

Opinnäytetyö (AMK)  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tuotantopainotteinen konetekniikka  
2013

Joni Kotro

# SOLUMUOVITUOTTEEN KUIVAUSMENETELMÄT



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) I TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | Tuotantopainotteinen konetekniikka

Toukokuu 2013 | 49+10

Ohjaaja: Rabbe Storgårds

Joni Kotro

## SOLUMUOVITUOTTEEN KUIVAUSMENETELMÄT

Opinnäytetyö tehtiin solumuovituotteita valmistavaan yritykseen Pohjoismainen Solumuovi Oy. Opinnäytetyössä tavoitteena oli kartoittaa yrityksen nykyinen solumuovituotteiden kuivausmenetelmä, siihen liittyvät ongelmat ja tutkia vaihtoehtoisten kuivausmenetelmien soveltuvuutta Pohjoismainen Solumuovi Oy:n tuotteiden kuivausprosessiin.

Yrityksen tuotannossa aiheutti ongelmia solumuovituotteiden valmistuksen aikana tuotteeseen jäävän veden kuivaaminen. Käytössä oleva kuivausuuni ei aina kuivattanut tuotteita tarpeeksi tehokkaasti. Kuivausprosessi oli liian hidas ja tuotteiden pinnalle jäi kuivauksen jälkeen välillä kosteutta. Kuivauksen tehottomuuden myötä kuivausuunin kapasiteetti jäi ajoittain riittämättömäksi tuotannon tarpeisiin.

Vaihtoehtoisista kuivausmenetelmistä tutkittavana olivat infrapunakuivain ja jo tällä hetkellä yrityksessä käytössä oleva ilmaveitsipuhallin. Työssä käsiteltiin myös lyhyesti muutamia muita, lähinnä puuteollisuudesta tuttuja kuivausmenetelmiä. Työssä vertailtiin vaihtoehtoisia menetelmiä nykyiseen käytössä olevaan kuivausuuniin verrattuna muun muassa tuotannollisen soveltuvuuden ja menetelmästä aiheutuvien kustannusten osalta. Työn aikana suoritettiin käytännön kuivauskokeita muutamille tuotteille nykyisellä käytössä olevalla kuivausmenetelmällä.

Opinnäytetyön selvityksen pohjalta ei mikään vaihtoehtoisista kuivausmenetelmistä noussut varteenotettavaksi vaihtoehdoksi korvaamaan nykyistä käytössä olevaa kuivausmenetelmää. Työn tuloksena saatiin kuitenkin tietoa nykyisten käytössä olevien menetelmien toimivuudesta, ongelmakohdista ja kehitystarpeista. Tietojen pohjalta voidaan tulevaisuudessa tehdä mahdollisia kehityshankkeita ja muutoksia tuotantoprosessiin tuotteiden kuivauksen tehostamiseksi.

ASIASANAT: solumuovi, kuivaus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Mechanical Engineering

May 2013 | 49+10

Instructor: Rabbe Storgårds

Joni Kotro

## EXPANDED PLASTIC PRODUCT DRYING METHODS

This thesis was made for the manufacturer of expanded plastic products, Nordic Expanded Plastics Ltd. The aim was to evaluate the company's current expanded plastic products drying methods, the related problems and to study the suitability of alternative drying methods for products drying process.

Drying the product caused problems in the production. Drying oven was not always drying the products effectively enough. Inefficiency of drying process caused lack of drying capacity to the production needs.

The main alternative drying methods are infrared dryer and the air knife fan. The thesis also discusses briefly the suitability a few other drying methods, which are mostly used in the wood industry. The alternative drying methods are compared to the current method. During the process some practical experiments of drying were carried out with the current drying method.

The conclusion of this thesis was that there are no good alternative options for drying. The most reasonable option is to develop to current drying process. The result of this thesis can be used in the future to develop of current drying process.

KEYWORDS: expanded plastic, drying

## SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Työn rakenne	7
1.2 Yritysesittely	8
1.3 Tuotteet	9
<b>2 TUOTTEIDEN VALMISTUSPROSESSI</b>	<b>10</b>
2.1 Solumuovituotteiden valmistukseen käytettävät materiaalit	10
2.2 Tuotteiden valmistuksen vaiheet	11
2.2.1 Raaka-aineiden esivalmistus ja välivarastointi	12
2.2.2 Muottien asennus	13
2.2.3 Muottiinpaisutus	13
2.2.4 Tuotteiden vastaanotto tuotantokoneelta ja siirto uuniin	16
2.2.5 Kuivaus ja lämpökäsittely	17
2.2.6 Pakkaaminen ja varastointi	17
<b>3 SOLUMUOVITUOTTEEN KUIVAAMINEN</b>	<b>18</b>
3.1 Kuivausongelman kuvaus	18
3.2 Kuivausmenetelmälle asetettavat vaatimukset ja rajoitteet	19
3.3 Kuivaamiseen liittyvät osatekijät	20
3.3.1 Tuotteiden pinoaminen	21
3.3.2 Tuotesuunnittelu	21
3.3.3 Tuotantokoneiden ajoarvot	22
3.3.4 Tuotantokoneiden hihnakuljettimet ja vastaanottopöydät	22
<b>4 KUIVAUS- JA LÄMPÖKÄSITTELYUUNIT</b>	<b>23</b>
4.1 Uunien toimintaperiaate	23
4.1.1 Uunien ilman lämpötila- ja kosteusarvot	25
4.2 Kuivauskapasiteetti	25
4.2.1 EPP/EPE-Lämpökäsittelyuunien kapasiteetti	25
4.2.2 EPS-kuivausuunin kapasiteetti	25
4.2.3 EPS-kuivausuunin kuormitusasteen selvitys	26
4.2.4 EPS-uunin kuormitustason analysointi	27
4.3 Energian kulutus ja kustannukset	28
<b>5 ILMAVEITSIPUHALLIN</b>	<b>29</b>
5.1 Laitteisto	29
5.2 Energian kulutus ja kustannukset	32

5.3 Vahvuudet	32
5.4 Heikkoudet	33
<b>6 SOLUMUOVITUOTTEEN KUIVAUSKOKEET</b>	<b>33</b>
6.1 Alkutilanne ja kokeiden tarkoitus	33
6.2 Menetelmät	33
6.3 Tulosten analysointi	34
6.3.1 Tuotteiden kosteusprosentti	34
6.3.2 Kuivumisnopeus	35
6.3.3 Pinoamisen vaikutus kuivumiseen	36
<b>7 INFRAPUNAKUIVAIN</b>	<b>36</b>
7.1 Säteilylähteet	37
7.2 Vahvuudet	37
7.3 Heikkoudet	38
7.4 Infrapunatekniikan soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen	38
<b>8 MUITA VAIHTOEHTOISIA KUIVAUSSOVELLUKSIA</b>	<b>39</b>
8.1 Lauhde- eli kondensaatiokuivaus	40
8.1.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen	40
8.2 Vakuumi- eli alipainekuivaus	40
8.2.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen	41
8.3 Suurtaajuus- ja mikroaaltokuivaus	42
8.3.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen	42
8.4 Suurtaajuusalipainekuivaus eli HFV-kuivaus	43
8.4.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen	44
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>44</b>
9.1 Vaihtoehtoisten kuivausmenetelmien hyödyntäminen	44
9.2 Nykyisen kuivausmenetelmän tehostaminen	46
<b>LÄHTEET</b>	<b>48</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Kuivauskoe 710604 (Kone 9).
- Liite 2. Kuivauskoe 710604 (Kone 4).
- Liite 3. Kuivauskoe 710605 (Kone 9).
- Liite 4. Kuivauskoe 710605 (Kone 4).
- Liite 5. Kuivauskoe 711801.
- Liite 6. Kuivauskoe 737801.
- Liite 7. Kuivauskoe 734101 (Ei puhallusta).
- Liite 8. Kuivauskoe 734101 (Puhalluksella).
- Liite 9. EPS-kuivausuunin kuormitus -taulukko.
- Liite 10. EPS-kuivausuunin kuormitus -kaavio.

## KUVAT

Kuva 1. Ilmakuva Pohjoismaiden Solumuovi Oy:n tehtaasta.	9
Kuva 2. Vakiotuotteita.	10
Kuva 3. Tehtaan tuotantoprosessit -kaavio.	12
Kuva 4. Muottipaisutuskone Erlenbach EHV-CE.	14
Kuva 5. Muottipaisutuksen päävaiheet.	15
Kuva 6. Tuotantotilat ja materiaalivirta.	18
Kuva 7. Uunin rakenne ja toimintaperiaate.	24
Kuva 8. Uunin rakenteen kokonaiskuva.	24
Kuva 9. Kuormalavoille pinottuja tuotteita kuivausuunissa.	26
Kuva 10. Periaatekuva kuivauslaitteistosta edestä ja sivulta.	30
Kuva 11. Suurnopeuspuhallin 7,5 kW.	31
Kuva 12. Eripituisia ilmaveitsiä ja ilmaveitsen läpyleikkauskuva.	31
Kuva 13. Infrapunalämmitin TBM131 kolmella lämmityselementillä.	37

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin solumuovituotteita valmistavaan yritykseen Pohjoismainen Solumuovi Oy.

Yrityksen tuotannossa aiheutti ongelmia solumuovituotteiden valmistuksen aikana tuotteeseen jäävän veden kuivaaminen. Tuotantoprosessin aikana vettä jää valmistettavan tuotteen pinnalle ja sitoutuu sen rakenteen sisälle. Nykyisin käytössä oleva kuivausuuni ei aina kuivattanut tuotteita tarpeeksi tehokkaasti. Kuivausprosessi oli liian hidas ja tuotteisiin jäi kuivauksen jälkeen välillä kosteutta. Kuivauksen tehottomuuden myötä kuivausuunien kapasiteetti jäi ajoittain riittämättömäksi tuotannon tarpeisiin.

Opinnäytetyössä oli tavoitteena kartoittaa yrityksen nykyinen solumuovituotteiden kuivausmenetelmä, siihen liittyvät ongelmat ja tutkia vaihtoehtoisten kuivausmenetelmien soveltuvuutta Pohjoismainen Solumuovi Oy:n tuotteiden kuivausprosessiin.

Vaihtoehtoisista kuivausmenetelmistä tarkemmin tutkittavana olivat infrapunakuivaus sekä jo tällä hetkellä yrityksessä käytössä oleva ilmaveitsipuhallin. Työssä käsiteltiin myös lyhyesti muutamia muita, lähinnä puuteollisuudesta tuttuja kuivausmenetelmiä. Työssä vertailtiin vaihtoehtoisia menetelmiä nykyiseen käytössä olevaan kuivausuuniin verrattuna tuotannollisen soveltuvuuden ja menetelmästä aiheutuvien kustannusten osalta. Työn aikana suoritettiin käytännön kuivauskokeita muutamille tuotteille nykyisellä käytössä olevalla kuivausmenetelmällä. Kuivauskokeilla pyrittiin selvittämään nykyisen kuivausmenetelmän tehokkuus, kapasiteetti sekä saamaan tarkempaa tietoa eri tuotteiden kuivumisajoista.

## 1.1 Työn rakenne

Opinnäytetyön rakenne jakautuu neljään asiakokonaisuuteen. Työn alussa esitellään Pohjoismainen Solumuovi Oy yrityksenä ja sen tyypillisimpiä tuotteita,

kuvataan pääpiirteittäin yrityksen tuotantoprosessit ja materiaalivirran kulku tuotannossa.

Toisessa osiossa keskitytään tuotteiden kuivausprosessiin. Osiossa kuvataan yrityksen nykyiset käytössä olevat kuivausmenetelmät, selvitetään niiden vahvuudet ja heikkoudet sekä käydään läpi kuivaamiseen liittyviä osatekijöitä ja ongelmia. Osion yhteydessä suoritetaan käytännön kuivauskokeita solumuovituotteille tuotannossa käytössä olevilla kuivausmenetelmillä ja tarkastellaan kokeiden tuloksia.

Kolmannessa osiossa käsitellään uusia vaihtoehtoisia kuivausmenetelmiä. Menetelmien toimintaperiaatteet kuvataan ja käydään läpi niiden hyvät ja huonot ominaisuudet. Selvitettyjen ominaisuuksien pohjalta arvioidaan menetelmien soveltuvuutta solumuovituotteiden kuivaamiseen ja tuotannolliseen toimintaan.

Viimeinen osio on yhteenveto koko opinnäytetyöstä. Yhteenvedossa tehdään loppupäätelmä solumuovituotteen kuivausongelmaan ja esitetään mahdollisia kehitysehdotuksia kuivausmenetelmiin tai käytäntöihin liittyen.

## 1.2 Yritysesittely

Pohjoismainen Solumuovi Oy on perustettu vuonna 2001. Yrityksen historia ulottuu kuitenkin jo pidemmälle ajalle historiaan UPM-Kymmene ja Yhtyneiden paperitehtaiden pakkausteollisuuteen asti. Yrityksen toimipaikka sijaitsee Muurlassa ja sen palveluksessa työskentelee noin 35 henkilöä. Yrityksen liikevaihto on noin 7 miljoonaa euroa (vuosi 2012). [1]

Yritys on Suomen johtava solumuovipakkausten valmistaja. Kotimaan mittapuun mukaan laaja ja monipuolinen konekanta mahdollistaa eri materiaalien laaja-alaisen käytön. Yrityksen markkina-alueina ovat Suomen lisäksi muut Pohjoismaat, Baltian maat ja Venäjällä Pietarin lähialueet. Viennin osuus yrityksen myynnistä on noin 30 prosenttia (vuosi 2012). [1]



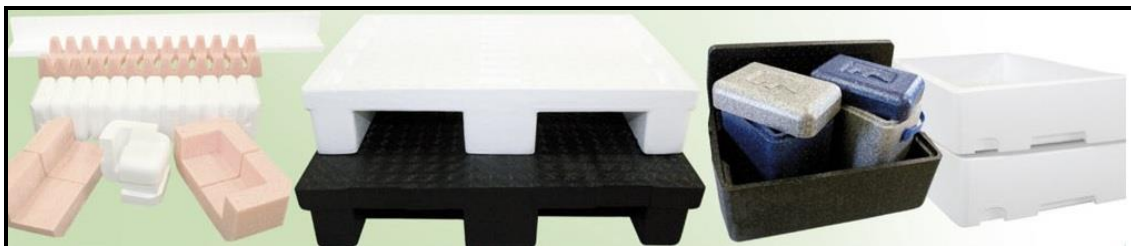
Kuva 1. Ilmakuva Pohjoismainen Solumuovi Oy:n tehtaasta. [2]

### 1.3 Tuotteet

Yritys suunnittelee ja valmistaa solumuovituotteita elektroniikka-, sähkö-, rakennus- ja metalliteollisuudelle sekä liikenteelle. Tuotevalikoimaan kuuluvat asiakkaan toiveiden mukaan räätälöidyt tilaustuotteet ja lyhyen toimitusajan vakiotuotteet. [1]

Suurin osa valmistetuista solumuovituotteista käytetään eri teollisuusalojen tuotteiden pakkaustarkoitukseen. Solumuovipakkauksen päätarkoituksena on suojata asiakkaan tuotetta iskuilta, tärinältä ja muilta rasituksilta läpi koko sen logistiikkaketjun. Solumuovipakkauksessa muita hyödynnettäviä ominaisuuksia ovat muun muassa lämmön- tai kylmäneristyskyky ja erityisesti elektroniikkatuotteille staattisen sähköön purkauksen suojaus. [3]

Pohjoismainen Solumuovi Oy:n omia vakiotuotteita on esitetty kuvassa 2. Niitä ovat muun muassa kalalaatikot, ruuankuljetuslaatikot, kuormalavat, kulmalistat ja -suojat. [4]



Kuva 2. Vakiotuotteita. [4]

## 2 TUOTTEIDEN VALMISTUSPROSESSI

### 2.1 Solumuovituotteiden valmistukseen käytettävät materiaalit

Solumuovia on muovi, jossa useat pienet keskinäisessä yhteydessä tai erillään olevat koko massan alueelle jakautuneet onkalot (solut) alentavat sen tiheyttä [5, s. 19]. Solumuovituotteita voidaan valmistaa monista eri ominaistiheyksistä. Alhaisia ominaistiheyksiä käytetään pääasiassa iskuja vaimentavissa pakkauksissa. Korkeampia tiheyksiä käytetään vastaavasti lujuutta ja kestävyyttä vaativissa käyttökohteissa. Solumuovituotteiden valmistukseen käytettävien materiaalien kolme pääryhmää ovat:

- EPS eli solupolystyreeni (Expanded polystyrene)
- EPP eli solupolypropeenit (Expanded polypropylene)
- EPE eli solupolyeteeni (Expanded polyethylene).

