

Hanna Parikka
Juhani Rajaniemi
Elisa Saarela
Karoliina Satomaa
Jari Rajala



PINTAKÄSITTELYLAITOKSEN PÄÄSTÖ- JA TOIMINTAKYKYTUTKIMUS

Loppuraportti

PINTAKÄSITTELYLAITOKSEN PÄÄSTÖ- JA TOIMINTAKYKYTUTKIMUS
Loppuraportti

Hanna Parikka
Juhani Rajaniemi
Elisa Saarela
Karoliina Satomaa
Jari Rajala

JULKAISIJA

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu
Vierimaantie 7, 84100 Ylivieska

TAITTO

Hanna Parikka

KANSI

Milla Vähäkainu

C: CENTRIA TUTKIMUS JA KEHITYS - FORSKNING OCH UTVECKLING

ISBN: 978-952-5107-66-1 (PDF)

ISSN: 1459-8949

TIIVISTELMÄ

CENTRIA Tutkimus ja kehityksen Pintakäsittelylaitoksen päästö- ja toimintakykytutkimushanke (PPT2004) oli kestoaltaan kaksivuotinen. Hanke toteutettiin kahdessa osassa, A ja B. Tässä raportissa keskitytään hankkeen B-osan työsuunnitelman mukaisiin tehtäviin ja saavutettuihin tuloksiin sekä kootaan hankkeen tuloksista yhteenveto.

PPT2004-hankkeen tavoitteena oli selvittää erityyppisten pintakäsittelylinjojen kokonaisvaltainen ilmastoinnin ja kuivausprosessin tila sekä tuottaa uutta tietoa linjaratkaisuista sekä vesiohenteisista pintakäsittelyaineista. Tärkeänä tavoitteena oli myös uusien palvelutuotteiden kehittäminen.

Hankkeen aikana kartoitettiin yhteistyöyritysten pintakäsittelylinjojen tulo- ja poistoilmojen virtausnopeudet, tilavuusvirrat, lämpötilat, kastepisteet, suhteelliset ja absoluuttiset kosteudet sekä uunitaseet eri vuoden aikoina. Lisäksi selvitettiin koko pintakäsittelytilan tulo- ja poistoilmavirtaukset, joiden perusteella voitiin laskea ilmastoinnin tasapainotila.

Pintakäsittelylinjojen monipuolisilla mittauksilla saatiin mm. näkemystä ja laskennallista pohjaa erilaisten uunien toiminnasta ja tehokkuudesta. Tämän pohjalta yritykset saivat arvokasta tietoa esimerkiksi erilaisten uunikonstruktioiden muutostarpeista siirryttäessä vesiohenteisiin pintakäsittelyaineisiin. Eri vuodenaikoina tehdyt mittaukset antoivat pohjan erilaisten kosteusolosuhteiden huomioon ottamiselle.

CENTRIAn lisäksi tutkimus- ja mittaustyötä hankkeessa suoritti Työterveyslaitos. Hajapäästömittauksilla pyrittiin vähentämään työntekijöiden altistumista. Altistumisen estämisen tueksi kehitettiin indeksi, jonka avulla yrityksissä voidaan arvioida työntekijöiden liuotinaineille altistumista. Työterveyslaitos keräsi tietoa myös turvallisuusjohtamiseen liittyen sekä teki Tulevaisuuden työpaikka -vetovoimaisuuskyselyn.

Hankkeen aikana pintakäsittelylinjan mittauksista syntyi mittauspalvelu, jota tullaan myymään sekä hankeyrityksille että hankkeen ulkopuolisille pintakäsittelyä tekeville yrityksille. Mittauksia voidaan suorittaa sekä taso-, kerros- että riippulinjauuneille.

Sekä CENTRIA että eri yhteistyötahot olivat tyytyväisiä hankkeen toteutukseen ja tuloksiin. Pintakäsittelyn eri osa-alueita ja huomioitavia seikkoja käsiteltiin kattavasti, joten tästä on hyvä jatkaa tutkimusta ja kehitystä eteenpäin.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
1.1 TAUSTAT JA HANKKEEN TARKOITUS	1
1.2 TUTKIMUSHANKKEEN TAVOITE	2
1.3 HANKEYRITYKSET	4
2 TYÖVAIHEET	7
2.1 ORGANISOINTI	7
2.2 HALLINTA	7
2.3 TIEDON KERÄÄMINEN JA ANALYSOINTI	7
2.4 KEHITTÄMISVAIKTOEHTOJEN TUNNISTUS JA ARVIOINTI	8
2.5 KEHITTÄMISVAIKTOEHTOJEN VALINTA JA TOTEUTUS	9
3 AIKATAULU JA ORGANISOINTI	10
3.1 HANKEAIKATAULU	10
3.2 HANKEORGANISAATIO	10
3.2.1 Ohjausryhmä	10
3.2.2 Tutkimusryhmä	11
3.2.3 Ostetut asiantuntijapalvelut	11
3.3 ROOLIT JA VASTUUT	11
3.4 DOKUMENTOINTI	12
4 RAPORTOINTI	13
5 TULOKSET	14
5.1 ILMAN OLOSUHTEET ERI VUODENAIKOINA	16
5.1.1 Halli-ilma	16
5.1.2 Ulkoilma	17
5.1.3 Halli- ja ulko-olosuhteiden merkitys	18
5.1.4 Pintakäsittelytilan kaksi erilaista ilman olosuhdevaatimusta	20
5.1.4.1 Tuotantotilan ilmanvaatimukset	21
5.1.4.2 Pintakäsittelyn prosessi-ilman vaatimukset	21
5.2 HALLI- JA UUNITASEET ERI VUODENAIKOINA	22
5.3 UUNIEN SISÄISET VIRTausMITTAUKSET	25
5.4 AJOARVOT	28
5.5 ONGELMAT JA MUUTOKSET HANKEYRITYKSISSÄ	29
5.5.1 Pintakäsittely	29
5.5.2 Työympäristö- ja jäteasiat	30
5.5.3 Huolto	32
5.6 PINTAKÄSITTELYPROSESSI	33
5.6.1 Levitysmenetelmät	34
5.6.2 Kuivausuunit	35
5.6.3 Ilmankuivaimet ja suljettu kierto	36
5.6.3.1 Muutostyöt CENTRIAn kuivausuuniin	37
5.6.3.1.1 Uunien toiminnot	37
5.6.3.1.2 Arvio uunien energiankulutuksista	39
5.6.3.1.3 Yhteenveto	40

5.6.3.2 Kiertoilmalämpöpumppukuivaus pintakäsittelyuneissa	40
5.6.4 Poistuvan lämmön energiantarve	41
5.7 VEDENHAIHDUTUSKYKY	43
5.7.1 Haihtuminen	43
5.7.1.1 Virtaus	44
5.7.1.2 Kosteus	45
5.7.1.3 Lämpö	45
5.7.2 Haihdutustestit	46
5.7.2.1 Parhaat ajoarvot	47
5.7.2.2 Olosuhteiden vaikutus haihtumiseen	50
5.7.3 Jatkotestit	52
5.7.3.1 Eri pohjamateriaalit	52
5.7.3.2 Kuljetinnopeuden muutos	54
5.8 SIMULOINTI	55
<i>Simulointi tulevaisuudessa</i>	56
5.9 LIUOTINAINALTISTUMINEN JA TORJUNTATOIMET	58
5.9.1 Liuotinainealtistumisen terveyshaitat	58
5.9.2 Ammattitaudit puun pintakäsittelyssä	61
5.9.3 Liuotinainealtistuminen puun pintakäsittelyssä	61
5.9.3.1 Liuotinainealtistumisen arviointi	61
5.9.3.2 Altistuvien lukumäärä	64
5.9.3.3 Altistumisen taso	64
5.9.3.4 Altistumiseen vaikuttavia tekijöitä	67
5.9.3.5 Pintakäsittelyssä käytettävät maalit ja lakat	69
5.9.5. Liuotinaineille altistumisen riskinarviointi	73
5.9.6 Riskien hallinta	76
5.9.7 Torjuntakokeilut laboratoriossa	78
5.9.7.1 Yleistä	78
5.9.7.2 Mittausjärjestelyt	78
5.9.7.3 Ilmanvaihdon laboratoriomittausten tulokset	79
5.9.7.4 Johtopäätökset	82
5.9.8 Torjuntakokeilut työpaikalla	82
5.9.8.1 Olosuhteet torjuntakokeilun aikana	82
5.9.8.2 Näytteenottomenetelmät	83
5.9.8.3 Mittaustulosten tarkastelua	84
5.9.8.4 Johtopäätökset	85
5.9.9 Mittari liuotinainepitoisuuden karkeaan arviointiin	86
5.9.10 Pintakäsittelyalan vetovoimaisuuskysely	89
5.10 MAALAAMOHANKINNAN KÄSIKIRJA -ESISELVITYSTYÖ	92
5.10.1 Hankintaoppaan sisältö	93
5.10.2 Investoinnin eri toteutusmallit	94
5.10.3 Sovellettavat lait	94
5.10.4 Sopimuksen laadinta	95
5.10.5 Toimitusehdot	96
5.10.6 Yhteenvedo	97
5.11 MITTAUSPALVELU	97
5.12 SEMINAARIT	98
5.9.11.1 Turvallisuusjohtaminen	99
5.9.11.2 Ilmanvaihto	100
5.9.11.3 Pintakäsittelyalan vetovoimaisuus	101
6 BUDJETTI	102
7 YHTEENVETO	103
7.1 ONNISTUMINEN TAVOITTEISSA JA TOIMENPITEISSÄ	103
7.2 PROJEKTIN TULOKSET	105

LIITTEET

1 JOHDANTO

Pintakäsittelylaitoksen päästö- ja toimintakykytutkimushanke (PPT 2004) oli kestoaltaan kaksivuotinen. Tutkimushanke toteutettiin kahdessa osassa, A- ja B-osassa. A-osa alkoi 1.4.2004 ja kesti toimenpiteiden osalta 30.6.2005 ja raportoinnin osalta 30.9.2005 asti. Välittömästi A-osan toiminnallisen osuuden jälkeen alkoi hankkeen B-osa, joka kesti 30.9.2006 asti. B-osa toteutettiin hanke- ja tutkimussuunnitelman mukaisesti. Koska A-osasta tehtiin oma loppuraportti syksyllä 2005, keskitytään tässä raportissa B-osaan ja hankkeen kokonaistuloksiin.

Hankkeessa oli mukana kymmenen puualan yritystä; ET-Maalauk Oy, Kensapuu Oy, LTM Company Oy, Matti-Ovi Oy, Mellano Oy, Närppes Nordwood Oy Ab, Puusepäntiike Hirviset Oy, Tiivituote Oy, Topi-Kalustaja Oy ja UPM Kymmene Wood Oy, yksi laitevalmistaja; Sasmator Oy ja yksi maalitehdas; Teknos Oy. B-osaan mukaan tuli myös yksi metallialan yritys; Värikyrö Oy.

Tutkimus- ja mittaustyötä hankkeessa tekivät CENTRIA Tutkimus ja kehitys sekä Työterveyslaitos, Oulun yksikkö. Hankkeen rahoittivat TEKES, Työsuojelurahasto, hankeyritykset sekä CENTRIA.

1.1 Taustat ja hankkeen tarkoitus

Eri uunityyppien toimivuudesta sekä soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin on käyty jatkuvaa keskustelua. Suomen neljän eri vuodenajan vuoksi ilman suhteellinen kosteus vaihtelee hyvin voimakkaasti. Tämä aiheuttaa pintakäsittelyprosesseissa merkittäviä tuotannollisia ongelmia. Sanonta ”keväällä toimii kaikki, mutta kesällä ja syksyllä ei mikään” pitää hyvin paikkansa.

Vaikka kuivaus on yksi vanhimmista prosessiteollisuuden yksikköprosesseista ja sitä on tutkittu suhteellisen paljon, tutkimukseen ja mittaukseen perustuvaa tietoa itse

pintakäsittelystä ei ole ollut aikaisemmin saatavissa. Pintakäsittelylinjojen uuniratkaisut ovat perustuneet maahantuojan tai heidän päämiestensä esityksiin.

PPT2004 -projektin lähtökohtana oli selvittää erityyppisten pintakäsittelylinjojen kokonaisvaltainen ilmastoinnin sekä kuivausprosessin tila. Aikaisemmin nämä tiedot ovat perustuneet suurelta osin henkilökohtaisiin mielipiteisiin sekä laitevalmistajien teknisissä tiedoissa antamiin arvoihin. Myös maalitehtaat ovat todenneet tutkimushankkeen tarpeelliseksi, koska tutkitun tiedon puuttuminen on aiheuttanut ajoittain suuria paineita maalitehtaiden teknisenneuvonnan henkilöstölle.

Mittausarvojen merkitys on korostunut ja korostuu yritysten joutuessa muuttamaan pintakäsittelyprosessejaan ympäristöystävällisemmiksi VOC-direktiivin (volatile organic compounds) vuoksi. Mittausarvojen saatavuus on tärkeää vanhan uuniteknologian muuttamisessa sekä uusien linjainvestointien suunnittelussa.

