasvatettiin. Kierteet siirrettiin alemmaksi, jotta ne eivät osuisi suuhun juotaessa. Pahviset kierteet olivat

huomattavasti suurempia kuin muoviset. Lisäksi kiekkojen reunoja levennettiin, jotta vältettiin korkin repeytyminen sitä käsiteltäessä.

3.3 Ensimmäinen vaihtoehto, sisäkierteinen korkki

Aluksi lähdettiin kehittämään muovisen korkin kaltaista ratkaisua, ottaen huomioon kartongin muokkauksen rajoitukset. Kokeiltiin liittää kartongista tehtyjä levyjä toisiinsa, joista koottiin torni. Näin saatiin muodostettua rakenteeltaan vahvan oloinen korkki 2:1 koossa. Seuraavaksi tehtiin uudet levyt, joihin lisättiin kolme siipeä ja levyt aseteltiin muistuttamaan kierrettä puristamalla ne lämmön ja paineen avulla kiinni toisiinsa. Lisäksi leikattiin tasaisia pahvisia ympyröitä, jotka painettiin korkin kanneksi. Tässä mallissa korkki kiertyi pullon sisäpuolelle, ja pullon kierteet olivat suuaukon sisäpuolella. Sivulla 16 on kuvassa 3 kuvituskuva korkista ja sivulla 19 on kuvassa 6 käsin valmistettu sisäkierteinen korkki.

Korkin vastakierteeksi käytettiin muovista valmistettua pullon kaulan sisäpuolelle sijoitettavaa kierrettä. Kierre 3D-tulostettiin samoissa suhteissa kuin korkki. Aluksi korkki ei kiertynyt paikalleen. Ongelmaksi muodostuivat pahvin paksuudesta johtuvat pienet askelmat kierteessä. Askelmat ottivat suurennetuissa malloissa kiinni kierteisiin ja kärsivät väännettäessä kiinni tai auki. Kokeiltiin erilaisia kierrekulmia ja lopulta löydettiin oikea kulma, jolla korkki saatiin pyörimään paremmin. Siirryttäessä 1:1-mittakaavaan kulmaa piti taas muuttaa.

Pahvin kulmat kärsivät sitä kierrettäessä. Tämän lisäksi kierre oli hyvin herkkä olemaan väärässä kulmassa ja tämän seurauksena tehtiin useita eriasteisilla kierteillä valmistettuja korkkeja. Lopulta löytyi oikea kulma, mutta käsin valmistettaessa siihen tuli pieniä heittoja. Mallin haittana on se, että kierrepuoli on muovinen.

Tässä tehtävässä pyrittiin hakemaan täysin pahvista ratkaisua, joten muovinen kierre pitäisi vaihtaa pahviseen. Tämä pidettiin kuitenkin kokeissa mukana, sillä muovinen voidaan hyväksyä, jos se on parempi kuin muut. Muovisen kierteen

suunniteltiin voitavan korvata pahvisella versiolla, jota projektissa lähdettiin hakemaan.



Kuva 3: Sisäkierteisen korkin kuvituskuva

3.4 Toinen vaihtoehto, ulkokierteinen korkki

Toisena vaihtoehtona kokeiltiin tehdä pahvinen kierre pullon ulkoreunaan ja siihen sopiva korkki, jossa kierteet olisivat korkin sisäpuolella. Korkissa kierrettä olisi vain sen alareunassa, n. 2/3 korkista olisi tasaista ja päällä olisi tasaisia levyjä. Korkki ja kierre rakennettiin samalla tavalla kuin edellinenkin, eli kasattiin kartonkisia levyjä päällekkäin. Sivulla 17 on kuvassa 4 esillä korkin kuvituskuva. Sivulla 18 on kuvassa 5 käsin valmistettu korkki.