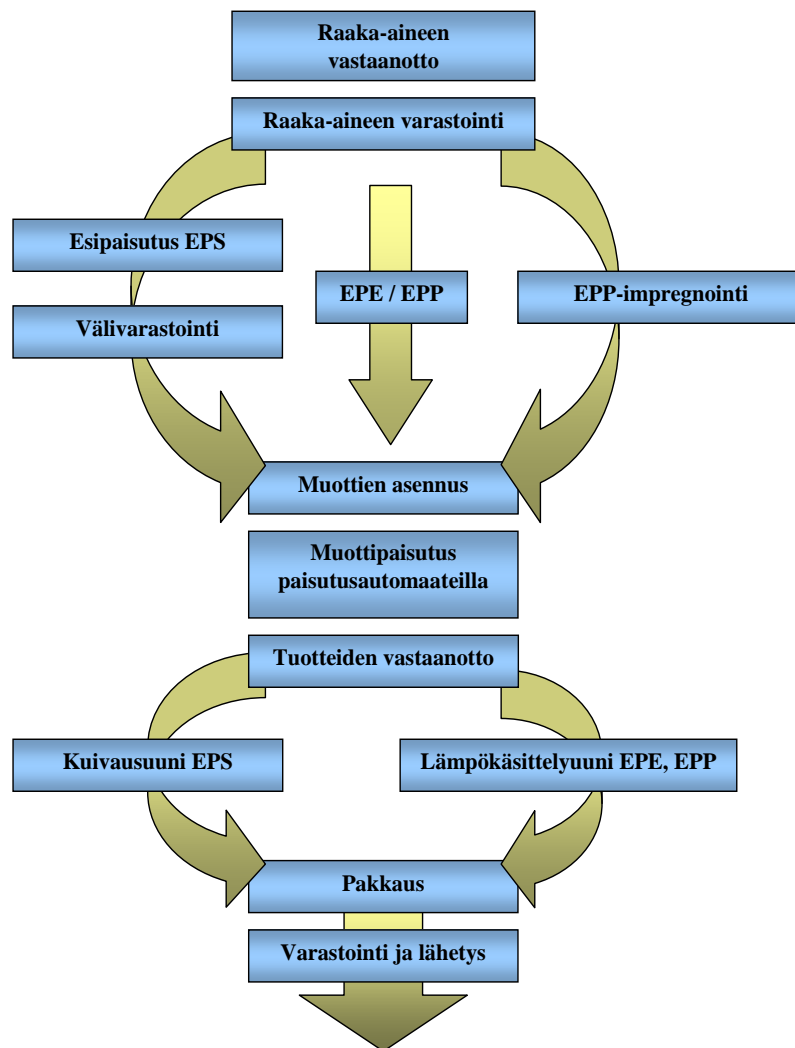
Materiaalien erilaiset iskunvaimennusominaisuudet ja lämmönkestot vaikuttavat sen käyttökohteen valintaan. Eniten tuotteiden raaka-aineena käytetään EPS:ää, joka on edullinen iskunvaimennus- ja lämmöneristysmateriaali. EPS-tuotteita käytetään pääasiassa kertakäyttöisinä pakkaustarkoituksiin. EPS-materiaali vaimentaa tehokkaasti ensimmäisen siihen kohdistuvan iskun. Suljetun solurakenteensa ansiosta EPS on hygieeninen ja kosteudenkestävä materiaali, joka soveltuu siten hyvin myös elintarvike- ja lääketeollisuuden pakkauksiin. Määrällisesti suurin osa markkinoilla käytettävästä EPS:stä

käytetään pakkauskäytön sijasta rakennusteollisuuden lämmöneristystarkoituksiin. [2], [3], [6]

Vaativampiin solumuovien käyttötarkoituksiin käytetään yleensä raaka-aineena EPP:tä ja EPE:tä. Kyseiset materiaalit ovat kulutusta kestäviä ja sitkeitä, joten ne kestävät käytössä hyvin toistuvia iskuja eivätkä menetä iskunvaimennuskykyään pidempiaikaisessakaan rasituksessa. EPP- ja EPE-materiaaleilla on myös parempi lämmönkesto kuin EPS:llä. Näistä materiaaleista valmistettuja tuotteita voidaan käyttää muun muassa erilaisissa teknisissä sovelluksissa, uudelleen käytettävissä pakkauksissa ja autoteollisuuden useissa eri käyttökohteissa. [2], [3], [6]

## 2.2 Tuotteiden valmistuksen vaiheet

Solumuovituotteiden valmistuksen vaiheet eroavat käytettävästä materiaalista riippuen raaka-aineen esivalmistuksen ja tuotteen lämpökäsittelyn osalta. Varsinainen tuotteen valmistaminen muottipaisutuskoneella on kuitenkin periaatteeltaan sama raaka-ainelajista riippumatta. Seuraavassa kuvassa 3 on esitetty kaavio Pohjoismainen Solumuovi Oy:n tuotantoprosessista pääpiirteittäin. Kaaviossa on kuvattu raaka-ainetyypistä johtuvat eroavaisuudet prosessin kulussa. Edempänä opinnäytetyössä on kustakin työvaiheesta kerrottu tarkempi kuvaus oman väliotsikon jälkeen. [2]



Kuva 3. Tehtaan tuotantoprosessit -kaavio. [2]

### 2.2.1 Raaka-aineiden esivalmistus ja välivarastointi

EPS-tuotteiden raaka-aineena käytetään polystyreenihelmiä, joihin on imeytetty pentaania ponnekaasuksi. Raaka-aineen esivalmistuksessa polystyreenihelmi paisutetaan esipaisutuskoneessa kuuman vesihöyryn ja ponneaineena toimivan pentaanin avulla. Höyry pehmentää polystyreenihelmen ja sen sisällä oleva pentaani kaasuuntuu lämmön vaikutuksesta kasvattaen helmen haluttuun tiheyteen. Esipaisutuksen myötä lopputuotteista saadaan kevyitä. Lopputuotteen tilavuudesta on tyypillisesti vain muutama prosentti polystyreeniä

ja loput 97–98 % ilmaa, joka on suljettu tuotteen solujen sisälle. [2], [5, s. 61–64]

Esipaisutuksen jälkeen EPS-raaka-aine välivarastoidaan ilmaa läpäisevästä kankaasta valmistetuissa välivarastosiiloissa. Välivarastoinnin aikana helmen sisäinen paine tasaantuu jatkotyöstöä ajatellen sopivalle tasolle ja helmen sisältämä ylimääräinen pentaani ja vesihöyry haihtuvat. [2]

EPP- ja EPE-tuotteiden raaka-aineet hankitaan valmiiksi esipaisutettuina ja niitä voidaan käyttää suoraan tuotannossa ilman esivalmistusta. Joidenkin EPP-tuotteiden valmistuksessa suoritetaan raaka-aineelle ennen tuotteen valmistusta impregnointivaihe. Impregnoinnilla raaka-aineen ominaistiheys saadaan alhaisemmaksi ja siten lopputuote kevyemmäksi. [2]

Impregnoinnissa polypropeenihelmet lämmitetään ja paineistetaan impregnointitankissa. Lämmityksen myötä pehmenneen polypropeenihelmen sisälle muodostetaan ylipaine, jotta helmen tilavuutta saadaan laajennettua. Impregnoitu EPP-raaka-aine välivarastoidaan paineistetussa säiliössä, jossa ylläpidetään helmen sisäistä ylipainetta. [2]

### 2.2.2 Muottien asennus

Raaka-aineen esivalmistuksen jälkeen aloitetaan solumuovituotteen valmistus muottipaisutuskoneella muottityökalun avulla. Ensimmäisenä työvaiheena muottityökalu noudetaan muottivarastosta ja valmistellaan se tuotantoon asentamalla siihen kaikki tarvittavat osat, kuten esimerkiksi täyttöpistoolit ja ulostyöntäjät. Valmistelun jälkeen muotti asennetaan tuotantokoneeseen ja aloitetaan tuotteen valmistus. Tuotantoajon alkuvaiheessa tuotantokoneen ajoarvot on ensin säädettävä tuotteen laatuvaatimusten ja tuotannollisen tehokkuuden vaatimalle tasolle. [2]

### 2.2.3 Muottiinpaisutus

Muotin asennuksen ja tuotantokoneen säätövaiheen jälkeen aloitetaan tuotteen valmistaminen muottipaisutuskoneella. Eri raaka-ainetyypeille on omat

muottipaisutuskoneensa, mutta periaatteeltaan muottiinpaisutus on samanlainen raaka-aineesta riippumatta. Merkittävimpana erona koneiden välillä on niiden runkorakenteen vahvuudessa, koska EPP- ja EPE-tuotteiden valmistus vaatii suurempia voimia kuin EPS-tuotteiden valmistus. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki muottipaisutuskoneesta. [2]



Kuva 4. Muottipaisutuskone Erlenbach EHV-CE. [7]

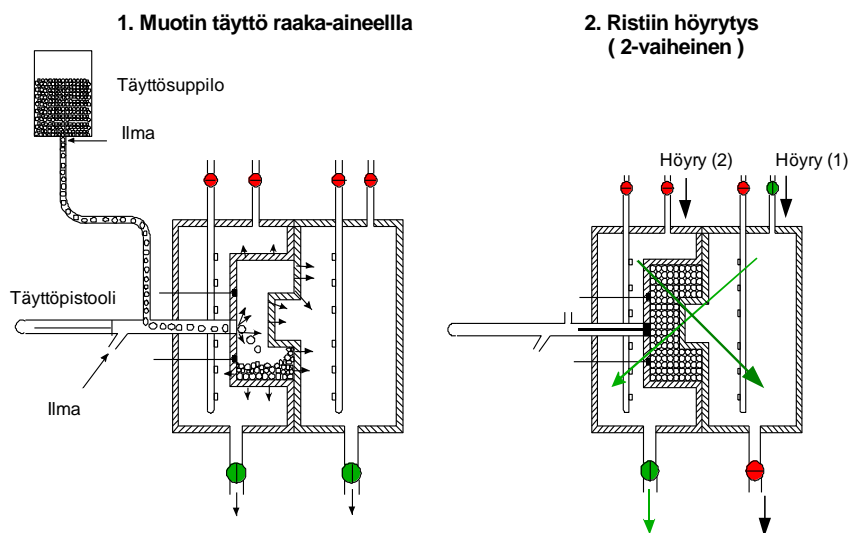
Tuotteen valmistusprosessissa muottipaisutuskoneen alumiinista valmistettu muotti täytetään ensin raaka-aineella täyttöpistoolien kautta. Tämän jälkeen muottiin johdetaan kuumaa vesihöyryä muotin pinnalle olevien reikäsuttimien kautta, jolloin muottiin syötetyt raaka-ainehelmet saadaan sintraantumaan lämmön vaikutuksesta yhtenäiseksi umpisoluiseksi kappaleeksi. [2], [8]

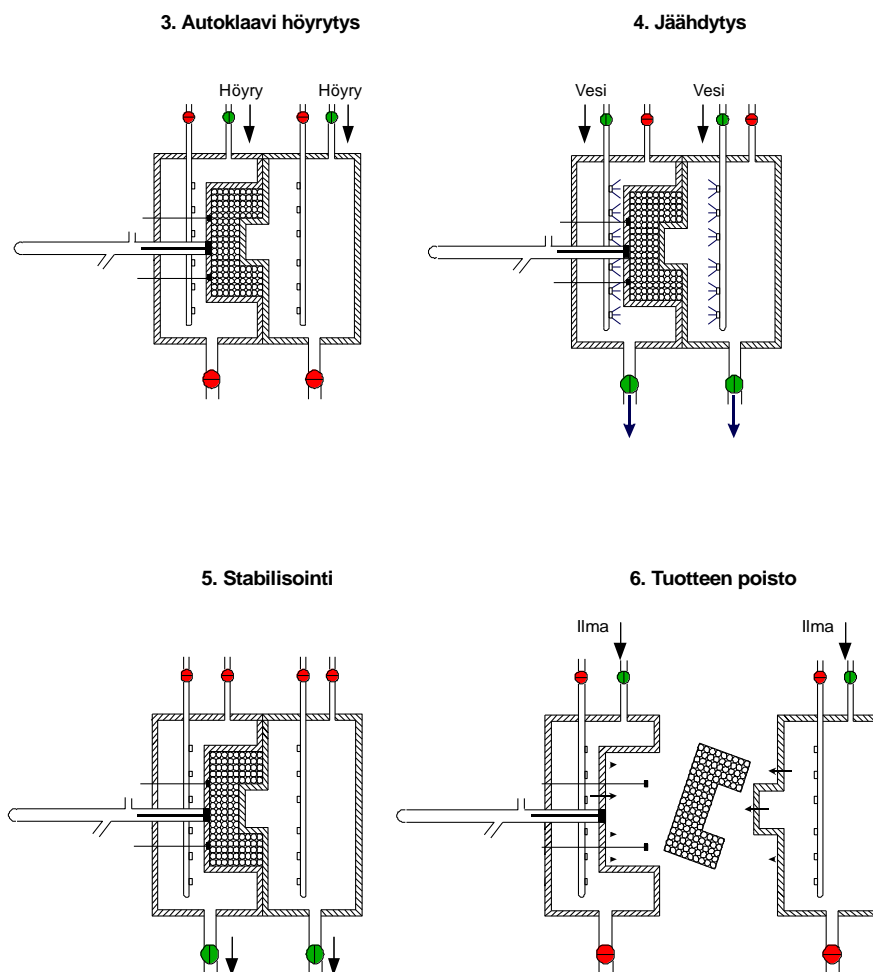
Höyrytyksen ensimmäisessä osassa tehdään kaksivaiheinen ristiin höyrytys tuotteen läpi muottipuoliskojen molemmilta puolilta. Toisessa osassa tapahtuu autoklaavihöyrytys, jossa höyryn paine muovaa tuotetta muottipuoliskojen kummaltakin puolelta. [2], [8]

Höyrytyksen jälkeen muottia jäähdytetään sen ulkopinnalta vedellä, jotta valmistettu kappale saadaan jäähdytettyä ja muovihelmen sisäinen paine laskisi siten, että tuote saadaan helpommin poistetuksi muotista. Jäähdytyksen jälkeen valmistetusta tuotteesta pyritään poistamaan vesi ja tasaamaan tuotteen sisäinen paine muottikammioon muodostetun alipaineen avulla. [2], [8]

Lopuksi muottipaisutuskone liikuttaa muottityökalun puoliskot erilleen, jolloin valmis tuote poistetaan muotista höyrystimien kautta puhallettavan paineilman ja ulostyöntäjien avulla. [2], [8]

Yleensä muottityökaluissa on useampi muottipesä tuotteiden valmistukseen, jolloin muottipaisutuskoneella voidaan valmistaa useampi kappale yhden valmistussyklin aikana. Yhden valmistussyklin kesto vaihtelee raaka-aineesta, valmistettavan tuotteen ominaisuuksista ja muottipaisutuskoneesta riippuen. Normaalisti yhden valmistussyklin kesto on noin yhdestä kahteen minuuttia. Tuotteen valmistusprosessin päävaiheet muottipaisutuskoneella on havainnollistettu seuraavassa kuvasarjassa 5. [2], [5, s. 61–64], [8]





Kuva 5. Muottipaisutuksen päävaiheet. [8]

#### 2.2.4 Tuotteiden vastaanotto tuotantokoneelta ja siirto uuniin

Muottipaisutuskoneelta valmistuneet tuotteet putoavat muottipuoliskojen välistä hihnakuuljettimelle, jota pitkin ne siirtyvät vastaanottopöydälle. Joillekin tuotteille on muottipaisutuskoneelle asennettu omat vastaanottolaitteistonsa ja manipulaattorit, jotka siirtävät tuotteet muotista hallitusti vastaanottopöydälle. [2]

Vastaanottopöydältä vastaanottotyöntekijä pinoaa EPS-tuotteet kuormalavojen päälle tai pahvilaatikoihin. Valmiit EPS-tuotepinot siirretään tämän jälkeen kuivausuuniin. EPP- ja EPE-tuotteet kerätään tuotantokoneelta

lämpökäsittelyrullakoiden hyllyille, jonka jälkeen rullakot siirretään lämpökäsittelyuuniin. [2]

#### 2.2.5 Kuivaus ja lämpökäsittely

EPS-tuotteet kuivataan kokonaisina tuotepinoina kuivausuunissa. Kuivauksen aikana tuotteen sisäinen ja ulkoinen kosteus haihdutetaan tarvittavaan kosteuspitoisuuteen saakka. Normaalisti EPS-tuotteita kuivatetaan uunissa noin 6–8 tunnin ajan, jolla saavutetaan tuotteen riittävä kuivuminen. [2]

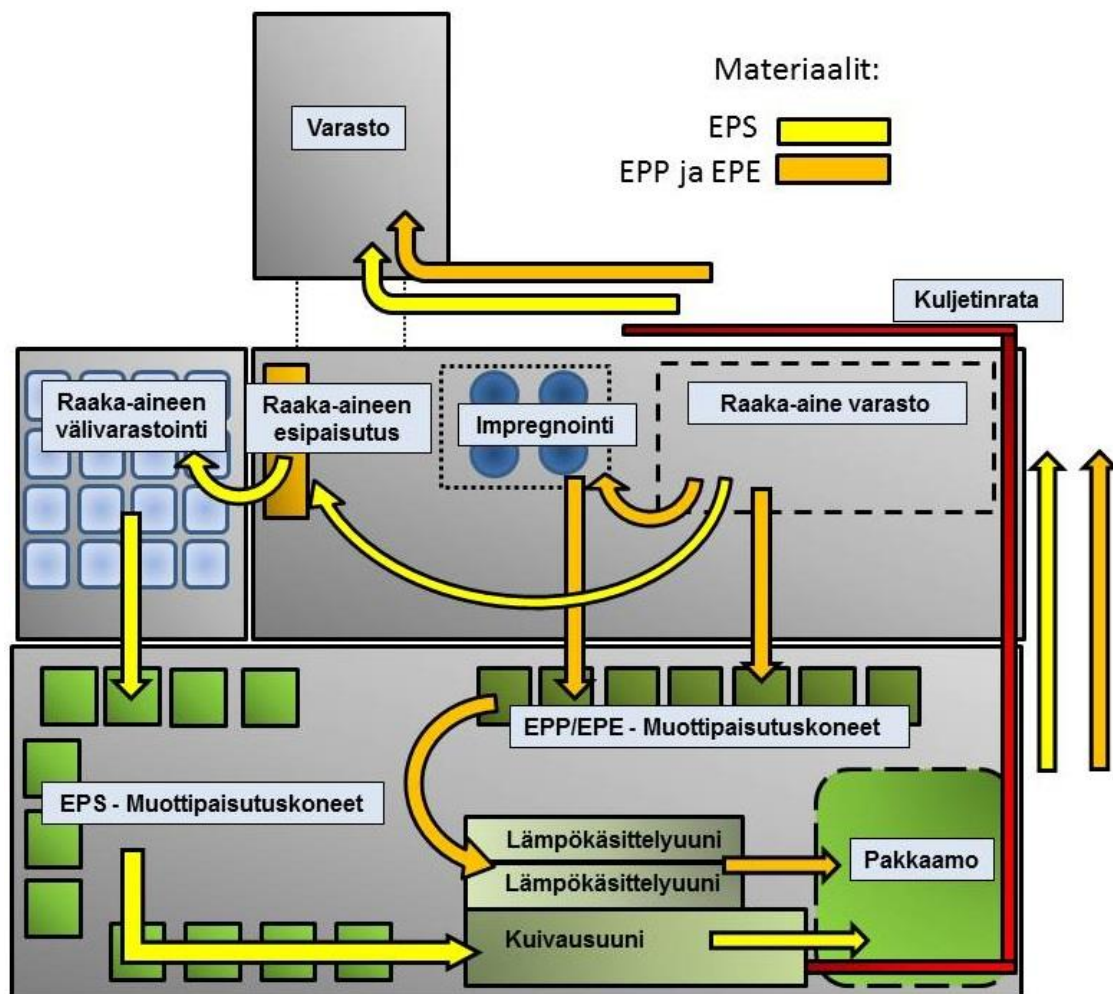
Joidenkin tuotteiden kuivausaika on jopa kolme vuorokautta. Näiden tuotteiden loppukäyttökohde edellyttää erityisen kuivaa EPS-tuotetta. Käyttökohteena voi tällöin olla esimerkiksi pakkaus kosteudelle herkälle elektroniikalle tai jokin ruostumiselle alttiin tuotteen pakkaus. Näissä tuotteissa tavoitellaan normaalisti kahden prosentin kosteuspitoisuutta lopputuotteen painosta. Tuotteiden kosteuspitoisuutta valvotaan tuotannossa erillisellä kosteusmittauksella ennen niiden pakkaamista. [2]

EPP- ja EPE-tuotteet lämpökäsitellään uunissa rullakoiden hyllyille vierekkäin aseteltuna. Lämpökäsittelyn tarkoituksena on pehmentää muovimateriaalia, jotta tuotteen muovihelmen sisäinen paine pääsee tasaantumaan ja tuote muovautumaan lopullisiin mittoihinsa. Samalla tuotteessa oleva ulkoinen ja sisäinen kosteus haihdutetaan. EPP- ja EPE-tuotteiden lämpökäsittelyaika on tuotteesta ja käytettävästä raaka-aineesta riippuen n. 8 tuntia. [2]

#### 2.2.6 Pakkaaminen ja varastointi

Lopuksi kuivausuuneista tulevat valmiit EPS-tuotteet pakataan pakkaamossa kiristekalvoon. Lämpökäsittelyuunista tulevat EPP- ja EPE-tuotteet pakataan rullakoista pahvilaatikoihin tai pinotaan kuormalavojen päälle ja kääritään kiristekalvoon. Pakatut tuotteet siirretään kuljetinrataa pitkin varastohalliin, josta ne toimitetaan eteenpäin asiakkaalle. [2]

Edellä olevassa kuvassa 6 on havainnollistettu pääpiirteittäin solumuovitehtaan tuotantotilojen pohjakuva sekä materiaali- ja tuotevirta tuotannossa.