1.2 Tutkimushankkeen tavoite

Tutkimushankkeen keskeisenä tavoitteena oli mallintaa ja testata pintakäsittelylinjan kokonaisvaltaisen ilmastoinnin vaikutus pintakäsittelytuotannon laatuun sekä tuottaa uutta tietoa linjaratkaisuista sekä vesiohenteisista ja vesiohenteisista UV-kovettuvista pintakäsittelyaineista. Tiedon pohjalta pintakäsittelylinjojen käyttäjillä on mahdollisuus tehdä kokonaisvaltaisia ja järkeviä säätöjä omassa tuotannossaan. Lisäksi hankkeen tavoitteena oli tuottaa uutta tietoa uusien pintakäsittelylinjojen suunnittelua ja toteutusta varten.

Tutkimushankkeen tavoitteena oli myös uusien palvelutuotteiden tuotteistaminen. Näitä ovat pintakäsittelylinjan kuntotesti ja simulointimalli linjojen säätöä ja suunnittelua varten. Yhtenä tavoitteena oli myös tutkia ja kehittää lähes suljettuun kiertoon perustuvaa, vesipohjaisille pintakäsittelyaineille suunnattua kuivausuunia.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on eritelty tavoitteet ja saatavat lopputuotteet työtehtävittäin. B-osan tavoitteena oli jatkaa A-osassa aloitettuja linjamittauksia,

joiden perusteella pystyttiin tekemään ajoarvotaulukot, määrittämään halli- ja uuni-ilmojen taseet sekä tekemään energiataselaskelmat. Pääasiallinen VOC- ja pölymittaus suoritettiin jo A-osassa, mutta myös B-osassa Työterveyslaitos teki vertailevia mittauksia VOC- ja pölymittausten osalta muutamassa yrityksessä. Mittauksilla selvitettiin työssä altistumista. Opinnäytetyönä valmistui tutkimus pintakäsittelylinjan vedenhaihdutuskyvystä, jota käytettiin pohjana simulointimallin luomisessa. Hankkeelle luotiin A-osassa omat www-sivut, joiden kautta myös pääosa B-osan tiedottamisesta ja raportoinnista tapahtui. Tiedottaminen suoritettiin ohjausryhmässä sovittujen periaatteiden mukaisesti.

TAULUKKO 1. Hankkeessa suoritettut työtehtävät ja niistä syntyvät lopputuotteet.

Työtehtävä	Tavoite/lopputuote
Linjamittaus	Ajoarvotaulukot, ilmastoinnin tasapainotilataase, energiataselaskelmat.
VOC-mittaus	Hajapäästökartoitus ja työssä altistuminen.
Tutkimus	Simulointimalli veden haihduttamiseen, vuoden aikojen hyödyntäminen lisäkapasiteettina.
Kuntotesti	Palvelutuote.
www -sivut	Tiedottaminen ja raportointi.
Raportointi	Raportointi ohjausryhmälle/ rahoittajille/ yrityksille.

Hankeyritykset halusivat hankkeen alkaessa tietoa pintakäsittelyn optimoinnista laitteiden ja ympäristönäkökohtien kannalta sekä tietoa maalaamojen kehittämisestä, jotta he voisivat siirtyä vesiohenteisiin pintakäsittelyaineisiin. Pintakäsittelyaineiden vaihtuessa myös linjaa joudutaan usein uusimaan ainakin osittain, tähänkin yritykset kokivat tarvitsevansa lisätietoja ja kokemuksia. Olennaisena osana oli myös vesiohenteisten maalien kuivumista edesauttavien parametrien ja arvojen määrittäminen uuniolosuhteissa.

Ilmastointia ja ilman laatua haluttiin parantaa. Yhtenä tärkeimpänä tuloksena yritykset halusivatkin selvittää pintakäsittelyn ilmastoinnin tasapainotilan. Olennaista oli myös maalaamon työskentelyilman laadun tutkiminen ja parantaminen sekä säätäminen, jotta ilmanlaatu pysyisi hyvänä kaikkina vuodenaikoina.

Hajapäästömittauksien avulla pystyttiin vähentämään työntekijöiden altistumista. Työntekijöiden työskentelyolosuhteiden parantaminen koettiin tärkeäksi, joten työympäristön viihtyisyyden lisääminen, työergonomian parantaminen, tapaturmien vähentäminen sekä työssä jaksaminen nostettiin yrityksissä hankkeen tavoitteiksi.

Monessa yrityksessä VOC-päästöjen alentaminen direktiivin tasolle oli ajankohtaista. Maalin kierrätystä ja maalaamojätteen hävittämistä haluttiin kehittää sekä selvittää jätekustannukset. Kaiken kaikkiaan yritykset halusivat kehittää tuotantotekniikkaansa ympäristöystävällisempään suuntaan.

1.3 Hankeyritykset

Ylivieskalaisen E.T. Listat Oy:n tytäryhtiö E.T. Maalaus Oy on erikoistunut listojen ja paneelien pintakäsittelyyn sekä MDF-pohjaisten tuotteiden valmistukseen. Pintakäsittelyyn kuuluu maalausta ja lakkausta. Pintakäsittelyä tehdään kolmessa maalaamossa ja uusin maalaamolinja käyttää ainoastaan vesiohenteisiä maaleja. Yhtiö työllistää 65 alan ammattilaista ja vuoden 2005 budjetoitu liikevaihto oli yli 11,5 milj. euroa.

Kensapuu Oy:n pääartikkeleina ovat maalatut ja kalvopinnoitetut MDF-kalusteovet, taivereunaiset korkeapainelaminaattiovet sekä erilaiset jyrsinpalvelut. Tuotevalikoima on laaja ja erilaisia pintavaihtoehtoja löytyy paljon. Maalatuissa ovissa vakiosävyjä on 8 ja varastosävyjä 18. Vuonna 1989 perustettu Kensapuu Oy sijaitsee Himangalla. Vuoden 2004 liikevaihto oli 6,7 milj. euroa ja työntekijöitä yrityksessä oli silloin 66.

Lahtelainen LTM Company Oy on vuodesta 1974 valmistanut julkisivulevyjä asuin- ja liikerakennuksiin ympäri maailmaa. Pintamateriaalivaihtoehtoina ovat aito

luonnonkivisirote, lukemattomat väri vaihtoehdot mahdollistava polyuretaani ja ympäristöystävällinen korkealuokkainen akrylaattipinnoite. Vuonna 2004 yrityksessä oli 33 työntekijää ja runsaan 7,5 miljoonan euron liikevaihto.

Laitilainen Matti-Ovi Oy on perustettu 1911. Konsernin emoyhtiö on Matti-Ovi Oy. Emoyhtiö hoitaa konsernin hallinnon, myynnin ja markkinoinnin sekä väliovituotannon Laitilassa. Teollisuuden nosto-ovet ja autotallin ovet valmistaa Masa-Door. Finnfutter Oy on Matti-Oven tytäryhtiö, joka valmistaa väliovia Polvijärvellä. Vuonna 2002 konsernin liikevaihto oli noin 10 miljoonaa euroa ja sillä oli työntekijöitä 85.

Vuonna 1992 perustettu Mellano Oy on kiintokalusteteollisuuden alihankintayritys. Yhtiön Lapinlahden tehtaalla valmistetaan ja pintakäsitellään maalattuja MDF-kalusteovia keittiöihin ja säilytystiloihin sekä makuu- ja kylpyhuoneisiin. Vuonna 2005 Mellano Oy:n liikevaihto oli noin 16 milj. euroa ja työntekijöitä oli 181.

Närpiön Pirttikylässä sijaitseva Oy Närppes Nordwood Ab valmistaa massiivipuisia kalusteovia pääsääntöisesti keittiö- ja kalustevalmistajille. Yhtiössä on 20 työntekijää ja liikevaihtoa tehdään vuodessa 2 miljoonan euron verran.

Hirviset Oy on yksi Suomen suurimmista mäntyhuonekalujen valmistajista. Yrityksellä ei ole omia huonekalumallistoja, vaan se valmistaa sopimusvalmistusperiaatteella asiakkaiden malleja. Valmistettavat tuotteet menevät pääasiassa vientiin. Tuotantotilat sijaitsevat Lestijärvellä ja Ruukissa. Lestijärvellä valmistetaan ja pintakäsitellään huonekaluja. Vuonna 2005 liikevaihto oli noin 8 milj.€ ja työntekijöitä oli 56.

Ikkuna- ja ovivalmistaja Tiivituote Oy sijaitsee Haapajärvellä. Yritys on perustettu vuonna 1977. Vuoden 2005 liikevaihto oli 39 milj. euroa ja työntekijöitä oli 232. Yrityksessä valmistetaan ikkunat ja ovet kotimaan ja ulkomaiden vientikohteiden tarpeisiin.

Kalajokinen Topi-Kalustaja Oy on yksi Suomen suurimmista kiintokalustevalmistajista. Sen tuotevalikoimaan kuuluu kalusteita keittiöön,

kodinhoitohuoneisiin, eteistiloihin, makuuhuoneisiin sekä kylpyhuoneisiin. Yritys on perustettu 1939, liikevaihto vuonna 2005 oli 30 milj.€ ja työntekijöitä oli 149.

UPM-Kymmene Wood Oy:n Lahden Jalostustehtaalla valmistetaan lakattuja, maalattuja ja filmipinnoitettuja vanereita sekä työstettyjä komponentteja. Lahdessa on työntekijöitä noin 135. Koko UPM:n liikevaihto vuonna 2005 oli 9,3 miljardia euroa ja sen palveluksessa työskenteli noin 31 000 henkilöä. Yhtiöllä on tuotantolaitoksia 15 maassa ja kattava myynti- ja jakeluverkosto yli 70 maassa.

Sasmetor Oy on suomalainen teknologiavalmistaja, joka toteuttaa linjakokonaisuuksia ja laitteistoja ohjausjärjestelmineen. Vuonna 1978 perustettu yritys sijaitsee Heinolassa. Vuoden 2005 liikevaihto oli 3,3 milj. euroa ja työntekijöitä oli 13.

Teknos on Pohjoismaiden johtavia teollisuusmaalien valmistajia, jolla on myös vahva asema kauppa- ja rakennusmaalimarkkinoilla. Teknoson palveluksessa on noin 900 henkeä, joista runsaat 150 toimii tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa. Konsernin liikevaihto on lähes 200 milj. euroa. Teknos on perustettu vuonna 1948 ja se kuuluu Suomen suurimpien perheyriyten joukkoon.

Vaasalainen Värikyrö Oy on 1996 perustettu jauhemaalaukseen erikoistunut alihankintamaalaamo. Vuoden 2005 liikevaihto oli noin 2 milj. euroa ja työntekijöitä yrityksessä oli 25.

2 TYÖVAIHEET

2.1 Organisointi

Hankkeen organisoinnista vastasi projektipäällikkö sekä tutkimushankkeen vastuullinen johtaja. Projektipäällikkö raportoi hankkeen etenemisestä johtoryhmälle sekä rahoittajille.

2.2 Hallinta

Hankkeen hallinnasta vastasi ohjausryhmä työsuunnitelman mukaisesti. Ohjausryhmä kokoontui B-osan aikana neljä kertaa. Ohjausryhmän kutsusta asiantuntijoina hankkeessa toimivat Lvis insinööri Hannu Marjakangas, tekniikan tohtori Leena Uotila sekä insinööritoimisto Process Flow Ltd Oy.

2.3 Tiedon kerääminen ja analysointi

Hankkeen B-osassa suoritettuna neljän mittauskierroksen aikana kerättiin tietoa linjamittausten sekä turvallisuusjohtamisen osalta (Taulukko 2). Mittauksissa huomioitiin koko tuotantohallin ilmaston tasapainotila, pintakäsittelylinjojen todelliset ilmanvirtausnopeudet, tilavuusvirrat, lämpötilat, kastepisteet, absoluuttiset ja suhteelliset kosteudet, IR- ja UV-lamppujen tehot ja kunto sekä VOC-päästöt.

Turvallisuusjohtamiseen liittyen jatkettiin hankeyritysten altistumien ja terveyshaittojen määrittämistä. Lisäksi turvallisuusjohtamiseen liittyen suoritettiin vetovoimaisuuskysely hankeyritysten henkilöstölle ja pidettiin ”Pintakäsittely – Tulevaisuuden työpaikka” -koulutus yhteistyössä Työterveyslaitoksen ja CENTRIAN kanssa.

TAULUKKO 2. Tiedon kerääminen ja analysointi PPT2004 -hankkeessa.

Työtehtävä	Analysointi
Linjamittaus	Tasapainotila, ilmanvirrannopeudet m/s, tilavuusvirta m ³ /s, kosteus, lämpötila, IR-lämpötilakäyrä, kastepiste, abs. kosteus, UV-lamppujen tila.
Turvallisuusjohtaminen	Altistumien ja terveyshaittojen määrittäminen.
Pintakäsittelylinja tulevaisuuden työpaikkana	Kehittämisen- ja arviointityökalujen kehittäminen. Tiedon levittäminen ja tulevaisuuden työpaikka -koulutus.

