

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutus

2025

Samuel Leipola

# Kuivausprosessin suunnittelu biomassatuotteen valmistukseen



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutus

2025 | 23 sivua

Samuel Leipola

## Kuivausprosessin suunnittelu biomassatuotteen valmistukseen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kuivausprosessi osaksi Rantaparturit Oy:n valmistaman biomassatuotteen valmistusprosessia. Tuotteen halutunlaisten ominaisuuksien saavuttamiseksi ruokosilppu tulisi kuivata, ja Rantaparturit Oy tarvitsi suunnitelman tavoitteen toteuttamiseksi. Erilaisten biomateriaalien kuivaukseen liittyen on jo olemassa tietoa ja valmiita ratkaisuja, mutta järviruoko on vielä kyseisellä sektorilla tutkimattomampi materiaali. Tämän työn tavoitteena oli löytää näyttöön perustuvaa tietoa ja tutkia käytännön keinoin mikä olisi optimaalisin kuivausmenetelmä järviruokosilpulle.

Työssä hankittiin tietoa biomateriaalien, kuten puun kuivausmenetelmistä, joiden perusteella muodostettiin hypoteesi järviruokosilpun käyttäytymisestä vastaavissa olosuhteissa. Tiedonhaun perusteella ruokosilpun kuivauksen testaamiseen valittiin lämminilmakuivaus. Testit suoritettiin kiertoilmauunilla lähteisiin pohjautuvilla lämpötiloilla.

Testit osoittivat lämminilmakuivauksen toimivan järviruokosilpun kuivauksessa. Tämän tiedon pohjalta voidaan osoittaa tällä periaatteella toimivien jo olemassa olevien kuivureiden soveltuvuus Rantaparturit Oy:n käyttökohteeseen.

Salassapitosopimukseen vedoten tämä julkaisu on typistetty versio toimeksiantajalle toimitetusta alkuperäisestä työstä.

Asiasanat:

Järviruoko, biomassa, biomateriaali, kuivausprosessi, suunnitteluprosessi

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2025 | 23 pages

Samuel Leipola

## Designing a Drying Process for Biomass Product Manufacturing

The purpose of this thesis was to design a drying process as part of the manufacturing process of a biomass product manufactured by Rantaparturit Oy. In order to achieve the desired properties of the product, the reed must be dried, and Rantaparturit Oy needed a plan to implement this goal. There is already existing knowledge and ready-made solutions related to the drying of various biomaterials, but common reed is still a less studied material in this sector. The goal of this work was to find evidence-based information and explore practical methods to determine the most optimal drying technique for reed material.

Information was gathered on drying methods for biomaterials such as wood, which formed the basis for the hypothesis regarding the behavior of reed in similar conditions. Based on the research, warm air drying was chosen for testing the drying of reed. The tests were conducted using a convection oven with temperatures based on the sources.

The tests showed that warm air drying works for drying reed. Based on this information, it can be demonstrated that existing dryers operating on this principle are suitable for the applications of Rantaparturit Oy.

Due to a non-disclosure agreement, this publication is an abridged version of the original work submitted to Rantaparturit Oy.

Keywords:

Common reed, biomass, biomaterial, drying process, design process

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Rantaparturit Oy</b>	<b>6</b>
<b>3 Järviruoko</b>	<b>7</b>
<b>4 Kuivausprosessi</b>	<b>9</b>
4.1 Luonnonkuivaus	9
4.2 Keinokuivaus	9
<b>5 Työprosessin suunnittelu ja toteutus</b>	<b>11</b>
<b>6 Testausvaiheen suunnittelu</b>	<b>13</b>
<b>7 Kuivauksen testaus</b>	<b>15</b>
7.1 Kuivaus noin 5 mm paksulla kerroksella	15
7.2 Kuivaus noin 20 mm paksulla kerroksella	16
7.3 Kosteuspitoisuus	18
<b>8 Projektin tulokset</b>	<b>19</b>
<b>9 Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>21</b>
<b>Lähteet</b>	<b>23</b>

## Kuviot

Kuvio 1. 5 mm kerroksen kuivuminen	16
Kuvio 2. 20 mm kerroksen kuivuminen	17

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella kuivausprosessi osaksi Rantaparturit Oy:n valmistaman biomassatuotteen valmistusprosessia. Yrityksen tavoitteena on valmistaa tuotetta järviruo'osta ja saada markkinoille nykyisiä vastaavia biomassatuotteita parempi vaihtoehto. Järviruo'osta valmistettu versio on ekologinen ja kestävä ratkaisu, joka tehokkaalla kuivausmenetelmällä saadaan helposti käytettäväksi vuoden ympäri sekä kevyeksi käsitellä.

Opinnäytetyön lähtötilanteessa järviruoko on lopullisessa muodossaan, eli silppuna, mutta kosteaa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ruokosilpun kuivausprosessin suunnitteluun optimaalisten pakkaus-, säilömis- ja käyttöominaisuuksien saavuttamiseksi etsimällä tietoa erilaisista kuivausmenetelmistä ja osoittamalla järviruokosilpulle sopiva kuivausmenetelmä konkreettisilla testeillä.