Korkkia kokeiltiin myös 2:1-kokoisena. Tämä malli oli huomattavasti haastavampi rakentaa kuin sisäkierteinen malli. Syynä oli kahden eri osan yhteensopivuuden saavuttaminen ja tasaisuus. Aluksi kierre ja korkki eivät olleet

yhteensopivia kooltaan ja muodoltaan. Kun siivekkeet oli saatu samankokoisiksi ja halkaisijoihin pientä muutosta, alettiin hakemaan oikeaa kulmaa kierteelle. Pieni heitto kierteissä aiheutti edelleen osien yhteensopimattomuuden, ja kartongin reunat kärsivät niitä pyörittäessä kiinni toisiinsa. Yhteensopimattomuus repi hieman pinnoitetta ja väänsi reunaa auki ja tämän vuoksi korkkia ei voitu uudelleen sulkea useampaan kertaan.

Ongelmaksi muodostui myös korkin kierteiden kapeus. Kierteiden väliin meni juuri saman paksuinen kartonki, eikä liikkumisvaraa juurikaan ollut. Ongelmaa lähdettiin korjaamaan jättämällä tyhjiä renkaita korkin kierteiden väliin. Katkonaiset kierteet olivat heikompia ja onnistuivat hyppäämään pois paikaltaan korkkia kierrettäessä. Toisena yrityksenä kokeiltiin vaihtaa pullossa olevien kierteiden kartonkia ohuempaan. Ohuemmista kartongeista rakennettu kierre oli löysempi ja paksumpi korkki meni usein väärille kierteille. Teollisessa valmistuksessa yhden lisämateriaalin lisääminen toisi yhden muuttujan lisää, joten päädyttiin pitämään saman paksuinen kartonki molemmilla puolilla. Tavoitteena on saada kaikki pullon osat yhdestä kartongin palasta.



Kuva 4: Ulkokierteisen korkin kuvituskuva

4 Kokeita korkeille

Jokaisesta taulukosta 1 löytyvistä materiaaleista valmistettiin korkit, joille suoritettiin kokeita. Tässä kappaleessa materiaalina toimi A, joka toimii vertailuna materiaalien vaihdossa. Jokaiseen kokeeseen valmistettiin erillinen pullo sekä molemmista konsepteista korkit pulloihin. Näiden lisäksi tehtiin kaksi rinnakkaisnäytettä poistamaan sattumia tai virheitä, joita käsin tehdessä olisi voinut syntyä. Näissä kokeissa kokeiltiin vedenpitävyyttä, paineenkestoa, sulkemista ja avaamista sekä mekaanista lujuutta. Saatavilla ei ollut tarkkoja laitteistoja, joten osa kokeiden tuloksista saatiin aistinvaraisesti. Korkit valmistettiin leikkaamalla kartongista kiekot, jotka liitettiin yksitellen toisiinsa lämpöraudan ja leivinpaperin avulla.



Kuva 5: Ulkokierteinen korkki ja pulloon kiinnitetty kierre A-materiaalista



Kuva 6: Sisäkierteinen korkki B-materiaalista

4.1.1 Käsittely

Kokeet aloitettiin korkin sulkemisella ja avaamisella. Sisäkierteinen korkki oli helpompi kiertää kiinni ja avata, kun taas ulkokierteellä varustettu korkki oli haastavampi kierteiden askelmien vuoksi. Syynä tähän voi olla käsin valmistuksen ongelma, eli kierteet eivät olleet täysin tasaiset. Muista materiaaleista valmistetut korkit eivät eronneet suuremmin, pois lukien paksuimmasta materiaalista valmistettu korkki. Korkki oli kaikista tiukin ulkokierteisessä mallissa ja vaati enemmän voimaa kiertämiseen. Sisäkierteisessä korkissa paksuin materiaali ei eronnut muista.

Sisäkierteinen korkki tuntui olevan käsin pyöritellessä tiiviimpi kuin ulkokierteinen ja tuntui ottavan paremmin kiinni kierteisiin. Kokeissa oli kuitenkin muovinen kaulus, joka saattoi olla syynä jäykempään tuntumaan. Täysin pahvinen ulkokierteinen korkki tuntui joustavan enemmän kuin muovia sisältävä sisäkierteinen korkki. Kumpaakaan korkkia ei saanut irti kierteistä käsivoimin.