2.4 Kehittämismuutosten tunnistus ja arviointi

Kehittämismuutosten tunnistus ja arviointi tehtiin linjamittausten ja sidosryhmien osalta hankesuunnitelman mukaisesti. Linjamittauksiin perustuen pystyttiin tuottamaan tietoa ja kehittämään linjaratkaisuja, energiansäästöä, ajoarvotaulukoita, ja maksimoimaan linjakapasiteettia. Simulointia varten tuotettiin mittaustietoa ja simulointimalli otettiin käyttöön B-osan aikana (Taulukko 3). Hankkeessa tehtiin tiivistä yhteistyötä hankeyritysten, Työterveyslaitoksen ja CENTRIAn kanssa.

TAULUKKO 3. Kehittämismuutosten tunnistus ja arviointi PPT2004 -hankkeessa.

Työtehtävä	Tavoite/lopputuote
Linjamittaus	Energiansäästö, oikeat ajoarvot, tuotetaan tietoa uusiin linjaratkaisuihin, maksimoidaan linjakapasiteetti, pintakäsittelylinjan simulointimalli
Yhteistyö sidosryhmien kanssa	Laitevalmistaja, yritykset, työterveyslaitos, maalitehtaat ja tutkimuslaitos tiiviissä yhteistyössä
Simulointi	Mittauksista tuotetun tiedon ymmärtäminen, muutoksien vaikutus kuivausprosessiin.

2.5 Kehittämismuutosten valinta ja toteutus

Hankeyrityksistä kerättyjen tietojen perusteella ja kehittämiskohteiden tunnistamisen jälkeen on kehitystieto siirretty yritysjohdolle sekä linjahenkilöstölle (Taulukko 4). Tutkimustietoa on voitu hyödyntää esimerkiksi työskentelyturvallisuuden parantamiseen, erilaisten uunien toiminnan selventämiseen ja uunien vaakavirtausten kasvattamiseen uunitaseen muutoksella.

TAULUKKO 4. Kehittämismuutosten valinnat ja toteutus PPT2004 -hankkeessa.

Työtehtävä	Lopputuote
Tehdään valinnat ja	Soveltava tutkimustieto heti
vahvistetaan tavoitteet.	hyödynnettävissä yrityksiin.
	Saadaan todellista tietoa linjan tilasta ja tarvittavista muutoksista.

3 AIKATAULU JA ORGANISOINTI

3.1 Hankeaikataulu

Tutkimushanke on edennyt alkuperäisen aikataulun mukaisesti (Taulukko 5).

B-osassa suoritettiin alkuperäisen hankesuunnitelman mukaisesti neljä mittauskierrosta. Näiden lisäksi suoritettiin palautekierros, jossa yrityskohtaisesti käytiin läpi hankkeen sisältö ja yrityskohtaiset tulokset. Simulointimalli ja sillä tehdyt ensimmäiset tulokset valmistuivat keväällä 2006, jonka jälkeen alkoi simulointiohjelman käyttöön soveltaminen.

TAULUKKO 5. Tutkimushankkeen aikataulu.

Toimenpide B osa	kesä05	syys05	tammi06	touko06	marras06
1. mittaukset/ laskentataulukot	B	B	B	B	
2. simulointi	B	B	B	B	
3. ajoarvotaulukot		B	B	B	
4. tuotteistaminen	B	B	B	B	
5. tiedottaminen	B	B	B	B	B
6. raportointi	B		B	B	B

3.2 Hankeorganisaatio

3.2.1 Ohjausryhmä

Ohjausryhmä piti hankkeen toisen osan aikana neljä kokousta. Ohjausryhmän yritysedustajia olivat UPM Kymmene Wood Oy, projektipäällikkö Petri Hyvönen (puh.joht.); Tiivituote Oy, JP-koordinaattori Osmo Laitila; Topi-Kalustaja Oy, tuotantojohtaja Tapani Ojala; Matti-Ovi Oy, kehityspäällikkö Juha Antman; Mellano Oy, tuotantopäällikkö Eino Lappalainen; Teknos Oy, osastopäällikkö Jarmo Leino;

Kensapuu Oy, teknillinen johtaja Timo Mäkelä sekä TEKES, yksikön päällikkö Risto Kiljala.

Ohjausryhmän CENTRIA T&K:n edustajia olivat kehitysjohtaja DI Antti Lauhikari (vastuullinen joht.), pintakäsittelyasiantuntija Juhani Rajaniemi (projektipäällikkö), kehitysinsinööri Elisa Saarela, laboratorioinsinööri Martti Jokinen sekä Fysiikan tohtori Matti Koivusaari, KPAMK.

3.2.2 Tutkimusryhmä

Tutkimusryhmään kuuluivat CENTRIA T&K:n edustajat kehitysinsinööri Elisa Saarela, kehitysinsinööri Hanna Parikka, kehitysinsinööri Karoliina Satomaa ja pintakäsittelyasiantuntija Juhani Rajaniemi.

3.2.3 Ostetut asiantuntijapalvelut

Lvis insinööri Hannu Marjakangas, tekniikan tohtori Leena Uotila, Työterveyslaitos, Oulun yksikkö sekä insinööritoimisto Process Flow Ltd Oy toimivat ostettavina asiantuntijoina.

3.3 Roolit ja vastuut

Hankkeen roolit ja vastuut on jaettu alkuperäisen suunnitelman mukaisesti.

Ohjausryhmän rooli:

- hyväksyi toimintasuunnitelman ja tavoitteet
- seurasi hankkeen etenemistä aikataulun mukaan
- käsitteli hankkeen maksatushakemukset
- hyväksyi hankkeen raportoinnin
- hyväksyi uudet mukaan tulevat hankeosapuolet

Projektipäällikkö vastasi:

- tutkimus-/hankesuunnitelman mukaisesta toteutuksesta, myös taloudesta
- ohjausryhmän päätösten toteuttamisesta
- tiedottamisesta sekä raportoinnista
- mittausryhmän opastamisesta ja neuvomisesta
- ohjausryhmän kokousten valmisteleminen
- riittävän informaation jakamisesta sidosryhmälle
- mittausryhmän toiminnasta

3.4 Dokumentointi

Dokumentointi tehtiin pääsääntöisesti sähköisenä asiakirjahallintana. Hankkeelle perustettiin A-osassa oma www -sivusto: <http://ylivieska.cop.fi/ppt2004>, joka toimi keskitettynä jakelukanavana sekä arkistona. Kaikki CENTRIAn dokumentointi tallennettiin myös paperiversiona yrityskohtaisiin mappeihin. Varmuuskopiointi suoritettiin CENTRIAn käytännön mukaan.

4 RAPORTOINTI

Tutkimushankkeesta raportoitiin Tekesille rahoituspäätöksen mukaisesti. Työsuojelurahastolle raportoitiin 2005/2006 vuodenvaihteessa, kesäkuussa 2006 ja syyskuussa 2006. Ohjausryhmälle raportoitiin ohjausryhmänkokouksissa, hankkeen nettisivuilla sekä sähköpostitse. Yrityksille raportoitiin hankkeen nettisivuilla sekä henkilökohtaisissa tapaamisissa. Syyskuussa 2006 pidettiin Ylivieskassa hankkeessa mukana olleille rahoittajille ja yrityksille loppuseminaari, jossa käytiin läpi koko hankkeen sisältö ja tulokset. Sekä A- että B-osan lopussa oli palautekierros. Palautekierroksilla käytiin läpi yrityskohtaisesti hankkeen tuloksia sekä jaettiin yrityskohtaiset kansiot.

5 TULOKSET

Hankkeessa oli mukana kymmenen puualan yritystä. B-osassa mukaan tuli myös yksi metallialan yritys. Näissä yrityksissä suoritettiin hankesuunnitelman mukaisesti mittaukset pintakäsittelylinjojen ilmanvirtaustaseeseen ja hallitaseeseen vaikuttavista poisto- ja tuloilmoista sekä uunien sisäisistä olosuhteista.

Hankkeessa edistettiin ympäristöystävällisten pintakäsittelymenetelmien käyttöönottoa tutkimuksen ja testauksen avulla. Ympäristöystävällisiin pintakäsittelymenetelmiin siirtyminen tuo merkittävää kilpailuetua yrityksille sekä vastaa VOC-direktiivin ja asiakkaiden vaatimuksiin. Hankkeessa edistettiin työskentelyilman laadun paranemista sekä hajapäästöjen vähentämistä. Hajapäästöjen vähentäminen parantaa työmotivaatiota ja näin ollen lisää yrityksen tuotantoa ja pintakäsittelyn laatua.

Hankesuunnitelman mukaan tehtyjen mittausten ja selvityksien perusteella hankeyritykset saivat arvokasta tietoa erilaisista uunikonstruktioista ja niiden toimivuudesta ja muutostarpeista siirryttäessä vesi- tai vesi-UV-aineisiin. Heillä oli ja on jatkossakin mahdollisuus tehdä tutkittuun tietoon perustuvia ratkaisuja omissa pintakäsittelylinjojen investointisuunnitelmissaan. Tutkimushankkeen aikana saadut tiedot olivat välittömästi hyödynnettävissä hankkeessa mukana olleissa yrityksissä. Hankkeen jälkeen tiedoista voi hyötyä koko puutuoteteollisuus.

Tutkimushankkeen A-osan kolmannella mittauskierroksella saatiin käyttöön mittari, jolla mitattiin ja säädettiin projektiyritysten pintakäsittelylinjojen uunien vaaka- ja pystyvirtauksia. Hankkeen aikana mittalaitteita kehitettiin edelleen, jotta niillä voitiin jatkossa suorittaa kaikenlaisille puualan pintakäsittelylinjoille kuntotestejä. Yrityksissä tehdyissä mittauksissa käytettiin jo olemassa olevia mittalaitteita sellaisenaan tai alkuperäisestä tarkoituksesta soveltaen. Esimerkiksi valmis tallentava mittalaite soveltaen käytettynä on mahdollistanut pintakäsittelylinjan todellisten olosuhteiden mittaamisen uunien sisältä. Mittariin kuuluva ohjelmisto mahdollistaa pintakäsittelylinjan sisäisten virtauksien analysoinnin minimissään 2 sekunnin

näytteenottovälillä. Mittausmenetelmä mahdollistaa myös sähköisen tiedonsiirron asiakasyritykseen.

Mittausmenetelmät antoivat mahdollisuuden todentaa uunien todelliset vaaka- sekä pystyvirtaukset, lämpötilat ja suhteelliset kosteudet. Mittaukset ovat mahdollistaneet uunien uudet säädöt ja ne ovat tuoneet esiin merkittäviä pintakäsittelylinjojen puutteita ja toimintaan vaikuttavia virheellisyyksiä. Mittauksia ei ole tehty vain mittauksien takia, vaan mittauksista tuotettua dataa on tarvittu simulointimallin sekä ajoarvo- ja laskentataulukoiden kehittämisessä.

A-osan kattavien mittauksien sijaan B-osassa on keskitytty vain tarpeellisiin mittauksiin. Mittauksia ei suoritettu, jos linjalle ei ollut tehtävissä säätöjä tai jos linja oli poistumassa käytöstä. Mittauksia on suoritettu B-osassa kymmenessä puutuotealan yrityksessä ja yhdessä metallialan yrityksessä vuoden ajanjaksolla eri vuodenaikoina. Mittauksissa on huomioitu koko tuotantohallin ilmaston tasapainotila, pintakäsittelylinjojen todelliset ilmanvirtausnopeudet, tilavuusvirrat, lämpötilat, kastepisteet, absoluuttiset ja suhteelliset kosteudet. Mittauskierroksilla on myös mitattu yritysten UV- ja IR-uunien lamppujen toimintaa siihen tarkoitetulla mittalaitteella. Näillä mittauksilla on saatu vertailupohjaa erilaisista uuniratkaisuista ja vuodenaikojen eroista.

Työterveyslaitos suoritti A-osassa tehtyjen mittausten lisäksi vertailevia VOC- ja pölymittauksia kolmessa yrityksessä. B-osassa saatuja mittaustuloksia voitiin verrata A-osan tuloksiin.

Näiden riittävän useiden ja erilaisten uunien mittausten avulla saatiin näkemystä ja laskennallista pohjaa erilaisten uunien toimivuudesta sekä niiden tehokkuudesta veden haihduttamiseen. CENTRIAn puulaboratoriossa olevalla tuotantomittakaavaisella pintakäsittelylinjalla suoritettiin myös mittauksia ja vertailevia tutkimuksia sekä tutkittiin kuivaimen vaikutusta mittaustuloksiin ja linjan toimintaan. CENTRIAn linjalta saatuja mittaustuloksia käytettiin myös simulointimallin luomisen pohjana.

5.1 Ilman olosuhteet eri vuodenaikoina

Suomen ilmasto on ongelmallinen pintakäsittelytuotannolle johtuen lämpötilan, suhteellisen kosteuden sekä absoluuttisen kosteuden vaihteluista eri vuodenaikoina. Projektin aikana esimerkiksi ulkoilman absoluuttisen kosteuden vaihteluväli oli 0,8 - 10,8 g/m³. Näin suurella vaihtelulla on vaikutusta pintakäsittelylinjan toimintakykyyn niin vesiohenteisilla kuin katalyyttisillä pintakäsittelyaineilla.