Kuva 6. Tuotantotilat ja materiaalivirta.

### 3 SOLUMUOVITUOTTEEN KUIVAAMINEN

Tässä osiossa käsitellään solumuovituotteen kuivaamisessa havaittuja ongelmia ja kuivausmenetelmälle asetettavat vaatimukset ja rajoitteet. Osiossa käydään läpi myös kuivausmenetelmän lisäksi kuivausprosessin onnistumiseen vaikuttavia muita osatekijöitä.

#### 3.1 Kuivausongelman kuvaus

Valmistettuun solumuovituotteeseen sitoutuu vettä sen rakenteen sisälle ja tuotteen pinnalle. Tuotteen kuivussa vettä haihtuu sekä tuotteen pinnasta että

sen rakenteen sisältä. Tuotannossa aiheutti ongelmia EPS-solumuovituotteiden valmistuksen aikana tuotteeseen sisään jäävän veden kuivaaminen. Käytössä oleva kuivausuuni ei kuivattanut tuotteita tarpeeksi tehokkaasti. Tuotteisiin jäi kuivauksen jälkeen ajoittain liikaa vettä, jolloin tuotteet jouduttiin kuivaamaan uudelleen.

EPP- ja EPE-tuotteiden osalta kuivausongelmaa ei esiintynyt. Näiden tuotteiden vaatima n. 8 tunnin lämpökäsittely kuivattaa tuotteen riittävän kuivaksi. EPS-tuotteet eivät kuitenkaan vaadi lämpökäsittelyä, vaan näiden tuotteiden osalta suoritetaan ainoastaan sisäisen ja ulkoisen kosteuden poistaminen kuivauksella, joka pyritään pitämään mahdollisimman lyhytkestoisena tuotannon läpimenoajan minimoimiseksi.

EPS-tuotteiden kuivausprosessin tehottomuuden myötä jouduttiin ajoittain käyttämään EPP- ja EPE-tuotteiden lämpökäsittelyuunien kapasiteettia myös EPS-tuotteiden kuivaamiseen, mikä osaltaan hidasti ja sekoitti tuotantoa. Tuotteet tulisikin saada kuivatettua yhdellä käsittelyllä, jolla voidaan varmistua tuotteen riittävän alhaisesta kosteuspitoisuudesta ennen pakkaamista. Tuotteet pakataan tavallisesti kiristekalvoon, jolloin tuotteiden kosteus ei enää haihdu varastoinnin aikana tiiviistä pakkauksesta. Niinpä tuotteiden ollessa liian kosteita pakkausvaiheessa, ne ovat kosteita vielä asiakkaalle toimitettaessakin.

### 3.2 Kuivausmenetelmälle asetettavat vaatimukset ja rajoitteet

Solumuovi materiaalina asettaa rajoituksia käytettävälle kuivausmenetelmälle. EPS-materiaalin lämmönkesto asettaa kuivauslämpötilan turvalliseksi ylärajaksi noin 50 °C. Kuivauksen tehokkuutta ei siis pystytä suoraan lisäämään lämpötilaa nostamalla yli kyseisen raja-arvon, vaan tällöin vaarana on tuotteen liiallinen pehmeneminen ja siitä aiheutuvat muodonmuutokset ja mittavirheet tuotteeseen.

Solumuovituotteiden keveys tuo myös haasteita käytettäessä ilmavirran puhallusta kuivauksessa. Ilmavirran nopeutta kasvattamalla kuivuminenkin tehostuisi, mutta tuotepinot uunissa eivät pysyisi pystyssä ainakaan nykyisellä

pinoamistavalla. Uunissa kaatuvat tuotteet hidastaisivat merkittävästi tuotantoprosessia.

Ihanteellisessa kuivausmenetelmässä tuotteiden pinoaminen ei vaikuttaisi niiden kuivumisnopeuteen, vaan tuotteet kuivuisi tasaisesti riippumatta niiden pinonnasta tai sijoittelusta. Myös pinojen keskellä olevat tuotteet kuivuisivat tasaisesti.

Hyvässä menetelmässä kuivatuskapasiteettia pystyisi säätämään suoraan tuotantomäärien mukaan. Tällainen menetelmä mahdollistaisi aina energiatehokkaan kuivauksen riippumatta sen hetkisestä tuotantovolyymista. Perinteisessä kuivausuunissa lämmitysenergiaa kulutetaan koko kuivaustilan lämmitykseen riippumatta sen käyttöasteesta.

Menetelmän tulisi olla myös varmatoiminen tuotannolliseen käyttöön, tuottaa tasalaatuisia tuotteita ja olla turvallinen käyttää, erityisesti paloturvallisuuden osalta. Menetelmän hankinta-, käyttö- ja kunnossapitokustannusten tulisi olla myös maltilliset.

Kuivausmenetelmän tulee olla joustava ja jatkuvatoiminen, jolloin tuotteita pystytään lisäämään ja vastaavasti poistamaan kuivaustilasta tasaisin väliajoin ilman että tuotantoprosessin kappalevirta pysähtyy. Panostyyppinen menetelmä, jossa tuotteet kuivattaisiin tuote-erä kerrallaan, ei todennäköisesti tästä syystä olisi toimiva menetelmä tämän tyyppiseen jatkuvatoimiseen tuotantoon.

### 3.3 Kuivaamiseen liittyvät osatekijät

Pohjoismainen Solumuovi Oy:n henkilökunnan kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta selvisi, että kuivausuunin lisäksi tuotteiden kuivaamiseen liittyy muitakin osatekijöitä, joilla pystytään vaikuttamaan tuotteen kuivumiseen.

### 3.3.1 Tuotteiden pinoaminen

Yhtenä osatekijänä on tapa, jolla tuotteet on aseteltu kuivaukseen. Asettelulla pystytään vaikuttamaan lämmitysilmän kiertoon tuotteiden ympärillä ja veden haihtumiseen tuotteista.

Muottipaisutuskoneilta tulevat tuotteet pyritään pinoamaan kuormalavoille tiiviisti, jotta tuotteita saadaan mahtumaan mahdollisimman paljon yhdelle kuormalavalle. Kuormalavalle pinotut tuotteet ovat jo tässä vaiheessa valmis tuotepaketti, joka ainoastaan pitää kääriä pakkaamossa kiristekalvoon. Tällä käytännöllä mahdollistetaan tuotteiden nopea ja tehokas pakkaamisvaihe. Jos tuotteet kuivattaisiin yksittäin ja eroteltuna toisistaan se vaatisi yhden työvaiheen lisää tuotannossa, kun uunissa kuivatetut tuotteet olisi pinottava pakkaamossa kuormalavalle ennen niiden pakkaamista. Tämä hidastaisi ja hankaloittaisi merkittävästi tuotannon kulkua.

Nykyinen menetelmä on tehokas ja järkevä, mutta haittapuolena on tuotteiden kuivumisen ajoittainen tehottomuus. Tuotteiden tiivis pinoaminen vaikeuttaa kuivausprosessin aikana ilman kiertoa tuotteiden ympärillä. Tuotepinon keskellä olevien tuotteiden kuivaaminen on hankalaa ja tehotonta. Ongelmia esiintyy varsinkin tuotteissa, joissa on paljon sisäpuolisia ontelomaisia muotoja, joihin kosteutta kerääntyy.

Tuotteiden pinoaminen pyritään suunnittelemaan siten, että lämmitysilma saadaan kiertämään myös tuotepinon keskellä. Joidenkin tuotteiden ulkomuoto ei anna mahdollisuutta löytää pinoamiseen kuivauksen kannalta suotuisaa ratkaisua. Pinoamisen suunnittelussa ensisijaisena kriteereinä ovat kuitenkin pakkaustilan tehokas käyttö, mahdolliset asiakkaan asettamat vaatimukset pakkauksesta ja tuotteiden pinonnasta. Pinonnassa tulee myös huomioida pakkauksen kestävyys sen käsittelyssä varastoinnin ja toimituksen aikana.

### 3.3.2 Tuotesuunnittelu

Tuotesuunnittelun kautta voidaan tuotteiden pinoamiseen vaikuttaa suunnittelemalla tuotteen ulkomuoto sellaiseksi, että se edesauttaa

kuivausprosessia. Tuotteisiin voidaan esimerkiksi lisätä ulokkeita, joilla pinottujen tuotteiden väliin saadaan jäämään ilmarakoa. Aina kuitenkin tuotteen ulkomuodon muuttaminen kuivauksen helpottamiseksi ei ole mahdollista, vaan tuotteen ulkomuoto ja tekniset mitat ovat tarkkaan määriteltäviä ja etusijalla suunnittelussa.

### 3.3.3 Tuotantokoneiden ajoarvot

Tuotteen kosteuspitoisuuteen voidaan myös vaikuttaa jo tuotteen varsinaisen valmistusprosessin aikana. Muottipaisutuskoneen säätöarvot vaikuttavat valmistettavan tuotteen kosteuspitoisuuteen ja sitä kautta tuotteen vaatimaan kuivausaikaan.

Tuotteen sisältämä ylimääräinen vesi pyritään muottiinpaisutuksen lopussa poistamaan alipaineistamalla muottikammio ja saamaan tuote mahdollisimman kuivaksi jo sen valmistusvaiheessa. Tuotteeseen jää kuitenkin aina kosteutta, mikä on erikseen kuivattava. Kokemuksen perusteella voidaan sanoa, että muottipaisutuskoneelta valmistuneissa tuotteissa on vettä riippuen materiaalista, tuotantokoneesta ja sen ajoarvoista noin 5–20 % tuotteen painosta. [2]

### 3.3.4 Tuotantokoneiden hihnakuljettimet ja vastaanottopöydät

Muottipaisutuskoneilla on useimmiten käytössä hihnakuljettimet, jotka siirtävät muotista tulevat valmiit tuotteet vastaanottopöydälle, josta koneapulainen pinoaa tuotteet kuormalavoille. Hihnakuljettimet ja vastaanottopöydät ovat ajoittain todella märkiä muottipaisutuskoneelta vuotaneen veden ja höyryn takia. Märkä kuljetinhihna ja pöytä kastelevat valmiin tuotteen pinnan. Kuljetinhihna ja pöytä tulisikin kuivata aina tarvittaessa ja huolehtia siitä, ettei tuotantokoneessa esiinny prosessin aikana höyry- tai vesivuotoja.

## 4 KUIVAUS- JA LÄMPÖKÄSITTELYUUNIT

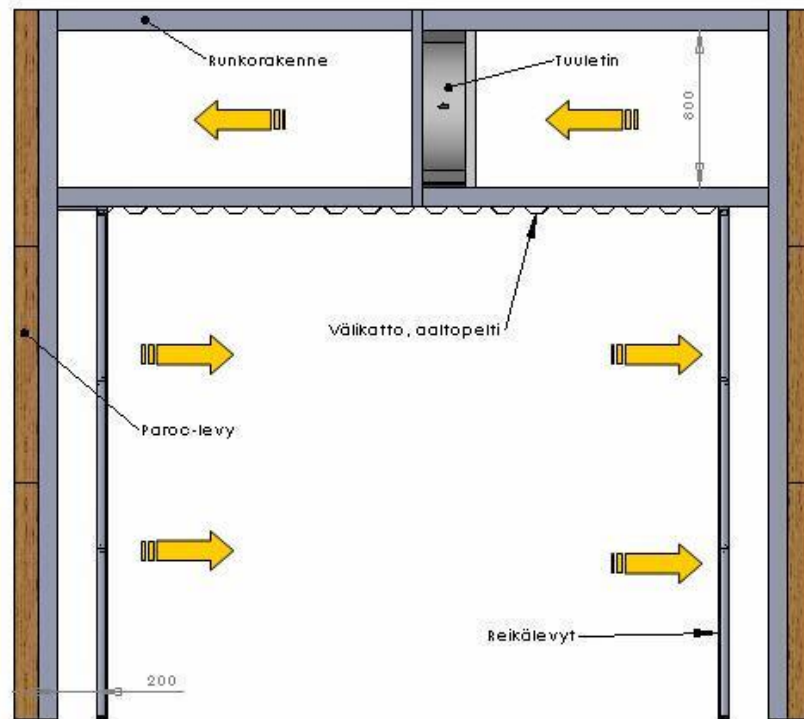
Tässä osiossa opinnäytetyötä perehdytään tuotannon käytössä oleviin uuneihin. Osiossa selvitetään uunien toimintaperiaate, tekniset ominaisuudet ja niiden energiankäytöstä aiheutuvat kustannukset. Osiossa selvitetään myös uunien kuivauskapasiteetti ja kuormitusaste vuoden 2011 kiireisimmältä ajalta.

### 4.1 Uunien toimintaperiaate

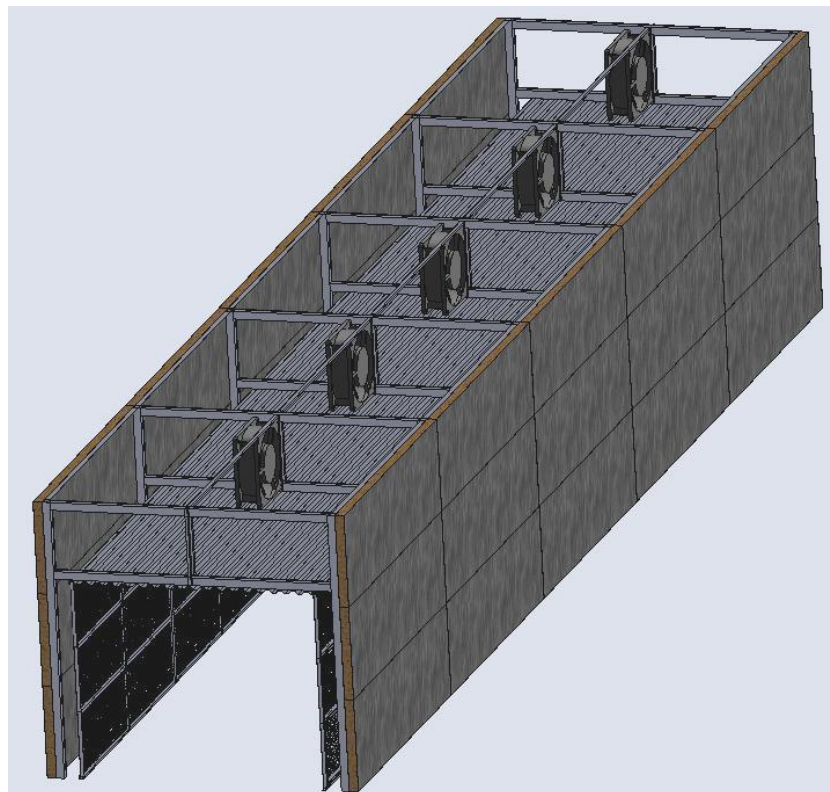
Kuivaus- ja lämpökäsittelyuunit lämmitetään vesihöyryllä lämmönvaihtimen avulla. Lämmitykseen käytettävää höyryä tuotetaan päivisin tuotantoprosessien tarpeisiin keskitetysti tehtaan omassa voimalaitoksessa raskasta polttoöljyä polttamalla. Yöaikaan tuotannon ollessa pysähdyksissä uunien tarvitsema höyry tuotetaan sähköisellä 150 kW:n höyrykattilalla. Viikonloppuisin tai muina vapaapäivillä, kun tuotanto ei ole käynnissä, uunien lämmitys on yleensä pysäytettynä.

Lämmönvaihtimella vesihöyryn lämpöenergiaa siirretään uunien vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään, joka vapauttaa lämpöä ilmaan uuneihin sijoitettujen ripaputkien avulla. Ripaputket sijaitsevat molemmin puolin uunia ja jatkuvat läpi lähes koko uunin pituuden. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut putket ovat halkaisijaltaan 25 mm ja niihin on liitetty 2,5 mm välein alumiinisia ripalehtiä, joiden halkaisija on 57 mm. Ripalehtien suhteellisesti suuri pinta-ala luovuttaa putkissa kulkevasta vedestä lämpöenergiaa uunien ilmaan.

Lämmitettyä ilmaa kierrätetään uunissa puhaltimien avulla. Puhaltimet ja ripaputket on sijoitettu uunitilan yläpuolella olevaan välitilaan. Puhaltimien kierrättämää ilmaa jaetaan tasaisesti uunitilaan uunin seinämien reikälevyjen kautta. Puhaltimia on EPS-kuivausuunissa yhteensä 10 kappaletta ja lämpökäsittelyuuneissa viisi kappaletta uunia kohden. Puhaltimien halkaisija on 800 mm ja niiden maksimiteho on 3 kW. Puhaltimien tehokkuutta säädetään taajuusmuuttajien avulla. Uunien rakennetta ja toimintaperiaatetta on esitetty kuvissa 7 ja 8.



Kuva 7. Uunin rakenne ja toimintaperiaate. (Pohjoismainen Solumuovi Oy)



Kuva 8. Uunin rakenteen kokonaiskuva. (Pohjoismainen Solumuovi Oy)

#### 4.1.1 Uunien ilman lämpötila- ja kosteusarvot

EPS-tuotteiden kuivausuunin lämpötila on noin 50 °C ja EPP-tuotteiden lämpökäsittelyuunien lämpötila on noin 80 °C. Uunien lämpötilaa mitataan kolmesta eri mittauspisteestä uunin alku-, keski- ja loppuosasta. [2]

EPS-kuivausuunin ilman suhteellinen kosteuspitoisuus pyritään pitämään alle 15 prosentissa ja EPP-lämpökäsittelyuunien alle 5 prosentissa. Ilmanvaihtopuhaltimet on sijoitettu uunien loppupäähän, josta uunien poistoilma johdetaan tehdasrakennuksen ulkoseinän läpiviennistä suoraan ulkoilmaan. [2]

Uunien kaikkia toimintoja ja prosessin arvoja, voidaan säätää ja tarkkailla keskitetysti uunien ohjausyksikön kautta. Uunien logiikka säätää uunien lämmitysprosessin toimintaa tarvittaessa, jotta annetut raja-arvot ilman lämpötilan ja ilman kosteuspitoisuuden suhteen täyttyvät. [2]

#### 4.2 Kuivauskapasiteetti

Tuotannossa on käytössä yhteensä kolme uunia. Kaksi pienempää uunia ovat EPP-tuotteiden lämpökäsittelyyn ja yksi suurempi uuni on EPS-tuotteiden kuivaukseen.