4.1.2 Mekaaninen lujuus

Mekaanista lujuutta kokeiltiin ottamalla korkista kiinni ylä- ja alaosasta, jonka jälkeen korkkia kokeiltiin vetää ja kiertää. Sisäkierteinen korkki oli huomattavasti

vahvarakenteisempi kuin ulkokierteinen. Ulkokierteistä korkkia vedettäessä siihen muodostui pieniä rakoja levyjen väliin. Jos rakoon sai esimerkiksi kynnen, ulkokierteisen korkin pystyi halkaisemaan repäisemällä. Lähemmällä tarkastelulla huomattiin, että PE-pinnoite oli repeytynyt irti kartongista. Lämpöraudan lämpötilan epätasaisuus voitiin lukea pois virhetekijöistä tämän perusteella. Sisäkierteinen korkki kesti vedon ja taivutuksen. Paksuimmasta materiaalista valmistettu korkki repeili eniten, jopa kierrettä kiinnittäessä sen rakenne alkoi halkeilemaan.

4.1.3 Paine

Painetestiä varten valmistettiin jokaiselle korkille pullo, jonka pohjaan tehtiin 15 mm:n halkaisijalla oleva reikä. Tähän reikään asetettiin pyöränventtiili, jonka kautta ilmaa puhallettiin pulloon. Reiän ympärille leikattiin myös pieniä kiekkoja, jotka tiivistivät venttiilin kunnolla kiinni. Pullot tehtiin A-materiaalista. Alla olevassa kuvassa 7 on esillä pullon pohja. Pullon sisään pumpattiin ilmaa tasaisella tahdilla, kunnes joko korkki tai pullo hajosivat paineen vaikutuksesta. Tulokset ovat taulukossa 2.



Kuva 7: Paineentestauksessa käytetty pohjaratkaisu. Muovinen tukirinki lisätty pohjaan varmistamaan pohjasauman tiiveyden ja antamaan tukea pohjalle.

Korkit eivät olleet ilmatiiviitä, ja ilma pääsi karkaamaan ulos korkin kierteiden kautta samaa vauhtia kuin sitä puhallettiin sisään. Pullon sisäpinnoille laitettiin muovipussi, jonka tarkoituksena oli pitää paine sisällä. Pussin avonainen pää vedettiin venttiilin ohi pullon ulkopuolelle. Tällä tavalla saatiin kokeiltua painetta, jos korkki olisi ollut ilmatiivis.

Taulukko 2. Painetestin tulokset A-materiaalilla

Korkki	Paine räjähtämishetkellä (bar)	Hajonnut/peittänyt kohta
Sisäkierre	0,55	Korkin alin kierre
Ulkokierre	1	Korkki alimpien omien kierteiden kohta

4.1.4 Vedenpitävyys

Vedenpitävyyttä testattiin laittamalla pulloon n. 300 g huoneenlämpöistä vettä ja pullo käännettiin ylösalaisin viideksi sekunniksi. Tämän lisäksi pullo kaadettiin pöydälle ja kokeiltiin ravistaa. Testejä tehtiin viiden sekunnin ajan. Jokaiselle kohdalle tehtiin omat pullot. Testien tulos on alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Vedenpitävyys A materiaalille

Korkki	Vuoto kääntämisestä	Vuoto kaatamisesta	Vuoto ravistamisesta
Sisäkierre	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ulkokierre	Ei	Ei	Ei

Kuten yllä olevasta taulukosta huomataan, ulkokierteinen korkki piti paremmin vettä pullon sisällä. Korkkia avatessa kierteistä putosi pari pisaraa, jotka olivat korkin ylimmissä kierteissä. Korkki oli sisäpuolelta kostea ja hieman pehmeä, mutta siinä ei tuntunut mitään rakenteellista haittaa. Korkki ei ollut ulkopuolelta kostea.

