



Ympäristöystävällinen esikasvatusruukku

Saara Toivanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TOIVANEN, SAARA:
Ympäristöystävällinen esikasvatusruukku

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2025

Työn tilaajan Berner Oy:n tarkoituksena on kehittää tuoteperheeseensä uusi ympäristöystävällinen esikasvatusruukku. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda resepti sopivista raaka-aineista ja testata eri seosten toimivuutta ja ominaisuuksia esikasvatusruukkuun varten. Tarkemmat reseptien tiedot ovat vain yrityksen käytössä. Työ toteutettiin yhteistyössä Ecopulp Finland Oy:n kanssa, jonka tiloissa lopullinen tuote tullaan valmistamaan.

Työ alkoi raaka-aineisiin tutustumalla sekä Ecopulp Finland Oy:n valmistusmenetelmien sisäistämällä. Raaka-aineiden saavuttua aloitettiin laboratoriotestit Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa. Ensin luotiin kaksi erityyppistä seosmassaa, joista valmistettiin testiarkkeja. Massasta mitattiin veden suotautuvuus, jotta saadaan varmuus toimivuudesta lopullisessa tuotannossa. Testiarkeista tutkittiin neliömassa, paksuus, puhkaisulujuus sekä vesiabsorptiokyky. Testit antoivat hyödyllisiä tietoja seosten toimivuudesta esikasvatusruukkuna. Seoksia verrattiin myös kilpailevan yrityksen kaupallisessa myynnissä olevaan tuotteeseen. Tämä mahdollisti vertailuarvoja omien testiarkkien laboratoriomittauksille. Testiseoksia valmistettiin yhteensä seitsemän.

Mittauksista saadut laaja-alaiset tulokset muodostivat monipuolisen aineiston analyysia varten. Kaupalliseen tuotteeseen vertailu antoi selkeät raja-arvot, jotka on tärkeää huomioida esikasvatusruukun reseptissä. Käytetyt raaka-aineet loivat omat haasteensa laboratoriotesteille, koska ne erosivat yleisemmin testattavien paperi- ja kartonkituotteiden raaka-aineista.

Työn avulla saatiin hahmotettua vahvat reseptiehdokkaat, joita tullaan koeajamaan tuotannossa. Koeajojen jälkeen testituotteita tutkitaan istutuskokeiden avulla. Kokeilla varmistetaan tuotteen rakenteellinen kestävyys lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa sekä homeensietokyky. Lisäksi tuotteesta täytyy varmistaa sen asianmukainen biohajoavuus. Istutuksen jälkeen taimien juurien on päästävä levittäytymään uuteen kasvuympäristöönsä mahdollisimman nopeasti vahvojen elinolosuhteiden varmistamiseksi.

Asiasanat: esikasvatusruukku, aaltopahvi, ympäristöystävällinen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct Engineering

TOIVANEN, SAARA:
Environmentally Friendly Seedling pot

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 4 pages
May 2025

The client, Berner Oy, seeks to develop a new environmentally friendly seedling pot. The aim of this thesis was to formulate a suitable raw material blend and to test the functionality and properties of different mixtures. Detailed recipe information remains confidential for company use. The project was carried out in co-operation with Ecopulp Finland Oy, where the final product will be manufactured.

The work started with familiarization with the raw materials and Ecopulp Finland Oy's manufacturing methods. Once the materials arrived, laboratory testing was conducted at Tampere University of Applied Sciences. Two pulp mixtures were prepared and formed into test sheets. The results provided insights into the performance of the mixtures, which were also compared to a competing commercial product to establish benchmark values. In total, seven test mixtures were produced.

The measurement results created a comprehensive dataset for analysis. Comparison with a commercial product helped define key quality criteria. The raw materials used presented unique challenges for the laboratory tests, as they differ from typical paper and paperboard products usually tested.

As a result, strong candidate recipes were identified for pilot production. After pilot trials, planting experiments will be conducted to verify structural durability, mold resistance, and biodegradability. Ensuring that seedling roots can rapidly grow into the surrounding environment will be critical for the product's success.

Key words: seedling pot, corrugated cardboard, environmentally friendly

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	YRITYKSET	7
	2.1 Berner Oy.....	7
	2.2 Ecopulp Finland Oy	7
3	ESIKASVATUSRUUKUT	8
	3.1 Käyttökohteet ja rakenne.....	8
	3.2 Raaka-aineet	9
	3.2.1 Hamppu.....	9
	3.2.2 Kahvipavut	11
	3.2.3 Vesikasvikuitu	12
	3.2.4 Kierrätyspaperi ja -kartonki.....	13
	3.2.5 Lisäaineet.....	15
	3.3 Valmistusmenetelmät	16
	3.4 Yleisiä ongelmia	18
4	KOKEELLINEN OSUUS.....	19
	4.1 Standardit ja seoksien merkintätavat.....	19
	4.2 Valmistelu	20
5	TULOSTEN KÄSITTELY	24
	5.1 Neliömassa ja sakeus	24
	5.2 Paksuus	25
	5.3 Tiheys ja bulkki	27
	5.4 Puhkaisulujuus.....	28
	5.5 Vesiabsorptio	29
	5.6 Freeness	32
	5.7 Mikroskooppi.....	33
	5.8 Arkkien ulkonäkö	34
6	POHDINTA	36
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	42
	Liite 1. Mittauspöytäkirja osa 1.....	42
	Liite 2. Mittauspöytäkirja osa 2.....	43
	Liite 3. Mittauspöytäkirja osa 3.....	44
	Liite 4. Mittauspöytäkirja osa 4.....	45

ERITYISSANASTO

Bulkki	Kuvaa testattavan kohteen keveyttä ja ilmavuutta painoa kohden
Fraktioituminen	Ainesosien erottuminen erillisiksi faaseiksi
Freeness	Nesteen suotautuminen kuitumassan läpi
Prässäys	Materiaalin puristaminen muotoonsa
Stanssaus	Muotoleikkaus eli tuotteen viimeistely haluttuun muotoon erikoistyökalun avulla

1 JOHDANTO

Esikasvatusruukkuja käytetään yleisesti keväisin kasvien taimien esikasvattamiseen ennen taimien istuttamista ulos maaperään. Ne tarjoavat suotuisan ympäristön siementen itämiselle ja taimien kasvulle. Ekologisen kuituruukun etuna on sen maatuvuus ja helppokäyttöisyys verrattuna fossiilipohjaisiin tuotteisiin. Ruukku voidaan istuttaa taimineen suoraan maaperään tai suurempaan ruukkuun ilman juurten vahingoittumisen riskiä.

Berner Oy:n tavoitteena on lisätä tuoteperheeseen ympäristöystävällinen esikasvatusruukku. Opinnäytetyön tavoitteena on luoda toimiva seos luonnonmukaisista raaka-aineista. Lopullinen tuote tullaan valmistamaan Ecopulp Finland Oy:n tiloissa Koriolla kuituvalosmenetelmällä. Esikasvatusruukun raaka-aineet ovat sivuvirtoja muista prosesseista, joten ruukku on useasta näkökulmasta ympäristöystävällinen sekä taloudellisesti kestävä.

Esikasvatusruukun reseptin valintaan ja raaka-aineiden prosentuaalisiin suhteisiin vaikuttaa monta eri tekijää. Ruukun tulee täyttää rakenteelliset vaatimukset, jolloin se kestää läpi itämisvaiheen. Vaatimuksiin kuuluu vedenläpäisevyys sopivissa määrin sekä ruukun muodossa pysyminen. Lisäksi lämmin ja kostea ympäristö on otollinen homeenkasvulle, mikä voi ilmetä merkittäväksi ongelmaksi. Esikasvatusruukun suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon raaka-aineiden toimivuus myös tuotannontiloissa esimerkiksi pölyävyyden ja massaan sekoittuvuuden suhteen.

Maailmalla on useita tutkimuksia muun muassa banaanin ja kookoksen kuiduista tehdyistä esikasvatusruukuista ja niiden toimivuudesta. Kyseisiä raaka-aineita ei ole suurissa määrin Suomessa saatavilla, joten on järkevää kiinnittää huomiota esimerkiksi hamppuun, joka kasvaa suositaan viljelyskasvina vuosi vuodelta. Myös muiden kotimaan prosessien sivuvirtojen hyödyntäminen esikasvatusruukussa on kestävä ratkaisu niin ympäristölle kuin taloudellisesta näkökulmasta.

2 YRITYKSET

2.1 Berner Oy

Berner Oy on suomalainen, kasvava ja kansainvälinen perheyrittäjä, joka on perustettu vuonna 1883. Yrityksen liiketoiminta alueet jakautuvat neljään eri alueeseen, jotka ovat kuluttajatuotteet, terveydenhuolto ja laboratorio, teollisuus sekä maatalous. Yritys toimii Suomen lisäksi Baltiassa, Norjassa, Ruotsissa ja Tanskassa. Konserni työllistää noin 880 henkilöä. (Berner n.d.)

Liikevaihto vuonna 2023 oli 705 miljoonaa euroa ja liikevoitto 29,5 miljoonaa euroa. Berner konserniin kuuluvat lisäksi Berner Chemicals Oy, Chemigate Oy sekä Suomen mediatuote Oy. Konserni on sitoutunut YK:n Global Compactiin vuodesta 2018 lähtien. Lisäksi he ovat mukana kemianteollisuuden kansainvälisessä Responsible Care- vastuullisuusohjelmassa. (Berner n.d.)

2.2 Ecopulp Finland Oy

Ecopulp Finland Oy on kuituvalospakkausten pohjoismainen edelläkävijä. Yritys valmistaa kolmiulotteisia puu- ja kierrätyskuitupakkauksia, jotka ovat hengittäviä, ympäristöystävällisiä ja iskunkestäviä. Yritys on perustettu vuonna 2009 ja tuotantolaitos sijaitsee Kouvolassa. Sen liikevaihto oli 1,68 miljoonaa euroa vuonna 2023, josta voittoa oli 210 tuhatta euroa. Yritys työllistää noin 20 henkilöä. Yrityksen tavoitteena on korvata vaahtomuovia sisäpakkausten suojauksessa kierrätyspaperista valmistetuilla pakkauksilla. (Ecopulp Finland n.d.)

Tuotteet valmistetaan keräyspaperista ja -kartongista, mitkä sekoitetaan veden kanssa massaksi. Tuotannossa toimii suljettu vesijärjestelmä, jossa vesi puhdistetaan ja käytetään uudelleen, joten prosessissa ei synny jätevettä ollenkaan. Yritys pyrkii pitämään oman hiilijalanjälkensä mahdollisimman pienenä muun muassa lämmön talteenotolla, biokaasun käytöllä sekä kierrättämällä omista prosesseista syntyneet jätteet. (Ecopulp n.d.)

3 ESIKASVATUSRUUKUT

3.1 Käyttökohteet ja rakenne

Esikasvatusruukkuja käytetään kasvien taimien esikasvattamiseen ennen taimien istuttamista suurempiin ruukkuihin tai suoraan ulos maaperään. Esikasvatusruukut tarjoavat suotuisan ympäristön siementen itämiselle ja taimien kasvulle sisätiloissa, jolloin ne saavat hyvän ja vahvan alun ennen ulkoilmaan ja maaperään istutusta. (Bloomling n.d.)