##### 4.2.1 EPP/EPE-Lämpökäsittelyuunien kapasiteetti

Yhden EPP-uunin sisätilan pituus on 20,5 m, leveys 3,1 m ja korkeus 2,65 m, jolloin yhden uunin ilmatilavuudeksi saadaan noin 168 m<sup>3</sup>.

EPP- ja EPE-tuotteiden uuneissa lämpökäsiteltävät tuotteet on sijoitettu rullakoihin, joita siirretään käsin eteenpäin uunissa. Yhteen uuniin mahtuu 26 rullakkoa.

##### 4.2.2 EPS-kuivausuunin kapasiteetti

EPS-uunin sisätilan pituus on 42 m, leveys 6,7 m ja korkeus 2,65 m, jolloin uunin ilmatilavuudeksi saadaan noin 754 m<sup>3</sup>.

EPS-kuivausuunissa tuotteet kulkevat kuljetinratoja pitkin kuormalavoille pinottuina tai reiällisissä pahvilaatikoissa. Uunin alku- ja loppupäässä on rullaovet, joiden kautta tuotelavoja lisätään ja otetaan ulos uunista. Uunissa on neljä kuljetinrataa rinnakkain, jolle jokaiselle mahtuu lavatyypistä riippuen noin 35 kuormalavaa peräkkäin. EPS-uunin kokonaiskuivauskapasiteetti on siten noin 140 kuormalavallista kuivattavia tuotteita. Keskimäärin yhdelle lavalle on pakattuna noin 1,5 m<sup>3</sup> tuotteita. Keskimääräiseksi uunin maksimikapasiteetiksi saadaan tällöin noin 156 m<sup>3</sup> tuotteita.

Kuivausuunien kuljetinratojen toimintaa voidaan ohjata keskitetysti ohjausyksikön kautta. Ohjausjärjestelmästä nähdään tietoja kuljetinratojen toiminnasta, kuten esimerkiksi kuormalavojen määrä kyseisellä radalla.



Kuva 9. Kuormalavoille pinottuja EPS-tuotteita kuivausuunissa.

#### 4.2.3 EPS-kuivausuunin kuormitusasteen selvitys

Tällä hetkellä yrityksen tuotannossa uunien käyttömääriä ei varsinaisesti seurata, joten uunien kuormitusasteesta ei ole suoraan saatavilla mitään dokumentoitua historiatietoa. Kuivausongelman kannalta on kuitenkin oleellista

tietää, mikä on ollut EPS-kuivausuunin kuormitusaste silloin, kun kuivauskapasiteetin on koettu olevan riittämätön tuotannon tarpeisiin. Näin voidaan arvioida tarkemmin tarvittavaa kuivauskapasiteettia eri tuotantomäärillä. Valmiiden tilastojen puuttuessa EPS-kuivausuunin kuormitusastetta lähdettiin selvittämään valmistettujen tuotelavojen määrän perusteella tietyllä aikavälillä.

Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatavien tietojen perusteella selvitettiin vuoden 2011 aikana valmistettuja tuotantomääriä kuormalavoina laskettuna. Tarkempaa tarkastelua varten valittiin ajanjaksoksi huhtikuu, toukokuu ja kesäkuu, jolloin EPS-tuotteiden valmistus on ollut vuoden 2011 aikana suurinta.

Toiminnanohjausjärjestelmästä saadaan tieto työvuoron aikana valmistettujen kuormalavojen määrästä. EPS-tuotteiden normaalin kuivausajan ollessa 6–8 tuntia, valittiin tulosten tarkastelun helpottamiseksi kuivausajaksi kaikille tuotteille kahdeksan tuntia. Uunissa kuivatettavien tuotteiden läpimenoaika on tällöin kahdeksan tuntia eli yksi työvuoro. Pidemmän kuivausajan vaativien tuotteiden osuus on pieni yrityksen kokonaistuotantoon verrattuna, joten se jätettiin huomioimatta laskennassa.

Tiedot kerättiin taulukkoon, josta nähdään työvuoron tarkkuudella tehtaassa valmistettujen tuotelavojen määrä eri päivinä. Valmistusmäärien taulukosta poistettiin kaikki EPP- ja EPE-tuotteet ja osa EPS-tuotteista, jotka eivät kulje kuivausuunin kautta. Tietojen pohjalta piirrettiin kaaviot, joista nähdään graafisesti uunin kuormitusaste prosentteina eri päivinä työvuoron tarkkuudella.

#### 4.2.4 EPS-uunin kuormitustason analysointi

Uunin kuormitustaulukko ja -kaaviot on esitetty työn loppuosan liitteissä nro 9 ja 10. Liitteiden tiedoista huomataan, että aamuvuorossa keskimääräinen EPS-tuotteiden tuotantotahti on ollut vuoden 2011 huhtikuun–kesäkuun aikana noin 90 kuormalavaa tuotteita yhden kahdeksan tunnin työvuoron aikana. Tämä 90 kuormalavan tuotantotahti työvuorossa aiheuttaa noin 70 prosentin

kuormitustason kuivausuunin 140 kuormalavan kapasiteettiin nähden. Käytettäessä laskennassa keskimääräistä arvoa 1,5 m<sup>3</sup> tuotteita kuormalavaa kohden, saadaan aamun työvuoron aikana valmistetuksi määräksi noin 150 m<sup>3</sup> kuivatettavia tuotteita.

Iltavuoroissa, jossa työntekijöitä oli vähemmän keväällä, määrä on ollut noin 45 kuormalavaa työvuoroa kohden, mikä vastaa noin 35 prosentin kuormitusastetta kuivausuunissa.

Keskimääräisillä laskenta-arvoilla saatu noin 70 prosentin kuormitustaso aamuvuorossa vaikuttaa sopivalta kuormitustasolta kuivausuunille. Tällaisella kuormitustasolla uunin toiminta pysyy kustannustehokkaana, tuotantoprosessi sujuvana ja kapasiteetissa on vielä varaa joustaa satunnaisiin tuotantohuippuihin ilman, että se hankaloittaisi tuotantovirran sujuvuutta tai että tuotteiden kuivausaikaa jouduttaisiin lyhentämään.

Ongelmia aiheuttavat kuitenkin ajoittaiset pidempiaikaiset useamman työvuoron kestävät kuormituspiikit, jolloin kuivausuunin kuormitusaste lähentelee 100 prosenttia. Tällaisissa tilanteissa kuivausuunin läpi kulkevien EPS-tuotteiden määrä on suurimmillaan ja uunin kapasiteetti jää riittämättömäksi tuotannon tarpeisiin. Liitteen nro 10 kaavioista nähdään uunien kuormituksessa huhtikuun alkupuolella sekä kesäkuussa edellä mainitun kaltaista lähes 100 prosentin kuormitusastetta. Pitkäaikaiskuivatettavien tuotteiden vaikutus jätettiin uunien kuormitusasteen tarkastelun ulkopuolelle, joten jos tuotannossa on kuormituspiikkien aikaan pidemmän kuivausajan vaativia tuotteita, ne osaltaan vielä pienentävät uunien todellista kapasiteettia ja hidastavat kuivauksen läpimenoaikaa.

### 4.3 Energian kulutus ja kustannukset

Kuivaus- ja lämpökäsittelyuunit ovat merkittävä energiankuluttaja yrityksen koko tuotannossa. Kaikkien uunien yhteenlaskettu sähköenergian kulutus on ollut vuoden 2011 aikana keskimäärin noin 25 000 KWh kuukaudessa, mikä on koko tehtaan sähkönkulutuksesta noin 20 prosenttia.

Yksittäisten uunien energiankulutuksesta ei ole saatavilla mittaustuloksia. Sähköenergian kulutuksen jakaminen kahdelle lämpökäsittelyuunille ja yhdelle kuivausuunille on haasteellista uuneissa vallitsevien eri lämpötilojen, ilman kosteuspitoisuuserojen ja lämpöhävikkien vuoksi. Höyrynkulutuksen aiheuttamaa energiakulutusta on myös vaikea arvioida, koska höyrynkäyttöön ei ole suoraan mittausta prosessissa. Tästä syystä uunien energiankulutuksen ja siitä aiheutuvien kustannusten tarkempaa määrittelyä ei tämän työn puitteissa tehty.

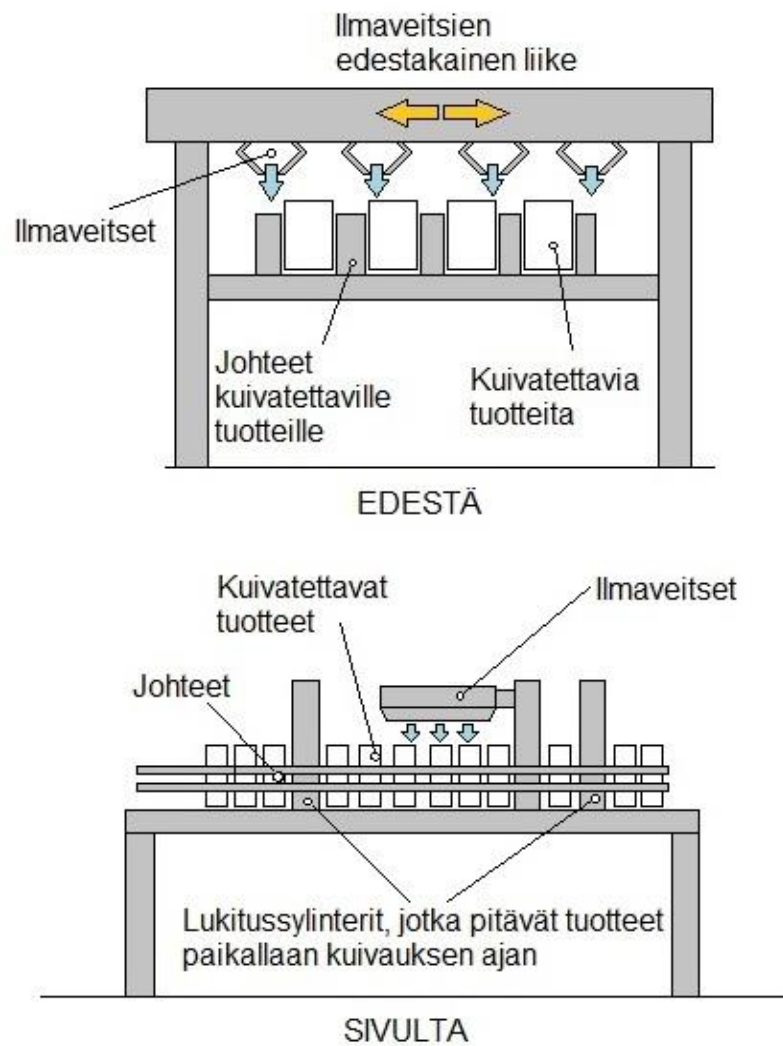
## **5 ILMAVEITSIPUHALLIN**

Uutena sovelluksena tuotteiden pintakosteuden poistamiseen on tuotantoon hankittu ilmaveitsipuhallinlaitteisto. Menetelmällä pyritään lyhentämään tuotteen kuivausaikaa poistamalla tuotteen pinnasta kosteus heti tuotteen valmistuttua muottipaisutuskoneelta, jolloin kuivausuunissa haihdutetaan enää vain pääasiassa tuotteen sisäinen kosteus.

Laitteiston toiminta on suunniteltu tietylle tuotteelle ja muottipaisutuskoneelle, eikä sitä ole helposti muunneltavissa jonkin toisen tuotteen kuivaukseen. Menetelmää siis voidaan soveltaa järkevästi vain suurien valmistusmäärien tuotteisiin, jolloin kuivausjärjestelmän hankinta- ja asennuskustannukset saadaan katettua.

### **5.1 Laitteisto**

Ilmaveitsipuhaltimen laitteisto on asennettu muottipaisutuskoneen vastaanottopöydän ja hihnakuljettimen yhteyteen. Laitteisto poistaa koneelta valmistettujen tuotteiden pinnalta veden suurella nopeudella puhaltavalla laminaarisella eli yhdensuuntaisella ilmavirralla. Laitteiston rakenteen periaatekuva on esitetty seuraavassa kuvassa 10.



Kuva 10. Periaatekuva kuivauslaitteistosta edestä ja sivulta.

Käytössä olevan ilmaveitsilaitteiston puhallusilma tuotetaan 7,5 kW:n suurnopeuspuhaltimella. Puhaltimen pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajan avulla. Puhaltimen täydellä teholla tuottama vapaa ilmavirta on 563 m<sup>3</sup>/h. [9], [10]

Ilmaveitsien puhallusilma voidaan vaihtoehtoisesti tuottaa myös paineilman avulla. Laitteistossa ei tällöin tarvita suurnopeuspuhallinta vaan tarvittava ilma saadaan suoraan paineilmanverkosta. Puhallinlaitteistojen valmistajan mukaan paineilamalla toimivien ilmaveitsien energiakustannukset ovat suuremmat verrattuna suurnopeuspuhaltimella toimiviin ilmaveitsiin, joten on järkevämpää

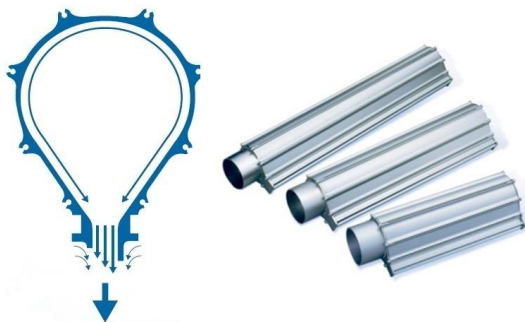
käyttää suurnopeuspuhallinta tarvittavan ilmamäärän tuottamiseen. Oheisessa kuvassa numero 11 on esitetty teholtaan 7,5 kW:n suurnopeuspuhallin. [9], [10]



Kuva 11. Suurnopeuspuhallin 7,5 kW. [8]

Puhaltimella tuotettu ilma johdetaan letkujen ja jakotukin kautta neljälle alumiiniselle ilmaveitselle. Pisaran muotoinen ilmaveitsi muodostaa ilmavirrasta nopean ja iskuvoimaisen laminaarisen ilmapuhalluksen koko ilmaveitsen pituudelta. Ilmavirran nopeuteen ja ilmamäärään vaikuttavat pääasiassa ilmaveitsen pituus, ilmaveitsen puhallinraon leveys ja puhaltimen teho. Pientämällä ilmaveitsen puhallinraon leveyttä puhalluksen iskuvaikutus kasvaa, mutta ilmamäärä vähenee. [9], [10]

Käytössä olevien ilmaveitsien pituus on 8 tuumaa eli noin 203,2 mm ja ilmarako 40/100 tuumaa eli 10 mm. Puhallinvalmistajan kaavion mukaan puhaltimen toimiessa täydellä teholla ilmaveitsistä puhaltavan ilman nopeus on 146 m/s eli noin 526 km/h, josta saadaan laskettua ilmamääräksi noin 427 m<sup>3</sup>/h. Seuraavassa kuvassa numero 12 on esitetty eripituisia ilmaveitsiä ja ilmaveitsin läpileikkauskuva, josta nähdään ilmaveitsen pisaramainen rakenne. [9], [10]



Kuva 12. Eripituisia ilmaveitsiä ja ilmaveitsen läpileikkauskuva. [9]

## 5.2 Energian kulutus ja kustannukset

Laitteiston energian käytöstä aiheutuvat kustannukset muodostuvat pääasiassa ilmaveitsien puhallinmoottorin toiminnasta. Yhden 30 sekunnin kuivausjakson aikana laitteiston puhallinmoottori puhaltaa noin 80 %:n teholla sen 7,5 kW:n kokonaistehokkuudesta. Puhallusjaksot toistuvat 30 sekunnin välein, joten tunnin aikana laitteisto suorittaa 60 puhallusjaksoa. Tietojen pohjalta voidaan laskea yhden käyttötunnin energiankulutus laskukaavalla:

Laitteen ottoteho (kW) x käyttöaika (h) x = laitteen kuluttama sähkö (kWh)

Puhaltimen ottoteho = 7,5 kW x 80 % = 6 kW

Käyttöaika (h) =  $(60 \times 30 / 3600)$  h

Laitteen sähkön kulutus = 6 kW x  $(60 \times 30 / 3600)$  h = 3 kWh

Käytettäessä sähköenergian hintana 0,08 €/kWh, saadaan laitteiston yhden käyttötunnin energiakustannukseksi tällöin 0,24 euroa. Yhden kahdeksan tunnin työvuoron aikana kustannukset ovat 1,92 euroa.

## 5.3 Vahvuudet

Merkittävimpanä hyötynä ilmaveitsien käytössä on pintakosteuden ja vesihelmien tehokas poistaminen tuotteen pinnasta, mikä lyhentää uunikuivaukseen tarvittavaa aikaa. Lyhentyneen uunikuivausajan myötä tuotteen läpimenoaika lyhenee ja uunien kapasiteetti kasvaa. Menetelmän myötä tuotteiden kuivauksen laatupoikkeamat vähenevät ja voidaan varmistua tuotteiden riittävästä kuivumisesta kuivausuunissa.

Laitteiston käyttö on melko edullista. Edellä tehtyjen energiakustannuslaskujen mukaan laitteiston käyttökustannukset olivat vain 0,24 euroa tunnilta ja 1,92 yhden työvuoron aikana.

Laitteisto on melko yksinkertainen, varmatoiminen ja lähes huoltovapaa. Niinpä se soveltuu hyvin tuotannolliseen käyttöön. Vaikka laitteistoon tulisi toimintakatkos, niin siitä ei aiheudu tuotannon pysähtymistä koneella. Ainoastaan tuotteet tulee tällöin kuivattaa pidempään kuivausuunissa.

#### 5.4 Heikkoudet

Menetelmä ei ole joustavasti käytettävissä erilaisille tuotteille. Laitteiston toiminta ja tuotteiden vastaanottopöytä on suunniteltu vain tietyille tuotteille. Mikäli laitteistoa halutaan hyödyntää myös toisiin tuotteisiin, tulisi vastaanottopöytää ja ilmaveitsien sijoittelua muuttaa kyseiselle tuotteelle sopivaksi.