Opinnäytetyössä esitellään Rantaparturit Oy, järviruoko luonnonmateriaalina ja sen hyötykäyttömahdollisuuksia, sekä tarkastellaan mahdollisia kuivausmenetelmiä järviruo'on kaltaiselle materiaalille. Näiden pohjalta pohditaan, minkälainen kuivausmenetelmä sopisi yrityksen käyttöön biomassatuotteen valmistukseen ja testataan sitä käytännössä.

## 2 Rantaparturit Oy

Rantaparturit Oy on vuonna 2012 perustettu turkulainen yritys, joka tarjoaa ruovikon ja uposkasvien niittopalveluita. Yritys myös myy ja vuokraa niitossa tarvittavaa välineistöä omatoimiseen rannanhoitoon. (Almi 2025.)

Vuonna 2016 Rantaparturit on lähtenyt kehittämään poistetuille biomassoilte hyötykäyttöä. Vesikasveista etenkin ruoko on materiaalina sellainen, jota voidaan käyttää hyödyksi monella eri tavalla. Yritys tulee avaamaan vuoden 2025 aikana Ruokokaupan, josta saa ostettua erilaisia ruokojalosteita. Osa näistä on yrityksen omia tuotteita, mutta kaupassa tullaan myymään myös muiden tuottamia ruokovalmisteita. (Almi 2025.)

Paikallisuus ja paikallinen ravinnekierto on tekemisen keskiössä. Niitetty ruoko pyritään jalostamaan ja hyödyntämään lähialueella. Tällä tavoin minimoidaan logistiikan aiheuttamat päästöt. Samalla tuotteen ostaja voi myös olla varma siitä, että tuotteen sisältävä ravinne on poistettu lähialueen vesistöistä. (Almi 2025.)

### 3 Järviruoko

Järviruoko on monivuotinen heinäkasvi, joka kasvaa kosteilla alueilla, kuten rannoilla, matalissa vesissä ja ojissa ympäri maailmaa. Kasvin korkeus vaihtelee yleensä 1–3 metrin välillä, mutta se voi kasvaa jopa 4 metriä korkeiksi tiheiksi alueiksi. Järviruoko on kasvuun vaikuttavat monet tekijät, kuten alueen ravinteikkaus, lämpötila, kosteus, pohjan laatu ja veden liikkuminen. Järviruoko on kilpailukykyinen ja pystyy usein peittämään muut kasvit varjostamalla ja kilpailemalla menestyksekkäästi ravinteista, valosta ja tilasta. Se voi muodostaa suuria, lähes yksilajisia kasvustoja. (ELY-keskus 2023.)

Järviruoko on kosmopoliitti laji, joka on levinnyt eri puolille maapalloa kosteisiin ympäristöihin. Se on hyötynyt muun muassa ilmastonmuutoksesta, vesistöjen rehevöitymisestä sekä rantalaidunnuksen loppumisesta, ja mahdollisesti myös ruoppauksista. Viime vuosina Suomen järvet ja merenlahdet ovat rehevöityneet, mikä on edistänyt ruovikoiden nopeaa kasvua. Suomessa järviruokoa esiintyy Ahvenanmaalta aina Lappiin asti. Etelä-Suomen rannikkoalueiden kokonaismäärästä vuonna 2006 tehdyn, Landsat -satelliittikartoituksiin perustuvan arvion mukaan ruokoa kasvoi noin 30 000 hehtaaria, ja koko Suomen rannikkoalueilla ruovikoiden ja merenrantaniittyjen määrän arvioitiin vuonna 2013 olevan noin 100 000 hehtaaria. (ELY-keskus 2023.)

Järviruoko on hyötykäytöllä on pitkä historia. Jo natiivi amerikkalaisten tiedetään käyttäneen ruokoa muun muassa nuolien, kudottujen mattojen sekä kantoverkkojen valmistukseen (Leithead ym. 1976). Nykyään järviruokoa käytetään enenevässä määrin rakennusmateriaalina. Baltiassa sekä Keski- ja Itä-Euroopassa ruoko on käyttö rakentamisessa on jo perinteisempää johtuen järviruoko on runsaasta esiintymisestä niillä alueilla. Järviruoko on valjastaminen rakennuskäyttöön on kuitenkin yleistymässä myös Suomessa. Ruokolla saadaan rakennuskohteisiin tyylikkyyttä ja modernia ekologisuutta, mutta myös sen hyvät ääni- ja lämpöeristävät ominaisuudet tarjoavat järkevän vaihtoehdon katto-, seinä- ja alapohja rakenteisiin. (ELY-keskus 2023.) Järviruoko sopii hyvin

myös poltettavaksi energiantuotannossa muun biomassan joukossa. Sitä on myös suunniteltu käytettäväksi sementin valmistuksessa kivihiilen sijaan.

(Ympäristöministeriö 2021.)

## 4 Kuivausprosessi

Halutun lopputuloksen saavuttamiseksi ruokosilppu tulee kuivata. Biomassana kuiva silppu on kevyttä käsitellä, ei jäädy pakkasella samalla tavalla kuin kosteana, ja toimii paremmin kosteudenpoistajana paremman kosteudensitomiskapasiteettinsa vuoksi. Suunniteltaessa järviruokosilpun kuivausmenetelmää, esille nousevat kaksi pääsääntöistä tapaa kuivata: luonnonkuivaus ja keinokuivaus.