Saatavilla on monenlaisia esikasvatusruukkuja. Yleisimpiä vaihtoehtoja ovat muoviset sekä kuitu- ja turvepohjaiset esikasvatusruukut. Muoviset ruukut ovat kestäviä ja niitä voidaan käyttää uudelleen. Kuitu- ja turvepohjaisten ruukkujen etuna on ekologisuus ja ne voidaan istuttaa suoraan kasvualustaan taimen mukana, jossa ne hajoavat ja taimen juuret pääsevät levittäytymään ympäristöön. (Markham, D. 2020)

Kuvassa 1 on esitetty ympäristöystävällisiä esikasvatusruukkuja. Etuna on myös vähemmän kuormittava siirtyminen kasville uuteen kasvualustaan, koska juuret eivät vaurioidu prosessissa. Tämä edistää taimien nopeaa juurtumista sekä kasvua. (Markham, D. 2020)



KUVA 1. Kasvien taimia ympäristöystävällisissä kasvatusruukuissa. (Haavisto, H. 2015)

Esikasvatusruukkujen koot vaihtelevat kasvien kasvunopeuden ja koon mukaisesti. Lisäksi ruukkujen yleisimmät muodot ovat neliskulmainen sekä ympyränmallinen ja ruukkuja myydään myös kennotyyppisenä, joka sisältää useita pieniä taimiruukkuja. Yleensä taimet ovat esikasvatusruukuissa muutamasta viikosta pariin kuukauteen riippuen kasvien kasvunopeudesta ja ympäröivistä olosuhteista. (Blooming n.d.)

3.2 Raaka-aineet

3.2.1 Hamppu

Hamppu pystyy tehokkaasti hyödyntämään Suomen lyhyet ja valoisat kesät sekä tuottamaan kunnollisia satomääriä. Hamppu kasvina kuohkeuttaa maaperää massiivisella juuristollaan. Se on myös erinomainen sitomaan hiiltä maaperään lehdistönsä ja juuristonsa avulla. Se toimii hyvin viljelyskiertokasvina, koska se tukehduttaa rikkakasveja laajalla lehdistöllään, jolloin seuraavan vuoden viljelykasvit saavat paremmat lähtökohdat tuottamaan laadukkaan ja runsaan sadon. (Pro Agria n.d.)

Hampun osista jää paljon orgaanista ainesta maahan, mikä lisää pieneliötoimintaa maaperässä. Tutkimuksien mukaan esimerkiksi vehnäsadon suuruus oli kasvanut noin 10-20 %, kun kuituhamppua oli kasvatettu esikasvina ennen vehnän tuotannollista kasvatusta. Vehnän lisäksi kuituhampulla oli ollut parantavia vaikutuksia myös perunan ja ohran satoihin. (Pro Agria n.d.)

Hamppu on toimiva materiaali esikasvatusruukuissa sen kestävyden, luonnonmukaisuuden ja biohajoavuuden takia. Hamppukuitu tekee ruukun rakenteesta hengittävämmän, mikä edistää hapensaantia juurille ja taimien yleistä terveyttä. Hamppukuitu hajoaa nopeasti maaperässä eikä siitä jää haitallisia jäämiä ympäristöön. Kuitu myös imee itseensä ylimääräistä kosteutta ja vapauttaa sitä tasaisesti, mikä vähentää riskiä taimien liialliseen kuivumiseen tai vettymiseen. (Euroopan komissio n.d.)

Hampun lyhyttä kuitua ja nolla-ainesta syntyy monilla yrityksillä sivuvirtana, mikä menee yleensä jätteeksi (Farmit 2021). Kuvassa 2 näkyy pieneksi jauhautunutta hamppukuitua, joka muodostuu prosessin sivutuotteena. Kuituaineksen käyttäminen esikasvatusruukkuun on ekologista sekä taloudellisesti kannattavaa. (Wellness tree n.d.)

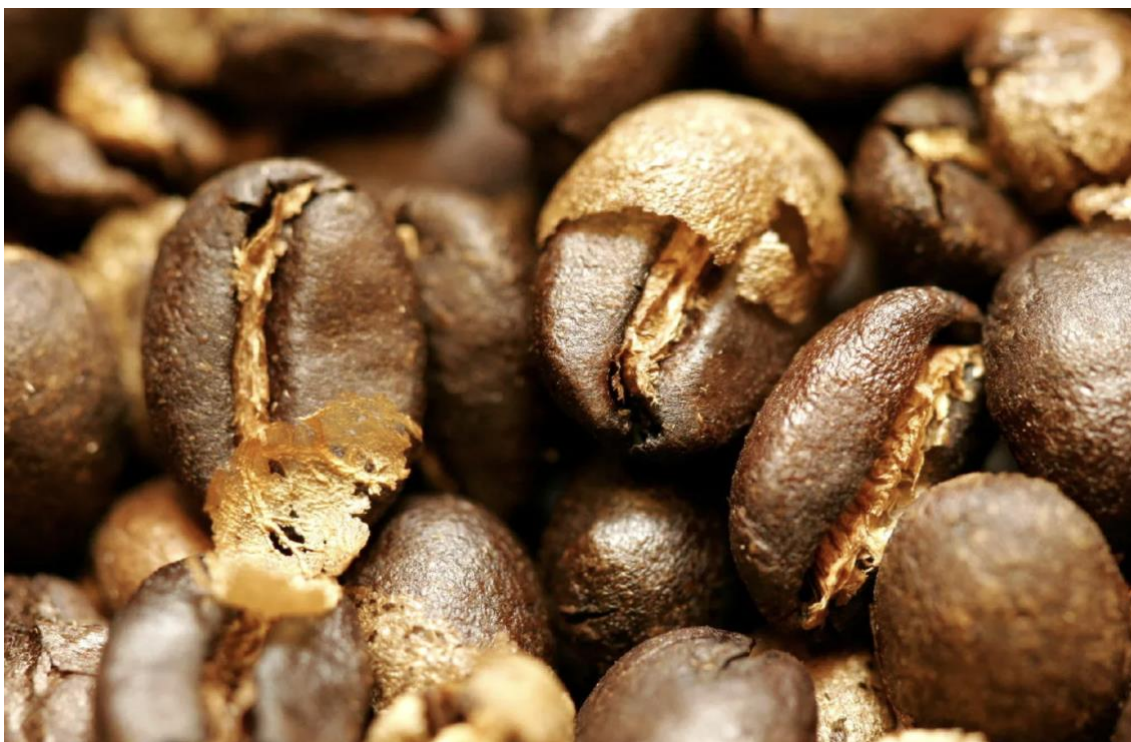


KUVA 2. Sivutuotteena syntyvää hampukuitua (Wellness tree n.d.).

3.2.2 Kahvipavut

Kahvi on yksi maailman eniten nautituista juomista ja vuonna 2023 sitä valmistettiin 10,2 miljardia kiloa (Joukanen, T. 2023). Kahvin suurimpia tuottajamaita ovat muun muassa Brasilia, Kolumbia, Indonesia ja Vietnam. Kahvin toimitusketjun kestävyttä halutaan parantaa ja luoda tuottamisesta ympäristöystävällisempää sekä vähentää paahtamisen aikana syntyvää jätteen määrää. (Wilfa n.d.)

Kahvipapujen paahtamisessa tuotetaan sivutuotteita vuosittain yli kaksi miljardia tonnia ja yksi merkittävimmistä tekijöistä ovat kahvipapujen kuoret ja akanat, joista käytetään englanniksi nimitystä coffee chaff. Akanat ovat kahvipapujen ympärillä olevaa kuivunutta orvaskettä, joka irtoaa altistuessaan korkeille lämpötiloille. Kuva 3 havainnollistaa ohutta akanaa kahvipavussa. Tämä joutuu yleensä yleisjätteeseen, vaikka se sisältää monia hyviä ravintoaineita esimerkiksi maaperälle. Ulkonäöltään akanat ovat keveitä ja hieman pörröisiä, kahviin jäädessään ne luovat siihen kitkerää ja epämieluisaa makua. (P. Ricciardi 2017)



KUVA 3. Kahvipapujen pinnalla olevia kuivuneita akanoita, jotka poistetaan ennen papujen jauhatusta (Price, D. 2022).

Kahvipapujen akanat ovat erinomainen raaka-aine esikasvatusruukkujen materiaaliksi. Akanat sisältävät paljon eri ravintoaineita kuten tyypeä, joka on elintärkeä alkuaine kasveille ja edellytys niiden kasvulle (Kanniah, J. 2021). Materiaalina ne ovat kevyitä, ilmavia ja orgaanisia eli ne lisäävät esikasvatusruukun hengittävyttä sekä maatuvat nopeasti esikasvatusruukussa olevan kasvin lopullisessa kasvualustassa. Akanat ovat myös hydrofobisia, jolloin ne auttavat ilmastamaan maaperää. Lisäksi niillä on ominaisuuksia, jotka karkottavat haitallisia tauteja ja tuholaisia kuten etanoita, jotka ovat hyvin yleisiä kasvimailla. Akanoiden hyödyntäminen kasvatusruukuissa olisi myös kustannustehokasta sillä monet kahvipaahittimet antavat sivuvirtansa mielellään uusiokäyttöön ilmaiseksi tai sovitulla pienellä hinnalla. (Fig, S. 2023)

3.2.3 Vesikasvikuitu

Vesien rehevöityminen tarkoittaa kasvien perustuotannon kasvua liiallisen ravinnekuormituksen seurauksena. Rehevöitymisen merkittävimpiä tekijöitä ovat kasveille tärkeät ravinteet typpi ja fosfori. Ravintoaineita pääsee vesistöihin muun muassa jätevesien ja pelloilta valuvien vesien kautta. Myös ilmasta tulevat laskeumat voivat rehevöittää vesistöjä. Rehevöityminen aiheuttaa happikatoa, vesien samentumista ja limoittumista, vesikasvien ja levien lisääntymistä sekä eliöstön yksipuolistumista pitkällä aikavälillä. (Ympäristökeskus 2019.)

Vesikasvien hallittu poistaminen vähentää hajotettavan aineksen määrää, jolloin happikatoa ei muodostu. Hajottajilla ei ole tällöin yhtä paljoa hajotettavaa vesistöjen pohjassa, jolloin hapen kulutus on vähäisempää. Niittäminen on yleisin keino poistaa ylimääräistä biomassaa vesistöistä. (WWF n.d.)

Vesistöistä kerättävä kasvikuituaine on hyvä hyödyntää niin ekologisessa kuin taloudellisestakin näkökulmasta ja välttää sen joutumisen pelkäksi jätteeksi. Kasvikuituaine on mainiota raaka-ainetta esikasvatusruukkuihin. Kasveilla on pitkiä kuituja rakenteessaan, mikä lisää lujuutta kasvatusruukun rakenteeseen. Monilla kasvien kuiduilla on myös hyvä veden pidätyskyky huokoisten kuitujen ansiosta, jolloin kosteus pysyy pidempään taimien käytössä (Leka, J. 2016). Ne

sisältävät myös useita mineraaleja ja orgaanisia aineksia, jotka rikastuttavat kasvualustaa. Kuidun rakenne myös hajoaa maatuessaan nopeasti, joten se parantaa ruukun tarpeeksi nopeaa hajoamista kasvatusalustassa, jolloin taimien juuret pääsevät levittäytymään ympäristöön. (Aulio, K. 2017)

Aines on täysin suomalaista, jolloin kasvikuitua ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja ulkomailta. Tämä vähentäisi esikasvatusruukun valmistukseen liittyviä päästöjä ja hiilijalanjälkeä. Kasvikuidun keräämispaikoissa täytyy varmistaa, ettei ympäristössä ole epäpuhtauksia kuten raskasmetalleja, joita kasvit ovat voineet kerätä itseensä (Aulio, K. 2017). Epäpuhtauksista voisi olla suurina pitoisuuksina haittaa. Monet esikasvatettavat kasvit ja niiden hedelmät ovat syötäviä, jolloin epäpuhtaudet voisivat kerääntyä syömisen kautta myös ihmiseen. (Sikakwe, Ojo & Uzosike 2024)

3.2.4 Kierrätyspaperi ja -kartonki

Raaka-aineiden uudelleenkäyttäminen auttaa vähentämään kasvihuonepäästöjä, luonnonvarojen kulutusta ja tuotantoon liittyviä energian sekä resurssien kulutusta. Lisäksi kierrättäminen vähentää jätettä kaatopaikoilta sekä valtameristä. Eli kierrätyspaperin ja -kartongin käyttö on kestävän kehityksen mukainen valinta. (DS Smith n.d.)