Sisäkierteinen korkki suoriutui selkeästi huonommin. Ylösalaisin käännettäessä korkin läpi tuli melko suuri ryöppy vettä, mutta sen jälkeen se ei vuotanut. Myös kaatamisessa korkki sai samanlaisen tuloksen: Aluksi vettä tuli paljon, mutta sen jälkeen vedentulo loppui. Mahdollisesti vesi turvotti korkin materiaalia, joka tukki sitten vuotokohdan. Toinen mahdollinen syy voisi olla, että kierteisiin pääsi pullon kääntyessä vettä, joka vuosi korkin liikkuessa. Sisäkierteistä korkkia ravistettaessa pisaroita lensi joka suunnasta korkkia, ja viiden sekunnin jälkeen pullo oli enää noin puolillaan vettä. Korkki oli kostea joka puolelta, mutta se tuntui edelleen vahvalle.

4.2 Kokeita materiaaleille

4.2.1 Käsittely ja mekaaninen lujuus

Testit suoritettiin samalla tavalla kuin korkkien testauksessa. Sisäkierteisten korkkien sulkemisessa ja avaamisessa ei ollut havaittavaa muutosta. Mekaaninen lujuus taas tuntui huomattavasti vahvemmalta C-materiaalilla. Ulkokierteisessä korkissa olikin suurempia muutoksia.

Ulkokierteisessä korkissa osasyynä voi olla taas käsin tekemisen epätarkkuus kierteiden yhteensopivuudessa. Korkit arvioitiin jättäen tämä asia pois huomiosta. B-materiaali tuntui paremmalle kuin A, sillä se pyöri helpommin kiinni ja se pysyi paremmin yhdessä, tehden siitä huomattavasti kestävämmän repimistä vastaan. C-materiaali tuntui sisäkierteiseen korkkiin verrattuna vastakkaiselle. Se oli heikompaa, ja korkin sai melko helposti revittyä kahtia käsivoimin. Sen sulkeminen oli myös haastavampaa suuremman vastuksen takia.

4.2.2 Paine ja vedenkestävyys

Alla olevissa taulukoissa 4 ja 5 on A-materiaalin rinnalle lisätty eri materiaalien kokeiden tulokset. Painetestin jälkeiset pullot ovat esillä sivulla 26 kuvassa 9.

Taulukko 4: Materiaalien kokeet sisäkierteiselle korkille

Materiaali	Paine (Bar)	Hajonnut kohta	Vuoto kääntämisestä	Vuoto kaadosta	Ravistus
A	0,65	Korkin alin kierre	Kyllä	Kyllä	Kyllä
B	0,5	Korkki	Kyllä	Kyllä	Kyllä

C	2,0	Pohja	Kyllä	Kyllä	Kyllä
---	-----	-------	-------	-------	-------

B-materiaali piti nestettä hetken, mutta n. 3 sekunnin kuluttua kierteiden välistä tippui pieniä tippoja pullon ollessa ylösalaisin. Kaatamisessa korkin välistä tuli tasaisesti tippoja, ja ravistuksessa korkin alaosasta tippui melko vähän pisaroita.

Paineessa B-materiaali sai pienimmän arvon ja hajoamisessa korkki paukahti melko nopeasti irti, vaikkei korkin kierteissä näkynyt mitään vauriota. Uudelleen suoritettussa testissä tulos oli sama.

C-materiaali piti ylösalaisin vettä hyvin, sillä koko viiden sekunnin ajan, kun pullo oli ylösalaisin, korkin ja kauluksen välistä pääsi vain yksi pisara. Kaatamisessa hyvä arvio kuitenkin hiipui, kun korkista valui katkonainen puro vettä. Ravistuksessa materiaali piti hyvin vettä ja päästikin läpi vain muutaman tipan.