Käytettäessä vesiohenteisiä pintakäsittelyaineita absoluuttisen kosteuden nousu heikentää pintakäsittelylinjan kuivauskapasiteettia. Absoluuttinen kosteus on korkeimmillaan kesän ja syksyn aikana, suurin arvo 10,8 g/m³, on mitattu kesällä 2005. Vastaavasti hyödyntämätöntä kapasiteettia jää käyttämättä talvikuukausina, kun absoluuttinen kosteus on alhaalla. Pienin arvo 0,8 g/m³ on mitattu talvella 2006.

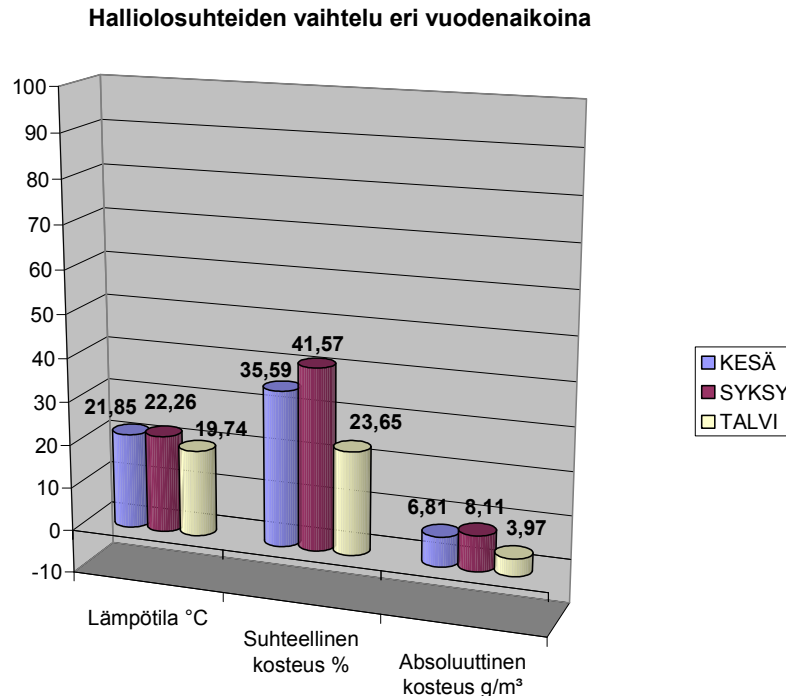
Kosteusvaihtelu aiheuttaa ongelmia myös katalyytti- ja liuotinpohjaisille aineille. Ongelma on pyritty ratkaisemaan käyttämällä eri haihtumisnopeudella olevaa ohennetta vuodenajan mukaan. Talvella, kun ilma on kuivempaa, käytetään hitaammin haihtuvaa ohennetta ja vastaavasti kesäaikaan kosteuden ollessa korkeimmillaan käytetään nopeammin haihtuvaa ohennetta.

5.1.1 Halli-ilma

Kuvassa 1 on nähtävissä halliolosuhteiden keskimääräinen vaihtelu eri vuodenaikoina. Laskennassa on käytetty 11 maalaamon tietoja kolmelta kesältä sekä kahdelta syksyltä ja kahdelta talvelta. Korkein mitattu lämpötila oli 27,4 °C ja matalin 16,9 °C, mikä on ehdottomasti liian matala hallilämpötila. Liian matalassa lämpötilassa pintakäsittelyaineiden ominaisuudet muuttuvat. Yleisesti hallien lämpötilat vaihtelivat jonkin verran, viilentyen yleensä talveksi.

Hallien keskimääräinen suhteellinen kosteus oli pienimmillään talvella 23,65 %. Pienin mitattu suhteellinen kosteus oli 14,7 %. Keskimääräinen suhteellinen kosteus

oli korkeimmillaan syksyllä 41,57 %. Hallitilojen keskimääräinen absoluuttinen kosteus vaihteli välillä 2,7 -10,5 g/m³. Suurin arvo mitattiin kesällä ja pienin talvella.



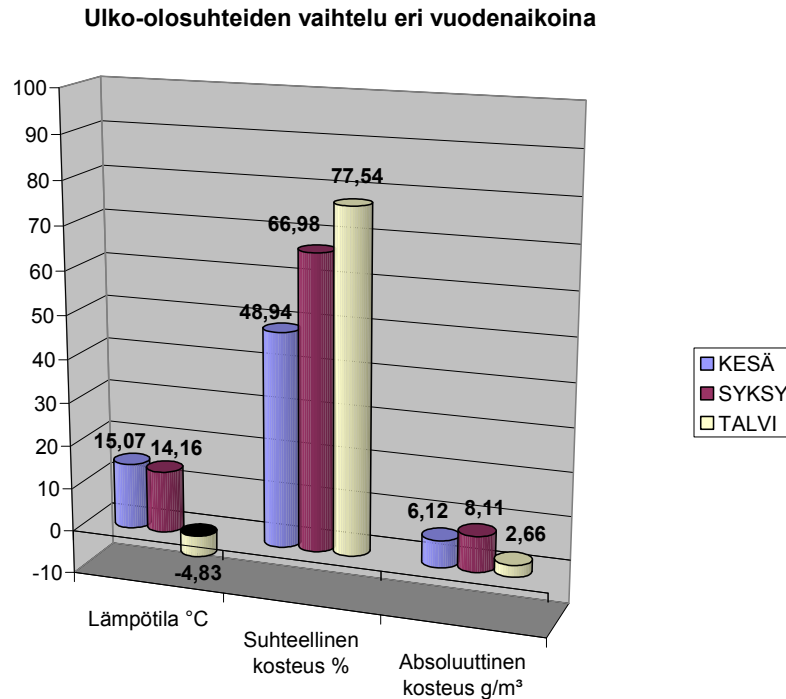
KUVA 1. Halliolosuhteiden vaihtelu eri vuodenaikoina.

5.1.2 Ulkoilma

Kuvassa 2 on nähtävissä ulko-olosuhteiden keskimääräinen vaihtelu eri vuodenaikoina. Laskennassa on käytetty 9 yrityksen tietoja kolmelta kesältä sekä kahdelta syksyltä ja kahdelta talvelta. Korkein mitattu ulkoilman lämpötila oli 24,2 °C ja alhaisin -18,5 °C. Kesän ja syksyn keskilämpötilat olivat noin 15 °C, talvella keskilämpötila oli - 4,8 °C pakkasta.

Ulkoilman suhteellinen kosteus oli suurimmillaan kesällä 2004 89,9 %. Yllättäen myös alhaisin suhteellinen kosteus mitattiin kesällä, kesäkuun alussa vuonna 2005 suhteellinen kosteus oli vain 18,3 %. Keskimääräinen suurin suhteellinen kosteus oli kuitenkin talvella 77,54 %. Suhteellinen kosteus seuraa lämpötilaa, joten talvella, kun ilma jäähtyy, suhteellinen kosteus kasvaa. Parempi mittari ilman

kosteudensitomiskykyyn onkin absoluuttinen kosteus. Absoluuttinen kosteus oli pienimmillään juuri talvella. Keskimääräinen absoluuttinen kosteus vaihteli talvella välillä 0,8 - 3,8 g/m³. Syksyllä, jolloin absoluuttinen kosteus oli suurimmillaan, kosteus vaihteli 5,4 - 9,6 %:iin.



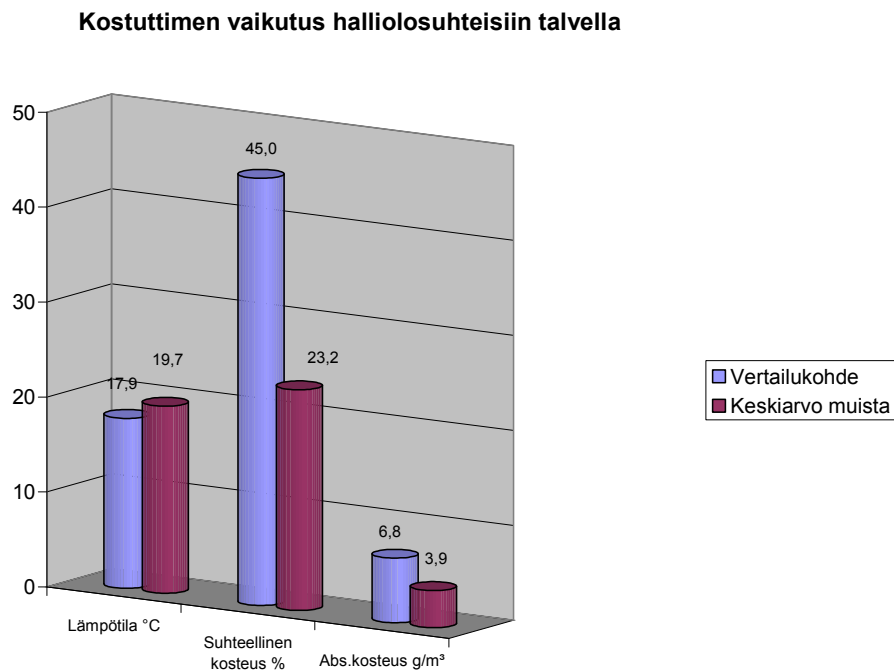
KUVA 2. Ulko-olosuhteiden vaihtelu eri vuodenaikoina.

5.1.3 Halli- ja ulko-olosuhteiden merkitys

Mittauskierroksilla osassa yrityksiä hallilämpötilat olivat melko korkeita. Keskiraskasta työtä tekeville suositus työskentelylämpötilaksi on 17 - 22 °C. Kuudessa maalaamossa yhdestätoista tämä lämpötila ylittyi. Ajoittain lämpötilat ovat olleet todennäköisesti vielä korkeampia kuin mittausten aikana. Varsinkin kesäaikaan hallitilat lämpenevät huomattavasti ja lähes poikkeuksetta maalamojen ovia ja ikkunoita pidetään auki hallitilan viilentämiseksi. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä ilmavirtoja ja sitä kautta esim. pölyongelmia. Samalla kosteampaa ulkoilmaa sekoittuu halli-ilmaan ja sitä kautta uuni-ilmaan, jolloin pintakäsittelyprosessi saattaa kärsiä.

Talvella halleihin tulevaa ilmaa on lämmitettävä huomattavasti. Tämä laskee hallitilan suhteellista kosteutta, mistä seuraa pölyisyyttä ja sitä kautta työskentelyolojen heikkenemistä. Alhainen suhteellinen kosteus lisää myös staattista sähköä ja aiheuttaa ongelmia puutavaralle, kuten halkeilua sekä vääntymistä. Syksyllä halli-ilman kosteus (41,57 %) on lähellä suositusta, joka tuotannon kannalta on 45 - 55 %.

Kuvassa 3 on vertailtu kostuttimien vaikutusta halli-ilman kosteuteen talvella. Vertailukohteessa suhteellinen kosteus on kostuttimien ansiosta 45 %, kun muissa yrityksissä, joissa kostuttimia ei ole, suhteellisen kosteuden keskiarvo on vain 23 %. Kostuttimia käytettäessä myös absoluuttinen kosteus lisääntyy. Tällöin tulisi kuitenkin huomioida, että uuni-ilma ja halli-ilma ovat kaksi erillistä käsitettä.



KUVA 3. Halli-ilman kostuttimien vaikutus olosuhteisiin talvella.

Talvella, kun absoluuttinen kosteus on alhaisimmillaan, jää kuivauksessa haihtuvan kosteuden sitomiseen enemmän kapasiteettia. Syksyllä haihtuminen on heikompaa, koska ilman absoluuttinen kosteus on korkeampi. Taulukossa 6 on esitettyä kuinka ilman absoluuttinen kosteus vaikuttaa kuivumiskapasiteettiin. Esimerkkilaskussa uuniin tuleva ilma on halli-ilmaa. Talvella halli-ilman absoluuttinen kosteus oli

mittausten perusteella $3,97 \text{ g/m}^3$. Absoluuttisen kosteuden määrä pysyy vakiona, kun ilman lämpötila nostetaan $45 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Ilman maksimikosteus on suhteessa vallitsevaan lämpötilaan eli 45 asteen lämpötilassa kuutio ilmaa pystyy sitomaan $65,27 \text{ g}$ kosteutta. Tästä maksimikosteudesta on jo siis $3,97 \text{ g}$ käytetty.

Pituudeltaan 12 m uuni, jonka poistoilman määrä on $2000 \text{ m}^3/\text{h}$, pystyy 4 metrin ratanopeudella poistamaan 6130 g kosteutta uunituksen aikana. Kun pintakäsittelyaineen levitysmäärä on 110 g/m^2 kiintoainepitoisuuden ollessa 45% ja uunin täyttöasteen 70% , on uunissa haihdutettavaa 6098 g . Tällöin poiston kosteudensitomiskyky riittää uunissa olevan kosteuden poistamiseen. Syksyllä, kun absoluuttinen kosteus on $8,11 \text{ g/m}^3$, poistoilmaan ei pysty sitoutumaan tarpeeksi kosteutta ja kuivauskapasiteetti ei enää riitä kappaleiden kuivaamiseen.