Kierrätysmassaan raaka-ainetta saadaan kuluttajilta, teollisuudelta ja yrityksiltä. Varsinkin pakkausmateriaalit ovat hyvin yleisiä kierrätysmateriaaleja. Yleisin pakkausmateriaali on aaltopahvikartonki. Kuvassa 4 on kierrätykseen tulleita aaltopahvi paaleja. Muita yleisiä materiaaleja ovat aikakausi- ja sanomalehdet sekä mainosmateriaalit. Kierrätysmassasta voidaan halutessaan poistaa muste ja muut ylimääräiset aineet siistauksen avulla. (ArtesCon n.d.)



KUVA 4. Kierrätykseen tullutta aaltopahvikartonkia, joka on sidottu yhteen metallilangoilla (SPI n.d.).

Kierrättäminen huonontaa paperien ja kartonkien kestävyyttä sekä muita ominaisuuksia, joten kierrätysmassa ei sovellu kaikkiin käyttökohteisiin yhtä hyvin kuin neitseellinen massa. Kierrätysprosessissa kuidut heikkenevät sekä lyhenevät, mikä vähentää niiden lujuusominaisuuksia. Kierrätysmassaa pystyy kierrättämään vain rajoitetun ajan. Riippuen käyttökohteesta massan sekaan voidaan lisätä myös ensiömassaa, jolloin massan ominaisuudet paranevat ja käyttöikä pitenee. (Metsäteollisuus 2021)

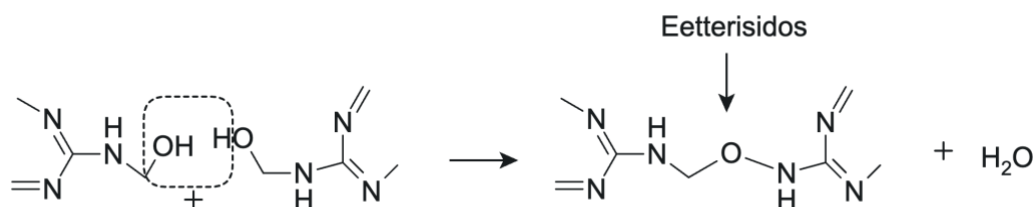
Kierrätyspaperimassaa käytetään usein kuituvalussa sen edullisuuden ja vähäisempien laatuvaatimusten vuoksi. Massa on tällöin ympäristöystävällistä, kestävää sekä joustavaa ja toimii hyvin muovin korvaajana tietyissä tehtävissä. (SPI n.d.) Kierrätysmassa toimii yllämainituista syistä myös mainiosti esikasvatusruukkujen raaka-aineena. Varsinkin värjäämätön aaltopahvikartonki on mainio vaihtoehto. Aaltopahvin kanssa ei tarvitse miettiä mahdollista painovärien epäekologista puolta, joten voidaan välttää siistausprosessi ja tehdä tuotannosta yksinkertaisempi ja tehokkaampi.

3.2.5 Lisäaineet

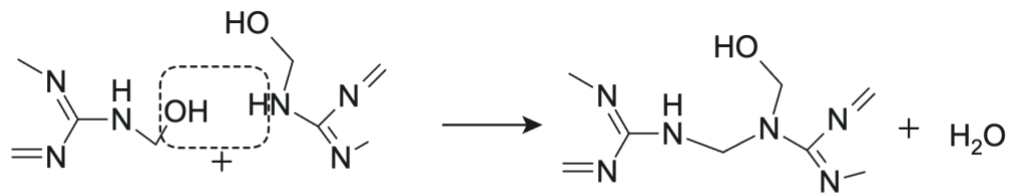
Märkälujahartsit ovat yleisesti käytettyjä kemikaaleja paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Ne parantavat tuotteiden ominaisuuksia kosteissa olosuhteissa, jolloin niiden rakenne säilyy parempana. Varsinkin lujuusominaisuudet huononevat merkittävästi kostealla paperilla verrattuna kuivaan tuotteeseen. (Kuusinen, K. 2013)

Märkälujahartsit voidaan jakaa synteettisiin ja luonnonmukaisiin. Synteettisiä ovat esimerkiksi glyksaalipohjaiset hartsit sekä polyamidiamiini-epikloorihydriini lyhyemmin PAE. Näitä käytetään erityisesti pehmopapereissa sekä pakkausmateriaaleissa. Luonnonmukaisia ovat tärkkelysmodifikaatiot ja kasvipohjaiset polymeerit. (Biohartsit n.d.)

PAE toimintaperiaate kuduissa perustuu vetovoimiin positiivisten ja negatiivisten varausten välillä. Paperiarkin kuivuessa hartsit imeytyy kuituihin ja muodostaa ristsidoksia, jotka rajoittavat veden imeytymistä, estävät kuitujen turpoamista ja suojaavat kuitujen välisiä vetysidoksia. Kosteaa paperia voi säilyttää yli 30 % kuivaluujuudestaan ja vastaavanlainen ilman märkälujahartsia säilyttää vain noin 2 % kuivaluujuudestaan. Tärkeimpiä kohtia reaktiossa ovat eetterisidoksien sekä metyleenilinkien muodostumiset. Kuvioissa 1 ja 2 on havainnollistettu kyseisten sidosten muodostuminen. (Liu, K. & Li, Q. 2014)



KUVIO 1. Eetterisidoksen muodostuminen.



KUVIO 2. Metyleenilinkin muodostuminen.

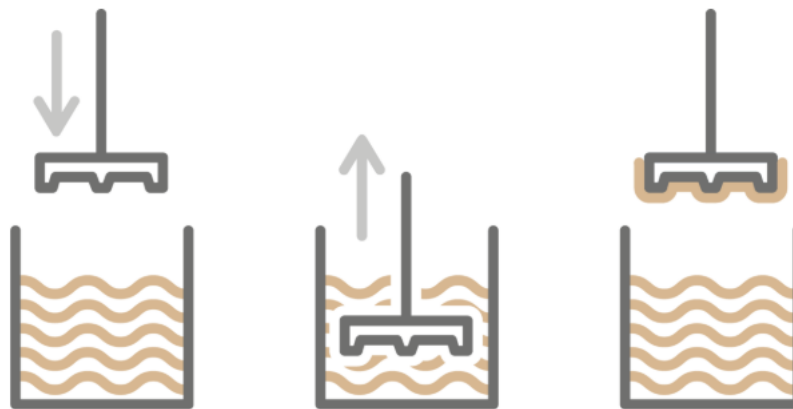
Esikasvatusruukussa märkälujahartsit parantavat kosteudenkestoa. Tämä parantaa ruukun rakenteen muodossa pysymistä sekä käyttöikä. Märkälujahartsia valittaessa täytyy ottaa huomioon käytettävä hartsityyppi, jotta se soveltuu maaperään istutettavaan kasvatusruukkuun. (Bhola, P. 2022)

3.3 Valmistusmenetelmät

Kuituvalu on yleisin esikasvatusruukkujen valmistusmenetelmä. Kuituvalos tuotteiden yleisimmät raaka-aineet ovat erilaiset paperimassat sekä luonnonkuidut. Nämä määrittelevät yleisesti tuotteen fysikaaliset ominaisuudet, värin sekä pintarakenteen. Kuituvalun tuotteet ovat yleensä helposti kierrätettäviä ja ekologisia. (SPI n.d.)

Valmistus aloitetaan raaka-aineiden sekoittamisella veteen eli pulperoinnilla, jolloin saadaan tasalaatuinen massa. Pulperoinnin aikana paperikuidut defibriloituvat eli kuitujen väliset sidokset aukeavat ja osa kuiduista myös katkeaa. Tämä mahdollistaa muodon muuttumisen ja uusien sidosten muodostumisen. Massan sakeus muokataan haluttuun säätelämällä lisättävän veden määrää. Seuraavaksi massa siirtyy altaaseen, johon tuotteen lopullisen muodon antava kappale lasketaan. Muotti laskeutuu massaan, jolloin sen sisälle luodaan alipaine. Massa tiivistyy muotoiluverkon ympärille alipaineen seurauksena ja massassa oleva ylimääräinen vesi poistuu verkon läpi imuputkeen muotin noston aikana. Kuviossa 3 on esitetty kuitujen tarttuminen muotin pintaan. (Pulp-Tec n.d.)

Massalla päällystetty muotti siirtyy hihnalle ja kulkee kuuman uunilinjaston läpi, jolloin tuote kuivuu muotoonsa ja irtoaa muotista. Kuivuneet tuotteet ovat usein vähän epämuodostuneita ja pinta on epätasainen riippuen massassa käytetyistä raaka-aineista. Tuotteet usein kuuma- tai jälkiprässätään, jolloin pinnasta saadaan tasaisempi ja huolitellumman näköinen. Prässäys tapahtuu kaksipuolisen muotin välissä, joka on muodoltaan samanlainen kuin alussa käytetty muotti. Prässäyksessä voidaan luoda tuotteeseen myös kohokuvioita kuten logoja. Jos tuotteeseen halutaan tarkoituksellisia reikiä pohjaan, ne voidaan stanssata ja tuotteen reunat leikata. Lopuksi tuote pakataan ja lähetetään ostajalle. (Pulp-Tec n.d.)



KUVIO 3. Muotoilutyökalu lasketaan massa-altaaseen, jossa kuidut tarttuvat muottiin alipaineen avulla (Pulp-Tec n.d.).

Muita valmistusmenetelmiä ovat esimerkiksi puristemuovaus ja ruiskuvalu. Puristemuovaus on toiselta nimeltään kuivapuristus, jossa kuiva aines puristetaan muotoonsa korkean paineen ja lämmön avulla (BonitoPak n.d.). Ruiskuvalussa käytettävä raaka-aine ruiskutetaan muottien ympärille ja kuivataan, jolloin saadaan halutunlaisia tuotteita. Molemmat tekniikat ovat edullisia ja ekologisia huomioon ottaen käytettävät raaka-aineet. (Packaging Europe 2023)

3.4 Yleisiä ongelmia

Esikasvatusruukuilla on monia vaatimuksia, jotta tuote olisi mahdollisimman toimiva ja kuluttajaystävällinen. Yleisimpiä ongelmia orgaanisilla esikasvatusruukuilla ovat homealttius, rakenteelliset vaikeudet sekä liiallinen veden pidättävyys.

Suurimpana ja epämieluisimpana ongelmana esikasvatusruukuille ilmenee homeiden itäminen. Esikasvatusruukku on taimen kasvatusvaiheessa monesti hyvin kostea, se sisältää maatuvia raaka-aineita sekä ympäröivät olosuhteet ovat lämpimät. Sen seurauksena ruukku on hyvin otollinen kasvuympäristö monenlaisille homeille. Homeita pystytään estämään ja vähentämään erityyppisillä homeenestoaineilla. Aineissa täytyy ottaa huomioon niiden ympäristöystävällisyys, etteivät ne vaikuta ruukuissa elävien kasvien toimintaan. Lisäksi ruukun raaka-aineilla voidaan luonnollisin keinoin vaikuttaa homealttiuteen. (Suomen luonnonmaalit 2020)

Toinen merkittävä ongelma on ruukun liiallinen kosteus ja rakenteen pettäminen. Jos esikasvatusruukun seinämät ovat pitkiä aikoja hyvin kosteita alkavat lujuusominaisuudet alentua, jolloin koko ruukku voi revetä tai lyhyhistyä kasaan. Liiallista kosteutta ruukussa voidaan vähentää tekemällä pohjaan reiät tai muokata ruukun seoksesta hengittävämpi. Reiällisen ruukun valmistusta varten täytyy olla sopiva muotti tai tuotantoon täytyy lisätä erillinen vaihe reikien tekoa varten, mikä lisää tuotannon työmäärää. (Micheal, J. 2021)

Lisäksi täytyy ottaa huomioon myös ruukun liiallinen rakenteellinen kestävyys. Ongelmana olisi silloin ruukun hajoamattomuus kasvatusalustaan istutettaessa tarpeeksi nopeassa ajassa, jolloin juuret eivät pääsisi levittäytymään ympäristöön. Jos ruukulla on liian vahvalta vaikuttava rakenne, ruukun seosta voidaan muuttaa kevyemmäksi ja huokoisemmaksi paremman hajoavuuden saavuttamiseksi. (Micheal, J. 2021)

4 KOKEELLINEN OSUUS

4.1 Standardit ja seoksien merkintätavat

Mittaukset suoritettiin standardien mukaisesti Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa. Mittausolosuhteet olivat ISO 187-standardin mukaiset, mikä takaa mittausten toistettavuuden. Lämpötila oli noin 23 astetta ja kosteus 50 %. Tutkimuksissa hyödynnettiin viittä eri tutkimusmenetelmää. Taulukossa 1. on esitetty mittausten menetelmät ja mittalaitteet. Samassa taulukossa näkyy myös käytetyt standardit ja rinnakkaisten mittausten lukumäärä. Standardit mahdollistavat aineiston analysoinnin luotettavasti ja vähentävät satunnaisten virheiden riskiä. Lisäksi laitteiden kalibrointi varmistaa mittauskierrosten tulosten vertailukelpoisuuden keskenään.