Ilmaveitsipuhaltimen laitteisto soveltuu käytettäväksi vain suurille valmistusmäärille pidempiin yhtäjaksoisiin tuotantoajoihin, jolloin laitteiston hankintakustannukset ja ajoeräkohtaiset asennuskustannukset saadaan katettua tuotteen valmistuksessa.

## 6 SOLUMUOVITUOTTEEN KUIVAUSKOKEET

### 6.1 Alkutilanne ja kokeiden tarkoitus

Kuivauskokeiden tarkoituksena oli mitata eri EPS-tuotteiden kuivumista EPS-kuivausuunissa ajan funktiona. Kokeen aikana seurattiin ulkoisen ja sisäisen kosteuden poistumista tuotteesta.

Tulosten pohjalta oli tarkoitus määrittää ajankohta, jolloin tuotteet saavuttavat kuivauksessa tavoiteltavan 2 % kosteuspitoisuuden tuotteen painosta ja määrittää pintakosteuden kuivumisaika.

### 6.2 Menetelmät

Kuivauskokeeseen valittiin kokeen tekohetkellä tuotannossa valmistettavista tuotteista muutamia erimuotoisia, kokoisia ja tiheydeltään poikkeavia EPS-

tuotteita, jotta pystytään havaitsemaan tuotteen eri ominaisuuksien vaikutuksia kuivumisaikaan. Kokeeseen otettiin myös mukaan ilmaveitsipuhaltimella esikuivattuja tuotteita. Mittausvirheiden ja yksittäisten tuotteiden laatuerojen minimoimiseksi jokaisesta eri tuotenimikkeestä kokeeseen otettiin kolme näytekappaletta.

EPS-tuotteet otettiin kuivauskokeeseen heti niiden valmistuttua muottipaisutuskoneelta. Kappaleiden painot punnittiin ja mitattiin niiden päämitat.

Kuormalavalla asetetut tuotteet siirrettiin EPS-kuivausuuniin. Tunnin välein suoritettiin tuotteiden punnitseminen ja havainnoitiin silmämääräisesti tuotteiden pinnan kosteutta. Mittausta jatkettiin kuudesta kahdeksaan tuntia tuotteesta riippuen, jonka jälkeen tuotteet jätettiin vielä kahden viikon ajaksi uuniin kuivumaan. Kahden viikon kuivauksen jälkeen punnittiin tuotteiden lopullinen kuivapaino, jota käytettiin vertailukohtana märkäpainoille, jotta pystyttäisiin määrittämään tuotteen kosteuspitoisuudet eri ajanhetkillä kuivauksen aikana.

### 6.3 Tulosten analysointi

Kuivauskokeiden mittauspöytäkirjat ja kuivumiskaaviot on esitetty työn loppuosan liitteissä. Mittauspöytäkirjoissa on merkitty kuivattavan tuotteen perustiedot, tuotteen paino eri mittaushetkillä sekä valmistuksessa käytetty tuotantokone. Mittaustulosten pohjalta on luotu kaavio tuotteen painon ja kosteuspitoisuuden muutoksista ajan funktiona.

#### 6.3.1 Tuotteiden kosteusprosentti

Testikuivausten tulosten pohjalta huomattiin, että muottipaisutuskoneilta valmistuneiden tuotteiden kosteuspitoisuudet vaihtelevat 5–15 % välillä tuotteen painosta niin kuin oli oletettukin. Kokeiden tuloksista huomattiin tuotantokoneiden väliset eroavaisuudet tuotteen sisältämän kosteuden osalta. Liitteissä 1–4 ovat kuivauskokeiden tulokset tuotteista 710604-05, jota valmistettiin samaan aikaan kahdella eri muottipaisutuskoneella. Tuloksista

huomattiin, että tuotteiden kosteuspitoisuuksissa on selvä ero käytettävästä tuotantokoneesta riippuen. Koneella nro 4 valmistetut tuotteet sisälsivät vettä 7,0 % ja 8,5 % tuotteen painosta. Koneella nro 9 valmistetuissa samoissa tuotteissa oli vastaavasti vettä 11,5 % ja 14,5 % tuotteen painosta.

### 6.3.2 Kuivumisnopeus

Kuivumisnopeuteen näytti vaikuttavan eniten tuotteen tiheys sekä kappaleen paksuus. Tiheämmissä ja paksummissa tuotteissa kuivuminen vei enemmän aikaa. Tulosten perusteella kevyempien tuotteiden (tiheys: 22–25 g/l) kuivuminen alle 2 %:n kosteuspitoisuuteen kesti noin 3–4 h.

Kokeessa mukana ollut liitteen nro 6 tuote 737801 on pidemmän kuivausajan vaativa tuote. Kaaviosta nähtiin, että kosteus poistui tuotteesta melko lineaarisesti ajan suhteessa. Tästä voidaan päätellä, että tavoiteltu kahden prosentin kosteuspitoisuus saavutetaan vasta noin 24 tunnin kuivauksen jälkeen.

Liitteissä nro 7 ja 8 on esitetty kuivauskokeiden tulokset tuotteelle 734102. Tuotteesta otettiin kokeeseen ilmaveitsipuhaltimella esikuivattu versio sekä esikuivaamaton versio. Tulosten perusteella huomattiin, että esikuivaamattomissa tuotteissa oli kuivauksen aloitushetkellä 5,6 % ja vastaavasti esikuivatuissa vain 3,5 % vettä tuotteen painosta. Ero johtui suoraan tuotteen pinnalla olevan veden määrästä. Esikuivaamattomat tuotteet olivat pinnaltaan kosteita ja esikuivatut tuotteet vastaavasti lähes täysin kuivia. Testikappaleiden kosteuspitoisuuden ero kuitenkin tasoittui kuivauksen edetessä, kun esikuivaamattoman tuotteen pinnassa oleva vesi haihtui. Kolmannella kuivaustunnilla kappaleiden sisältämät veden määrät olivat lähes identtiset. Tämän tuloksen pohjalta voisi ajatella, ettei esikuivauksesta ole merkittävää hyötyä tuotteiden kuivausajan lyhentämiseksi. Kyseiset tuotteet kuitenkin pinotaan tuotantokoneella reiällisiin pahvilaatikoihin melko tiiviisti, jolloin tuotteen pinnalla oleva vesi jäisi ilman esikuivausta pinottujen tuotteiden väliin ja vaikeuttaisi siten tuotteiden kuivausta uunissa.

### 6.3.3 Pinoamisen vaikutus kuivumiseen

Kokeissa kappaleet kuivatettiin yksittäin, jolloin tuotteen pinoamisen tai esimerkiksi pahvilaatikossa kuivaamisen vaikutusta kuivumisnopeuteen ei ole huomioitu. Tuotteiden ulkomuoto ja kuormalavalle pinoaminen on hyvin vaihtelevaa tuotteesta riippuen, joten eri tuotteiden todelliset kuivumisnopeudet niiden ollessa pinottuna lavalle verrattuna tässä kokeessa saataviin arvoihin saattavat vaihdella paljonkin. Kokeen tulokset ovat suuntaa antavia ja antavat mahdollisuuden arvioida tarkemmin erilaisten tuotteiden vaatimia kuivausaikoja. Tarkempien tulosten saamiseksi tulisi testata tuotteiden kuivumista niiden ollessa pinottuna kuormalavalla.

## 7 INFRAPUNAKUIVAIN

Yksi markkinoilla olevista vaihtoehtoisista kuivausmenetelmistä on infrapunakuivaus. Säteilylämpöä eli infrapunasäteilyä sovelletaan teollisuuden kuivausprosesseissa muun muassa puunjalostusteollisuudessa ja paperikoneissa paperin kuivaamiseen. Infrapunasäteilijöitä käytetään myös maalattujen pintojen kuivaamiseen esimerkiksi metalli- ja autoteollisuudessa sekä autojen korjausmaalauksessa. [11, s. 7]

Perinteisessä kuivausuunissa lämmön siirtyminen tapahtuu konvektiolla, jossa lämpö siirretään väliaineen avulla lämmitettävään kohteeseen. Tavallisesti väliaineena toimii kaasu. Pohjoismainen Solmuovi Oy:n uunit perustuvat konvektioon, jossa lämpö siirtyy väliaineena toimivan ilman avulla kuivattavaan tuotteeseen. [11, s. 5–6]

Lämpöä voidaan siirtää myös säteilemällä, jolloin lämpö siirtyy sähkömagneettisina aaltoina. Infrapunasäteily siirtää lämpöä sähkömagneettisina aaltoina, joten se ei vaadi väliainetta lämmön siirtämiseen. Infrapunasäteilyn sähkömagneettinen aaltoliike lisää molekyylien liikettä sen kohdatessa absorboituvan kappaleen. Molekyylien liike kohottaa kappaleen lämpötilaa. Yleensä väliaineena toimiva kaasu ei lämpene säteilyenergian vaikutuksesta. [11, s. 5–6]

## 7.1 Säteilylähteet

Yleisimmin teollisuudessa käytetään infrapunasäteilyn lähteinä kaasusäteilijöitä tai sähköisiä säteilijöitä. [11, s. 6–7]

Kaasulla infrapunasäteilyä voidaan tuottaa kahdella eri tavalla. Suoraan palavan kaasuliekin avulla tai kuumentamalla kaasuliekillä kiinteää, yleensä keraamista ainetta, joka kuumennuttuaan toimii säteilijänä. [10, s. 6–7]

Sähköllä infrapunasäteilyä voidaan tuottaa hehkuvan vastuslangan avulla tai kuumentamalla keraamista tai metallista vastuselementtiä. Jännitettä muuttamalla voidaan säätää säteilyn aallonpituutta, jolloin säteilyn intensiteetti muuttuu. [11, s. 6–7]

Seuraavassa kuvassa 13 on Launch Tech Ltd:n valmistama Infrapunalämmitin TBM131 kolmella lämmityselementillä.



Kuva 13. Infrapunalämmitin TBM131 kolmella lämmityselementillä. [12]

## 7.2 Vahvuudet

Infrapunasäteilyn merkittävimpanä etuna on energiatehokkuus verrattuna perinteiseen konvektiouuniin. Energiaa ei kulu väliaineen lämmittämiseen, vaan säteilyenergia lämmittää pelkästään kuivattavaa kappaletta. Säteilyn voimakkuutta pystytään sähköisissä infrapunasäteilijöissä tarkkaan säätämään ja kohdentamaan vain tietylle alueelle. [11, s. 17, 5]

Käytettäessä infrapunasäteilyä lämpenemis- ja jäähtymisajat ovat lyhyitä, koska aika ei kulu väliaineen lämmittämiseen. Menetelmä soveltuu hyvin satunnaisesti tehtävään kuivaukseen. Perinteisessä konvektiuunissa lämpötilan muuttaminen on hitaampaa väliaineen sitoessa lämmitysenergiaa, jolloin se soveltuukin paremmin jatkuvalämmitteiseen käyttöön. [11, s. 17, 5]

### 7.3 Heikkoudet

Infrapunasäteily soveltuu parhaiten tasomaisten kappaleiden ja pintojen kuivaamiseen. Säteily ei läpäise kuivatettavaa kappaletta vaan lämmittää vain sen pintaa, joten sen tulee tavoittaa lämmitettävän kohteen kaikki pinnat, eikä katvepaikkoja saisi jäädä. Monimutkaisia kappaleita kuivattaessa infrapunasäteilyä on mahdollista heijastimien avulla hajauttaa uuniin, jolloin se saadaan kohdistettua myös katvealueille. [11, s. 17]

Yhtenä infrapunatekniikan haittapuolena on säteilijäelementtien hauraus. Säteilijäelementit voivat vaurioitua varomattomassa käsittelyssä tai laitteiston siirrossa. Laitteet tulisikin ensisijaisesti asentaa kiinteästi, jolloin niitä ei tarvitse siirtää. [11, s. 17]

Infrapunalämmittimen käytössä tulee huomioida säteilijän etäisyys lämmitettävään kappaleeseen. Liian lähelle asetetun säteilijäelementin emittoima energiatiheys on suuri, mikä saattaa polttaa lämmitettävän kappaleen pinnan ja aiheuttaa palovaaran. [11, s. 17]

Laitteiston puhtaanapidosta tulee huolehtia. Säteilijöiden ja heijastuspintojen likaantuminen alentaa voimakkaasti säteilytehoa. Tekniikan käyttö onkin haasteellista hyvin likaisessa ympäristössä. [11, s. 17]

### 7.4 Infrapunatekniikan soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen

Infrapunatekniikka on varteenotettava vaihtoehto yksittäisten kappaleiden kuivaamiseen, jolloin säteily tavoittaa kohteen kaikki kuivattavat pinnat. Yrityksen tuotteet on kuivauksen aikana pinottu tiiviisti kuormalavalle, joten infrapunasäteily tavoittaisi ainoastaan pinon ulkoreunojen tuotteen. Tuotteet

jäisivät edelleen kosteiksi pinon keskeltä aivan kuten konvektiouunia käytettäessä. [11, s. 6–7]

Infrapunatekniikan energiatehokkuus pääsee oikeuksiinsa satunnaisesti tapahtuvassa kuivaamisessa, jolloin lämmitysuunit eivät ole koko ajan käytössä. Yrityksessä kuivausuunit ovat jatkuvasti lämpimänä ja käytössä, eikä infrapunatekniikan mahdollistamasta nopeasta lämmitysajasta olisi vastaavaa hyötyä. [11, s. 6–7]

Solumuovituotteet ovat herkästi palavia ja tehtaan toiminnassa paloturvallisuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Infrapunälämmittämiä käytettäessä on olemassa aina riski, että säteilijä lämmittää kappaletta liikaa ja aiheuttaa palovaaran. Yrityksen konvektiouunissa ei tuotteiden palamista pääse tapahtumaan, joten se on paloturvallisuuden kannalta lähes riskitön. [11, s. 17]

Edellä mainittujen syiden vuoksi infrapunatekniikkaa ei mielestäni pystytä soveltamaan Pohjoismainen Solumuovi Oy:n tuotteiden kuivaamisprosessiin, vaan on tutkittava muita mahdollisia kuivausvaihtoehtoja tai tukeuduttava vanhoihin jo toimiviksi todettuihin menetelmiin.

## **8 MUITA VAIHTOEHTOISIA KUIVAUSSOVELLUKSIA**

Tässä osiossa tehdään katsaus markkinoilla oleviin vaihtoehtoisiin kuivausmenetelmiin. Osiossa kuvataan vaihtoehtoisten menetelmien toimintaperiaate ja selvitetään niiden hyvät ja huonot ominaisuudet. Selvitettyjen ominaisuuksien pohjalta arvioidaan niiden soveltuvuutta tuotannolliseen käyttöön ja solumuovituotteen kuivaamistarkoitukseen.

Osiossa käsiteltäviä kuivausmenetelmiä ovat lähinnä puuteollisuudesta yleisesti käytössä olevat kondensaatiokuivaus ja alipainekuivaus. Muita harvinaisemmin käytössä olevia menetelmiä ovat mikroaalto- ja suurtaajuuskuivaus sekä suurtaajuusalipainekuivaus.

## 8.1 Lauhde- eli kondensaatiokuivaus

Lauhde- eli kondensaatiokuivaus on periaatteeltaan samanlainen kuin Pohjoismainen Solumuovi Oy:n käytössä olevat kuivausuunit. Kondensaatiokuivauksessa kuivausilmaa ei kuitenkaan päästetä suoraan ulos kuivausuunista, vaan se kierrätetään lämpöpumpun höyrystimen kautta. [13]

Kuivausilmassa oleva kosteus tiivistetään takaisin vedeksi lämpöpumpun höyrystimen viileisiin pintoihin, jolloin veden höyrystämiseen kulunut lämpöenergia saadaan talteen. Lämpöenergia siirretään puhaltimilla lämpöpumpun lauhduttimesta takaisin kuivausilmaan. Normaalisti kuivaustilan ilmasta poistettavasta kosteudesta kondensoidaan 60–70 % ja loppuosa kosteudesta poistetaan ilmanvaihdon kautta. Kondensaatiokuivauksella päästään perinteistä lämmitysuunia pienempiin energiankustannuksiin. [13], [14, s. 19].

### 8.1.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen

Kondensaatiokuivaus olisi periaatteeltaan toimiva menetelmä solumuovituotteiden kuivaukseen, jolla voisi saavuttaa säästöjä kuivauksen energiankulutukseen. Säästöjen tarkkaa määrää on vaikea arvioida, mutta puuteollisuudessa saatujen kokemusten pohjalta voidaan sen olettaa olevan noin 20–25 % luokkaa. Muutoksia menetelmän käyttöotosta aiheutuisi lähinnä poistoilma johtamisesta lämpöpumpputähtöjärjestelmään, jossa poistoilman kosteus saadaan tiivistettyä ja talteen otettu lämpöenergia johdettua takaisin kuivaustilaan. Menetelmän käyttöönotolla ei saada kuitenkaan nopeutettua kuivausta eikä kapasiteettia kasvatettua. [15]

## 8.2 Vakuumi- eli alipainekuivaus

Alipainekuivausta käytetään puuteollisuudessa yleensä vaikeasti kuivattavien ja arvokkaiden puulaatujen kuivaamiseen. Menetelmällä saadaan puun kuivauksessa hyvälaatuisia tuotteita, joissa halkeilu on vähäistä. [14, s. 19]

Menetelmän toimintaperiaate perustuu veden kiehumispisteen muuttumiseen vallitsevan paineen muuttuessa. Menetelmässä alipaineistetaan kuivaustila, jolloin veden kiehumispistettä saadaan laskettua alhaisempiin lämpötiloihin kuin normaalissa ilmanpaineessa. Kuivaustilan lämpötilan ollessa kiehumispisteen yläpuolella saadaan kuivattavan kappaleen sisäosan ja ulkopinnan välille muodostettua paine-ero, joka edesauttaa kappaleen kuivumista. Menetelmällä saavutetaan säästöä lämmitysenergian tarpeessa. [14, s. 19]

Alipaine kuivauksessa muodostuva kosteus poistetaan kuivaustilasta lauhduttamalla ilma kammion sisällä tai kuivaustilan ulkopuolisessa lauhduttimessa. Kosteus voidaan myös poistaa tilasta lauhduttamattakin, mutta silloin ilmaan sitoutunut lämpöenergia jää kokonaan hyödyntämättä. Alipaine kuivauksessa käytettävät ilmanpaineet ovat normaalisti 50–350 mbar kuivauslämpötilojen ollessa 30–70 °C:n välillä. Alipaine kuivauksen kuivaustilana käytetään yleensä tukevarakenteista kapselia tai säiliötä, jonne alipaine saadaan muodostettua. [14, s. 19]

### 8.2.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen

Menetelmän soveltuvuutta solumuovituotteen kuivaamiseen on vaikea arvioida ilman käytännön testikuivauksia. Todennäköisesti alipaine aiheuttaa ongelmia tuotteen umpisoluiselle rakenteelle. Tuotteen sisäinen normaalissa ilmanpaineessa oleva solurakenne todennäköisesti laajenisi ympäristöön luodun alipaineen vaikutuksesta ja siten muuttaisi tuotteen ulkomittoja. Alipaistetun järeärakenteisen tilan rakentaminen olisi myös todella haasteellista ja kallista solumuovituotannon vaatimassa laajuudessa.