Kaikista korkeista sisäkierteinen C:stä valmistettu korkki kesti parhaiten painetta. Koe päättyi pullon pohjan hajoamiseen kahden baarin paineessa ja korkki säilyi ehjänä. Pullon pohjaan sijoitetusta muovisesta tukirenkaasta repeytyi pohja irti. Tukirenkaan reunat jäivät pullon reunaan kiinni. Korkki pysyi kiinni pullossa pohjan hajoamisen jälkeen. Alla olevassa kuvassa 8 on pullon pohja kokeen jälkeen.



Kuva 8: Sisäkierteisen C-materiaalista valmistetun korkin pullon pohja kokeen jälkeen. Paine repi mukanaan muovisen tukirenkaan pohjan irti. Saumat näyttävät kuvassa hyvin karheilta.

Kokeiden perusteella sisäkierteisen korkin materiaalista materiaali C oli vahvin, kuten taulukosta 5 voidaan huomata. Se kesti painetta paremmin kuin pullo. Ongelmia olivat veden melko reilu vuoto pullon ollessa sivuttain ja se, että korkki ei pitänyt painetta ilman pussia.

Taulukko 5: Materiaalien kokeet ulkokierteiselle korkille

Materiaali	Paine (Bar)	Hajonnut kohta	Vuoto kääntämisestä	Vuoto kaadosta	Ravistus
A	1,0	Korkki: alimpien omien kierteiden kohta	Ei	Ei	Ei
B	0,35	Pullon kierre	Ei	Ei	Kyllä

C	0,65	Korkki + kierre	Kyllä	Kyllä	Kyllä
---	------	--------------------	-------	-------	-------

B-materiaali selvisi C:tä paremmin tässä mallissa, sillä C-materiaalista vuosi vettä jokaisessa kokeessa. B:n ainut vuoto tuli ravistuksessa, yksi pisara kierteiden välistä.

B-materiaalista valmistettu korkki sai huonoimman tuloksen painetta kokeillessa. Alle puolen baarin paineessa kierre repeytyi puoliksi pullosta, jolloin korkki pääsi luiskahtamaan irti huomattavasti matalammasta kierteestä.

Ulkokierteiset korkit olivat pitäneet hyvin vettä aikaisemmissa kokeissa, mutta C-materiaalin tulokset olivat vastakkaisia. Kyljelleen kaadettaessa vettä valui kierteitä pitkin ulos pullosta ja pullo ehtikin tyhjentyä lähes kokonaan viiden sekunnin aikana. Ravistettaessa korkki vuosi melko vähän ja erityisesti alaspäin menon jälkeen pysähdyttäessä korkki vuosi eniten, jolloin korkin ja kierteiden välistä lensi pisaroita.

Ennen koetta arvioitiin, että C olisi kestänyt enemmän painetta. Kuitenkin alla olevasta kuvasta 9 voidaan havaita kierteiden kiinnityksen pettäminen (toinen pullo vasemmalta). Korkki ja kierre lensivät yhdessä irti pullosta.



Kuva 9: Eri materiaaleista valmistetut korkit painetestin jälkeen. Pulloissa kirjoitettu korkin materiaalin massa numeroin sekä hartsipinnoitteisissa SA-merkintä. (A=235, B=SA ja C=335)

Ulkokierteisessä korkissa A-materiaali oli vahvin. Se piti tässä mallissa eniten painetta, eikä vuotanut ollenkaan. Verrattuna C:stä valmistettuun sisäkierteiseen korkkiin se toimi paremmin vuotojen takia, mutta kestää huomattavasti huonommin painetta.

4.2.3 Päätelmät

Näiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että sisäkierteiset korkit kestävät paremmin painetta, kun taas ulkokierteiset ovat parempia pitämään nesteitä pullon sisällä. Sisäkierteet olivat käsin pyöritellessä lujempia, ja niiden rakenne on T:n mallinen (kuva 3), kun taas ulkokierteisen korkin rakenne on taas hieman sylinterin mallinen (kuva 4). Kaikista korkeista ja materiaaleista ulkokierteinen A-materiaalista valmistettu korkki nousi voittajaksi, sillä se piti vettä ja kestäisi minimivaatimuksen painetta.