TAULUKKO 1. Mittaustavat ja niihin kuuluvat standardit.

Mittaustapa	Standardi	Mittaukseen käytetty laite	Mittausten lukumäärä
Neliömassa	ISO 187, ISO 536	KERN RG 420-3NM	5
Paksuus	ISO 187, ISO 534	L&W micrometer	5
Puhkaisulujuus	ISO 187, SCAN-P 92:09	L&W Bursting strength tester	4
Vesiabsorptio	ISO 187, ISO 535	Water abs. Cobb method	4
Freeness	ISO 187, ISO 5267	L&W Canadian Standard freenes	6

Mittauksilla oli keskeinen rooli materiaalien ominaisuuksien arvioinnissa ja vertailussa. Jokainen mitattu arvo tarjosi tärkeää tietoa tutkittavan seoksen käyttäytymisestä ja soveltuvuudesta esikasvatusruukkuun. Tulosten avulla voidaan tehdä perusteltuja päätöksiä esimerkiksi raaka-ainevalinnoista tai valmistusprosessin säädöistä.

Mitattavia seoksia oli yhteensä kahdeksan kappaletta. Kaupallinen tuote on merkitty K-kirjaimella ja sen raaka-aine sisältöä ei ole muokattu eli tuotteesta on mitattu vain tarvittavat tiedot. Muut seokset ovat itse tehtyjä ja taulukko 2 selventää seoksissa käytetyn pääraaka-aineen. S-kirjaimella alkavat seokset sisältävät pääraaka-aineena sanomalehtimassaa ja muut seokset perustuvat kartonkimassaan.

TAULUKKO 2. Seosten merkintätavat ja pääraaka-aineet.

Seoksen merkintä tapa	Seoksen pääraaka-aine
A-E	Kartonkimassa
S1 ja S2	Sanomalehtimassa
K	Kaupallinen tuote

4.2 Valmistelu

Työ aloitettiin valmistelemalla raaka-aineet sopivaan muotoon. Osa raaka-aineista muotoutuu haluttuun muotoon, kun ne ovat sivuvirtoina muissa prosesseissa. Osaa raaka-aineista täytyi itse jauhaa pienempään hiukkaskokoon, jotta testausarkeista ja lopulta tuotteista saadaan tasakoosteisia ja ulkonäöltään miellyttäviä.

Ensimmäisellä laboratoriokerralla valmistettiin A ja B seoksen arkit, joiden raaka-aineiden suhteet erosivat toisistaan. Arkkien teko aloitettiin punnitsemalla haluttu määrä raaka-aineita analyysivaa'an avulla. Punnitut aineet lisättiin 10 litran astiaan. Raaka-aineita oli yhteensä kuivapainona mitattuna 500 grammaa ja vettä lisättiin seokseen 5 litraa. Seokseen lisättiin myös märkälujaliimaa 3 ml parantamaan lujuusominaisuuksia. Myöhemmillä laboratoriokerroilla valmistui C-E seokset sekä S1 ja S2 seokset. Kyseisistä seoksista tehtiin hieman pienemmät erät, mutta kuiva-aineen ja veden suhde pysyi samana kuin A ja B seoksilla. Osaan seoksista laitettiin märkälujaliimaa ja sen vaikutuksia seoksen rakenteeseen tutkittiin.

Seosten annettiin vettyä yön yli huoneenlämmössä eli noin 21 asteessa. Seuraavana päivänä seokset hajotettiin tasaiseksi märkähajottamalla käyttämällä kuvassa 5 esitettyjä L&W märkähajotuslaitteistoja. Märkähajotuslaitteiston astia oli noin 3 litraa, joten molemmat seokset hoidettiin kolmessa erässä ja yhdistettiin takaisin omissa astioissaan. Kumpaakin seosta hajotettiin 10 100 kierroksen verran ja ajallisesti se kesti noin 30 minuuttia.



KUVA 5. TAMKin laboratorion märkähajotuslaitteet.

Seuraavaksi seoksista tehtiin arkkeja. Arkkien muodostamiseen käytettiin L&W arkkien valmistuslaitetta ja valmiit arkit kuivattiin uunissa yksitellen. Jokaisesta seoksesta valmistettiin 15 arkkiä ja arkit olivat kooltaan 16,5x16,5 cm. A ja B seoksien kohdalla yhteen arkkiin mitattiin 150 ml seosta, joka laimennettiin 600 ml, jolloin näytteen sakeudeksi tuli 15 g/l. Muiden seosten kohdalla yhteen arkkiin mitattiin 100 ml seosta ja se laimennettiin 500 ml, jolloin sakeudeksi tuli noin 12 g/l. Arkit muodostuivat laitteen verkolle veden poistuessa verkon läpi alipaineen avulla kuvan 6 mukaisesti. Kosteat arkit laitettiin kahden kuivan imuarkin päälle ja niiden päälle lisättiin vielä kaksi imuarkkia sekä metallinen levy. Kostea arkkiä kuivattiin kaulitsemalla sitä vakiopaineella imuarkkien kanssa viisi kertaa ennen kuivatusta kuivatusuunissa. Kaulitseminen parantaa arkin kuivumista sekä tiivistää rakennetta. Kuivatut arkit vietiin standardoituihin olosuhteisiin, jotta tulevat mittaukset olisivat mahdollisimman luotettavia ja toistettavia.



KUVA 6. Arkkientekolaite ja sen pintaverkolle muodostunut uusi arkki.

Seoksista mitattiin freeness-luku Canadian standard freeness-laitteiston avulla, joka kuvaa massan suotautuvuutta. Yleisesti suotautuvuus muuttuu jauhatuksen edistyessä ja kartongin teknisten ominaisuuksien kannalta kartongin vetolujuus kasvaa lineaarisesti jauhatuksen mukaan (Knowpap-versio 26.0, 2025a). Seosten koostumusta laimennettiin vedellä, jolloin sakeudeksi saatiin haluttu 3 g/l. Mittaukset toteutettiin huoneenlämmössä laboratoriotiloissa. Mittauksessa käytettiin 1 000 ml näytteitä ja mittaukset toistettiin yhteensä kuusi kertaa ja saadut tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Jokaisen näytteen jälkeen laitteisto puhdistettiin huolellisesti ennen seuraavan näytteen testaamista.

Näyteseoksia tutkittiin myös kuitutasolla mikroskoopin avulla. Laitteena toimi Nikon E400 ja kuva-analyysina Image Pro, jonka avulla oli mahdollista nähdä näyte kymmenkertaisesti tarkemmin kuin ihmissilmällä. Mikroskoopin avulla

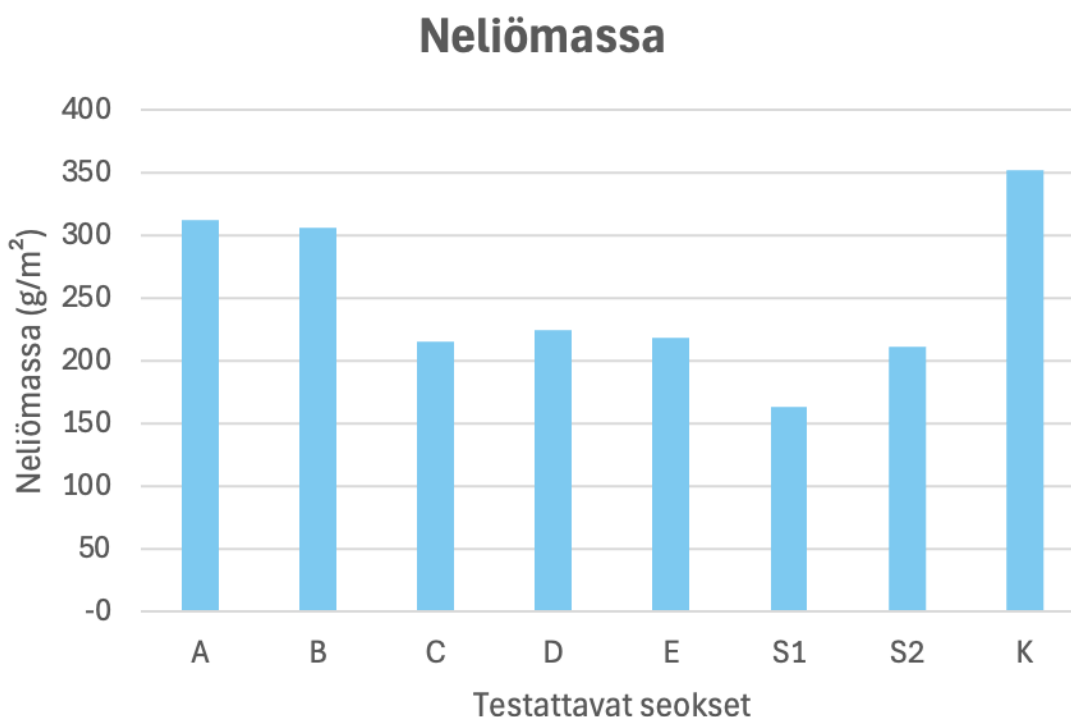
pystyi tutkimaan tarkemmin kuitujen kokoluokkaa sekä rakenteellisia ominaisuuksia. Standardoiduissa laboratorio olosuhteissa testiarkeista tutkittiin myös neliömassa, paksuus, puhkaisulujuus sekä vesiabsorptiokyky, joka kuvaa veden imeytymistä arkkiin tietyssä ajassa. Näiden avulla saatiin enemmän rakenteellisia tietoja tulevia esikasvatusruukkuja varten. Neliömassan ja paksuuden avulla pystyttiin laskemaan myös tiheys ja bulkki. Saatuja tuloksia verrattiin kilpailevan yrityksen kaupallisessa myynnissä olevan tuotteen mitattuihin tuloksiin.

5 TULOSTEN KÄSITTELY

5.1 Neliömassa ja sakeus

Neliömassalla tarkoitetaan yhden neliömetrin kokoisen paperin tai kartongin massaa grammoina. Neliömassalla on suuri vaikutus moniin erilaisiin ominaisuuksiin ja sen muutosten vaikutukset johtuvat kuitujen ja lisäaineiden määrien muutoksista. Esimerkiksi neliömassan pienentäminen vaikuttaa tuotteen paksuuteen, lujuuteen sekä opasiteettiin eli tuotteen läpinäkyvyyteen. Yleisesti, jos neliömassa on yli 125 g/m^2 tuotteita kutsutaan kartongeiksi. Neliömassan alentaminen on myös ympäristökysymys, koska sen alentaminen pienentää useasti energian kulutusta ja jätteen määrää. (Knowpap-versio 26.0, 2025b)

Näytteiden neliömassojen välillä esiintyy vaihtelua kuvion 4 mukaisesti. Kaupallisen tuotteen neliömassa on hieman yli 350 g/m^2 , joka on samalla testatuista arkeista suurin. Pienin neliömassa on S1 seoksella ja se on noin 160 g/m^2 . Jokaisen seoksen neliömassa on korkea, mikä luo vahvuutta rakenteeseen ja hyvät lähtökohdat toimia esikasvatusruukkuna.