TAULUKKO 6. Uuniin tulevan kosteuden vaikutus haihdutuskykyyn.

	Pieni abs.kosteus	Suuri abs.kosteus	
Absoluuttinen kosteus	3,97	8,11	g/m^3
Uunin lämpötila	45,00	45,00	$^\circ\text{C}$
Maksimikosteus	65,27	65,27	g/m^3
Sitomiskykyä jäljellä	61,30	57,16	g/m^3
Levitysmäärä	110	110	g/m^2
Kiintoainepitoisuus	45	45	%
Haihdutettavaa	55	55	%
Uunin pituus	12	12	m
Uunin leveys	1	1	m
Uunin pinta-ala	12	12	m^2
Uunin täyttöaste	70	70	%
Ratanopeus	4	4	m/min
Uunitusaika	3	3	min
Uunitusaika	0,05	0,05	h
Kiertoilman määrä	10000	10000	m^3/h
Poistoa	2000	2000	m^3/h
Haihdutettavaa uunitusajassa	6098	6098	g
Poiston maksimisitomiskyky	6130	5716	g

5.1.4 Pintakäsittelytilan kaksi erilaista ilman olosuhdevaatimusta

Ilmastoinnin hallinta pintakäsittelyn tuotantotilassa on ongelmallista, koska tilassa pitää pystyä käsittelemään kahta erilaista ilmaa, tuotantoilmaa ja pintakäsittelyn

vaatimaa prosessi-ilmaa. Näillä on erilaiset olosuhdevaatimukset. Lisää päänvaivaa aiheuttaa se, että pintakäsittelytilojen hallitilan ilmastointiratkaisujen suunnittelijat eivät välttämättä ymmärrä pintakäsittelylinjan vaatimaa ilmastointiratkaisua ja toisinpäin. Tällöin suunnittelija jää suunnitelmissaan täysin yrityksen, jolle suunnittelee tai laitetoimittajan maahantuojan antamien tietojen varaan. Kun laitetoimittaja on usein eteläeurooppalainen valmistaja, ei Suomen vaativia olosuhteita ole välttämättä tiedostettu. Talviaikaan saattaa ulko-ilman ja prosessi-ilman lämpötilaero olla suuri. Hyvin yleisesti pintakäsittelyprosessi vaatii 55 °C ulkolämpötilan ollessa -35 °C. Lisäongelmia voi aiheuttaa yrityksen kuuluminen kaukolämpöverkkoon, jolloin talvisin riittävän lämmön saanti pintakäsittelyprosessiin voi olla vaikeaa.

5.1.4.1 Tuotantotilan ilmanvaatimukset

Tuotantotilassa pitäisi työskentelyilman lämpötilan olla 17 - 22 °C ja suhteellisen kosteuden 45 - 55 %. Tällaisissa olosuhteissa varastoitava puutavara pysyy suorana, pölyongelmia on vähemmän ja ilma pysyy paremmin hengitettävänä. Myös staattisen sähkön määrä vähenee.

5.1.4.2 Pintakäsittelyn prosessi-ilman vaatimukset

Koska Suomessa on neljä erilaista vuoden aikaa, myös ilman olosuhteet vaihtelevat. Pintakäsittelyprosessiin ei pitäisi tuoda tuloilmana halli-ilmaa, koska se on usein liian kosteaa ja vaikeuttaa näin prosessin toimintaa. Jotta pintakäsittelyprosessi toimisi hyvin ja tasaisesti, pitäisikin prosessiin tuoda omaa tuloilmaa, joka voidaan säätää kuivaimella tai kostuttimella halutuksi.

Suoritettujen mittauksien mukaan kuivatun ilman johtaminen tuloilmana pintakäsittelyprosessiin vaikuttaa pintakäsittelylinjan veden haihdutuskykyyn parantaen koko tuotannon kapasiteettia. Pintakäsittelyprosessiin tulevan ilman

vaatimuksiin vaikuttaa myös mm. käytettävä pintakäsittelyaine, pintakäsittelylinjan toiminta ja kuivauskapasiteetin tarve.

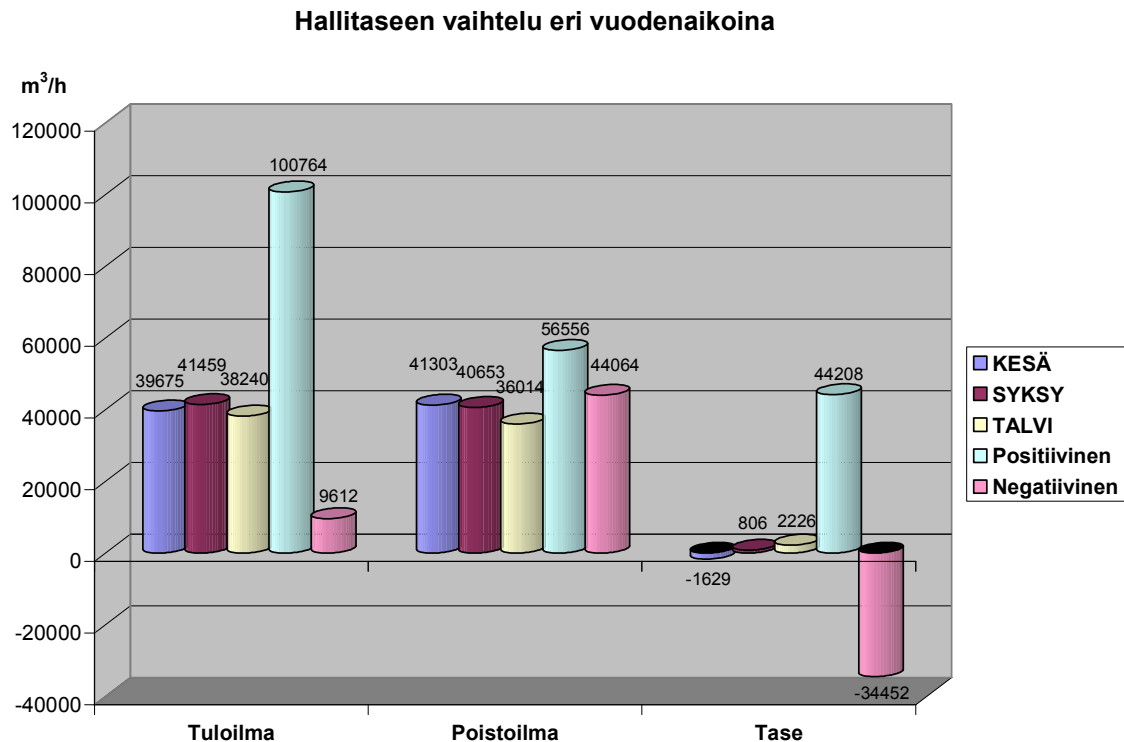
5.2 Halli- ja uunitaseet eri vuodenaikoina

Pintakäsittelyhallin ilmaston tasapainotila vaikuttaa suoraan pintakäsittelytuotannon laatuun mm. hajapäästöjen sekä pölyn liikkumisen kannalta. Jos tase on negatiivinen eli ilmaa poistuu enemmän laitepoistojen kautta kuin tuloilmaa saadaan tuotua koneellisesti tilalle, on hallissa alipaine. Tällöin tilaan virtaa korvausilmaa muista tiloista ja pölyn sekä ilmavirtojen hallinta ei ole enää mahdollista. Taseen ollessa positiivinen mm. pintakäsittelyn hajapäästöt pääsevät kulkeutumaan pois pintakäsittelytilasta.

Neljässä maalaamossa hallitase oli joka mittaukerralla negatiivinen. Suurin yksittäinen negatiivinen mittauksien perusteella laskettu arvo oli 34 452 m³/h. Kolmessa maalaamossa oli puolestaan aina positiivinen tase. Suurin yksittäinen positiivinen arvo oli 44 208 m³/h. Muissa maalaamoissa tase oli välillä positiivinen, välillä negatiivinen. Eniten taseisiin vaikutti muutokset yleisilmanvaihdossa, purunpoistossa ja linjan jäähdytyksessä. Kaikkien hankeyritysten pintakäsittelylinjoja ei ole osastoitu omaksi tilakseen, mikä on vaikeuttanut hallitaseiden määrittämistä.

Kuvassa 4 on esitetty 8 pintakäsittelylinjan halleista lasketut keskimääräiset hallitaseet sekä vertailuna kahden yrityksen yksittäiset taseet. Keskiarvolaskelmissa on mukana kahden kesän sekä yhden syksyn ja yhden talven hallitaselaskelmat. Mittausten perusteella tulo- ja poistoilmojen keskiarvot eivät juuri muutu vuodenaikojen mukaan ja tasekin on hyvin lähellä nollaa. Tilanne ei kuitenkaan ole näin hyvä missään yksittäisessä yrityksessä. Kuvaajaan on otettu vertailun vuoksi ääripäät sekä positiivisen että negatiivisen taseen suhteen. Suurin positiivinen tase on mitattu talvella 2005, myös yrityksen muut hallitaseet ovat reilusti positiivisia. Suurin negatiivinen hallitase on mitattu kesällä 2005, myös tässä yrityksessä muidenkin vuodenaikojen taseet ovat negatiivisia.

Tuloilman määrä vertailumaalaamoissa eroaa huomattavasti keskiarvosta. Lisäksi yritysten välillä ero on kymmenkertainen. Poistoilman määrä on tasaisempi vertailutaseiden ja keskiarvojen välillä. Taseissa on yrityskohtaisesti kuitenkin isojaikin heittoja keskiarvoon verrattuna.

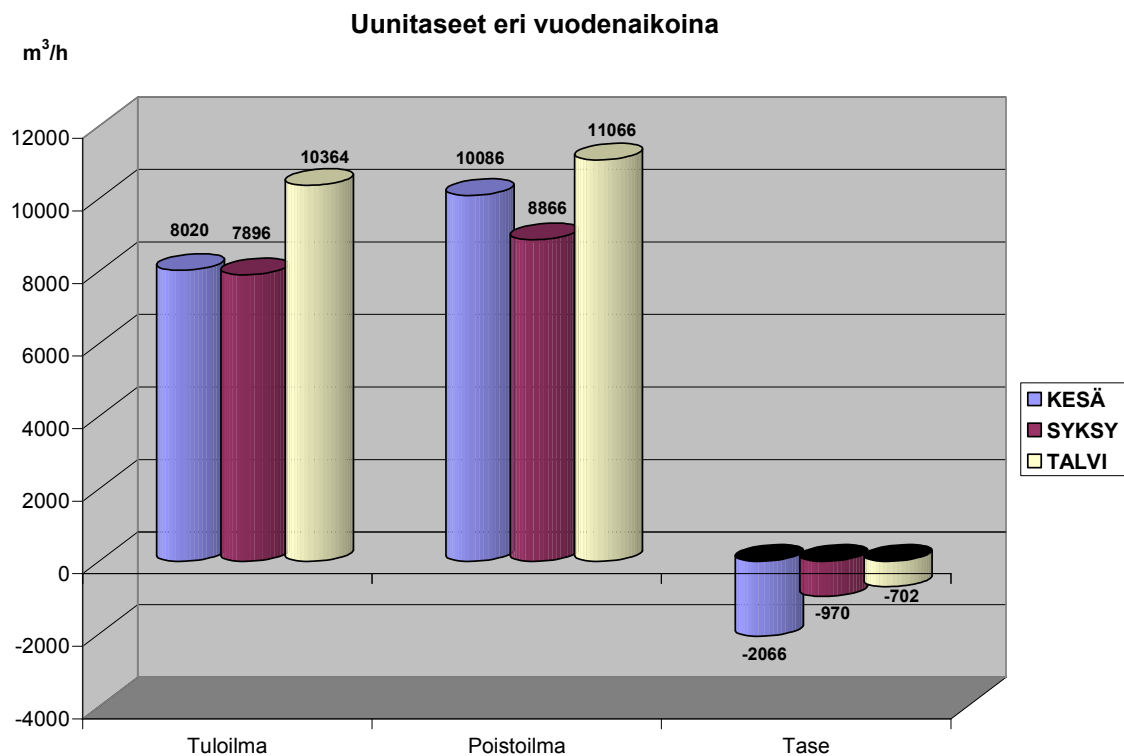


KUVA 4. Hallitaseen vaihtelu eri vuodenaikoina ja vertailuna suurin positiivinen ja negatiivinen hallitase.

Projektiyritysten pintakäsittelylinjoissa uunitaseet oli pyritty säätämään niin, että maksimaalinen tuotanto mahdollistui. Pintakäsittelylinjojen todelliset uunikohtaiset taseet todennettiin kuitenkin ensimmäisen kerran vasta tässä hankkeessa. Monesta uunista taseen mittaaminen on hankalaa. Esimerkiksi uuneissa, joissa tuloilman määrä riippuu poistosta, on tuloilmalle usein vain kanttinen aukko, jolloin mittaustulos on epävarmempi kuin putkesta mitattuna.