Yleisesti A-materiaali oli keskivertoa kokeissa, saaden korkeimman arvon ainoastaan paineessa ulkokierteisissä, jossa C-materiaalin tulos jäi heikoksi kiinnityksen vuoksi. Se vuosi kaikissa sisäkierteissä kuten muutkin materiaalit ja piti vettä ulkokierteessä.

B-materiaali oli heikoimmilla saaden pienimmät arvot paineissa ja vuotaen A-materiaalia enemmän ulkokierteissä ja jokaisessa sisäkierteessä. C-materiaali sai vahvat arvot paineenkestossa, mutta vuosi kokeen jokaisessa kohdassa. Vuodot jäivät hyvin vähäisiksi sisäkierteisessä korkissa, jossa myös kokonaisvuotomäärä oli melko vähäinen.

Valitettavasti yksikään korkkimalli ei onnistunut saavuttamaan työssä annettuja tavoitteita: paineenkestävyyttä ja tiiviyttä. Kaikki korkit vuotivat ilmaa ulos ilman pussia, joten se lisättiin kokeisiin suuntaa antavan tiedon saamiseksi. Tämä voitaisiin korjata lisäämällä esim. ulkokierteisen korkin yläosaan jokin pehmeää materiaalia oleva tiiviste pullon suuta tiivistämään.

Kokeessa oli paljon mahdollisia virheitä aiheuttavia tekijöitä. Inhimillinen tekijä oli suurin, sillä kierteet eivät olleet tasaisella laadulla tehtyjä ja ne tuskin olivat samassa kulmassakaan. Ulkokierteisessä korkissa kierteiden kiinnityskin oli painetestin perusteella epätasaista, sillä C-materiaalilla kierteet lähtivät korkin kanssa irti, eikä pullossa näkynyt vaurioita. Koska painetta ei voitu mitata korkkien takia, pulloon piti lisätä pussi sen sisälle. Pussin lisäämisen takia korkin paineenkestävyydestä ei välttämättä saatu oikeaa arvoa, sillä pussi voi vaikuttaa paineeseen. Pussi voi esimerkiksi tarttua pullon sisäsaumoihin kiinni tai ryppistyä alhaalta, eikä kunnolla pääse painamaan korkkia. Kokeiden otos oli hyvin pieni, sillä käsin valmistettaessa yhden korkin valmistukseen kului lähes kaksi tuntia. Työn aikana tuli pitkiäkin taukoja toisten kiireellisempien projektien kanssa.

5 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tuloksena löydettiin materiaali ja tehtiin malli uudelleensuljettavalle ja kierrätettävälle pahviselle korkille juomapulloon. Toive uudelleensuljettavuudesta tuli projektin aikana.

Korkille annettiin tavoitteeksi paineenkestävyys, tiiviyys ja sen tulisi olla valmistettavissa uudelleenkäytettävästä materiaalista sekä olla kierrätettävä. Projektin

on suunniteltu jatkuvan vielä tämän insinööriyön jälkeen. Tässä vaiheessa haettiin toimivaa kartongista valmistettua ratkaisua korkille eikä vielä huomioitu ulkonäköä tai muita esteettisiä ominaisuuksia. Projektissa käytetyt kartongit ovat elintarvikekelpoisia ja automaatti, jolla pulloja sekä korkkeja tultaisiin valmistamaan, sopii myös elintarvikkeille.

Työn aikana kehiteltiin useita erilaisia ideoita, mutta suurin osa jäi teoriaksi ja osa kaatui käytännön kokeilussa, mm. valmistusvaiheessa mahdottomien muotojen takia. Ideoista valikoitui kaksi samantapaista konseptia, joille lähdettiin tekemään kokeita. Valmistusmenetelmä oli yksinkertainen, kartonkisia levyjä laitettiin päällekkäin. Erona näillä oli se, että toisessa kierteet olivat pullon ulkopuolella ja toisessa sisäpuolella. Ne olivat sulkemistavoiltaan samankaltaisia kuin perinteiset muoviset kierrekorkit. Tämä valinta osoittautui työn lopussa vääräksi, sillä kartongista valmistetut kierteet eivät kestäneet painetta ja vesi pääsi vuotamaan kierteiden välistä. Korkeilla oli samoja piirteitä kaikkien kokeiltujen materiaalien kanssa. Sisäkierteiset kestivät keskimääräisesti paremmin painetta, kun taas ulkokierteiset eivät vuotaneet yhtä paljon kuin sisäkierteiset.