KUVIO 4. Neliömassa mitatuista testiarkeista.

Neliömassan tuloksiin aiheuttaa vaihtelua myös seosten sakeudet arkkien tekovaiheessa. Sakeudet vaihtelevat hieman seoksien välillä, koska osa seoksista toimi arkituslaitteella hyvin ja toiset päästivät vettä lävitse hyvin hitaasti. Työtä hankaloitti alipaineen puuttuminen laitteesta, joten joidenkin seosten kanssa joutui odottamaan useita minuutteja yksittäisen arkin valmistumista.

Taulukossa 3 on esitetty jokaisen seoksen sakeus ennen arkituslaitetta. Kaupallisella tuotteella ei ole arvoa, koska sen seoksen tarkemmista raaka-aineista ja arvoista ei ole tietoa. Arkituslaitteella massa sekoitetaan veteen ilmakuplien avulla, jolloin sakeus laimenee taulukossa 3 mainituista arvoista pienemmiksi. S1 seoksen kanssa oli vaikeuksia saada seoksesta tasakoostein, minkä seurauksena kyseiseen seokseen on lisätty enemmän vettä, mikä vaikuttaa suoraan sen sakeuteen. Lisäksi seoksilla esiintyi fraktioitumista eli vesi ja kuitumassa erottuivat toisistaan nopeasti, mikä lisää arkkien välillä olevia eroja ja vähentää tasakoosteisuutta.

TAULUKKO 3. Seoksien sakeudet ennen arkituslaitetta.

Testattavat seokset	Sakeudet (g/l)
A	100
B	100
C	60,6
D	60,7
E	60,6
S1	37,7
S2	60,6
K	-

5.2 Paksuus

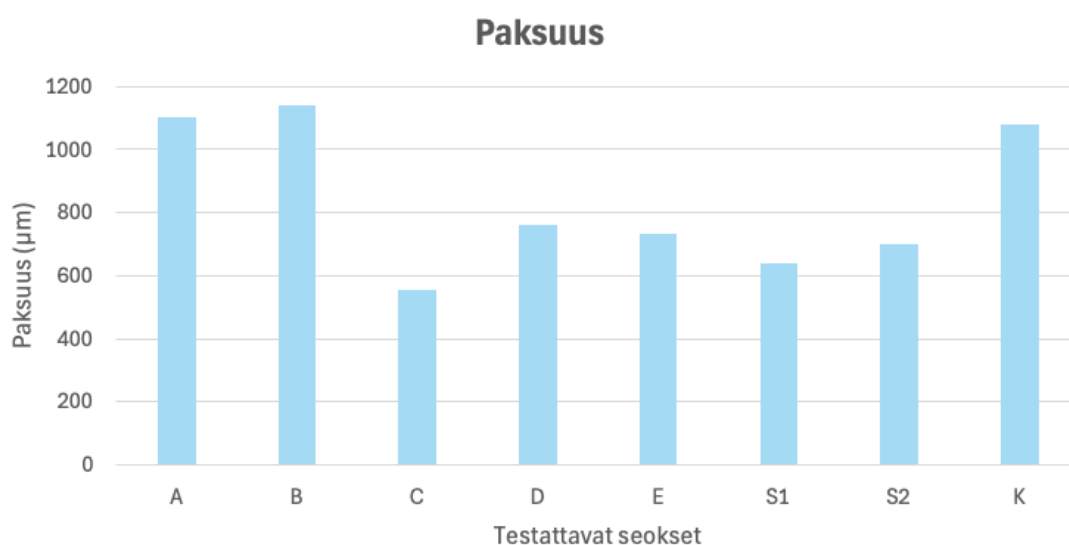
Paperin ja kartongin paksuus määritellään yksittäisen arkin pintojen väliseksi etäisyydeksi. Paksuus voidaan mitata yksittäisestä arkista tai pinopaksumena, joka jaetaan mitattavien arkkien määrällä. Varsinkin kartonkituotteissa paksuus

on tärkeä tekijä ja se luo pakkauksiin halutun jäykkyyden. Paksuusvaihtelut voivat johtua useista seikoista, kuten epäsäännöllisestä neliömassasta. (Knowpaper-versio 26.0, 2025c)

Kuviossa 5 on esitetty arkkien paksuuserot graafisesti ja mittaustapana käytettiin yksittäisiä arkkeja. Laboratoriossa tehdyt testiarkkiseokset A ja B ovat mittausten mukaan selkeästi paksumpia kuin muut testiseokset ja hieman paksumpia kuin kilpailevan yrityksen kaupallinen tuote K.

Myöhemmin tehdyt arkit D ja E ovat hyvin samantyyppisiä raaka-aineiltaan ja niiden paksuudet ovat myös lähellä toisiaan, mikä toistuu myös S1 ja S2 tapauksessa. Myöhemmissä arkeissa seoksen määrää tietoisesti pienennettiin, mikä vaikuttaa suoraan arkkien paksuuteen. A ja B seosten arkkien valmistus oli hyvin hidasta, koska arkituslaitteessa ei ollut kunnollista alipainetta, mikä olisi nopeuttanut veden poistumista muodostumisverkolta.

Seoksen C kanssa oli merkittäviä ongelmia arkkien valmistuksen yhteydessä ja yksittäisten arkkien välillä oli suuria paksuus eroja, jotka luovat epäluotettavuutta tuloksiin. Keskiarvoltaan kyseinen seos on kaikista ohuin.



KUVIO 5. Paksuus mitatuista testiarkeista.

Lopullisen tuotteen kanssa kannattaisi tähdätä suunnilleen 1100 mikrometrin paksuuteen, mikä olisi samoilla linjoilla kaupallisen seoksen kanssa. Samankaltainen paksuus kaupallisen tuotteen kanssa lisää varmuutta kasvien juurien kyvystä päästä levittäytymään ympäristöön ja esikasvatusruukun rakenteellisesta kestävydestä esikasvatusvaiheessa.

5.3 Tiheys ja bulkki

Kartongin ja paperin kiintotiheys lasketaan kyseisen arkin neliömassan ja paksuuden perusteella. Se kuvaa massan määrää tietyssä tilavuudessa, joten esimerkiksi pieni tiheksinen kartonki on kevyttä ja huokoista. Bulkki saadaan kiintotiheyden käänteislukuna ja se kuvaa kartongin huokoisuutta ja paksuutta suhteessa sen massaan. Korkea bulkki tarkoittaa kyseisen näytteen olevan paksu, mutta kevyt rakenteinen, mikä tekee siitä tuotteena jäykemmän ja ilmavamman. Yleisesti käytössä oleva taivekartonki on tiheydeltään 600-700 kg/m³ luokkaa ja bulkiltaan 1,4-1,7 cm³/g. (Knowpap-versio 26.0, 2025d)

Näytteiden tiheydet ja bulkkiarvot on esitetty taulukossa 4. Tiheyden arvot vastaavat ohuen kartongin arvoja. Neliömassa on testiarkeilla melko korkea ja paksuus huomattava, joten tiheyden arvot jäävät yllättävän alhaisiksi. Tämä viittaa siihen, että testiarkit ovat hyvin huokoisia ja sisältävät paljon kuituja, jotka luovat ilmavaa rakennetta. Myös bulkin arvot tukevat tätä havaintoa eli näytteet ovat kevyitä ja rakenteeltaan huokoisia. Näiden ominaisuuksien perusteella seokset soveltuvat hyvin esikasvatusruukkujen valmistukseen, ja niiden arvot ovat lähellä kaupallisten ruukkujen tasoa.

TAULUKKO 4. Testattavien arkkien tiheydet sekä bulkkiarvot.

Testattava arkkityyppi	Tiheys (kg/m ³)	Bulkki (cm ³ /g)
A	284	3,52
B	269	3,72
C	388	2,6
D	296	3,4
E	298	3,4
S1	256	3,9
S2	301	3,3
K	327	3,1

5.4 Puhkaisulujuus

Puhkaisulujuudella tarkoitetaan käytettävän hydraulisenpaineen enimmäisarvoa, jonka paperi tai kartonki kestää rikkoutumatta. Näyte altistetaan paineelle pyöreän elastisen kalvon välityksellä, kun näyte on rengasmaisesti kiinnitetty kalvon päälle. Puhkaisulujuus määräytyy mittauskohdan pienimmän murtovenymän mukaan. Puhkaisulujuutta voidaan tietyt rajoitukset mukaan lukien käyttää kartongin yleislujuuden mittana. (Knowpap-versio 26.0, 2025e)

Taulukon 5 mukaan seoksella S1 on selkeästi suurin puhkaisulujuus, joka on 269 kPa. Esikasvatusruukkuna tämä seos olisi luultavasti liiankin kestävä, jolloin kasvien juuret eivät pääsisi levittäytymään ympäristöön. Seuraavaksi suurimmat puhkaisulujuudet ovat seoksilla D ja B sekä kaupallisella tuotteella. Näillä kahdella testiseoksella on päästy lähelle kaupallisen tuotteen arvoa, jota voidaan pitää hyvänä merkinä. Pienin puhkaisulujuudenarvo on seoksella E, jonka tulos on vain 82 kPa. Tähän seokseen kannattaisi lisätä hieman lujuutta antavia ominaisuuksia, kuten pitkäkuituista massaa tai hartsiliimaa parantaakseen sen toimivuutta esikasvatusruukkuna.

TAULUKKO 5. Puhkaisulujuuden arvot mittauksista.

Testattava seos	Puhkaisulujuus (kPa)
A	111
B	122
C	109
D	177
E	82
S1	269
S2	115
K	154

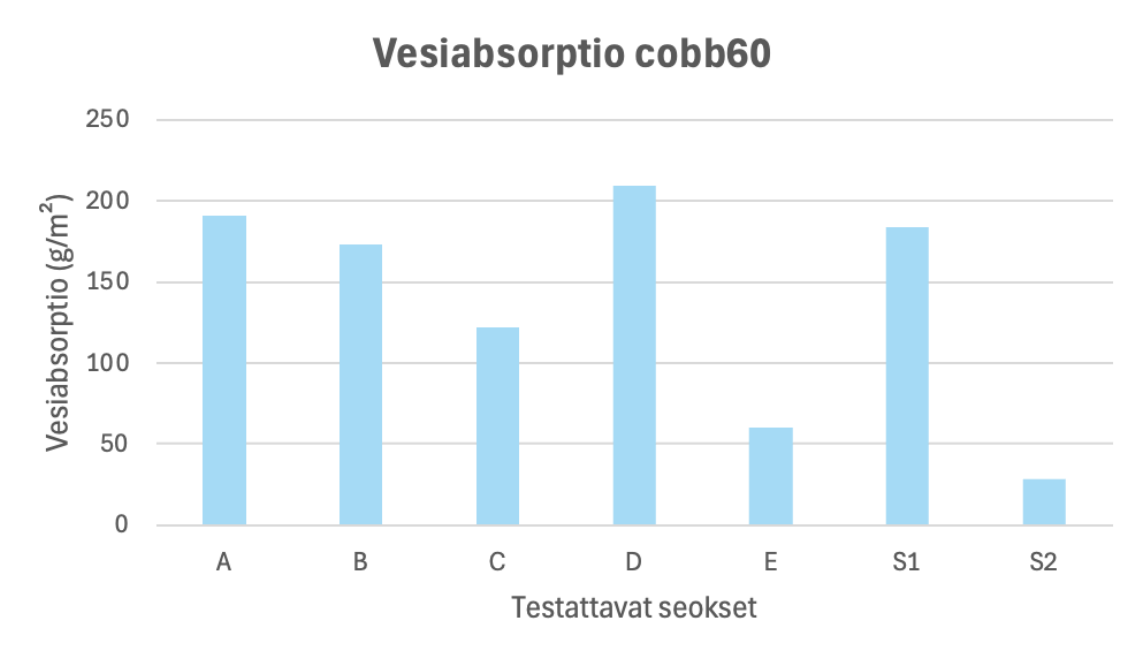
Esikasvatusruukkua varten täytyy ottaa huomioon, että puhkaisulujuusmittaukset on suoritettu standardiolosuhteiden mukaisesti hyvin kuiville arkeille. Lopullinen esikasvatusruukku tulee olemaan paljon kosteampi, mikä vaikuttaa suoraan puhkaisulujuuden arvoihin. Saadut taulukon 5 arvot antavat kuitenkin tärkeää tietoa testiarkkien rakenteista ja lujuuksista.