### 4.1 Luonnonkuivaus

Luonnonkuivauksella tarkoitetaan materiaalin kuivausta käyttämättä lisäenergiaa varastoimalla kuivattava materiaali. Luonnonkuivaus on energiatehokasta, mutta sisältää mahdollisia haasteita. Kuivaus kestää huomattavasti kauemmin kuin keinokuivaus ja kuivaukseen käytettävä aika riippuu osin myös sääolosuhteista. Kevät ja kesä ovat otollisinta aikaa luonnonkuivaukselle, sillä ilman kosteus ja lämpötila edesauttavat kuivumista silloin parhaiten. Tällöin kuivausaika on mahdollista pitää muita vuodenaikoja lyhempanä. Mikäli materiaali pysyy kosteana liian pitkään, se voi altistua homehtumiselle. Sääolosuhteiden lisäksi kuivumisen kannalta merkittäviä asioita ovat kuivaustilan sijainti ja sen rakenne. (Kauppinen ym. 2014.)

### 4.2 Keinokuivaus

Keinokuivaus eroaa luonnonkuivauksesta siten, että siinä pyritään nopeuttamaan kuivumista lisäämällä kuivaukseen ulkoista energiaa. Tämä yleensä edellyttää erityistä laitteistoa, kuten puhallinta. Keinokuivurit voidaan jakaa neljään päätyyppiin: kylmäilmakuivuri, kylmäilmakuivuri, jossa on ajoittain lisälämpöä, lämminilmakuivuri ja kuumailmakuivuri. Kuumailmakuivurissa lämpötila voi nousta yli 100 °C. Jos kuivaus tapahtuu pelkästään höyryllä, sitä kutsutaan kuumakuivaukseksi. (Kauppinen ym. 2014.)

Kylmäilmakuivaus on puhallinavusteista kuivaamista, jossa kuivaustilaan joko puhalletaan tai sieltä imetään ulkoilman lämpötilassa olevaa ilmaa. Tässä kuivausmenetelmässä kuivausta edistävä tekijä on tehostettu kuivausilman liike. Kuten luonnonkuivauksessa, kylmäilmakuivauksessa vaikuttavana tekijänä ovat sääolosuhteet, eli ilman kosteus ja lämpötila. Tämän vuoksi kylmäilmakuivauksessa kannattaa hyödyntää auringon lämpöenergiaa ja sijoittaa puhallinlaitteisto kuivaustilan aurinkoiselle puolelle. Kun kyseessä on kylmäilmakuivaus, tällä tavoin kuivaukseen käytettävän ilman lämpötilaa voidaan nostaa ja sen suhteellista kosteutta laskea. Kylmäilmakuivauksessa tulee siis ottaa huomioon ilman kosteus, eikä kuivausta kannata suorittaa kosteuden ollessa liian korkea. (Kauppinen ym. 2014.)

Lämminilmakuivauksella voidaan taata kuivausprosessin tasalaatuisuus sekä lyhyempi kesto kylmäilmakuivaukseen verrattuna säätelemällä kuivauksessa käytetyn ilman lämpötilaa. Kuivauksessa käytetyn ilman lämpötila on tyypillisesti alle 100 celsiusastetta. Sitä korkeammilla lämpötiloilla kuivaamisesta käytetään termiä kuumailmakuivaus. Lämminilmakuivaukseen vaaditaan jokin ulkoinen energianlähde, jotta ilmaa saadaan keinotekoisesti lämmitettyä haluttuun asteeseen. (Kauppinen ym. 2014.)

## 5 Työprosessin suunnittelu ja toteutus



Opinnäytetyö aloitettiin käymällä läpi Rantaparturit Oy:n toiveet ja tavoitteet projektin toimeksiantajana. Heille selkeä tavoite projektin osalta oli saada näyttöä jonkin kuivausmenetelmän toimivuudesta järviruokosilpun kuivaamiseen biomassatuotteen valmistuksen vaatimassa mittakaavassa. Tarkoituksena oli, että tuotekehitysluontoinen opinnäytetyö tarjoaisi toimeksiantajalle konkreettista tietoa, jota he hyödyntäisivät tulevaisuudessa tuotteensa valmistuksessa. Toimeksiantajaan oltiin koko prosessin ajan yhteydessä sähköpostitse ja puhelimitse, jotta osapuolet olivat ajankohtaisesti selvillä projektin tapahtumista ja mahdollisista muutoksista.