Korkeille suoritettujen kokeiden tarkoituksena oli hakea korkille ominaisia piirteitä: mekaaninen lujuus, paineenkesto sekä tiiviys. Tiiviydessä huomioitiin esimerkiksi pullon kaatuminen ja sen ravistuminen. Lisäksi pullo käännettiin ylösalaisin vedenpitävyyden varmistamiseksi. Mekaanista lujuutta ei laitteiden puutteiden vuoksi testattu kuin aistinvaraisesti. Painetta korkit eivät pitäneet, minkä vuoksi painekokeeseen jouduttiin lisäämään muoviset pussit pullojen sisälle paineen arvioidun keston saamiseksi. Korkkien olisi tullut kestää painetta vähintään 1 baarin, joka on normaalien hiilihapotettujen juomien arvo. Kahteen baariin pääsevät vahvasti hapotetut juomat. On huomioitava, että kokeissa oli mukana valitettavan paljon mahdollisia virheitä aiheuttavia tekijöitä.

Korkkeihin kokeiltiin erilaisia materiaaleja, joissa esiintyi pieniä eroja. Eri materiaaleille tehtiin samat kokeet kuin alkuperäisille ja näiden perusteella saatiin vaihtoehdoista parhaat selville. Ulkokierteisille valikoitui alkuperäinen materiaali ja sisäkierteisille paksunnettu versio alkuperäisestä materiaalista. Näitä kahta

verrattaessa ulkokierteinen korkki oli parempi, sillä se piti vettä. Lopulta tehtiin päätös, että ulkokierteinen malli alkuperäisestä materiaalista olisi paras vaihtoehto kokeiden perusteella. Korkki ei kuitenkaan pitänyt painetta, joten sitä joudutaan vielä jatkokehittämään tai mahdollisesti jopa hylkäämään.

Vaikka suurin osa projektin tavoitteista saavutettiin, paineenkestävyys jäi saavuttamatta. Jo projektin tavoitteita asetettaessa tiedostettiin ajan rajallisuus. Suunnittelun ja kehitystyön oli tarkoitus jatkaa vielä tämän työn jälkeen, joten nyt palataan takaisin suunnitteluun, kunnes valmis kaupallinen tuote saadaan valmiiksi tuotantoon.