5.5 Vesiabsorptio

Vesiabsorptio kuvaa tislattun veden imeytymistä testiarkkiin tietyssä ajassa. Veden tunkeutuminen kuitujen väliin turvottaa rakennetta ja tekee arkista painavamman, jolloin arkin ennen ja jälkeen painojen erotuksesta voidaan laskea sen absorptiokyky. Kartongin imukykyyn voidaan vaikuttaa kuituraaka-aineiden ja lisäaineiden valinnalla sekä valmistusprosessin ohjausparametreilla. (Knowpap-versio 26.0, 2025f)

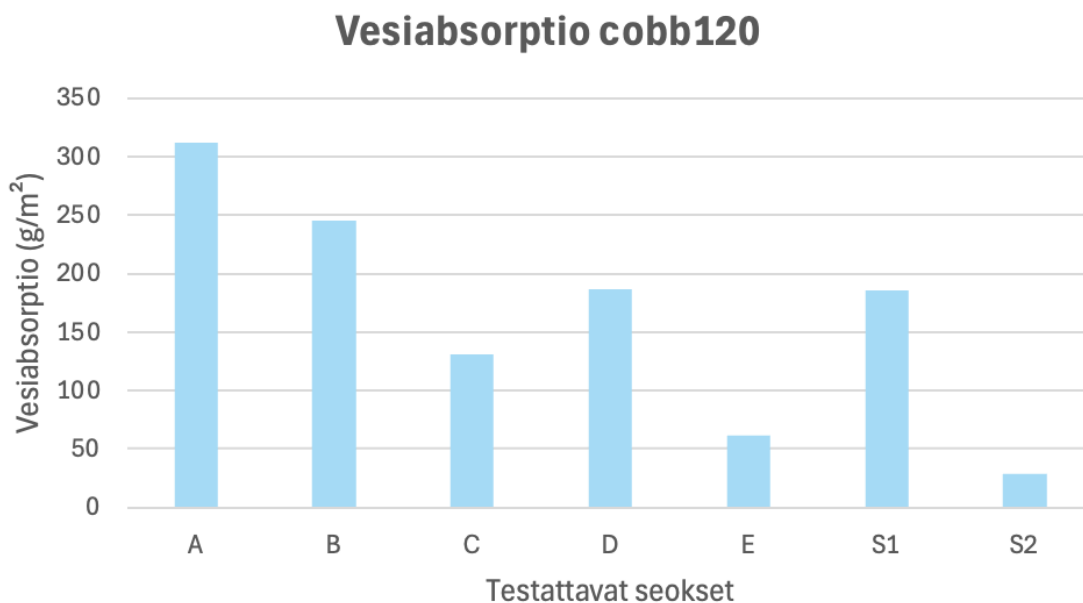
Usein tuotteen luontaista nesteimukykyä rajoitetaan erilaisilla menetelmillä ja lisäaineilla kuten päällystyksellä ja massaliimauksella. Nesteen spontaanit tunkeutumisilmiöt johtuvat van der Waalsin vetovoimista nesteen ja kiinteän aineen molekyylien välillä. Absorptioaikoja on useita erilaisia, mutta yleisimmät käytössä olevat ovat cobb60 ja cobb120. Numerot kuvaavat sekunteina aikaa, kuinka kauan vedellä on mahdollisuus imeytyä arkkiin ennen punnitusta. (Knowpap-versio 26.0, 2025f)

Kuviossa 6 ja 7 on esitetty vesiabsorptio mittausten tulokset. Kaupallista tuotetta ei ollut mahdollista mitata sen pienen koon sekä hankalan muodon takia. Sen seurauksena sitä ei ole esitetty kyseisissä kuvioissa. Kuviossa 6 on esitetty cobb60 mittaukset eli vedellä on ollut 60 sekuntia aikaa imeytyä testiarkkeihin.



KUVIO 6. Arkkien vesiabsorptioarvot cobb60 mittaustavalla.

Cobb60 mittauksessa suurin absorptiokyky oli seoksella D, jonka tulos oli yli 200 g/m². Pienimmät imukyvyt olivat seoksilla S2 sekä E, joiden tulokset olivat lähellä 50 g/m². Molemmissa pienen imukyvyn omaavissa seoksissa oli yhdistäviä raaka-aineita, jotka todennäköisesti vaikuttavat tuloksiin alentaen absorptiokykyä.



KUVIO 7. Arkkien vesiabsorptioarvot cobb120 mittaustavalla.

Cobb120 mittausten tulokset kuviossa 7 ovat hyvin samantyylliset kuin cobb60 mittaustulokset. Yllättävänä huomiona ilmeni, etteivät useiden seosten painot juurikaan nousseet, vaikka vedellä oli kaksinkertainen määrä aikaa imeytyä rakenteisiin. Suurimmat muutokset tapahtuivat A ja B seoksien arkeilla, joiden cobb60 tulokset olivat alle 200 g/m² ja cobb120 tulokset olivat lähellä 250 g/m² ja A seoksella jopa yli 300 g/m².

Tuloksissa täytyy kiinnittää huomiota, että kaikkia mittauksia ei virallisesti voitaisi ottaa huomioon. Kartonkien ja paperien vesiabsorptiomittauksissa ei yleisesti huomioida testauskertoja, jolloin vesi on imeytynyt testattavan arkin läpi toiselle puolelle. Sen seurauksena osa tuloksista olisi virallisesta näkökulmasta hylättyjä. Mitatuista testiarkeista seoksilla C, E ja S2 vesi ei läpäissyt arkkia testauksen aikana, joten niiden tulokset ovat hyväksytyjä virallisesta näkökulmasta. Muilla seoksilla vesi läpäisi todella nopeasti arkkien rakenteen ja alkoi levittäytyä sisärakenteen kautta myös testattavan alueen ulkopuolelle. Tämän seurauksena muiden seoksien arvot ovat merkittävästi suuremmat.

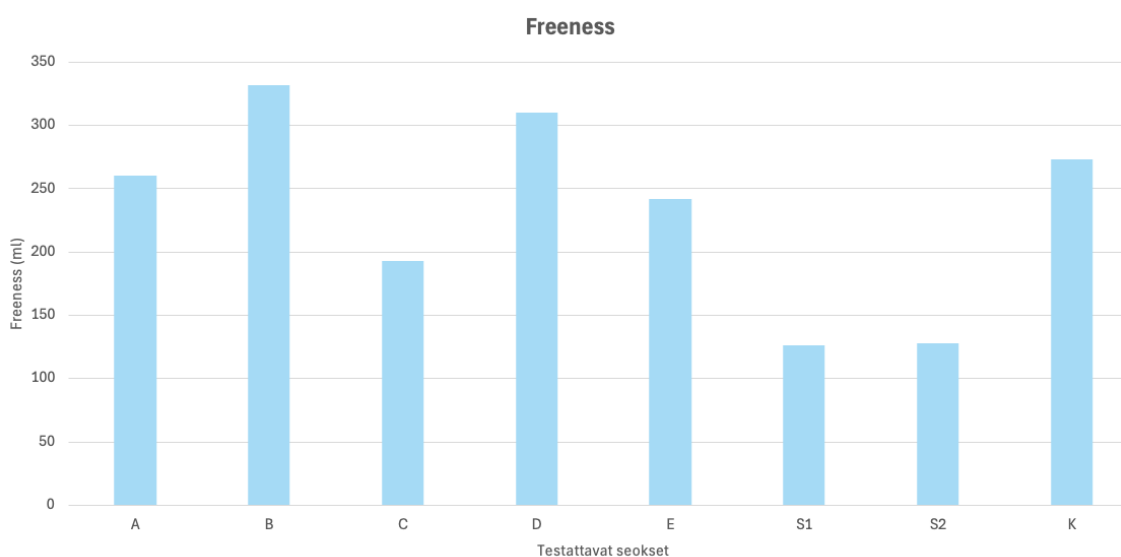
Esikasvatusruukkua varten jokainen tulos voidaan lukea hyväksytyjen joukkoon, koska tulokset antavat hyödyllistä tietoa testiarkkien rakenteesta ja ominaisuuksista. Lisäksi tutkittavat seokset eroavat merkittävästi raaka-

aineiltaan yleisistä paperi- ja kartonkityypeistä, jotka tutkitaan tarkemmin standardien mukaisesti.

5.6 Freeness

Canadian standard freeness yksinkertaisemmin pelkkä freeness kuvaa jauhatukseen liittyvää hienousastetta eli massan suotautuvuutta ja sitä mitataan CSF-luvun avulla. Erilaiset käyttökohteet asettavat eri vaatimuksia massan freeness-luvulle. Kartongit ja pehmopaperit ovat yleisesti 150-200 ml alueella ja LWC papereilla suotautuvuus voi olla jopa vain 50 ml. Tuloksen ollessa pieni on yleistä, että tutkittavassa näytteessä on korkea hienoainepitoisuus, jolloin vesi ei suotaudu helposti näytteen läpi. Korkea hienoainepitoisuus tekee lopputuotteesta tiiviimmän ja tasaisemman. (Knowpap-versio 26.0, 2025a)

Suurimmat freeness-arvot ovat seoksilla B, D ja K kuvion 8 mukaisesti. Freeness-arvot ovat lähellä 300 ml ja pienimmät arvot ovat noin 125 ml, jotka kuuluvat S1 ja S2 seoksille. Seokset, joilla on matalat CSF-luvut sisältävät paljon hienoainesta, mikä hidastaa veden läpäisevyyttä. Tämä täytyy ottaa huomioon esikasvatusruukkujen tuotantovaiheessa, jotta voidaan välttää merkittävät ongelmat tuotantolinjalla.



KUVIO 8. Seoksien freeness-luvut mittauksissa.

Freeness-testien yhteydessä testiseoksissa ilmeni myös selkeää fraktioitumista eli kuitumassa erottui vedestä seoksen pinnalle. Tämä on huomioitava varsinkin lopullisessa tuotannossa, jotta ei ilmene yllättäviä ongelmia valmistuksessa. Fraktioitumista voidaan estää hyvällä massan sekoituksella prosessissa sekä tarvittaessa sidosaineilla, jotka parantavat massan rakennetta.

5.7 Mikroskooppi

Mikroskoopilla tutkiminen on hyödyllistä kartongin rakenteen ja kuitukoostumuksen selvittämisessä. Mikroskoopilla voidaan tutkia kuitujen pituuksia ja paksuuksia sekä suuntautumista. Myös kierrätetty materiaali on mahdollista huomata tutkittavasta näytteestä. Kierrätyksessä kuidut yleensä haurastuvat ja niihin tulee pieniä repeämiä prosessin seurauksena. (Kibirktis, E. 2013)

Kuvassa 7 on mikroskooppikuvaa B seoksien kuiduista. Kuiduissa oli huomattavissa haurastumista, koska kuitujen seinämät eivät olleet enää siistit ja selkeät. Mikroskoopilla tutkittiin myös A ja C seosten kuituja ja niissä oli havaittavissa samoja ominaisuuksia.



KUVA 7. Tutkittava seos mikroskoopilla katsottuna.