Tiedonhankintavaiheeseen siirryttiin, kun projektin tutkimuskysymys oli selvillä. Tässä vaiheessa etsittiin tietoa järviruuo'osta, jotta valmistettavan biomassatuotteen raaka-aine ja sen ominaisuudet olisivat mahdollisimman hyvin selvillä. Myös itse tuotteeseen perehdyttiin, keskittyen tällä hetkellä markkinoilla olevien vastaavien biomassatuotteiden ominaisuuksiin ja niiden toimintaperiaatteeseen. Kuivausmenetelmistä tietoa etsittäessä keskityttiin pääosin erilaisiin bio- ja luonnonmateriaaleille suunnattuihin kuivausmenetelmiin. Esille nousi erilaisia, jo olemassa olevia kaupallisia kuivausratkaisuja muun muassa hakkeelle ja erilaisille biomateriaaleille. Näistä löydöksistä syntyi hypoteesi tämän projektin kannalta; heräsi kysymys, löytyisikö järviruokosilpun kuivaukseen optimaalinen menetelmä noudattamalla muiden luonnonmateriaalien kuivaamiseen käytettyjä periaatteita.

Projektin toteutusvaiheessa testattiin kuivausmenetelmää käytännössä. Valittu menetelmä noudatti tiedonhankintavaiheessa syntyneen hypoteesin mukaista periaatetta. Testien tuloksia analysoitiin ja niistä luotiin tuloksien tarkastelua

helpottavat kaaviot. Tuloksien pohjalta pystyttiin myös laskemaan ruokosilpun kosteuspitoisuutta tarkemmilla arvoilla.

Lopuksi projektin tulokset esiteltiin yhteenvetona hankitun tiedon ja testien osoittamien tuloksien välisestä yhteydestä. Käytiin läpi, toteutuiko hypoteesin mukaiset tulokset ja voisiko käytetyn kuivausmenetelmän peruseriaatetta hyödyntää Rantaparturit Oy:n biomassatuotteen valmistusprosessissa.

## 6 Testausvaiheen suunnittelu

Koska Rantaparturit Oy:n tavoitteena on tuottaa järviruo'osta valmistettua biomassaa kaupalliseen tarkoitukseen, tuotetun materiaalin määrällisen volyymin tulee olla mahdollisimman iso ja tuotannon tehokasta. Jos verrataan aiemmin esitellyistä kuivausmenetelmistä luonnonkuivausta ja keinokuivausta, niistä keinokuivaus osoittautuu tämän projektin kannalta tehokkaammaksi. Keinokuivauksen avulla biomassatuotetta saataisiin tuotettua tasaiseen tahtiin välittämättä niin paljoa sääolosuhteista, eikä tuotannon tarvitsisi rajoittua vain tiettyyn vuodenaikaan.

Testejä lähdettiin suunnittelemaan pohtimalla erilaisia vaihtoehtoja, joilla saataisiin luotua keinokuivaukselle tyypilliset olosuhteet. Tähän tarvittavia komponentteja ovat säiliö/tila, jossa kuivaus tapahtuu, sekä jonkinlainen puhalluslaitteisto ilman kierrättämiseksi. Ensimmäisenä tiedusteltiin Turun ammattikorkeakoulun laboratoriosta, olisiko siellä laitteistoa, joilla simuloida tällaiset kuivausolosuhteet. Sopivaa laitteistoa ei kuitenkaan laboratorioilta löytynyt, joten suunnittelua jatkettiin pohtimalla vaihtoehtoisia tapoja. Keinokuivauksen laitteistosta ja toimintaperiaatteesta tietoa etsittäessä nousi ajatus tavallisten kotitalouslaitteiden hyödyntämisestä järviruo'on kuivausmenetelmän testaamisesta. Kasvien kuivaamiseen kotiloissa tarkoitettu kasvikuivuri toimii yksinkertaisella periaatteella, jonka toiminta perustuu keinokuivauksen ominaispiirteisiin. Kasvit laitetaan suljettuun säiliöön usealle tasolle ja säiliössä kierrätetään ilmaa, jonka lämpötilaa pystyy säätämään. Kasvikuivurin lisäksi esille nousi ajatus kiertoilmaunista, jossa toteutuu niin ikään sama toimintaperiaate. Kiertoilmauni löytyisi jo valmiiksi kotoa ja sillä voisi käytännössä tehdä rajattomasti testejä, joten testien toteuttamisessa päädyttiin kiertoilmaunun käyttöön.

Jotta testien aikana saataisiin mahdollisimman paljon dataa kuivauksen tehokkuudesta ja sen vaikutuksista, saatiin idea kuivattavan ruokosilpun kosteuden seurannasta. Tähän tarkoitukseen suunniteltiin käytettävän jonkinlaista kosteusmittaria, jonka saamiseksi oltiin jälleen yhteydessä Turun

ammattikorkeakoulun laboratorioon. Laboratoriolta ei kuitenkaan ollut lainattavissa kosteusmittaria tällaiseen käyttötarkoitukseen, joten kosteuden mittaamisen osalta suunnittelu jatkui. Kosteusmittarin etsinnässä kävi ilmi, että mittarit, joita olisi esimerkiksi saanut vuokrattua työkaluvuokrauspalveluista, olivat tarkoitettu erilaisten seinärakenteiden kosteuden mittaamiseen, eivätkä ne olisi soveltuneet tämän työn mittauksiin. Biomateriaaleille, esimerkiksi maa-ainekselle paremmin soveltuvat kosteusmittarit eivät puolestaan olisi antaneet tarkkaa kosteusprosenttia lukuna, vaan indikoinut maan kosteutta karekammin. Järviruokosilpun kosteuden mittaamisessa päädyttiin lopulta menetelmään, jossa kostea silppu punnitaan ennen kuivausta ja kuivausprosessin aikana. Kuivauksen aikana vähentynyt massa kertoo silpusta haihtuneen veden määrän, ja oikealla kaavalla näillä tiedoilla pystytään laskemaan lähtöaineen kosteusprosentti. Punnitus suoritetaan gramman tarkalla digitaalisella keittiövaaja'alla.