Tuotteiden kuivausjakson jaksottaminen sopiviin aikaväleihin olisi haastavaa saada toimimaan niin, että tuotantoprosessin kappalevirta on jatkuvaa. Kappalevirta uuniin on tuotantoprosessissa jatkuvaa, jolloin kuivausprosessiin tulee uusia kuivattavia tuotteita jatkuvasti tasaisin väliajoin ja vastaavasti niitä poistuu kuivaustilasta samaan tahtiin. Kokonaisuutena voidaan sanoa, ettei alipaine kuivauksen hyödyntäminen ole järkevää solumuovituotteiden kuivauksessa.

### 8.3 Suurtaajuus- ja mikroaaltokuivaus

Suurtaajuus- ja mikroaaltokuivausta on käytetty jo vuosikymmenien ajan monilla eri teollisuuden aloilla. Puuteollisuudessa menetelmää käytetään vaativampien kappaleiden kuivaamiseen, jolloin menetelmällä on saatu huomattavia etuja kuivausajan ja laadun suhteen. Suurtaajuuskuivauksessa elektrodien välille muodostetaan kenttä. Mikroaaltokuivauksessa kuivaustilaan johdetaan aaltoputkella mikroaaltoja. Kansainvälisesti on sovittu suurtaajuustekniikassa käytettäviksi radiotaajuuksiksi 13,56 MHz, 27,12 MHz ja 40,68 MHz. Mikroaaltotekniikassa vastaavat sallitut mikroaaltotaajuudet ovat 2 450 MHz, 5 800 MHz ja 24 125 MHz. [14, s. 20]

Suurtaajuus- ja mikroaaltokuivauksessa kuivattava kappale lämpenee sisältä päin, jolloin lämmitysteho kohdistuu voimakkaimmin kappaleen kosteimpiin kohtiin. Sisäosan lämmitessä enemmän muodostuu sisäosan ja kappaleen pinnan välille osapaine-ero, jolloin sisällä oleva kosteus kulkeutuu kohti kappaleen pintaa. Kappaleen pintaan muodostuva kosteus poistetaan esimerkiksi ilmavirtauksen avulla. Kuivausmenetelmä tasaa kappaleen eri osien lämpötila- ja kosteuseroja, jolloin lopputuloksena saadaan loppukosteudeltaan tasalaatuisia kappaleita. [14, s. 20–21]

Menetelmän haittapuolina ovat sen vaatimat suuret investointi- ja käyttökustannukset. Menetelmää voidaankin taloudellisesti käyttää vain kuivauksen kannalta erityistapauksissa, joissa vaaditaan erityisen hyvää laatua. [14, s. 20–21]

#### 8.3.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen

Menetelmän soveltuvuutta solumuovituotteen kuivaamiseen on hyvin vaikea arvioida ilman käytännön kokeita. Menetelmän monimutkainen tekniikka ja korkeat hankinta ja käyttökustannukset huomioon ottaen se tuskin on vaihtoehtona solumuovin kaltaisten edullisten tuotteiden kuivaukseen, vaan sitä voidaan taloudellisesti järkevästi hyödyntää vain kalliimpien ja vaativampien tuotteiden kuivaamiseen.

#### 8.4 Suurtaajuusalipainekuivaus eli HFV-kuivaus

Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksella on kehitetty uutta kuivausmenetelmää tavanomaisen konvektiolla tapahtuvan sahatavarankuivauksen rinnalle. Kuivausmenetelmää on kehitetty Lahden ammattikorkeakoulussa jo vuodesta 1997 alkaen useiden eri projektien ja opintotöiden avulla ja sille on myönnetty neljä kotimaista patenttia ja yksi US-patentti liittyen itse kuivausprosessiin, sen ohjaukseen ja kuivausmenetelmän oheistoimintoihin. [14, s. 8]

Menetelmän toimintaperiaate perustuu suurtaajuustekniikan ja alipainekuivauksen yhdistelmään. Kuivausmenetelmää kutsutaan Suomessa lyhenteellä HFV-kuivaus (High frequency vacuum). [14, s. 8]

Menetelmä mahdollistaa perinteistä kuivausmenetelmää nopeamman kuivaamisen pyöreälle sydänkeskeiselle koivuaihioille ilman halkeamia, jolloin sitä voidaan käyttää ilman jatkojalostusta sorvausteollisuuden raaka-aineena. Maailmalla menetelmää on tutkittu jo useiden vuosikymmenien ajan. Tutkimustulokset ja kokeilut ovat olleet lupaavia niin kuivausaikojen kuin laadunkin suhteen. [14, s. 8]

Menetelmä ja sen eri sovellukset eivät ole lupaavista tutkimustuloksista ja kokeiluista huolimatta kuitenkaan saavuttaneet merkittävää kaupallista menestystä maailmalla. Menestystä ovat jarruttaneet laitteistojen suuret investointikustannukset ja varsinkin Euroopassa sähköenergian korkea hinta. Lisäksi suurissa kuivaustiloissa suurtaajuuskentän hallinta on koettu hankalaksi, mikä on aiheuttanut epätasaisia kuivumistuloksia. [14, s. 8, 31–32] Menetelmän hyviä ominaisuuksia pystytäänkin hyödyntämään ainoastaan pienemmän mittakaavan kuivaussovelluksissa, joissa kuivattaville tuotteille on korkeat laatuvaatimukset. Laajamittaisessa suurien tuotantomäärien käyttökohteissa menetelmän edut eivät tule oikeuksiinsa.

#### 8.4.1 Soveltuvuus solumuovituotteen kuivaamiseen

Opinnäytetyön tekemisen aikana tarjoutui mahdollisuus päästä kokeilemaan solumuovituotteiden HFV-kuivausta käytännössä Lahden ammattikorkeakoulun laboratorioon. Solumuovin henkilökunnan kanssa kuitenkin tultiin siihen lopputulokseen, etteivät kokeiden hyödyt olisi tarpeeksi suuret niiden kustannuksiin nähden, joten koejärjestely jätettiin tekemättä.

Menetelmän hyödyntämiseen liittyy todennäköisesti samat ongelmat kuin alipaine-, suurtaajuus- ja mikroaaltokuivauksen tapauksissa. Solumuovituotteen suljettu solurakenne aiheuttaa todennäköisesti muutoksia alipaineistetussa tilassa kappaleen ulkomuotoon ja vaikeuttaa paine-eron hyödyntämistä kuivauksen tehostamisessa. Menetelmän hyödyntäminen ei ole myöskään taloudellisesti järkevää solumuovituotteiden kuivaukseen, vaan se soveltuu vain pienimuotoiseen ja erityisen vaativien kappaleiden kuivaamiseen.

## 9 YHTEENVETO

Tuotteiden valmistuksessa jokainen siihen liittyvä osaprosessi tulee olla laadullisesti ja toimivuudeltaan samalla tasolla. Pohjoismainen Solumuovi Oy:n tuotannossa lähes kaikki EPS-tuotteet kulkevat kuivausuunin kautta, joten sitä voidaan pitää yhtenä merkittävänä osana EPS-tuotteiden valmistusprosessissa.

Kuivausprosessin tulee olla järjestetty tuotannossa järkevästi ja hallitusti, jotta voidaan varmistua valmistuksen moitteettomasta sujuvuudesta, tuotteiden läpimenosta ja kapasiteetin riittävydestä erilaisilla tuotannon kuormitusasteilla. Prosessin tulee myös tuottaa laatuvaatimukset täyttäviä tuotteita kustannus- ja energiatehokkaasti.

### 9.1 Vaihtoehtoisten kuivausmenetelmien hyödyntäminen

Tämän opinnäytetyön selvityksen perusteella ei mikään vaihtoehtoisista kuivausmenetelmistä noussut varteenotettavaksi vaihtoehdoksi korvaamaan nykyistä kuivausmenetelmää. Vaihtoehtoisten menetelmien hyödyntämisen

mahdollisuutta arvioitaessa hankaluuksia aiheuttaa tutkimustiedon puute solumuovituotteiden kaltaisten tuotteiden kuivaamisesta. Menetelmistä löytyvät tiedot pohjautuvat lähes poikkeuksetta puuteollisuuden kokemuksiin. Puuteollisuudenkin kokemuspohja vaikutti olevan kapea ainakin harvinaisempien menetelmien kuten mikroaalto- ja suurtaajuuskuivauksen osalta.

Vaihtoehtoisilla menetelmillä voisi olla paikkansa täydentämässä nykyistä kuivausmenetelmää tietyin osin, mutta laajamittaiseksi nykyistä kuivausmenetelmää korvaavaksi hankinnaksi niistä ei ole. Mahdollisesti tulevaisuudessa mikroaalto- ja suurtaajuuskuivauksen yleistyessä, hankinta- ja käyttökustannusten laskiessa ja tekniikan kehittyessä voi nämä vaihtoehdot nousta vaihtoehdoiksi korvaamaan perinteistä kuivausuunia. Tämä tuskin tulee tapahtumaan vielä pitkään aikaan.

Infrapunatekniikan hyödyntäminen voisi tulevaisuudessa olla mahdollista, mikäli tuotteiden pinoamiselle löytyisi jokin erilainen vaihtoehto, missä tuotteet saisi kuivatettua erillään. Erillään kuivatuksessa infrapunakuivauksen sähkömagneettiset aallot tavoittaisivat kaikki tuotteen pinnat. Tarkempien hyödyntämismahdollisuuksien tutkiminen kuitenkin edellyttäisi koekuivauksia, mitä ei kuitenkaan tämän opinnäytetyön puitteissa tehdyssä yleisemmässä selvityksessä koettu tarpeelliseksi.

Vaihtoehtoisten kuivausmenetelmien tutkimisen kohdalla yhdeksi vartenotettavaksi vaihtoehdoksi muodostui nykyisen kuivausuunin poistoilman hyödyntäminen lauhdekuivauksesta tutulla lämpöpumppuratkaisulla, jolla voidaan hyödyntää poistoilman lämpöenergiaa ja lauhduttaa vesihöyry vedeksi. Tämän menetelmän tuomaa energiasäästön hyödyntämismahdollisuutta voisi vielä tutkia tarkemmin.

Vaihtoehtoisista menetelmistä yrityksen tällä hetkellä käytössä oleva ilmaveitsipuhallinlaitteisto on kuitenkin osoittanut vahvuutensa suurien valmistuserien tuotteiden kuivauksessa. Menetelmä täydentää hyvin kuivausprosessia ja sillä tuleekin varmasti olemaan paikka kuivausprosessissa

tulevaisuudessa. Laitteiston käyttömahdollisuudet olisi mahdollista hyödyntää vielä paremmin, mikäli sen rakenteen saisi muokattua sellaiseksi, että sitä voisi käyttää useiden eri tuotteiden kuivaukseen. Tällöin laitteen hankinta ja käyttö eivät olisi ainoastaan hyödynnettävissä kaikkein suurimpien valmistusmäärien tuotteille, vaan myös lyhyempiin valmistuseriin.

## 9.2 Nykyisen kuivausmenetelmän tehostaminen

Ratkaisuna kuivausuunien kapasiteetin kasvattamiseen ilman investointeja on nykyisen kuivausmenetelmän ja -käytäntöjen tehostaminen. Käytäntöjä tehostamalla pyritään hyödyntämään nykyinen kapasiteetti tehokkaasti ja pyrkiä optimoimaan kuivausajat.

Tehostamisen yhtenä keinona on lyhentää tuotteiden kuivausaikaa, jotta kuivauskapasiteettia saadaan kasvatettua. Tätä varten tulisi ensin selvittää tarkemmin tuotteiden vaatimaa todellista kuivausaikaa. Kuivausaikojen selvittämiseksi tulisi tehdä kuivauskokeita kokonaisille tuotepinoille. Kokeisiin tulisi valita erikokoisia ja tiheyksien omaavia tuotteita sekä pinonnaltaan erilaisia kokonaisuuksia, jotta kokeiden tuloksia voisi hyödyntää mahdollisimman monissa samankaltaisissa tuotteissa. Saatujen tulosten pohjalta voidaan kaikille valmistettaville tuotteille määrittää niiden tarvitsema minimikuivausaika. Tällöin määritettyjen kuivausaikojen pohjalta tulisi miettiä mahdollisuutta jaotella uunin ratoja tarkemmin erilaisille kuivausajoille. Esimerkiksi jaotteluna voisi olla kaksi neljän tunnin rataa, yksi kuuden tunnin ja yksi kahdeksan tunnin rata, jota myös tarvittaessa käytettäisiin pidemmän kuivausajan vaativille tuotteille.

Uunien käyttöastetta tulisi myös seurata, niin saisi tarkempaa tietoa uunien kuormituksesta ja sitä kautta tietoa todellisesta kuivauskapasiteetin tarpeesta tuotannossa. Seuranta varten tulisi jokaiselle tuotteelle määrittellä toiminnanohjausjärjestelmään niiden vaatimat vähimmäiskuivausajat tai vaihtoehtoisesti ettei tuote tarvitse ollenkaan kuivausta. Tuotteille olisi tällöin määritetty niiden vaatima aika uunien kapasiteetista ja tällöin voisi laskea uunien kuormitusta suoraan. Tuotteisiin määritettyjen kuivausaikojen pohjalta voisi tehdä myös analyysia siitä, millainen jakautuma erilaisia kuivausaikoja

vaatimia tuotteita on milläkin ajanhetkellä tuotannossa.

## LÄHTEET

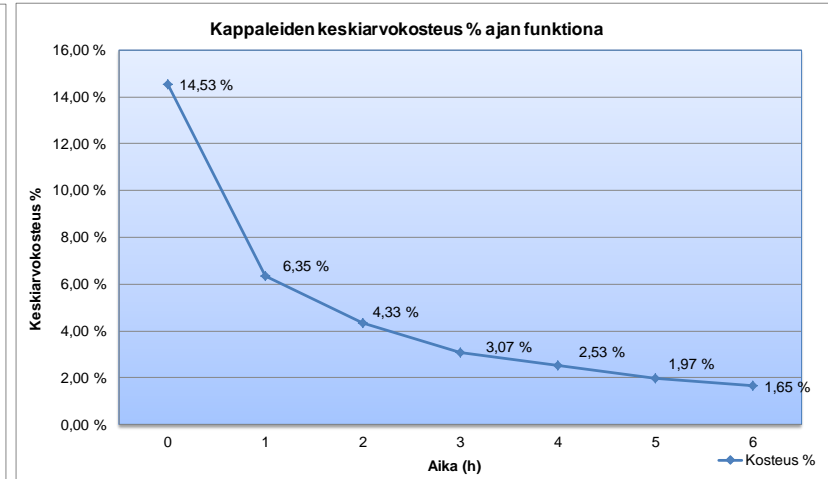
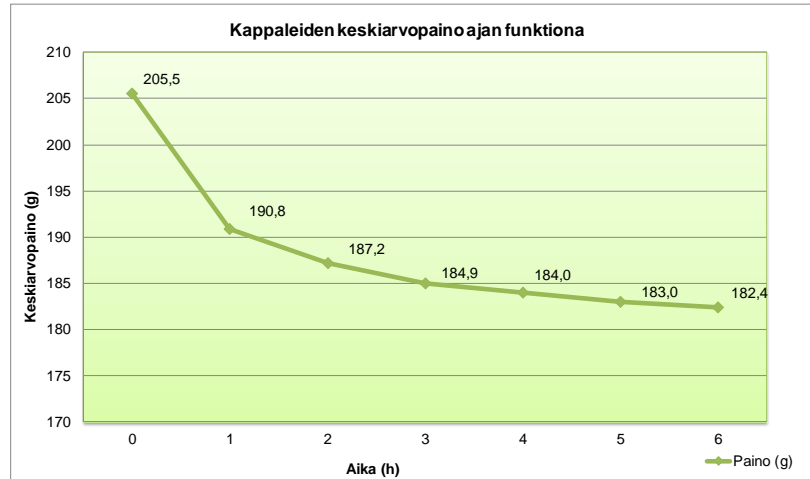
- [1] Pohjoismainen Solumuovi Oy. Yritys. Viitattu 12.5.2011  
<http://www.solumuovi.com/?q=yritys>.
- [2] Pohjoismainen Solumuovi Oy. Laatukäsikirja. Ei julkisesti saatavilla.
- [3] Pohjoismainen Solumuovi Oy:n yrityseseite. Viitattu 13.6.2011  
<http://www.solumuovi.com/esite/index.html>
- [4] Pohjoismainen Solumuovi Oy. Tuotteet. Viitattu 2.6.2011  
<http://www.solumuovi.com/?q=tuotteet>.
- [5] Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: Muovifakta Oy.
- [6] Pohjoismainen Solumuovi Oy. Materiaalit. Viitattu 26.6.2011  
<http://www.solumuovi.com/?q=tuotteet/materiaalit>.
- [7] AFK Plastics. Shape moulding. Viitattu 17.8.2011  
<http://www.afk-plastics.co.uk/Shape%20Moulding/EHVCE.aspx>
- [8] Kaneka Belgium N.V. 2011. Diaesitys: Advanced Molding Theory. Ei julkisesti saatavilla.
- [9] SGN Tekniikka Oy. Esite ilmapuhaltimista. Viitattu 16.7.2011  
[http://www.sgnieminen.fi/files/sgnieminen/spraying/b543m-b\\_50hz\\_windjet\\_air\\_knife\\_packages.pdf](http://www.sgnieminen.fi/files/sgnieminen/spraying/b543m-b_50hz_windjet_air_knife_packages.pdf)
- [10] Spraying Systems Co. Tekninen esite ilmaveitsistä ja puhaltimista: Data sheet 50760-R7.5G. Ei julkisesti saatavilla.
- [11] Kaunisto, T.; Rönholm, M. 1990. Tekninen tiedotus 16/90. Infrapunatekniikka maalien kuivauksessa. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- [12] Elekma Oy. Infrapunakuivain. Viitattu 8.6.2012  
[http://www.elekma.com/vanhaverkkokauppa/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=97](http://www.elekma.com/vanhaverkkokauppa/index.php?main_page=product_info&products_id=97)
- [13] Puuproffa, Pro Puu ry. Lauhdekuivaamo. Viitattu 13.10.2012  
[http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com\\_content&task=view&id=95&Itemid=136](http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=95&Itemid=136)
- [14] Suominen, J-P. 2005. Koivun HFV-kuivauksen kustannusvaikutukset. Diplomityö. Tuotantotalouden osasto. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30310/TMP.objres.136.pdf?sequence=1>
- [15] Opetushallitus, Puutuoteteollisuus – kirjasarjan lisämateriaalit. Viitattu 14.10.2012

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavaran\\_kuivaus/index.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavaran_kuivaus/index.html)

Liite 1. Kuivauskoe 710604 (Kone 9).