Mikäli uunitase on liian paljon negatiivinen, aiheutuu tilanne, jossa uuni imee likaista ilmaa uunin meno- ja ulostuloaukoista uunin sisälle. Positiivinen uunitase taas työntää uunissa haihtuvat ohennekaasut hallitilaan. Ihannetilanteessa uunitase on hieman negatiivinen. Kuvassa 5 on vertailtu uunitaseita eri vuodenaikoina.

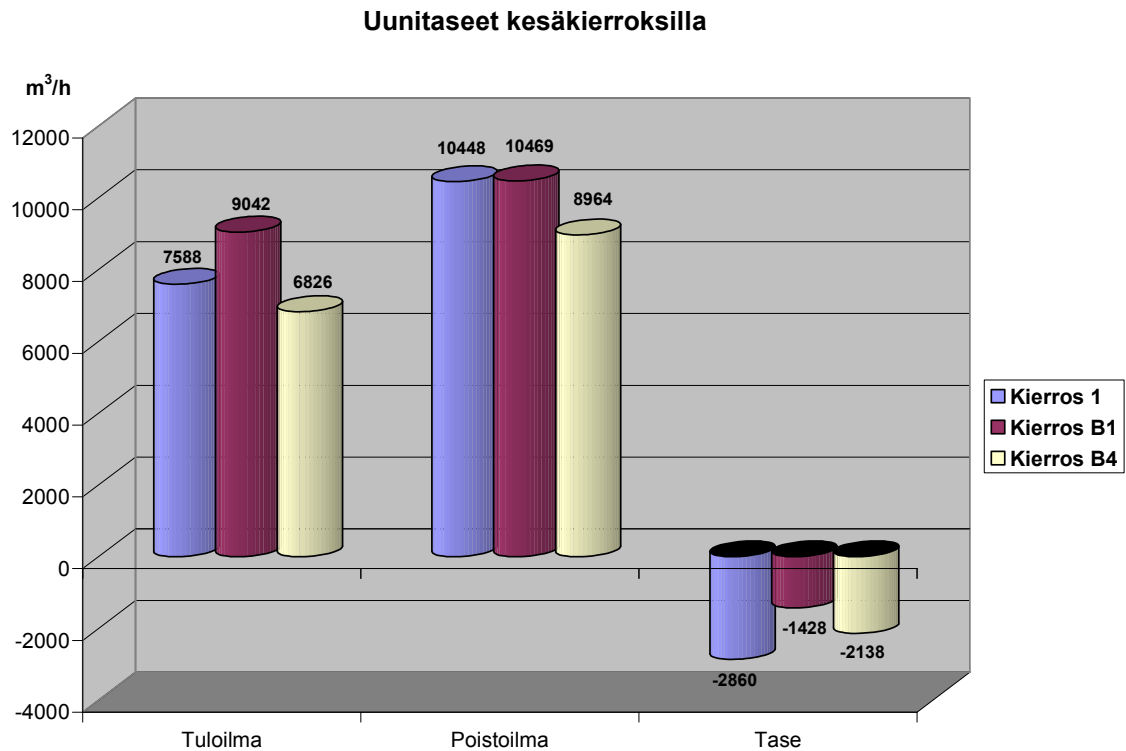
Vertailussa on mukana 13 uunia. Näiden uunien mittauksia on tehty kesällä 28, syksyllä 13 ja talvella 16 kertaa. Mittausten mukaan kesällä ja syksyllä tuloilmamäärä on tasainen, mutta jostain syystä talvella tuloilman määrä kasvaa huomattavasti. Lämmityskustannuksista johtuen talvisin yleensä pienennetään ilmamääriä. Yhtenä vaikuttavana tekijänä voi olla hitaamman ohentimen käyttö, jolloin voidaan käyttää myös voimakkaampia virtauksia. Tähän viittaa myös se, että talvella poistoilman määräkin on suuri. Taseiden kannalta talvella ja syksyllä tilanne on hyvä, uunien taseet ovat hieman negatiiviset. Kesällä uunit ovat hieman liian alipaineisia, tämä saattaa aiheuttaa pölyn kulkeutumista pintakäsitteltävien kappaleiden pinnalle.



KUVA 5. Uunitaseiden vaihtelu eri vuodenaikoina.

Kuvassa 6 on vertailtu 13 uunin taseita pelkästään kesäkiertoilla. Mittaukset on tehty alkukesästä, toukokuun lopussa tai kesäkuun alussa. Kierrokselta 1 kuvaajassa on mukana 9 uunia. Kierrokselle B1 tuli muutama uusi uuni, joten mittauksia on 12 kpl. Kierroksella B4 taseet on laskettu 7 uunista, sillä kaikkia linjoja ei enää tässä vaiheessa mitattu. Kolmena kesänä tehdyt mittaukset osoittavat, että varsinkin tuloilmojen määrät vaihtelevat jopa samana vuodenaikana reilusti. Tämä osoittaa,

että ilmamääriä säädetään, mutta selvästikään ne eivät vielä ole hallinnassa. Vielä tulisikin panostaa enemmän oikeiden ilmamäärien löytymiseen ja sitä kautta tuotannon tasapainottamiseen. Poistoilmamäärät eivät vaihtele yhtä voimakkaasti, mutta poistoa on aina reilusti enemmän kuin tuloilmaa, joten taseet ovat miinuksella. Muutamassa uunissa ilmamääriin vaikuttaa myös linjassa ajettava tuote.



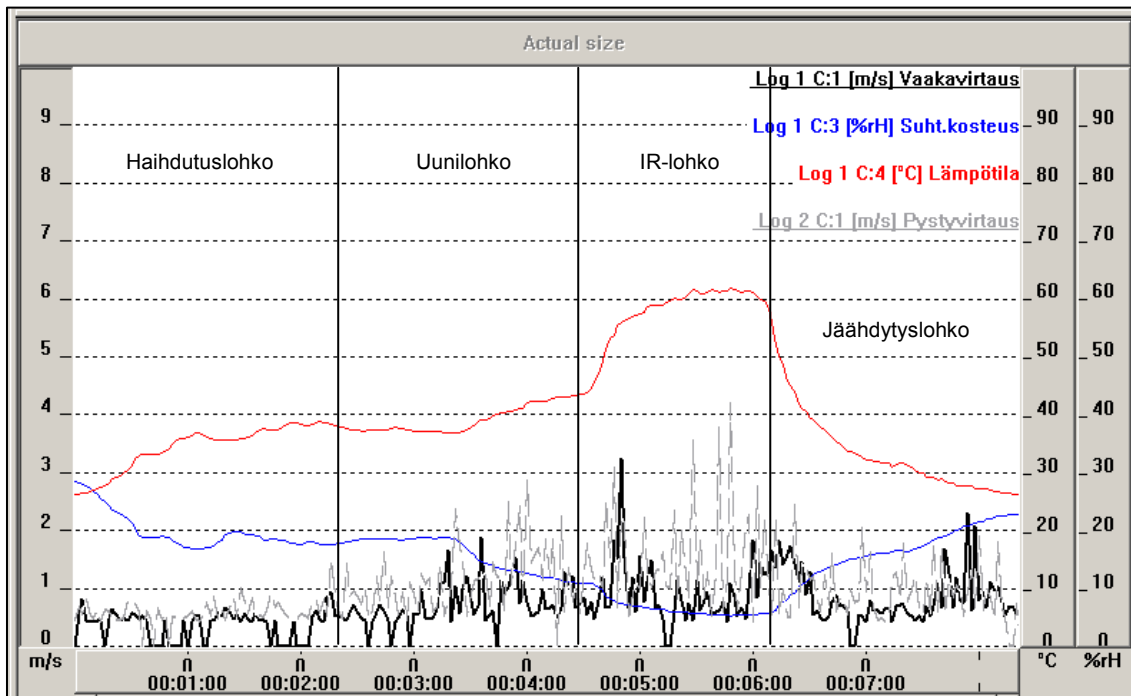
KUVA 6. Uunitaseiden vaihtelu kesäkierroksilla.

5.3 Uunien sisäiset virtausmittaukset

Hankkeessa kehitettiin uunien sisäisten virtausten mittaamiseen soveltuva mittalaite. Mittarilla voidaan mitata uunin lämpötilat ja ilmanvirtaukset sekä suhteellinen kosteus koko kuivausprosessin ajalta. Uunien sisäinen ilmavirtaus vaikuttaa pintakäsittelylinjan toimintaan sekä energiankulutukseen. Erityyppiset uuniratkaisut vaikuttavat siihen, kuinka voimakkaita ilmavirtauksia uunissa syntyy. Käytetyt pintakäsittelyaineet ja levitysmäärät puolestaan vaikuttavat siihen, kuinka voimakasta ilmanvirtausta voidaan käyttää. Uunien sisäiset mittaukset ovat muodostaneet

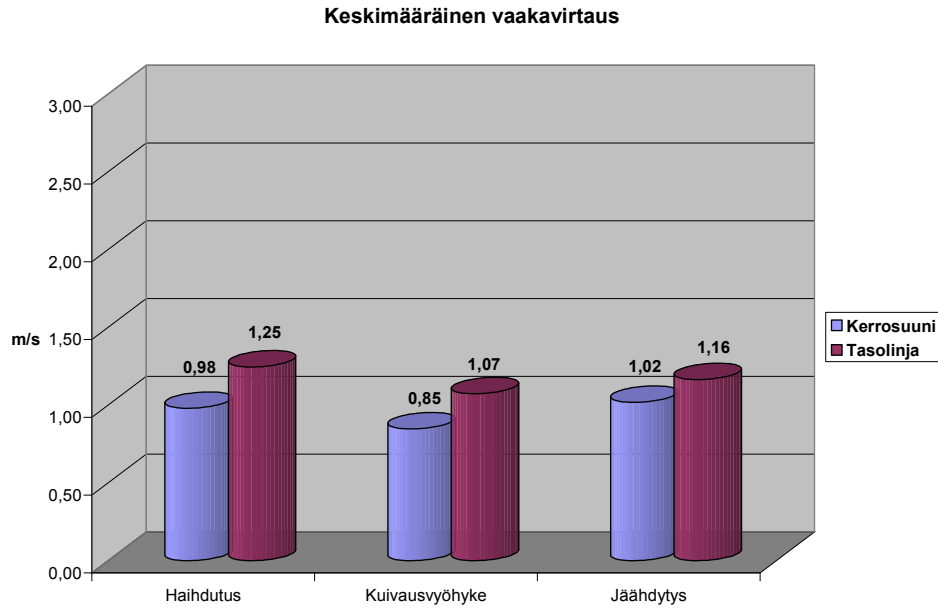
kokonaisuuden, jossa on yhdistetty pintakäsittelylinjan tulo- ja poistoilmat sekä uunin sisäiset virtaukset ja niiden ilmanolosuhteet. Näiden tietojen perusteella on voitu muodostaa kokonaiskuva pintakäsittelylinjan uunien toiminnasta.

Kuvassa 7 on esimerkki mittalaitteen tallentamista tiedoista. Kerralla voidaan mitata uunin lämpötila, suhteellinen kosteus ja kastepiste sekä virtaus yhteen suuntaan. Kun uunitusaika ja uunin pituus tiedetään, voidaan mittaustulokset kohdistaa tietyille lohkoille ja tarkastella uunia lohkoittain. Esimerkissä lämpötila nousee tasaisesti haihdutus- ja uunilohkoilla, ir-lohkoilla lämpötila nousee 60 asteeseen ja jäähdytys toimii tehokkaasti laskien lämpötilan jälleen alle 30 °C.



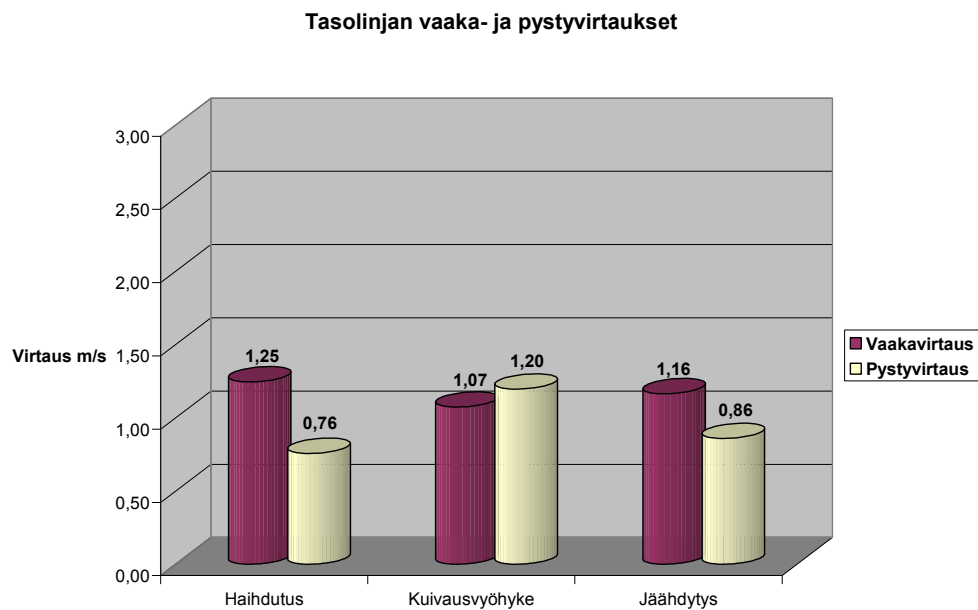
KUVA 7. Uunin sisäiset mittaustiedot.