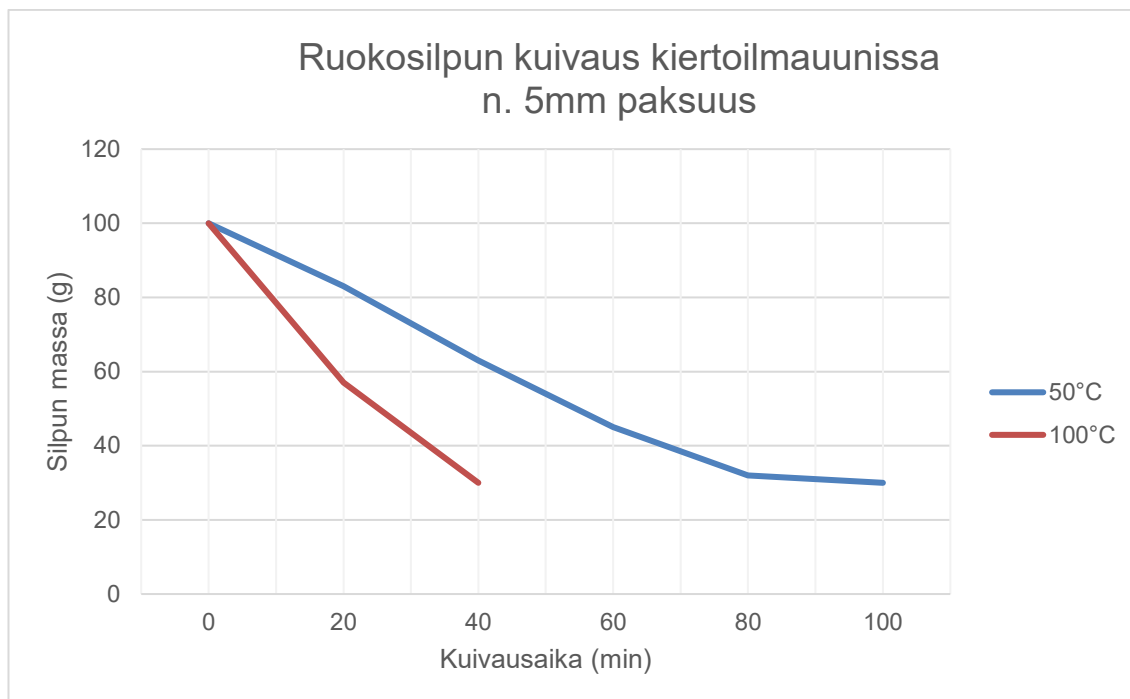
## 7 Kuivauksen testaus

Kuivauksen testaamisessa käytettiin Rantaparturit Oy:n toimittamaa ruokosilppunäytettä. Kyseessä on tismalleen sama materiaali, josta biomassatuotetta on tarkoitus alkaa valmistamaan. Järviruokosilppu levitettiin foliosta muotoillulle tarjottimelle, joka laitettiin uuniin uuniritilän päällä. Testikuivauksia tehtiin yhteensä neljä, vaihdellen kuivauksessa käytettävää lämpötilaa ja ruokosilppukerroksen paksuutta. Ensin kuivausta testattiin kahdesti noin 5 millimetrin paksuisella ruokosilppukerroksella, ensin 50 celsiusasteessa, sitten 100 celsiusasteessa.

Seuraava vaihe toteutettiin samalla menetelmällä, mutta silppukerroksen paksuus nostettiin noin 20 millimetriin. Tällä pyrittiin saamaan mahdollisimman tarkka kuva kuivausajan ja kuivauksen tehokkuuden poikkeamista olosuhteista riippuen. Testeissä käytetyt lämpötilat valittiin lämminilmakuivauksen määritelmän mukaisesti, eli käyttämällä enintään 100 asteista ilmaa. 50 ja 100 celsiusastetta todettiin luovan sopivan kontrastin antamaan näyttöä eri lämpöisen ilman vaikutuksesta kuivaustuloksiin. Kaikissa testierissä käytettiin tasan 100 g järviruokosilppua vertailukelpoisten tulosten saavuttamiseksi. Kuivattava silppuerä punnittiin 20 minuutin välein koko kuivauksen ajan.

### 7.1 Kuivaus noin 5 mm paksulla kerroksella

Ensimmäisessä testissä 100 grammaa järviruokosilppua kuivattiin noin 5 mm paksuna kerroksena 50-asteisessa kiertoilmauunissa. Kuivausta jatkettiin niin kauan, kunnes kuivattavan ruokosilpun massan muutokset pysähtyivät. Seuraavassa testissä noudatettiin samaa menetelmää, mutta käytettiin 100-asteista kiertoilmauunია.