5.8 Arkkien ulkonäkö

Arkit olivat ulkonäöltään hyvin huokoisia ja paksuuteen nähden kevyitä. Arkeista ei testattu optisia ominaisuuksia, koska ne eivät olisi esikasvatusruukulle hyödyllisiä tietoja rakenteellisten ominaisuuksien ollessa keskeisessä asemassa. Raaka-aineet loivat useisiin seoksiin ruskean sävyn, mikä antaa samalla myös kuluttajalle kuvan esikasvatusruukun ekologisuudesta ja luonnollisuudesta. Kuvassa 8 on esillä viiden eri seoksen testiarkit, joista pystyy arvioimaan lopulliseen esikasvatusruukkuun tulevaa ulkonäköä.



KUVA 8. Testiarkkien ulkonäöt ja värisävyt.

Testiseoksissa joidenkin raaka-aineiden kuidut olivat melko suuria, joten ne erottuivat nopeasti muusta massasta veden pinnalle. Tämä on myös nähtävissä valmiiden arkkien pinnassa kuvan 9 mukaisesti. Erottuminen voidaan halutessaan estää paremmalla ja pidemmällä raaka-aineiden jauhamisella.



KUVA 9. Valmis testiarkki ja sen pintaan esille jääneet suuret kuidut.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön aikana kehitettiin resepti ympäristöystävälliselle esikasvatusruukulle yhteistyössä Berner Oy:n ja Ecopulp Finland Oy:n kanssa. Esikasvatusruukun vaatimuksina oli riittävä rakenteellinen kestävyys, veden läpäisevyys sekä homeiden sietokyky. Lisäksi ruukun täytyy hajota esikasvatusvaiheen jälkeen kasvualustaan istutettaessa, mahdollistaen kasvien juurien levittäytymisen uuteen elinympäristöön.

Lopullinen resepti ja tarkemmat raaka-ainetiedot testiresepteistä ovat ainoastaan yritysten yksityisessä käytössä. Työssä testattiin seitsemää eri seosta mahdollistaen tiedot jokaisen raaka-aineen vaikutuksista esikasvatusruukun lopulliseen rakenteeseen, kestävyyteen sekä ulkonäöllisiin piirteisiin.

Työ aloitettiin pohtimalla käytettäviä raaka-aineita ja niiden ominaisuuksiin tutustumisesta. Laboratoriotestit aloitettiin kahdella erilaisella seoksella, joista valmistettiin Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa testiarkkeja. Arkkien ominaisuuksia tutkittiin laboratorioanalyysien avulla. Tuloksia vertailtiin kilpailevan yrityksen kaupallisen tuotteen arvoihin. Useat testiseokset olivat lähellä kaupallisen tuotteen arvoja, mikä luo hyvät lähtökohdat onnistua lopullisessa tuotteessa.

Raaka-aineiden ympäristöystävällisyys ja soveltuvuus esikasvatusruukkuun olivat tärkeitä huomioon otettavia tekijöitä. Varsinkin muiden prosessien sivuvirtojen hyödyntäminen esikasvatusruukun raaka-aineina ja kotimaisuus tekevät tuotteesta ekologisen ja taloudellisesti kestävän.

Materiaalien monimuotoisuuden takia testiarkeille tehdyissä standardisoiduissa mittauksissa esiintyi runsaasti vaihtelua mittaustulosten välillä, mikä luo mittausrvirhettä tuloksiin. Lisäksi osaa mittauksista ei voida pitää hyväksytyinä virallisesta näkökulmasta. Raaka-aineet eroavat mittauslaitteiden normaaleista mitattavista raaka-aineista, jotka yleisesti ovat erityyppiset paperi- ja kartonkilajit. Mittausten avulla saatiin suuntaa antavia tietoja esikasvatusruukun reseptiä varten, mikä edesauttoi sopivan reseptin löytymistä.

Tulosten perusteella esikasvatusruukuksi sopivimmat reseptit olisivat kartonkipohjaisista seoksista C tai D ja sanomalehtipohjaisista S2 seos. Kyseisillä seoksilla on monipuoliset ja vakuuttavat arvot jokaisessa mittauksessa. Lisäksi tulokset ovat lähellä kaupallisen tuotteen arvoja, jota voidaan pitää positiivisena merkinä. S2 seoksella täytyy ottaa huomioon sanomalehtimassassa olevat painovärit ja niiden mahdolliset vaikutukset ympäristöön. Jos kyseinen resepti päättyy lopulliseen tuotteeseen, täytyy painovärien sisällöt selvittää ja harkita värien poistoa massasta.

Jos C ja D seokset antavat viitteitä liian vahvasta rakenteesta, mikä huonontaisi vedenläpäisevyyttä sekä maaperässä hajoavuutta esikasvatusruukulla. Seos E voisi olla vahva ehdokas saatujen tulosten perusteella. Seoksen neliömassa, tiheys sekä bulkki ovat samassa luokassa C ja D seoksen kanssa. Tärkeänä huomiona seoksella E oli pienin vesiabsorptiokyky sekä puhkaisulujuus, jotka viittaavat vähemmän huokoiseen ja heikompaan rakenteeseen.

Lähitulevaisuudessa resepteistä tullaan ajamaan koeajot Ecopulpin tiloissa, jolloin selviää toimivuus tuotanto-olosuhteissa. Testituotteilla varmistetaan tuotteen toimivuus esikasvatusruukkuna. Berner Oy toteuttaa testaukset istutuskokeina. Niihin sisältyvät rakenteellisen kestävyuden varmistus, homeiden sietokyvyt sekä tarpeeksi nopea biohajoavuus maaperässä. Koeajojen ja mahdollisten reseptien parannusten jälkeen esikasvatusruukkuja tullaan valmistamaan kaupalliseen myyntiin kuluttajille.

LÄHTEET

ArtesCon. n.d. Paperi ja selluteollisuus. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://artescon.com/toimialat/metsateollisuus/paperi-ja-selluteollisuus>

Aulio, K. 2017. Uposkasvit sitovat ja hajottavat tehokkaasti veteen joutunutta bisfenoli A-kemikaalia. Tiedebasaari. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://tiedebasaari.wordpress.com/2017/05/02/uposkasvit-sitovat-ja-hajottavat-tehokkaasti-veteen-joutunutta-bisfenoli-a-kemikaalia/>

Berner. n.d. Berner Oy vastuullisuus. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://www.berner.fi/berner-oy/>

Bhola, P. 2022. Properties of paper-based biodegradable pots for growing seedlings. Artikkele. Viitattu 26.4.2025.
https://www.researchgate.net/publication/362150857_Properties_of_paper-based_biodegradable_pots_for_growing_seedlings

Bloomling n.d. Growing pots for plants. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://www.bloomling.uk/grow-your-own-plants/pots>

Biohartsit. n.d. Materialshop. Tuotteet. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://www.materialshop.fi/Tuotteet/Biohartsit>

BonitoPak. n.d. Dry pressing molded pulp trays. Verkkosivu. Viitattu 1.2.2025.
<https://bonitopak.com/products/dry-pressing-molded-pulp-trays/>

Comori Coffee. 2023. What is coffee bean chaff? Does it matter? Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://comoricoffee.com/en/coffee-bean-chaff-en/>

DS Smith. n.d. Now&Next – nyt ja tulevaisuudessa. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. <https://www.dssmith.com/fi/kestava-kehitys/kestavan-kehityksen-strategia>

Ecopulp Finland. n.d. Taloustiedot. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://www.finder.fi/Pakkaukset/Ecopulp+Finland+Oy/Koria/yhteystiedot/2113386>

Ecopulp. n.d. Ecopulp tuotteet. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.
<https://www.ecopulp.fi/>

Euroopan komissio. n.d. Hampun tuotanto EU:ssa. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/hemp_fi

Farmit. 2021. Hamppu on ilmastoviisaan viljelijän viljelykasvi. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. <https://www.farmit.net/erikoiskasvit/2021/08/30/hamppu-ilmastoviisaan-viljelijan-viljelykasvi>

Fig, S. 2023. Your new garden essential, coffee chaff. Detour. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://detourcoffee.com/blogs/news/feed-your-garden-with-coffee-chaff>

Haavisto, H. 2015. Alkaako esikasvatusruukussa olla ruuhkaa? Näin taimet koulitaan. MTV uutiset. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/alkaako-esikasvatusruukussa-olla-ruuhkaa-nain-taimet-koulitaan/5025468>

Joukanen, T. 2023. Kahvinjuonti opitaan edelleen kotona, mutta Suomen perinteinen suosikkimaku on vaihtumassa. Yle. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025 <https://yle.fi/a/74-20055812>

Kannah, J. 2021. Zero waste: What is chaff & how can specialty roasters reuse it? MTPAK Coffee. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://mtpak.coffee/2021/06/zero-waste-what-is-chaff-how-can-specialty-roasters-reuse-it/>

Kibirkstis, E. 2013. Microscopic analysis of recycled paper effect on print quality parameters. Artikkel. Viitattu 26.4.2025. https://www.researchgate.net/publication/237840167_Microscopic_analysis_of_recycled_paper_effect_on_print_quality_parameters

Knowpap versio 26.0. 2025a. AEL / Proledge Oy. Freeness. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden. https://www.knowpap.com/extranet/suomi/automation/10_process_measurements/2_pulp_variables/4_freeness/frame.htm?zoom_highlightsub=freeness

Knowpap versio 26.0.2025b. AEL / Proledge Oy. Neliömassa. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden. https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/1_basis_weight/frame.htm

Knowpap versio 26.0.2025c. AEL / Proledge Oy. Paksuus. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden. https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/3_thickness_and_bulk/frame.htm

Knowpap versio 26.0.2025d. AEL / Proledge Oy. Tiheys ja bulkki. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden. https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/3_thickness_and_bulk/frame.htm

Knowpap versio 26.0.2025e. AEL / Proledge Oy. Puhkaisulujuus. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden. https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/3_bursting_strength/frame.htm

Knowpap versio 26.0.2025f. AEL / Proledge Oy. Vesiabsorptio. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden. https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/5_surface_properties/5_sorption/frame.htm

Kuusinen, K. 2013. Märkälujahartsien, kuivalujahartsien ja prepolymeerien kuiva-ainepitoisuuksien määrittäminen halogeenikosteusanalyysaattorilla. Laboratorioanalytiikan tutkimusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 24.2.2025.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66808/markaluj.pdf?sequence=1>

Leka, J. 2016. Yleisimmät vesikasvit ja niiden poisto. Valonia. Luento materiaali. Viitattu 24.2.2025. https://www.valonia.fi/wp-content/uploads/2020/04/Yleisimm%C3%A4t-vesikasvit-ja-niiden-poisto-2016_pieni.pdf

Liu, K. & Li, Q. 2014. Wet strength paper. International Paper and Pulp Technology. Tampere University of Applied Sciences. Bachelor's thesis. Viitattu 24.2.2025.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78668/Qiuyue%20Li%20%20Ke%20Liu.pdf>

Markham, D. 2020. 7 DIY seed pots from common household items for starting seeds indoors. Treehugger. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025.

<https://www.treehugger.com/diy-seed-pots-common-household-items-starting-seeds-indoors-4858790>

Metsäteollisuus. 2021. Keräyspaperi on arvokas raaka-aine. Artikkelit. Viitattu 24.2.2025. <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/kierratyskuitu-arvokas-raaka-aine>

Micheal, J. 2021. How to get rid of mold on seedlings. Verkkosivu. Viitattu 28.4.2025. https://www.backyarddigs.com/gardening/mold-on-seedlings/?utm_source=chatgpt.com

Packaging Europe. 2023. How does a new injection molding technology for fibre-based packaging actually work. Verkkosivu. Viitattu 1.2.2025.

<https://packagingeurope.com/comment/how-does-a-new-injection-molding-technology-for-fibre-based-packaging-actually-work/10478.article>

Price, D. 2022. Shaking away the chaff. Verkkosivu. Viitattu 4.2.2025.