Nimike: 710604 Konetyyppi: E 107/67 Koneen nro: 9 Kuivausmenetelmä EPS-uuni	Koekappale nro: 1 Pituus: 524 mm      Leveys: 519 mm      Korkeus: 146 mm Kuivapaino (g): 179,1		
	Koekappale nro: 2 Pituus: 525 mm      Leveys: 519 mm      Korkeus: 145 mm Kuivapaino (g): 179,5		
Tuotteen nimellismitat: Pituus: 525 mm      Leveys: 520 mm      Korkeus: 145 mm Tilavuus (l): 7,1      Paino (g): 178	Koekappale nro: 3 Pituus: 524 mm      Leveys: 519 mm      Korkeus: 146 mm Kuivapaino (g): 179,7		
Raaka-aine: Normaali EPS Tiheys (g/l): 25			

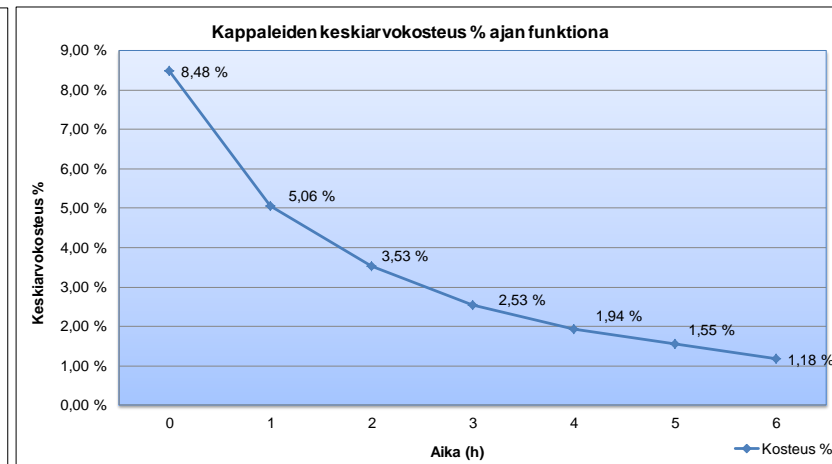
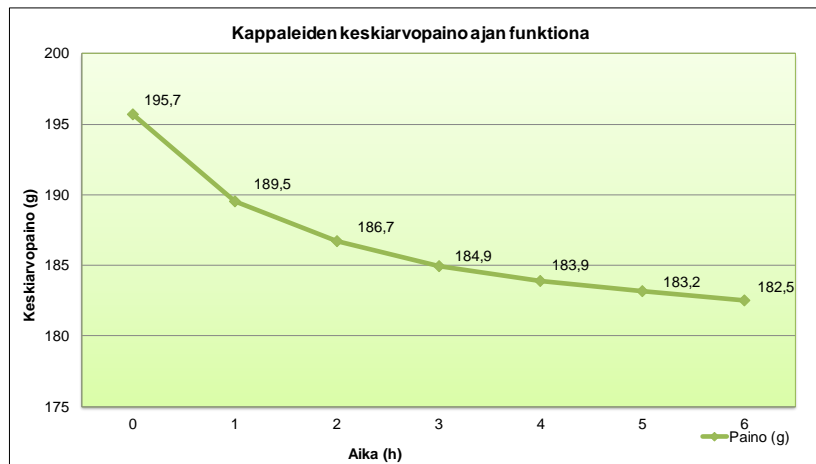
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
	Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %
0	204,80	14,35 %	Kostea	206,40	14,99 %	Kostea	205,30	14,25 %	Kostea	205,5	14,53 %	Kostea
1	190,5	6,37 %	Kostea	191,4	6,63 %	Kostea	190,6	6,07 %	Kostea	190,8	6,35 %	Kostea
2	187,2	4,52 %	Melko kuiva	187,6	4,51 %	Melko kuiva	186,8	3,95 %	Melko kuiva	187,2	4,33 %	Melko kuiva
3	185,1	3,35 %	Melko kuiva	185,5	3,34 %	Melko kuiva	184,2	2,50 %	Melko kuiva	184,9	3,07 %	Melko kuiva
4	183,6	2,51 %	Kuiva	184,5	2,79 %	Kuiva	183,8	2,28 %	Kuiva	184,0	2,53 %	Kuiva
5	182,5	1,90 %	Kuiva	183,3	2,12 %	Kuiva	183,1	1,89 %	Kuiva	183,0	1,97 %	Kuiva
6	181,8	1,51 %	Kuiva	182,5	1,67 %	Kuiva	182,9	1,78 %	Kuiva	182,4	1,65 %	Kuiva



Liite 2. Kuivauskoe 710604 (Kone 4).

<b>Nimike:</b> 710604 <b>Konetyyppi:</b> E 107/67 <b>Koneen nro:</b> 4 <b>Kuivausmenetelmä:</b> EPS-uuni	<b>Koekappale nro: 1</b> <b>Pituus:</b> 525 mm <b>Leveys:</b> 521 mm <b>Korkeus:</b> 146 mm <b>Kuivapaino (g):</b> 180,1		
	<b>Koekappale nro: 2</b> <b>Pituus:</b> 525 mm <b>Leveys:</b> 520 mm <b>Korkeus:</b> 146 mm <b>Kuivapaino (g):</b> 180,6		
<b>Tuotteen nimellismitat:</b>  <b>Pituus:</b> 525 mm <b>Leveys:</b> 520 mm <b>Korkeus:</b> 145 mm <b>Tilavuus (l):</b> 7,1 <b>Paino (g):</b> 178  <b>Raaka-aine:</b> Normaali EPS <b>Tiheys (g/l):</b> 25	<b>Koekappale nro: 3</b> <b>Pituus:</b> 524 mm <b>Leveys:</b> 520 mm <b>Korkeus:</b> 145 mm <b>Kuivapaino (g):</b> 180,4		

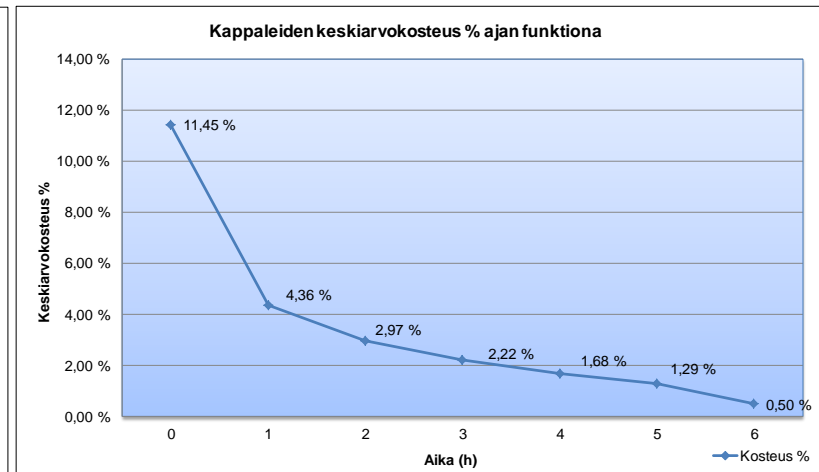
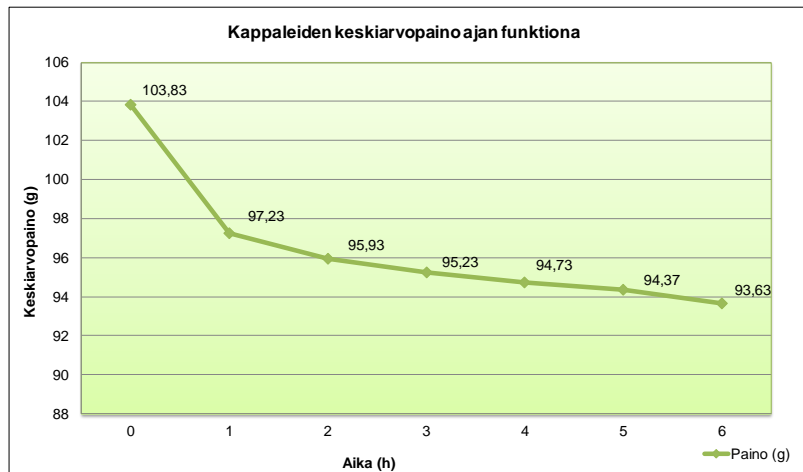
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	195,8	8,72 %	Kostea	195,5	8,25 %	Kostea	195,7	8,48 %	Kostea	195,7	8,48 %	Kostea
1	189,5	5,22 %	Kostea	189,4	4,87 %	Kostea	189,6	5,10 %	Kostea	189,5	5,06 %	Kostea
2	186,8	3,72 %	Melko kuiva	186,7	3,38 %	Melko kuiva	186,7	3,49 %	Melko kuiva	186,7	3,53 %	Melko kuiva
3	185,0	2,72 %	Melko kuiva	185,0	2,44 %	Melko kuiva	184,8	2,44 %	Melko kuiva	184,9	2,53 %	Melko kuiva
4	184,0	2,17 %	Kuiva	183,9	1,83 %	Kuiva	183,7	1,83 %	Kuiva	183,9	1,94 %	Kuiva
5	183,2	1,72 %	Kuiva	183,2	1,44 %	Kuiva	183,1	1,50 %	Kuiva	183,2	1,55 %	Kuiva
6	182,5	1,33 %	Kuiva	182,6	1,11 %	Kuiva	182,4	1,11 %	Kuiva	182,5	1,18 %	Kuiva



Liite 3. Kuivauskoe 710605 (Kone 9).

Nimike: 710605 Konetyyppi: E 107/67 Koneen nro: 9 Kuivausmenetelmä EPS-uuni	Koekappale nro: 1 Pituus: 482 mm      Leveys: 256 mm      Korkeus: 71 mm Kuivapaino (g): 93,1
	Koekappale nro: 2 Pituus: 482 mm      Leveys: 255 mm      Korkeus: 71 mm Kuivapaino (g): 93,3
	Koekappale nro: 3 Pituus: 483 mm      Leveys: 255 mm      Korkeus: 71 mm Kuivapaino (g): 93,1
Tuotteen nimellimitat: Pituus: 484 mm      Leveys: 255 mm      Korkeus: 70 mm Tilavuus (l): 3,8      Paino (g): 95 Raaka-aine: Normaali EPS      Tiheys (g/l): 25	

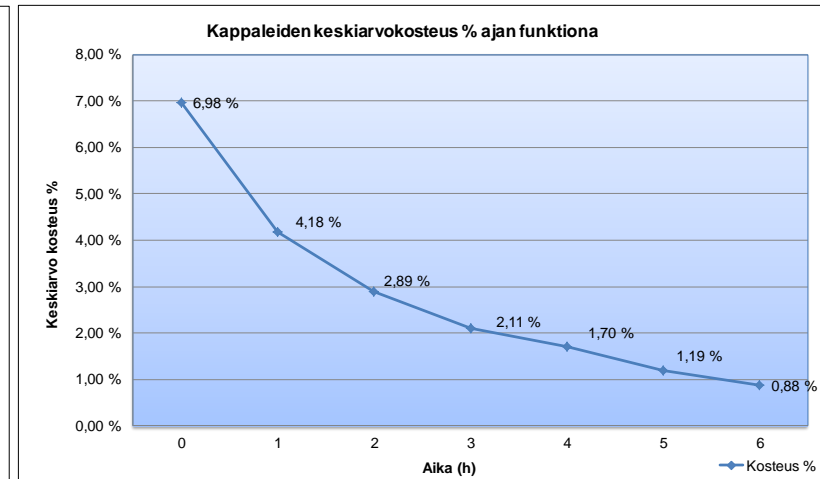
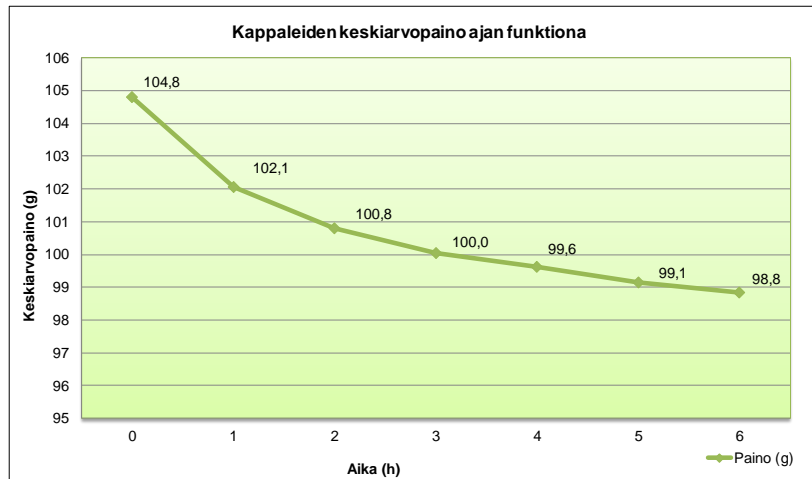
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	103,50	11,17 %	Kostea	104,20	11,68 %	Kostea	103,80	11,49 %	Kostea	103,83	11,45 %	Kostea
1	97,00	4,19 %	Kostea	97,50	4,50 %	Kostea	97,20	4,40 %	Kostea	97,23	4,36 %	Kostea
2	95,70	2,79 %	Melko kuiva	96,10	3,00 %	Melko kuiva	96,00	3,11 %	Melko kuiva	95,93	2,97 %	Melko kuiva
3	95,00	2,04 %	Melko kuiva	95,30	2,14 %	Melko kuiva	95,40	2,47 %	Melko kuiva	95,23	2,22 %	Melko kuiva
4	94,60	1,61 %	Kuiva	94,90	1,71 %	Kuiva	94,70	1,72 %	Kuiva	94,73	1,68 %	Kuiva
5	94,20	1,18 %	Kuiva	94,50	1,29 %	Kuiva	94,40	1,40 %	Kuiva	94,37	1,29 %	Kuiva
6	93,60	0,54 %	Kuiva	93,70	0,43 %	Kuiva	93,60	0,54 %	Kuiva	93,63	0,50 %	Kuiva



Liite 4. Kuivauskoe 710605 (Kone 4).

Nimike: 710605 Konetyyppi: E 107/67 Koneen nro: 4 Kuivausmenetelmä EPS-uuni	Koekappale nro: 1 Pituus: 482 mm      Leveys: 255 mm      Korkeus: 72 mm Kuivapaino (g): 98,8		
	Koekappale nro: 2 Pituus: 483 mm      Leveys: 255 mm      Korkeus: 72 mm Kuivapaino (g): 97,7		
	Koekappale nro: 3 Pituus: 483 mm      Leveys: 254 mm      Korkeus: 72 mm Kuivapaino (g): 97,4		
Tuotteen nimellismitat:			
Pituus: 484 mm Tilavuus (l): 3,8		Leveys: 255 mm Paino (g): 95	
Raaka-aine: Normaali EPS		Tiheys (g/l): 25	

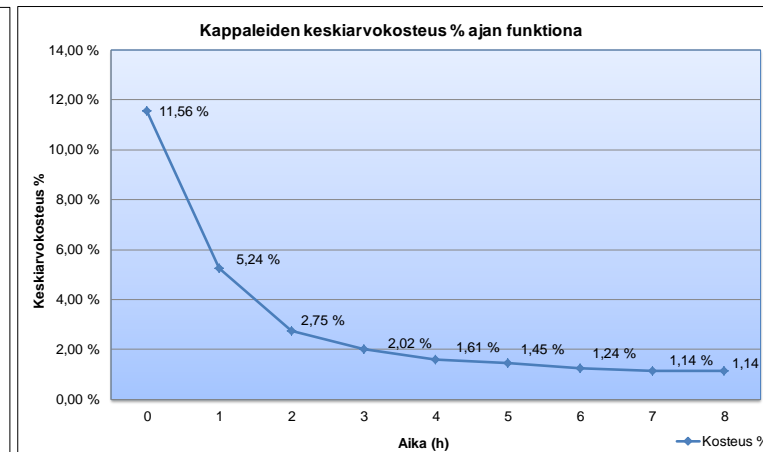
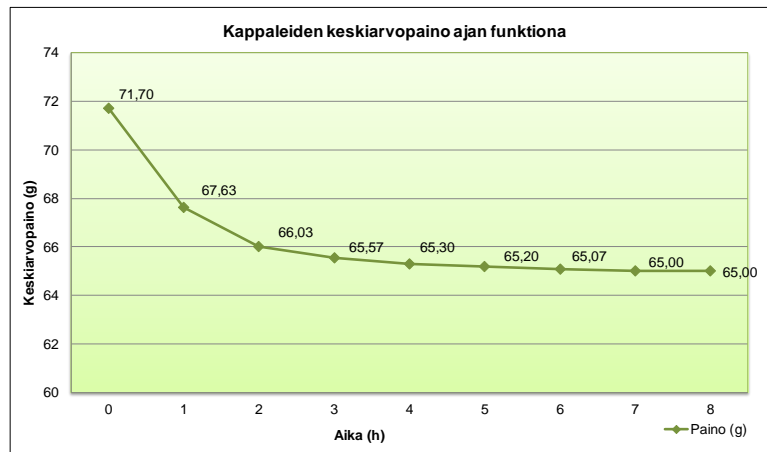
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	105,6	6,88 %	Kostea	104,6	7,06 %	Kostea	104,2	6,98 %	Kostea	104,8	6,98 %	Kostea
1	103,0	4,25 %	Kostea	101,8	4,20 %	Kostea	101,4	4,11 %	Kostea	102,1	4,18 %	Kostea
2	101,7	2,94 %	Melko kuiva	100,6	2,97 %	Melko kuiva	100,1	2,77 %	Melko kuiva	100,8	2,89 %	Melko kuiva
3	101,0	2,23 %	Melko kuiva	99,7	2,05 %	Melko kuiva	99,4	2,05 %	Melko kuiva	100,0	2,11 %	Melko kuiva
4	100,4	1,62 %	Kuiva	99,3	1,64 %	Kuiva	99,2	1,85 %	Kuiva	99,6	1,70 %	Kuiva
5	100,1	1,32 %	Kuiva	98,6	0,92 %	Kuiva	98,7	1,33 %	Kuiva	99,1	1,19 %	Kuiva
6	99,8	1,01 %	Kuiva	98,4	0,72 %	Kuiva	98,3	0,92 %	Kuiva	98,8	0,88 %	Kuiva



Liite 5. Kuivauskoe 711801.