Kuvio 1. 5 mm kerroksen kuivuminen

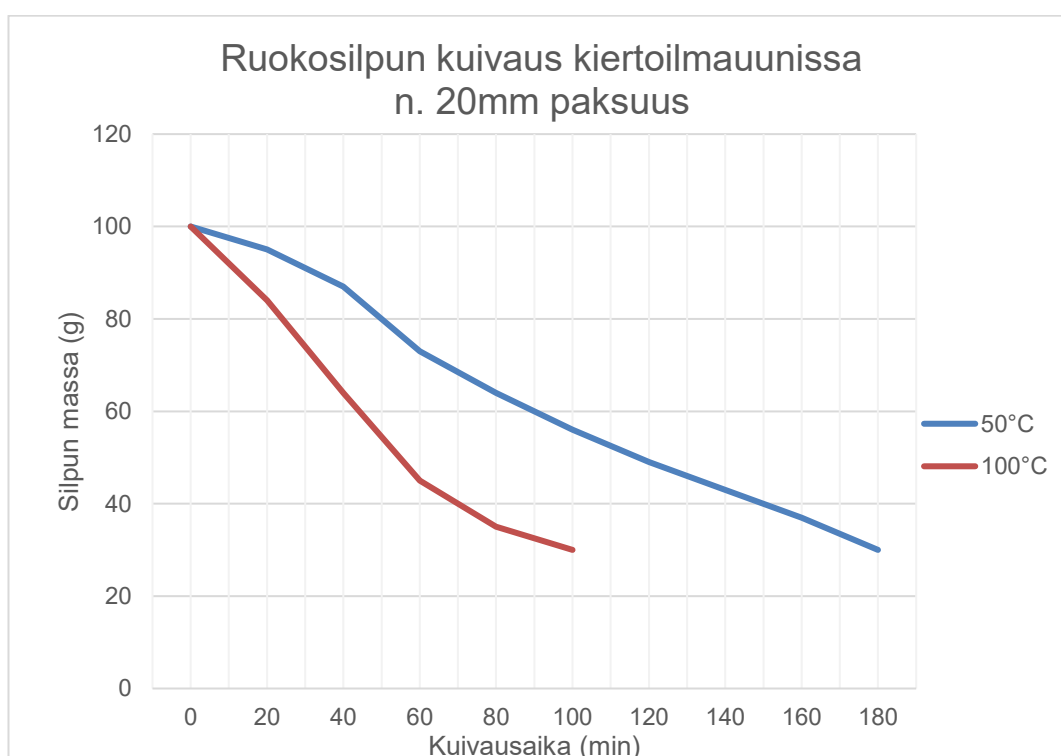
Kuviossa 1 esitetään, kuinka kuivauslämpötila vaikuttaa kuivumisaikaan. Lopullisen kuivuuden saavuttamiseen 50-asteisessa uunissa kuivaus kesti 100 minuuttia, kun taas 100-asteisessa uunissa vain 40 minuuttia. 100-asteisessa kiertoilmauunissa tehdyssä testissä järviruokosilpun kuivuminen vei 60 minuuttia vähemmän aikaa. Ruokosilpun todettiin olevan kuivaa 100 g testierän massan vähennyttyä noin 30 grammaan. Kun testierä saavutti noin 30 g massan ja kuivausta jatkettiin, massa ei enää vähentynyt. Tässä vaiheessa huomattiin silpun alkavan tummua ja muuttua kärventyneeksi. Tämän havainnon perusteella voidaan todeta, että nestettä haihtuu 100 g silppumäärästä vain noin 70 g, eikä kuivausta tarvitse jatkaa tätä pidemmälle silpun saavuttaakseen alhaisimman kosteuspitoisuuden.

## 7.2 Kuivaus noin 20 mm paksulla kerroksella

Seuraavat kaksi testiä suoritettiin samalla periaatteella käyttäen samoja lämpötiloja ja seurantamenetelmää, mutta lisäämällä ruokosilppuerän paksuus

noin 20 millimetriin. Erän massa oli 100 g, jotta vertailu aiempiin testeihin olisi johdonmukaista ja yksinkertaista.

Ruokosilppukerroksen paksuuden lisäämisen tarkoituksena oli tutkia, millä tavalla eri paksuisten kerrosten kuivaustulokset poikkeavat toisistaan. Koska tavoitteena on tuottaa järviruo'osta valmistettua biomassaa mahdollisimman tehokkaasti, on syytä selvittää mahdollisuudet suorittaa kuivausprosessi mahdollisimman suurella määrällä ruokoa kerralla.



Kuvio 2. 20 mm kerroksen kuivuminen

Kuvio 2 osoittaa, kuinka 20 mm paksun kerroksen kuivausaika kasvoi huomattavasti 5 mm paksuun kerrokseen verrattuna. 50-asteisen kuivauksen kuivausaika piteni 80 minuuttia ja 100-asteisen kuivauksen kuivausaika 60 minuuttia. Myös paksummalla kuivauserällä saavutettiin 30 g tavoitetulos.