<https://davidcprice.com/shaking-away-the-chaff/>

Pro Agria. n.d. Kuituhampun viljely, jatkojalostus ja käyttö. pdf-tiedosto. Viitattu 1.2.2025.

https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/kuituhampun_viljely_jatkojalostus_ja_kaytto.pdf

Pulp-Tec. n.d. Process of production heavy duty pulp products. Verkkosivu.

Viitattu. Viitattu 1.2.2025. https://www.pulp-tec.com/en/mouldedpulp?gad_source=1&chHash=669118eccd603767be98b2cff14ec0

Ricciardi, P., Torchia, F., Belloni, E., Lascaro, E. & Buratti, C. 2017.

Environmental characterisation of coffee chaff, a new recycled material for building applications. Construction and Building materials. 147, 183-195. Vaatii

käyttöoikeuden. Viitattu 22.1.2025. <https://www.sciencedirect.com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S095006181730764X>

Sikakwe, Ojo & Uzosike. 2024. Assessment of human health risk concerning edible plants contamination with toxic elements around functional and derelict mines. Food and chemical toxicology. Viitattu 28.4.2025. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691524003260?utm_source=chatgpt.com

SPI. n.d. What is molded pulp? Sustainable packaging industries. Verkkosivu. Viitattu 1.2.2025. <https://s-packaging.com/pulp/what-is-molded-pulp/>
Suomen luonnonmaalit. 2020. Mitä homeenestoaineet ovat ja miten niitä käytetään? Verkkosivu. Viitattu 28.4.2025. https://suomenluonnonmaalit.fi/mita-homeenestoaineet-ovat-ja-miten-niita-kaytetaan-2/?srslid=AfmBOoqt3Gf2BATmlGVMIPF3jdm-PsNyKX7nyN3eGFMbrLruEd28ourc&utm_source=chatgpt.com

Ympäristökeskus. 2019. Mistä rehevöityminen johtuu? Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. <https://www.vesi.fi/vesitieto/mista-rehevoityminen-johtuu/>

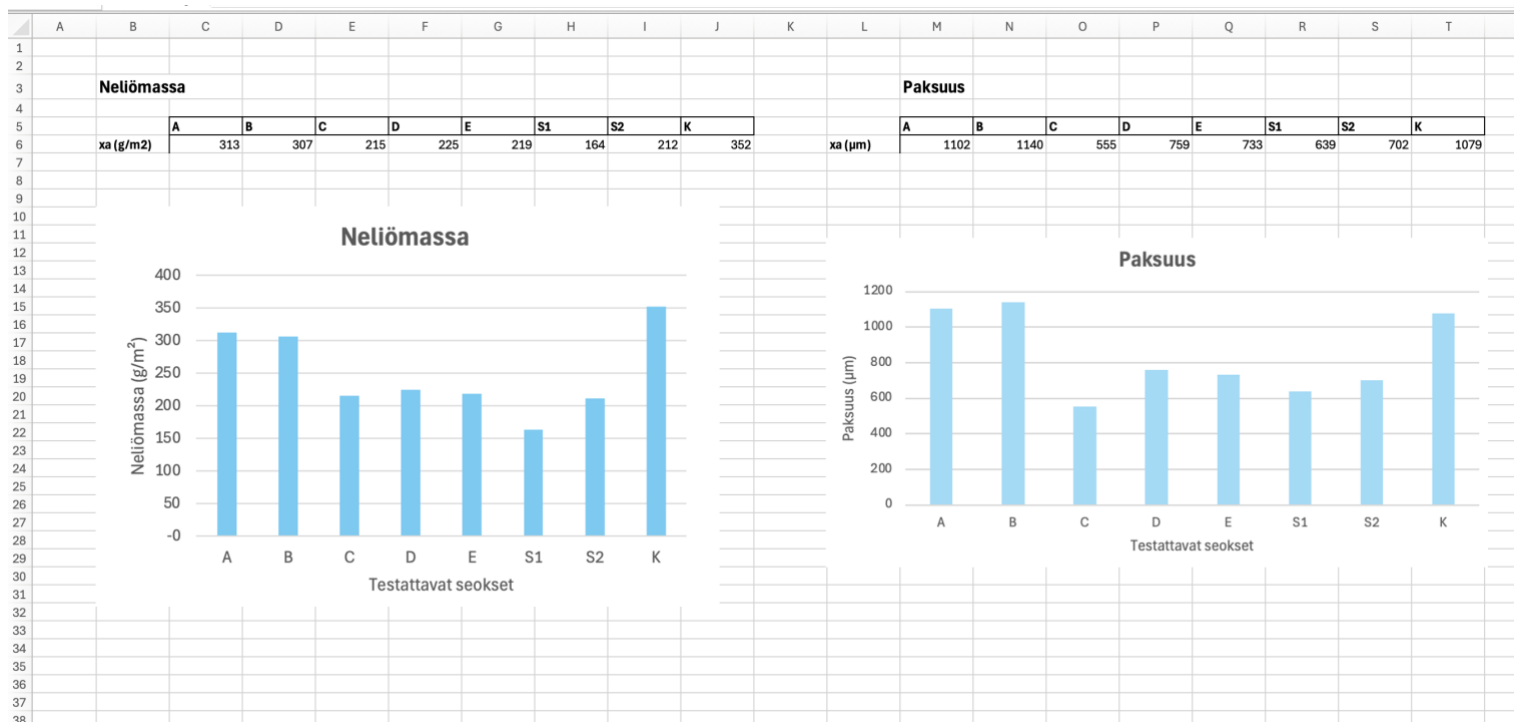
Wellness tree. n.d. Hemp fiber mulch. Verkkosivu. Viitattu 1.2.2025. <https://wellnesstreefarms.com/products/hemp-fiber-mulch>

Wilfa. n.d. Tiesitkö tämän kahvista? Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://www.wilfa.fi/faktoja-kahvista/>

WWF. n.d. Itämeren rehevöityminen. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. <https://wwf.fi/elinymparistot/itameri/rehevoityminen/>

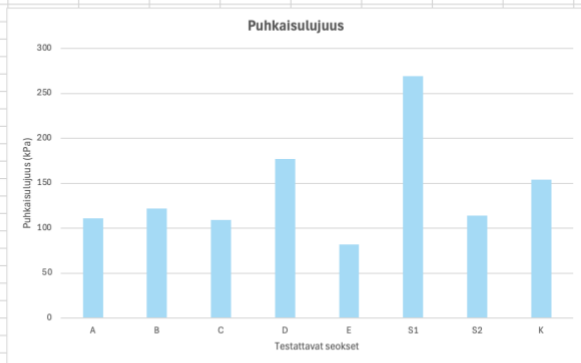
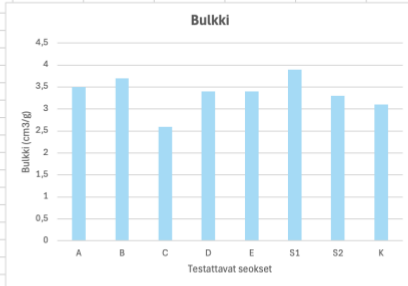
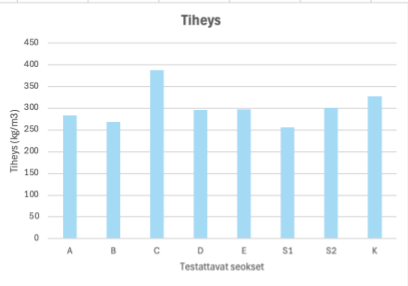
LIITTEET

Liite 1. Mittauspöytäkirja osa 1.

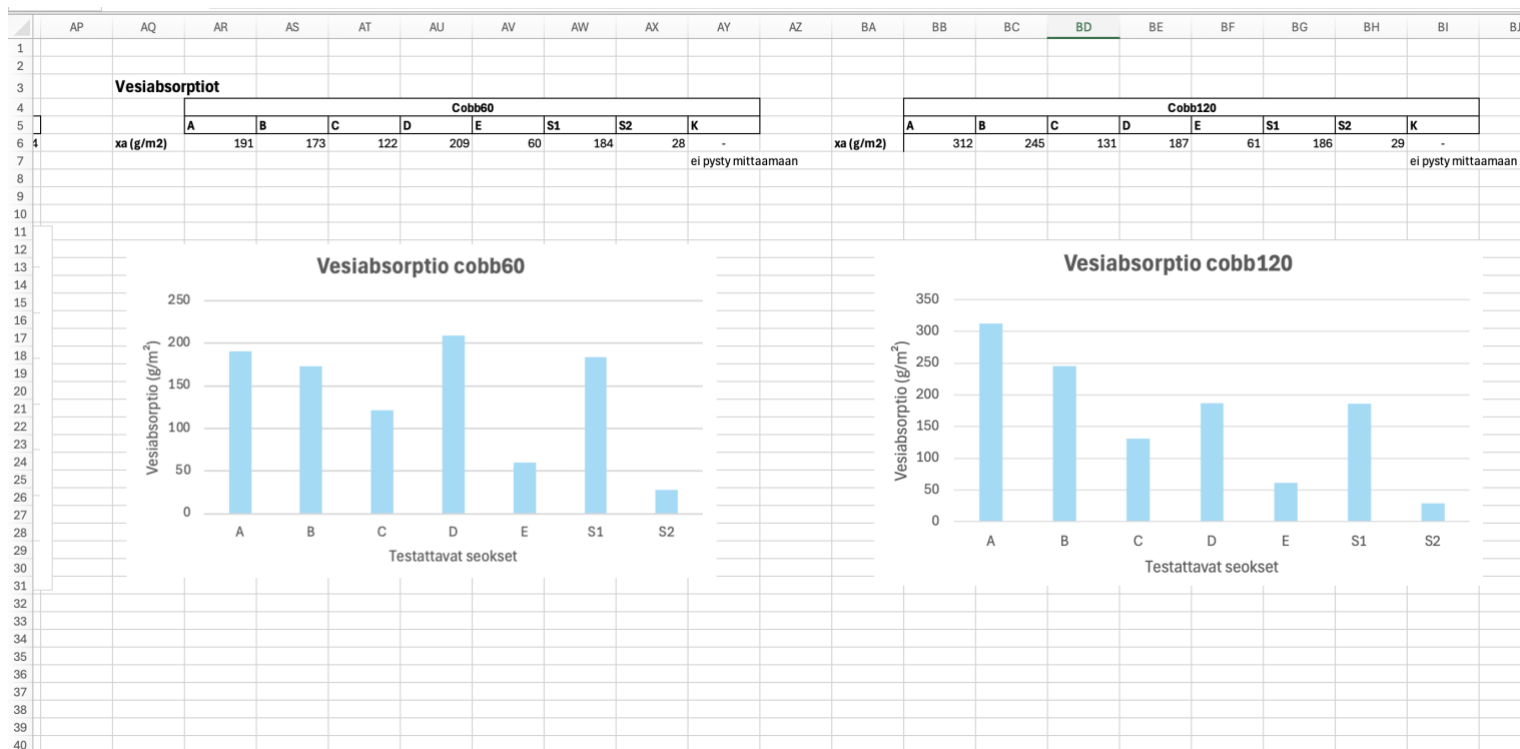


Liite 2. Mittauspöytäkirja osa 2.

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	A	
1																							
2																							
3																							
4		Tiheys ja Bulkki										Puhkaisulujuus											
5		Tiheys	A	B	C	D	E	S1	S2	K													
6		xa (kg/m ³)	284	269	388	296	298	256	301	327													
7																							
8																							
9		Bulkki	A	B	C	D	E	S1	S2	K													
10		xa (cm ³ /g)	3,5	3,7	2,6	3,4	3,4	3,9	3,3	3,1													
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							
36																							
37																							
38																							
39																							
40																							



Liite 3. Mittauspöytäkirja osa 3.



Liite 4. Mittauspöytäkirja osa 4.