Vaikka yksittäiset vaakavirtauksen mittausravot voivat olla hetkittäin yli 5 m/s, on keskimääräinen vaakavirtaus yleensä 1 - 2,5 m/s. Kuvassa 8 on esitettyinä hankeyrityksissä suoritettujen vaakavirtausmittausten perusteella lasketut keskimääräiset vaakavirtaukset kerrosuuneissa sekä tasolinjoissa haihdutus-, kuivausuuni- sekä jäähdytysvyöhykkeillä. Tasolinjoissa on yleisesti hieman voimakkaampi vaakavirtaus kuin kerroskuivaimissa, mutta molemmissa uunityypeissä on haihdutus- ja jäähdytysvyöhykkeillä voimakkaampi virtaus kuin itse kuivausvyöhykkeellä.



KUVA 8. Kerrosuunien ja tasolinjojen vaakavirtausten keskiarvot.

Tasolinjoista mitattiin myös pystyvirtaukset. Pystyvirtaus saattoi olla hetkittäin jopa 8 m/s, mutta yleisemmin virtaukset olivat 0,5 - 2 m/s. Kuvassa 9 on keskiarvot hankkeen aikana mitatuista tasolinjojen vaaka- ja pystyvirtauksista. Voimakkain pystyvirtaus on kuivausvyöhykkeellä, heikoin haihdutuksessa. Vaakavirtauksen kasvaessa pystyvirtaus pienenee.



KUVA 9. Tasolinjojen vaaka- ja pystyvirtaukset.

5.4 Ajoarvot

Hankkeessa selvitettiin pintakäsittelylinjan optimointimahdollisuuksia eli kuinka talviajan kuivan ilman kautta voidaan hyödyntää pintakäsittelylinjan kapasiteetissa. Tällä voidaan vaikuttaa yrityksen kilpailukykyyn.

Ajoarvotaulukoita tehtiin kahdella eri sisällöllä. Toinen tapa oli tehdä vuodenaikakohtaiset ajoarvotaulukot, joissa linjojen säädöt kirjattiin eri vuodenaikoina. Osassa yrityksistä oli muodostunut pitkään käytettyjen pintakäsittelyaineiden mukaan talvi- ja kesäsäädöt kuivausuuneille. Näille uuneille ei luonnollisestikaan tehty enää uusia ajoarvotaulukoita. Toisaalta osaa linjoista ei voitu juurikaan säätää, joten vuodenaikojen mukaisten ajoarvotaulukoiden tekeminen ei ollut mahdollista. Näissä yrityksissä merkittävin muutos oli purunpoiston palautusilman ohjaus takaisin sisätilaan talviaikaan. Joissakin yrityksissä keskityttiin ajoarvotaulukoiden osalta johonkin tiettyyn linjan osaan.

Esimerkkiyrityksessä kuivausuunin jäähdytys koettiin tuotannossa ongelmana. Jäähdytyksen uudelleen säätämiseksi koko uunin poisto- ja tuloilmojen kohdat kartoitettiin ja mitattiin. Lisäksi mitattiin lohkojen pituudet, jotta saatiin uunin kokonaistase sekä lohkoikohtaiset taseet selville. Mittauksissa selvisi, että uuniosan tase oli plussalla jäähdytyslohkon taseen ollessa miinuksella. Uunin kokonaistaseesta, joka on siis lähellä nollaa, voisi päätellä uunitaseen olevan kunnossa. Uunin sisällä tehtyjen savumittausten perusteella kuitenkin selvisi, että uuniosan ylipaineilma poistuu jäähdytyslohkolle. Tämä uunista jäähdytyslohkoon tuleva lämmin ilma heikentää jäähdytyslohkon toimintaa. Mittausten avulla uunin jäähdytyksen välistä tasapainoa pystyttiin muuttamaan.

Muutaman uunin tuloilmaa voitiin säätää vuodenajan mukaan. Talvella uunista poistuva ilma ohjattiin lämmöntalteenoton kautta halliin ja kesällä uunin lämmin ilma voitiin ohjata pihalle.

Eräälle yritykselle tehtiin CENTRIAn pintakäsittelylinjalla tehdyistä testiajojen tuloksista sekä yrityksessä mitatuista mittaustuloksista ajoarvotaulukko, jota voitiin

hyödyntää uuden linjan suunnittelussa. Tietojen perusteella voitiin laskea investoidaanko yritykseen kokonaan uusi pintakäsittelylinja vai voidaanko vanhan linjan osia hyödyntää vielä tulevaisuudessakin.

Toinen tapa oli tehdä ajoarvotaulukot yrityksessä pintakäsittelyainekohtaisesti. Tällaisia ajoarvotaulukoita tehtiin testiajoin muutamia. Testeissä säädettiin mm. ruiskuautomaatin levitysmäärän tasaisuutta sekä uunien kiertoilman voimakkuutta. Muutosten jälkeen esimerkiksi levitysmäärää voitiin lisätä, mikä puolestaan vähensi ajokertoja kasvattaen tuotantokapasiteettia. Huomiota kiinnitettiin myös uunien puhtauteen sekä erityisesti tuloilmasuodattimien ilman läpäisevyyteen.

5.5 Ongelmat ja muutokset hankeyrityksissä

5.5.1 Pintakäsittely

Useassa hankeyrityksessä on käynnissä selvitystyö pintakäsittelyprosessin muuttamiseksi ympäristöystävällisempään suuntaan. Itse prosesseissa ei ole toistaiseksi tapahtunut suurempia muutoksia. Tähän mennessä on siirrytty jonkin verran vesiohenteisiin aineisiin, mutta suurin osa yrityksistä käyttää vielä liuotinaineita. Maalitehtaat ovat omalta osaltaan vähentäneet yritysten muutospainetta kehittämällä tuotteiden kuiva-ainepitoisuuksia. CENTRIA Tutkimus ja kehityksen tiloissa useat hankeyritykset ovat testanneet vesiohenteisten aineiden soveltuvuutta omille tuotteilleen. Materiaalien osalta MDF-levyn maalaus on lisääntynyt.

Pintakäsittelylinjoihin sen sijaan on investoitu uusia laitteita kuten kuivatusuuneja, hiomakoneita ja kuljetinratoja. Myös vanhoja laitteita on korjattu, lähinnä ilmastoinnin osalta. Työterveyslaitoksen tekemissä hajapäästömittauksissa selvinneet vuotokohdat on pääsääntöisesti korjattu kohdepoistoja tai -tuloja lisäämällä. Myös avoimien luukkujen sulkeminen ja rakenteiden tiivistäminen auttaa ehkäisemään päästöjä ja toisaalta estää ilmaa karkaamasta uunista tai uuniin.

Useassa yrityksessä on myös tapahtunut tai tapahtumassa kokonaisten pintakäsittelyhallien ja -linjojen investointeja. Nämä hankinnat tähtäävät ympäristöystävällisiin pintakäsittelyaineisiin sekä VOC-direktiivin täyttämiseen. Projektin tuoman tiedon pohjalta yrityksiä on voitu neuvoa linjainvestoinneissa. Esimerkiksi ilmastointiin ja uunien kuivauskapasiteettiin on osattu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota.

5.5.2 Työympäristö- ja jätteasiat

Suurimmassa osassa hankeyrityksistä työympäristö on ollut siisti alusta lähtien tai tilan siisteyteen on panostettu hankkeen aikana. Eniten työympäristön siisteyteen vaikuttavat tuotantotiloissa olevat tyhjät astiat, jätteet, pöly ja varastoitavat materiaalit (Kuvat 10, 11 ja 12). Kemikaaliastiat ja levyateriaalin varastointi tuotantotiloissa lisää palokuormaa. Hankeyrityksissä tehtyjen havaintojen mukaan merkittävä työskentelyilman laatua heikentävä tekijä on tyhjät kuivumaan jätetyt maaliastiat. Vain muutamassa yrityksessä on käytössä erillinen maalivarasto, joten maali- ja lakka-astiat ovat hallitiloissa hyvin yleisiä. Maalit olisi kuitenkin hyvä varastoida erillisessä tilassa, jonka lämpötila pysyy vähintään 20 asteessa. Viileässä hallitilassa maalien ominaisuudet muuttuvat ja pintakäsittely vaikeutuu.



KUVA 10. Tyhjiä maaliastioita hallitilassa.



KUVA 11. Pölyä putkistojen päällä.



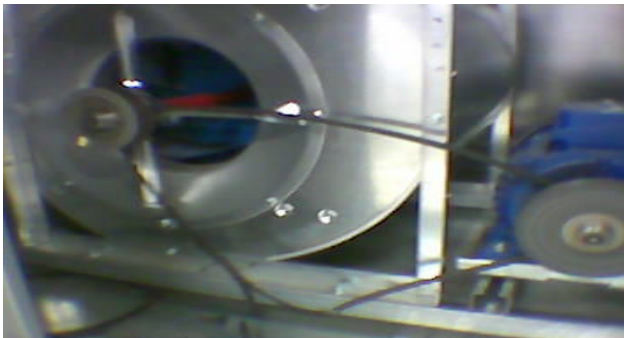
KUVA 12. Levyjen varastointi tuotantotilassa lisää palokuormaa.

Jätteiden käsittely vaihtelee yrityksissä. Yleisesti käytetään maalin ja lakan talteenottoa. Tosin eräissä yrityksissä talteenotto lisää merkittävästi ohenteen käyttöä ja sitä kautta VOC-päästöjä. Myös koagulointi- ja tisluslaitteita on käytössä. Jätteenkeräys voidaan hoitaa myös keräämällä jätteet Ekokemille.

Yritysten työntekijöillä on kuulosuojaimet ja suojavaatteet hyvin käytössä, mutta käsineitä, hengityssuojaimia ja suojalaseja käytetään heikosti.

5.5.3 Huolto

Suurin ongelma pintakäsittelylinjojen toiminnassa on häiriöt, joista ei tule ilmoitusta tai hälytystä. Esimerkiksi tuloilmakoneen moottorin rikkoutuminen tai remmin katkeaminen saattaa jäädä huomiotta ja huollotta (Kuvat 13 ja 14), jolloin ilmastoinnin tasapaino ja työskentelyolosuhteet kärsivät. Joissakin yrityksissä on oma huoltomies, osassa huolto on ainakin osittain ulkoistettu. Laitteiden toiminnan ja huollon suhteen on usein eniten ongelmia, kun vastuu linjan toiminnasta on linjan käyttäjällä. Tällöin ajetaan usein niin kauan kuin laitteet toimivat. Toisaalta huoltotöille on vaikea saada riittävästi aikaa, varsinkin kiireaikoina. Käyttöhenkilökunnan kiinnostus ja osaaminen vaikuttavat suuresti linjan toimintaan ja huoltoon. Hankkeen aikana on yritysten henkilökuntaa neuvottu huollon ja linjan säätöjen suhteen, jotta prosessiin liittyvä tietous ja osaaminen kasvaisivat. Kaikissa yrityksissä muutoksia ei ole kuitenkaan voitu tai haluttu tehdä. Joissakin yrityksissä olisikin parempi, että pintakäsittelylinjassa olisi mahdollisimman vähän säädettävää.



KUVA 13. Moottori pyörii, entä puhallin?



KUVA 14. Ukonilma on sammuttanut tuloilmapuhaltimen, mutta säätökeskus ei anna siitä ilmoitusta.

Huollon suhteen eniten huomiota kiinnitti kuivausuunien ja hallien tuloilma-aukkojen suodattimien kunto (Kuva 15). Projektin ensimmäisellä kierroksella tukossa olevia suodattimia oli paljon. Hankkeen aikana tapahtui parannusta, mutta edelleen viimeiselläkin kierroksella löytyi suodattimia, jotka olivat täysin tukossa.



KUVA 15. Tukkeutunut tuloilmasuodatin, virtaus 0 m/s.

5.6 Pintakäsittelyprosessi

Pintakäsittelyn prosessituotannolla on puutuoteteollisuudessa pitkät perinteet. Prosessi on ajan saatossa muuttunut käytettävien pintakäsittelyaineiden ja menetelmien mukaan. Nykyisin pintakäsittelytuotannon alasta on tullut erilaisten muotivirtausten ja asiakkaiden vaatimuksia vastaava tuotannonala, jolla nostetaan puutuotteen jalostusarvoa.