### 7.3 Kosteuspitoisuus

Tarkemman kosteuspitoisuuden selvittämiseksi kuivaustestien tuloksista voidaan laskea järviruokosilpun kosteusprosentti. Ruokosilpun lähtökosteus voidaan määrittää testeissä selvinneellä massan muutoksella seuraavalla kaavalla (Bioenergianeuvoja n.d.):

$$KP\% = \frac{(Mm - Mk)}{Mm} \times 100$$

jossa

*KP%* on kosteuspitoisuus prosenttiyksikköinä ilmoitettuna

*Mm* on ruokosilpun märkämassa

*Mk* on ruokosilpun kuivamassa.

Kaavaan sijoitetaan kuivaustesteissä saadut tulokset:

$$KP\% = \frac{(100g - 30g)}{100g} \times 100$$

Järviruokosilpun kuivausta edeltäväksi kosteusprosentiksi saadaan tällöin 70 %.

Kosteusprosentin laskeminen havainnollistaa, kuinka suuri osa kuivaamattomasta järviruokosilpusta on todellisuudessa vettä. Kun pohditaan biomassatuotteen käyttötarkoitusta ja toimintaperiaatetta, kuivausprosessin merkitys osana tuotteen valmistusta korostuu.

## 8 Projektin tulokset

Projektin tulokset osoittavat, että kiertoilmamenetelmä toimii järviruokosilpun kuivauksessa. Toistamalla kuivaustestit onnistuneesti samalla periaatteella useamman kerran antaa luotettavaa tietoa siitä, että kyseistä menetelmää voi hyödyntää järviruokosilpun kuivausprosessissa. Tiedonhankintavaiheessa syntynyt hypoteesi saman kuivausmenetelmän käyttämisestä muiden ruokosilpun ominaisuuksia vastaavien luonnonmateriaalien kanssa osoittautui paikkansa pitäväksi.

Kun projektin kuivausmenetelmää sovelletaan käytännössä biomassatuotteen valmistusprosessissa, on syytä pohtia, onko kuivaamisessa tarpeen saavuttaa projektin kuivaustesteissä saavutettua kuivuutta. Testeissä käytettyä 100 g testierää punnittiin 20 minuutin välein niin kauan, että testierän massa ei enää vähentynyt, eli siitä ei enää haihtunut nestettä. Tällöin järviruokosilppu on kuivattu 0 % kosteuspitoisuuteen. Biomassatuotteen kosteuspitoisuuden ei kuitenkaan voida olettaa pysyvän vakiona, vaan se muuttuu ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Tasapainokosteutena tunnetun ilmiön ansiosta täysin kuiva biomassa imee ilmasta kosteutta itseensä, mukautuen lähelle ilman suhteellista kosteutta (Puuinfo 2020). Käytännössä tämä tarkoittaa, ettei kuivausprosessissa kannata käyttää ylimääräistä energiaa täydellisen kuivuuden saavuttamaksi, vaan mukauttaa kuivauksen kesto vallitsevan ilmankosteuden mukaan.

Vaikka 100-asteisella kuivauksella saavutetaan alhainen kosteuspitoisuus huomattavasti nopeammin kuin 50-asteisella kuivauksella, liittyy matalammissa lämpötiloissa kuivaamiseen myös hyötyjä. Riippumatta minkälaiseen kuivauslaitteistoon ja energianlähteeseen lopullisessa biomassatuotteen valmistuksessa käytettävään kuivuriin päädytään, ilman lämmittäminen 50 asteeseen on energiatehokkaampaa kuin sitä korkeampiin lämpötiloihin. Tällöin kuivausaika pitenee, kuten projektin testitulokset osoittavat, mutta ilman lämmittäminen vain 50 asteeseen mahdollistaa luonnon olosuhteiden, kuten auringon lämmön hyödyntämistä. Kuivurin sijainnin ja materiaalin optimoinnilla

yhdessä ulkoisen energianlähteen kanssa voidaan kuivausilman lämpötilaa nostaa energiatehokkaasti ja ekologisesti.

Projektin tuloksia tarkastellessa tulee myös ottaa huomioon, miten eri olosuhteet ja niiden muutokset vaikuttavat järviruokosilpun kuivaukseen. Kuivaustesteissä käytetyn ruokosilpun kosteuspitoisuuden laskettiin olevan 70 %, joten esimerkiksi kuivausajan voidaan olettaa muuttuvan, mikäli ruokosilpun lähtökosteuspitoisuus poikkeaa projektin testeissä käytetystä ruokosilpusta. Järviruokosilpun lähtökosteuteen voi vaikuttaa ympäröivän ilman olosuhteet, kuten ilmankosteus ja lämpötila. Näiden muuttujien huomioiminen edesauttaa kuivauksen onnistumista ja tämän projektin osoittamiin tuloksiin pääsemistä jatkossa.