Nimike: 711801 Konetyyppi: E 67/57 Koneen nro: 10 Kuivausmenetelmä EPS-uuni	<b>Koekappale nro: 1</b> Pituus: 378 mm      Leveys: 207 mm      Korkeus: 82 mm Kuivapaino (g): 64,5		
	<b>Koekappale nro: 2</b> Pituus: 378 mm      Leveys: 207 mm      Korkeus: 82 mm Kuivapaino (g): 64,1		
	<b>Koekappale nro: 3</b> Pituus: 377 mm      Leveys: 207 mm      Korkeus: 82 mm Kuivapaino (g): 64,2		
Tuotteen nimellismitat: Pituus: 380 mm      Leveys: 208 mm      Korkeus: 81 mm Tilavuus (l): 2,8      Paino (g): 61,6			
Raaka-aine: Normaali EPS      Tiheys (g/l): 22			

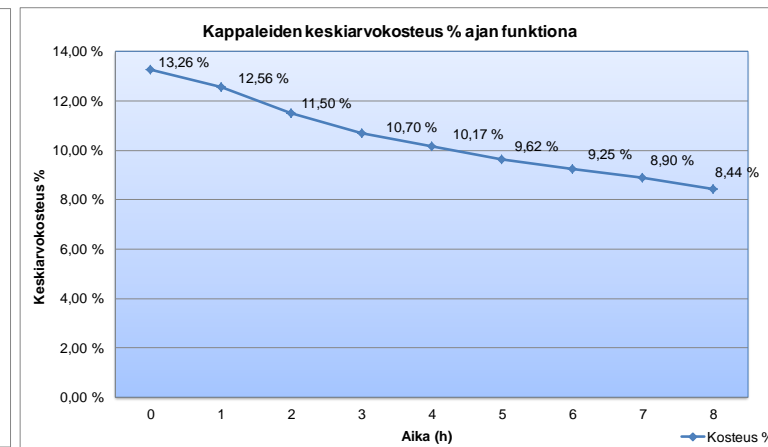
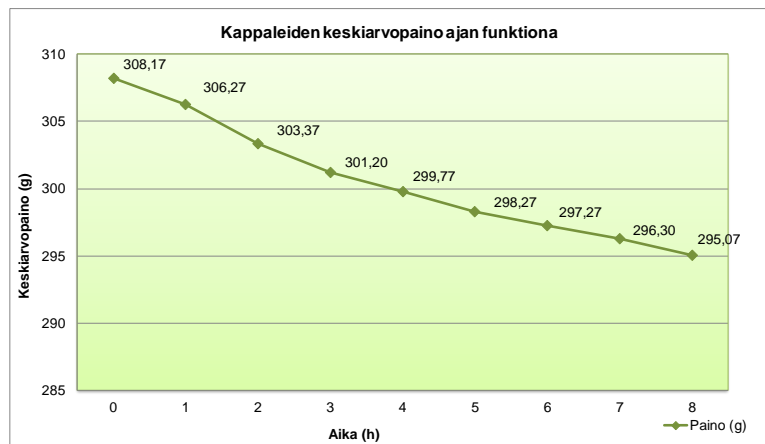
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	72,6	12,56 %	Märkä	71,1	10,92 %	Märkä	71,4	11,21 %	Märkä	71,70	11,56 %	Märkä
1	68,3	5,89 %	Kosteaa	67,2	4,84 %	Kosteaa	67,4	4,98 %	Kosteaa	67,63	5,24 %	Kosteaa
2	66,5	3,10 %	Melko kuiva	65,7	2,50 %	Melko kuiva	65,9	2,65 %	Melko kuiva	66,03	2,75 %	Melko kuiva
3	66,0	2,33 %	Kuiva	65,2	1,72 %	Kuiva	65,5	2,02 %	Kuiva	65,57	2,02 %	Kuiva
4	65,7	1,86 %	Kuiva	65,0	1,40 %	Kuiva	65,2	1,56 %	Kuiva	65,30	1,61 %	Kuiva
5	65,6	1,71 %	Kuiva	64,9	1,25 %	Kuiva	65,1	1,40 %	Kuiva	65,20	1,45 %	Kuiva
6	65,5	1,55 %	Kuiva	64,8	1,09 %	Kuiva	64,9	1,09 %	Kuiva	65,07	1,24 %	Kuiva
7	65,4	1,40 %	Kuiva	64,8	1,09 %	Kuiva	64,8	0,93 %	Kuiva	65,00	1,14 %	Kuiva
8	65,4	1,40 %	Kuiva	64,8	1,09 %	Kuiva	64,8	0,93 %	Kuiva	65,00	1,14 %	Kuiva



Liite 6. Kuivauskoe 737801.

Nimike: 737801 Konetyyppi: E 107/67 Koneen nro: 3 Kuivausmenetelmä EPS-uuni	Koekappale nro: 1 Pituus: 370 mm      Leveys: 273 mm      Korkeus: 140 mm Kuivapaino (g): 275,1		
	Koekappale nro: 2 Pituus: 370 mm      Leveys: 273 mm      Korkeus: 139 mm Kuivapaino (g): 269,8		
	Koekappale nro: 3 Pituus: 370 mm      Leveys: 273 mm      Korkeus: 140 mm Kuivapaino (g): 271,4		
Tuotteen nimellismitat: Pituus: 370 mm      Leveys: 273 mm      Korkeus: 140 mm Tilavuus (l): 9,26      Paino (g): 278			
Raaka-aine: Harmaa EPS		Tiheys (g/l): 30	

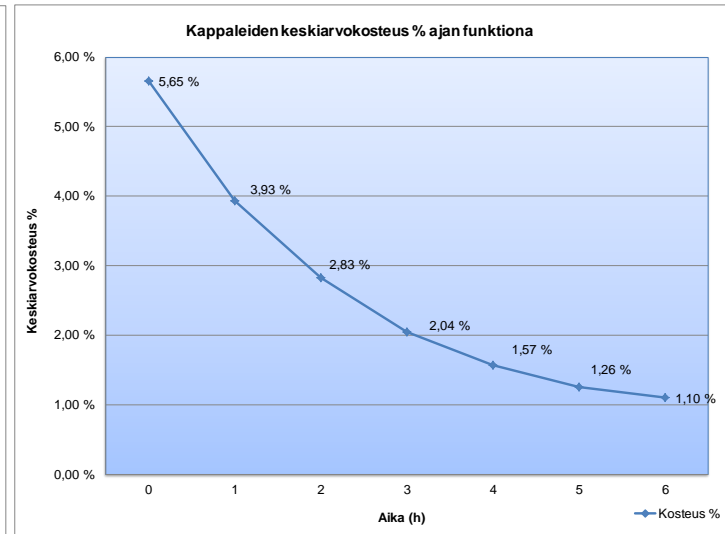
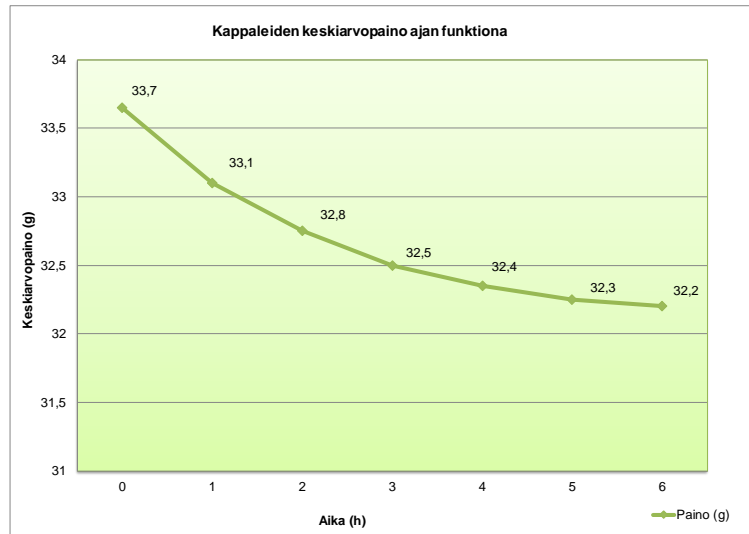
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	309,50	12,50 %	Melko kuiva	307,10	13,83 %	Melko kuiva	307,90	13,45 %	Melko kuiva	308,17	13,26 %	Melko kuiva
1	307,2	11,67 %	Melko kuiva	304,8	12,97 %	Melko kuiva	306,8	13,04 %	Melko kuiva	306,27	12,56 %	Melko kuiva
2	304,1	10,54 %	Kuiva	302,2	12,01 %	Kuiva	303,8	11,94 %	Kuiva	303,37	11,50 %	Kuiva
3	302,4	9,92 %	Kuiva	299,4	10,97 %	Kuiva	301,8	11,20 %	Kuiva	301,20	10,70 %	Kuiva
4	301	9,41 %	Kuiva	297,9	10,42 %	Kuiva	300,4	10,69 %	Kuiva	299,77	10,17 %	Kuiva
5	299,6	8,91 %	Kuiva	296,6	9,93 %	Kuiva	298,6	10,02 %	Kuiva	298,27	9,62 %	Kuiva
6	298,4	8,47 %	Kuiva	295,5	9,53 %	Kuiva	297,9	9,76 %	Kuiva	297,27	9,25 %	Kuiva
7	297,5	8,14 %	Kuiva	294,3	9,08 %	Kuiva	297,1	9,47 %	Kuiva	296,30	8,90 %	Kuiva
8	296,2	7,67 %	Kuiva	293,2	8,67 %	Kuiva	295,8	8,99 %	Kuiva	295,07	8,44 %	Kuiva



Liite 7. Kuivauskoe 734101 (Ei puhallusta).

Nimike: 734101 Konetyyppi: E 107/67 Koneen nro: 2 Kuivausmenetelmä EPS-uuni (EI PUHALLUSTA)	Koekappale nro: 1 Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Kuivapaino (g): 32,0		
	Koekappale nro: 2 Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Kuivapaino (g): 31,7		
	Koekappale nro: 3 Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Kuivapaino (g): 31,5		
Tuotteen nimellimitat: Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Tilavuus (l): 0,57      Paino (g): 31,9 Raaka-aine: Matalapentaaninen EPS      Tiheys (g/l): 60			

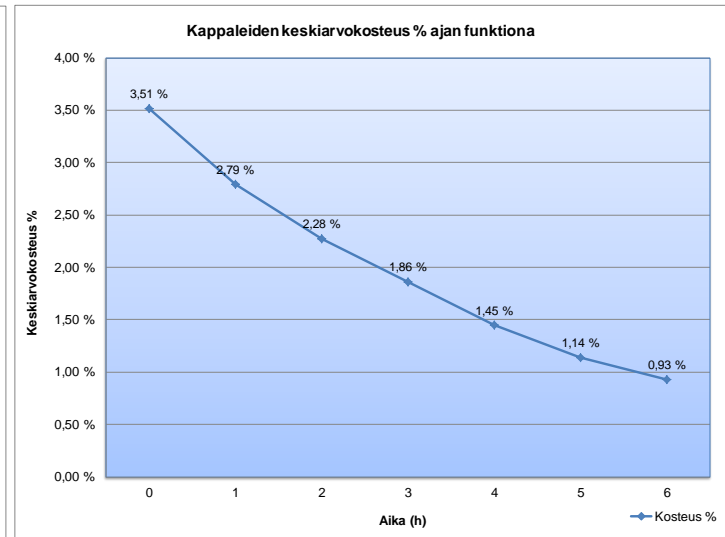
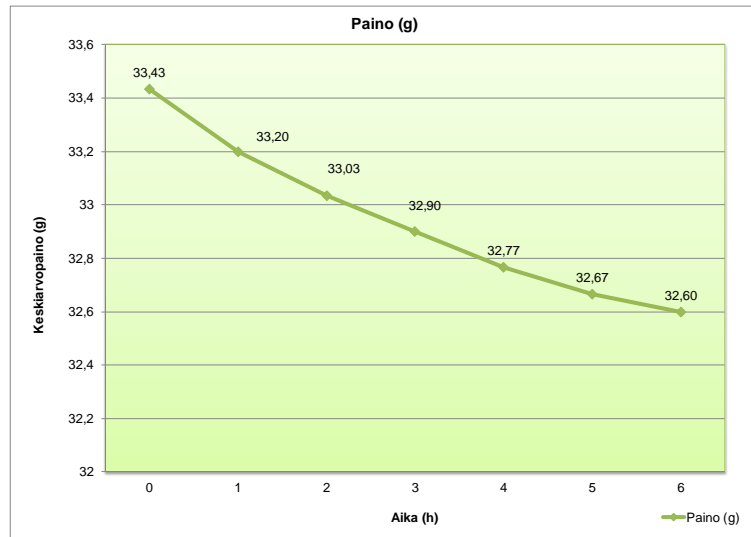
Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	33,6	5,00 %	Kostea	33,7	6,31 %	Kostea	33,4	6,03 %	Kostea	33,7	5,65 %	Kostea
1	33,1	3,44 %	Melko kuiva	33,1	4,42 %	Melko kuiva	33,0	4,76 %	Melko kuiva	33,1	3,93 %	Melko kuiva
2	32,8	2,50 %	Kuiva	32,7	3,15 %	Kuiva	32,6	3,49 %	Kuiva	32,8	2,83 %	Kuiva
3	32,5	1,56 %	Kuiva	32,5	2,52 %	Kuiva	32,4	2,86 %	Kuiva	32,5	2,04 %	Kuiva
4	32,5	1,56 %	Kuiva	32,2	1,58 %	Kuiva	32,1	1,90 %	Kuiva	32,4	1,57 %	Kuiva
5	32,4	1,25 %	Kuiva	32,1	1,26 %	Kuiva	32,0	1,59 %	Kuiva	32,3	1,26 %	Kuiva
6	32,3	0,94 %	Kuiva	32,1	1,26 %	Kuiva	32,0	1,59 %	Kuiva	32,2	1,10 %	Kuiva



Liite 8. Kuivauskoe 734101 (Puhalluksella).

Nimike: 734101 Koneen nro: 2 Kuivausmenetelmä EPS-uuni + Puhalluskuivaus	Koekappale nro: 1 Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Kuivapaino (g): 32,6		
	Koekappale nro: 2 Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Kuivapaino (g): 32,3		
Tuotteen nimellismitat: Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Tilavuus (l): 0,57      Paino (g): 31,9			
Raaka-aine: Matalapentaaninen EPS      Tiheys (g/l): 60			
Koekappale nro: 3 Pituus: 192 mm      Leveys: 192 mm      Korkeus: 54 mm Kuivapaino (g): 32,0			

Koekappale nro:	1			2			3			Keskiarvo		
Aika (h)	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus	Paino (g)	Kosteus %	Pintakosteus
0	33,6	3,07 %	Melko kuiva	33,4	3,41 %	Melko kuiva	33,3	4,06 %	Melko kuiva	33,43	3,51 %	Melko kuiva
1	33,4	2,45 %	Kuiva	33,2	2,79 %	Kuiva	33,0	3,13 %	Kuiva	33,20	2,79 %	Kuiva
2	33,1	1,53 %	Kuiva	33,0	2,17 %	Kuiva	33,0	3,13 %	Kuiva	33,03	2,28 %	Kuiva
3	33,0	1,23 %	Kuiva	32,9	1,86 %	Kuiva	32,8	2,50 %	Kuiva	32,90	1,86 %	Kuiva
4	32,9	0,92 %	Kuiva	32,8	1,55 %	Kuiva	32,6	1,88 %	Kuiva	32,77	1,45 %	Kuiva
5	32,9	0,92 %	Kuiva	32,7	1,24 %	Kuiva	32,4	1,25 %	Kuiva	32,67	1,14 %	Kuiva
6	32,8	0,61 %	Kuiva	32,6	0,93 %	Kuiva	32,4	1,25 %	Kuiva	32,60	0,93 %	Kuiva



## Liite 9. EPS-kuivausuunin kuormitus -taulukko.

**EPS-kuivausuunin kuormitus**      Kapasiteetti: 140 kuormalavaa  
 4.4.2011 - 30.6.2011

Pvm	Aamuvuoro		Iltavuoro	
	Kuormalavoja (kpl)	Kuormitus %	Kuormalavoja (kpl)	Kuormitus %
4.4.	105	75 %	31	22 %
5.4.	121	86 %	25	18 %
6.4.	113	81 %	25	18 %
7.4.	105	75 %	28	20 %
8.4.	52	37 %	40	29 %
11.4.	108	77 %	53	38 %
12.4.	103	74 %	36	26 %
13.4.	99	71 %	26	19 %
14.4.	79	56 %	26	19 %
15.4.	90	64 %	24	17 %
18.4.	83	59 %	54	39 %
19.4.	97	69 %	56	40 %
20.4.	98	70 %	37	26 %
21.4.	102	73 %	13	9 %
26.4.	81	58 %	67	48 %
27.4.	78	56 %	20	14 %
28.4.	68	49 %	64	46 %
29.4.	76	54 %	5	4 %
2.5.	113	81 %	41	29 %
3.5.	80	57 %	30	21 %
4.5.	96	69 %	14	10 %
5.5.	87	62 %	37	26 %
6.5.	67	48 %	24	17 %
9.5.	57	41 %	13	9 %
10.5.	50	36 %	29	21 %
11.5.	94	67 %	13	9 %
12.5.	73	52 %	41	29 %
13.5.	80	57 %	26	19 %
16.5.	92	66 %	34	24 %
17.5.	87	62 %	54	39 %
18.5.	102	73 %	59	42 %
19.5.	86	61 %	33	24 %
20.5.	83	59 %	35	25 %
23.5.	100	71 %	24	17 %
24.5.	101	72 %	35	25 %
25.5.	112	80 %	41	29 %
26.5.	107	76 %	56	40 %
27.5.	109	78 %	29	21 %
30.5.	89	64 %	40	29 %
31.5.	85	61 %	16	11 %
1.6.	57	41 %	14	10 %
2.6.	21	15 %	13	9 %
6.6.	88	63 %	119	85 %
7.6.	80	57 %	65	46 %
8.6.	106	76 %	69	49 %
9.6.	126	90 %	101	72 %
10.6.	119	85 %	52	37 %
11.6.	54	39 %	0	0 %
12.6.	50	36 %	15	11 %
13.6.	94	67 %	122	87 %
14.6.	117	84 %	108	77 %
15.6.	117	84 %	118	84 %
16.6.	117	84 %	103	74 %
17.6.	118	84 %	76	54 %
18.6.	40	29 %	0	0 %
19.6.	41	29 %	0	0 %
20.6.	107	76 %	109	78 %
21.6.	106	76 %	58	41 %
22.6.	86	61 %	53	38 %
23.6.	75	54 %	39	28 %
27.6.	63	45 %	70	50 %
28.6.	68	49 %	50	36 %
29.6.	57	41 %	44	31 %
30.6.	83	59 %	56	40 %

Liite 10. EPS-kuivausuunin kuormitus -kaavio.