Lähteet

- 1 Muovin kierrätys – kysymyksiä ja vastauksia. Verkkoaineisto. L&T Muovimuuri. <<https://tietopankki.lt.fi/muovimuovi-kysymyksiä-ja-vastauksia>>. Luettu 6.5.2022.
- 2 Suokas, Marcus. Metallin kierto, kiitos! Verkkoaineisto. Fincumet. <<https://fincumet.fi/blog/metalli-kierto-kiitos>>. Luettu 6.5.2022.
- 3 Metallin kierrätys. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/lajittelu/metalli/>>. Luettu 29.4.2022.
- 4 Pullonkorkki (luonnonkorkki, muovikorkki). Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/jateopas/jatteet/pullonkorkki-luonnonkorkki-muovikorkki/>>. Luettu 8.2.2022.
- 5 Can you recycle metal bottle caps? Verkkoaineisto. Recycle coach. <<https://recyclecoach.com/blog/can-you-recycle-metal-bottle-caps/>>. Luettu 1.5.2022.
- 6 Alumiiniset kierresulkimet. Verkkoaineisto. Finn-Korkki. <<https://www.finnkorkki.com/fi/sulkimet/alumiiniset-kierresulkimet>>. Luettu 8.2.2022.
- 7 Plastic Vs. Metal Fabrication - Advantages and Disadvantages. Verkkoaineisto. THOMAS. <<https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/disadvantages-and-advantages-of-plastic-over-metal-fabrication/>>. Luettu 8.2.2022.
- 8 Brouwland. Verkkoaineisto. Crown corks 29 mm gold. <<https://brouwland.com/en/crown-caps/10248-crown-corks-29-mm-gold-profiled-inlay-1000-pcs.html>>. Luettu 30.4.2022.
- 9 Frequently Asked Questions. Verkkoaineisto. The Association of Plastic Recyclers. <<https://plasticsrecycling.org/images/library/APR-Caps-On-FAQ.pdf>>. Luettu 8.2.2022.
- 10 Koljonen Marko. Muovikoulun kuukauden muovi: PE, POLYETEENI kestää paukkupakkasetkin. Verkkoaineisto. Aikolon. <<https://www.aikolon.fi/blogi/kuukauden-muovi-pe-hd-suurtiheyspolyeteeni>>. Luettu 9.2.2022.
- 11 Polypropeeni. Verkkoaineisto. Vink Finland.. <https://www.vink.fi/pp_muovi>. Luettu 16.2.2022.

- 12 Polypropylene (PP) Plastic: Types, Properties, Uses & Structure Info. Verkkoaineisto. Omnexus. <<https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>>. Luettu 16.2.2022.
- 13 Melissa. Plastic vs. Metal – Which is best for your project? Verkkoaineisto. Plastic Concepts, Inc. <<https://www.plastic-concepts.com/plastic-vs-metal/>>. Luettu 1.5.2022.
- 14 Ana Paula Duarte, João Carlos Bordado. Cork – a renewable raw material: forecast of industrial potential and development priorities. Verkkoaineisto. Frontiers. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2015.00002/full>>/<<https://doi.org/10.3389/fmats.2015.00002>>. Luettu 16.2.2022.
- 15 Document 32019L0904. Verkkoaineisto. EUR-LEX. <<http://data.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>>. Luettu 23.2.2022.
- 16 TIIVISTELMÄ ASIAKIRJASTA: Direktiivi 94/62/EY pakkauksista ja pakkausjätteistä. Verkkoaineisto. EUR-Lex. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM:l21207>>. Luettu 26.4.2022.
- 17 Kontaktimateriaalien turvallisuus ja muu vaatimustenmukaisuus. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaalien-turvallisuus-ja-muu-vaatimustenmukaisuus/>>. Luettu 23.2.2022.
- 18 Muoviasetus (EU) 10/2011. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lain-saadanto/muoviasetus-eu-102011/>>. Luettu 23.2.2022.
- 19 Elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvia materiaaleja ja tarvikkeita koskeva valvontaohje. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/elintarvikeala/kemialliset-vaatimukset/kontaktimateriaalit/fcm_valvontaohje_17018_5_fi.pdf>. Luettu 26.4.2022.
- 20 What is Paperboard? Verkkoaineisto. Sarkina. <<https://www.sarkina.com/blog/post/what-is-paperboard>>. Luettu 24.2.2022.
- 21 Karhu, Heikki. 2007. Painopaperi- ja kartonkilajit Suomessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9446/Karhu.Heikki.pdf?sequence=2>>. Luettu 27.4.2022.

- 22 Latokartano, Maria. Sellusta on moneksi. Verkkoaineisto. Metsä. <<https://www.metsafibre.com/fi/media/Erinomaisuus-ja-Innovaatiot/Pages/Sellusta-on-moneksi.aspx>>. Luettu 27.4.2022.
- 23 Kartonki ja pahvi. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/lajittelu/kartonki-ja-pahvi/>>. Luettu 29.4.2022.
- 24 Leikas, Milla. 2020. Muovin, kartongin ja paperin kierrätyskäytännöt Suomessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. <<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020092620729>>. Luettu 1.5.2022.