## 9 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kuivausprosessi järviruokobiomassan valmistukseen Rantaparturit Oy:lle. Opinnäytetyön lähtötilanteessa järviruoko on lopullisessa muodossaan, eli silppuna, mutta kosteaa. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää näyttöön perustuvaa tietoa ja tutkia käytännön keinoin mikä olisi optimaalisin kuivausmenetelmä järviruokosilpulle. Järviruo'on teollisesta kuivauksesta löytyy vielä hyvin vähän tutkittua tietoa, toisin kuin muista biomateriaaleista, kuten polttopuusta, turpeesta tai puuhakkeesta. Opinnäytetyön hypoteesi muodostuikin muiden vastaavien biomateriaalien tutkimusnäytön perusteella.

Opinnäytetyön tavoitteeseen päästiin osoittamalla, että vartenotettava kuivausmenetelmä ruokosilpun kuivaukseen olisi lämminilmakuivaus. Työ alkoi tiedonhankintavaiheella, jossa kartoitettiin mahdollisia tapoja kuivata eri luonnonmateriaaleja. Näistä valittiin ja testattiin hypoteettisesti kannattavin vaihtoehto, jota suositellaan käytettäväksi Rantapartureille. Huomioitavaa on, että opinnäytetyössä ei suunniteltu valmistettavaksi fyysistä kuivauslaitteistoa, vaan osoitettiin periaate varsinaisen kuivurin ominaisuuksille hankkimista tai valmistamista ajatellen.

Tiedonhankintavaiheessa selvisi, että on jo olemassa kaupalliseen tarkoitukseen olevia kuivureita erilaisille luonnonmateriaaleille. Yhteen tällaisten kuivureiden valmistajaan oltiin konsultointimielessä yhteydessä laitteen mahdollisesta sopivuudesta järkiruokosilpun kuivaukseen. Rantapartureiden kanssa päätettiin, ettei opinnäytetyössä ole välttämätöntä suunnitella ja kehittää täysin uutta kuivuria, vaan tutkia sellaisten kuivausmenetelmien sopivuutta järviruokosilpun kuivaukseen, jotka jo tutkitusti toimivat muiden vastaavien luonnonmateriaalien kanssa. Yleisesti ajatellaan, että jos johonkin ongelmaan on olemassa jo pitkälle kehitetty ratkaisu, on syytä arvioida kriittisesti ”pyörän uudelleen keksimisen” tarvetta. Hankkimalla jo markkinoilla oleva kuivuri osaksi biomassatuotteen valmistusprosessia ulkoistetaan suunnittelun ja valmistuksen

haasteet ja pystytään keskittymään tuotteen valmistukseen, eikä sen valmistuksessa tarvittavien laitteistojen valmistukseen.

Markkinoilla olevan kuivurin hankkiminen on kuitenkin huomattava taloudellinen sitoutuminen ottaen huomioon, ettei tällaisilla kuivureilla tiedettävästi ole vielä kuivattu järviruokosilppua isommassa mittakaavassa. Jatkokehittämiskohteena voisikin olla myös oman ruokosilppukuivurin suunnittelu ja valmistus tämän opinnäytetyön tarjoamien tutkimustuloksen avulla.

## Lähteet

Almi, T. 2025. Rantaparturit Oy. Yrittäjä. Kirjallinen haastattelu.

Bioenergianeuvoja n.d. Puun kosteus. Viitattu 2.2.2025.

<https://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus/>

ELY-keskus 2023. Järviruoko. Järviruo'on tietopankki. Viitattu 10.12.2024.

<https://www.ely-keskus.fi/web/ruoko/jarviruoko>

ELY-keskus 2023. Rakentamisessa. Järviruo'on tietopankki. Viitattu 10.12.2024. <https://www.ely-keskus.fi/web/ruoko/rakentamisessa>

Kauppinen, V-P.; Viirimäki, J., Raitila, J., Heiskanen, V-P., Kouki, J., Vuorio, K., Maunula, L., Vilkkilä, H., Nuutinmäki, P., Koisti, O-P. & Lappi, M. 2014, Puupolttoaineen kuivuriopas. Lahti. Viitattu 20.1.2025. [https://biobisnesta.fi/wp-content/uploads/2018/01/Puupolttoaineen\\_kuivuriopas.pdf](https://biobisnesta.fi/wp-content/uploads/2018/01/Puupolttoaineen_kuivuriopas.pdf)

Leithead, H.L.; Yarlett, L.L., & Shiflett, T.L. 1976. 100 native forage grasses in 11 southern states. USDA SCS Agriculture Handbook No. 389, Washington, DC. Viitattu 5.1.2025.

[https://plants.usda.gov/DocumentLibrary/factsheet/pdf/fs\\_phau7.pdf](https://plants.usda.gov/DocumentLibrary/factsheet/pdf/fs_phau7.pdf)

Puuinfo 2020. Kosteustekniset ominaisuudet. Viitattu 3.2.2025.

<https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>

Suomen ympäristökeskus 2022. Turvetuotanto. Viitattu 6.1.2025.

<https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/luonnonvarojen-ja-raaka-aineiden-kaytto/turvetuotanto>

Ympäristöministeriö 2021. Järviruoko muuntuu riesasta hyödykkeeksi. Viitattu 12.12.2024. <https://ym.fi/-/jarviruoko-muuntuu-riesasta-hyodykkeeksi>