Asiakkaiden ja muotivirtauksien aiheuttama muutos puutuotteiden pintakäsittelyvaihtoehdoissa (esim. sävyt ja muodot) on aiheuttanut koko puutuotealalle uuden tarpeen muuttaa sekä tuotteidensa ulkonäköä että pintakäsittelyprosessiaan. Myös rakennuspuusepän- ja sahateollisuuden on pitänyt tulla muutosvirrassa mukana. Sisustustuotteissa ei riitä enää pelkkä höylätty lista tai paneeli, vaan asiakas haluaa ostaa valmiin komponentin, jonka voi suoraan kiinnittää kattoon tai seinään määrämittäisenä. Asiakkaiden vaatimusten lisäksi

ympäristönormit, jätemääräykset ja erilaiset direktiivit pakottavat yrityksiä etsimään ja investoimaan uusiin menetelmiin.

5.6.1 Levitysmenetelmät

Suomen puutuoteteollisuudessa on käytössä pääasiassa kolmenlaista pintakäsittelyn levitysmenetelmää. Telapinnoitus, kalvo- ja ruiskutus- sekä vakuuilevitysmenetelmä yhdistettynä erilaisiin kuivausratkaisuihin.

Telapinnoitus

Telapinnoitus on parketti ja huonekaluteollisuuden käyttämä levitysmenetelmä tasomaisille kappaleille. Käytettävät pintakäsittelyaineet ovat pääasiassa 100 % UV-kovettuvia aineita tai öljyjä ja vahoja. Menetelmä vaatii oman UV-kuivausuunin, joka on varustettu elohopea/gallium lampuilla. Tästä levitysmenetelmästä ei tule VOC-päästöjä muusta kuin käytettävistä pesuohenteista.

Kalvopinnoitus

Kalvopinnoitus on nopeasti kasvanut merkittäväksi tuotannonalaksi, suurimmat käyttökohteet lienevät keittiökalusteovien pinnoituksessa. Menetelmä on nopea, mutta vaatii oman kone- ja laitekannan.

Ruiskutusmenetelmä

Hyvin monia pintakäsittelyaineita voidaan nykyään levittää ruiskutusmenetelmällä. Ruiskutusmenetelmä on joustava ja monipuolinen. Ruiskutusmenetelmään kytketään yleensä kuivausuunit käytettävien pintakäsittelyaineiden mukaan. Ruiskuina voidaan käyttää joko HVLP, AIRMIX tai korkeapaineruiskuja. Mikäli käytetään ohennepohjaisia pintakäsittelyaineita, menetelmästä tulee merkittäviä määriä VOC-päästöjä.

Vakuuilevitysmenetelmä

Vakuuilevitysmenetelmä on lisääntynyt merkittävästi saha- ja höyläämötuotteiden pintakäsittelyaineiden levitysmenetelmänä. Vakuuilla saadaan suuri linjanopeus ja

se soveltuu niin UV-aineiden kuin myös vesiohenteisten pintakäsittelyaineiden levitykseen.

Käsiruiskutus

Pintakäsittelyaineiden levittäminen käsiruiskutusmenetelmällä on perinteinen menetelmä ja käytössä edelleenkin pk-yrityksissä. Suuremmissa yrityksissä sitä käytetään lähinnä erikoistuotteiden, pienerien, sävytuotteiden ja reunojen maalaukseen. Levityslaitteistona voi olla HVLP-, AIRMIX- tai korkeapainepistoolit, riippuen siitä, mitä pintakäsittelyainetta levitetään. Myös maalipumppu määräytyy tämän mukaan. Käsiruiskutusmenetelmä on edullisin investoinniltaan.

Laittekantana riittää paineilmakompressori, pumppu, maaliletku, pistooli, maalauskaappi/imuseinä sekä kuivausuuni.

5.6.2 Kuivausuunit

Pintakäsittelyaineiden kuivausmenetelmissä on tapahtunut ja tapahtumassa kehitystä etenkin vesiohenteisten pintakäsittelyaineiden osalta. Käytettävä pintakäsittelyaine määrittää sen minkälaisen uunityypin (laminaari-, suutin-, veitsi- tai kerrosuuni) yritys valitsee. Myös tutkimukseen ja mittaamiseen perustuvan tiedon lisääntyminen erityisesti PPT 2004-projektissa on tuonut lisätietoa yrityksille kuivausprosessin toimivuudesta.

Niin sanottuun konvektionaaliseen kuivaukseen on yhdistetty erilaisia IR/MIR-säteilykuivausvaihtoehtoja. 100 % UV-aineiden kuivaukseen käytetään säteilykuvausta, jossa on elohopea- tai galliumlamput. Näitä uunityyppejä on ollut käytössä pitkään ja niiden kehitys on ollut lähinnä pientä parannusta joihinkin osa-alueisiin. Suurin parannus lienee, kun havupuutuotteiden kuivaukseen tarkoitettuun uuniin on lamppujen väliin lisätty jäähdytyspuhallin estämään pihkannousua.

5.6.3 Ilmankuivaimet ja suljettu kierto

Siirryttäessä vesiohenteisiin pintakäsittelyaineisiin ilmanvirtaukseen perustuvissa kuivausuuneissa haihtunut kosteus voidaan kuivata kiertoilmasta kuivaimen avulla. Kuivaustekniikka voi perustua sorptiotekniikkaan tai jäähdytstekniikkaan. Jäähdytysmenetelmällä ilma jäähdytetään kastepisteeseen. Kun lämmönlaskua edelleen jatketaan, vesi erottuu ilmasta. Sorptiomenetelmällä vesi erotetaan ilmasta lämpöä nostamalla. Jäähdytysmenetelmä soveltuu korkeille lämpötiloille ja kosteuksille. Sorptio puolestaan viileämmälle ilmalle, sillä mitä suurempi lämpötilaero on prosessi-ilmalla ja regenerointi-ilmalla sitä tehokkaampaa roottorin kosteuden sidontakyky on.

Pintakäsittelylinjan kuivausilmakierron sulkemisella on mahdollista saada merkittäviä säästöjä. Kostean ilman lämmittäminen kuivausprosessin kannalta on epätaloudellista ja siksi kierrätysilman ja lisäilman kuivaus, ennen sen lämpötilan nostoa, on järkevää. Haihdutusuunista poistuvan kuivausilman kierron yhteyteen olisi mahdollista asentaa ilman kuivaus. Tällöin uunin poistoilmamäärä voitaisiin laskea 20 %:sta 1-2 %:iin. Kuivausilman sulkemisessa pitää kuitenkin ottaa huomioon vesiohenteisten pintakäsittelyaineiden sisältämät pienet liuote- ja orgaaniset apuainemäärät, jotka voivat rikastua suljetussa kierrossa ja aiheuttaa pintakäsittelyongelmia. Tällaisia helposti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ovat mm. propyleeniglykoli, etyleeniglykoli ja butoksietoksietanoli. Suljetussa kierrossa saavutetun poistoilman pienenemisestä syntyvän energiasäästön lisäksi säästöä syntyy myös kuivausuunin olosuhteiden vakiinnuttamisesta. Tällöin voidaan ajaa samalla maksimaalisella linjan ratanopeudella läpi vuoden.

Kuivausilman kierrättämistä tulevan korvausilman (ulkoilma) kuivaimen kautta voidaan myös harkita. Korvausilman kosteuspitoisuus alennetaan korvausilmalinjan kuivaimella nykyään vastaamaan n. 8 °C kastepistettä, joka on noin 8,25 g/m³ absoluuttista kosteutta. Jotta uuniolosuhteet pysyisivät vakiona ympäri vuoden, tulisi kiertoilma olla mahdollista joko kuivattaa tai kostuttaa vallitsevien olosuhteiden mukaan. Tällöin tuotannon laatu olisi tasaista aina eikä vuodenaikaissäätöjä tarvitsisi tehdä.

5.6.3.1 Muutostyöt CENTRIAn kuivausuuniin

Lvis insinööri Hannu Marjakangas selvitti miten uuniin tulevan ilman kosteus saadaan hallintaan mahdollisimman pienillä energiakustannuksilla. Selvitystyössä käytettiin pohjana CENTRIA Tutkimus ja kehityksen nykyistä kuivausuunia, johon tarvittavat muutokset tehtäisiin.

Selvityksen mukaan kuivausprosessi pitäisi saada maksimoitua mahdollisimman tehokkaaksi, ulkoisista olosuhteista riippumattomaksi, pinnan ominaisuuksiltaan mahdollisimman hyväksi ja energiakustannuksiltaan minimaaliseksi. Vesiohenteisten pintakäsittelyaineiden kuivausprosessissa olisikin ensiarvoisen tärkeää selvittää uunilla kuivattavan materiaalin optimi kuivausprosessi. Kuivausprosessiin vaikuttavat mm. kappaleen pinta-ala, pintakäsittelyaineen levitysmäärä ja vesisisältö, kappaleen nopeus uunissa, ilmamäärä, lämpötila ja kosteus uunissa sekä ilmankierron ominaisuudet, kuten puhallussuunnat ja suutinten rakenteet.

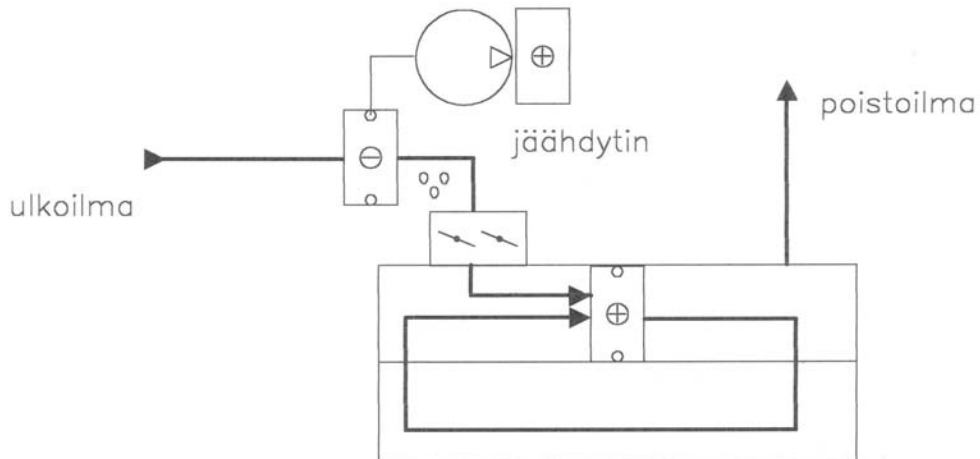
Kuivaustekniikan valintaan vaikuttaa oleellisesti minkä hintaisella energialla kuivaamo toimii sekä vuorokautinen toiminta-aika. Kallein energian muoto on sähkö. Tämän jälkeen tulevat kaukolämpö, öljylämmitys, pellettilämmitys, hakelaitos ja halvin on oman tuotannon jätteellä lämmitys. Mitä kalliimpi energia on käytössä ja mitä pitempi on vuorokautinen toiminta-aika, sitä energiaystävällisempään tekniikkaan kannattaa sijoittaa.

5.6.3.1.1 Uunien toiminnat

Nykyinen uuni

Nykyisen uunin ilmankierto on tehty siten, että osa ilmasta otetaan ulkoa ja loput on kiertoilmaa (Kuva 16). Ilmaa johdetaan uunista pois noin ulkoilman verran. Ulkoa tulevaan ilmaan on asennettu jäähdytin, jolla ilmasta poistetaan ylimääräinen kosteus syyskesällä, kun ulkoilma on liian kostea. Nykyisen uunin etuna saadaan ulkoilman kosteusmuutosten vaikutus eliminoitua tuotteiden laadusta kuivauksessa.

NYK. UUNI

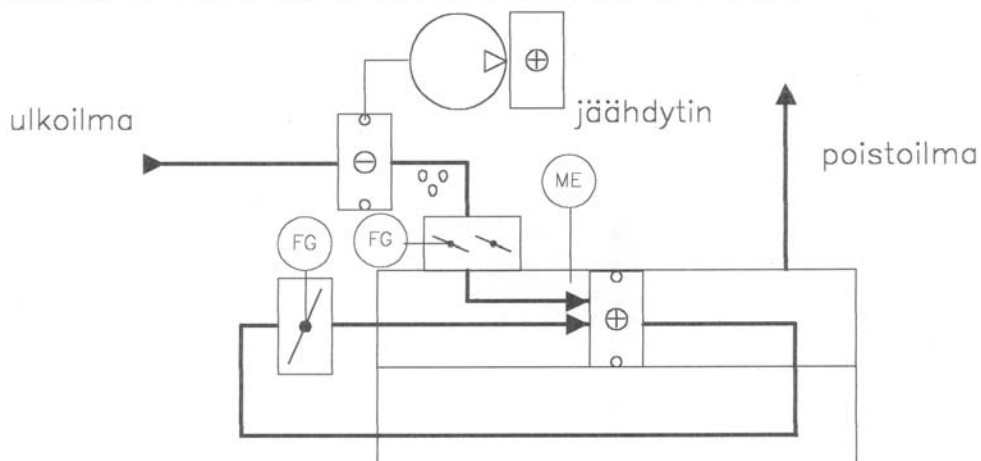


KUVA 16. Nykyinen kuivausuuni.

Tuloilman kosteudenhallinnalla lisätty uuni

Nykyiseen uuniin lisätään automatiikka, jolla pystytään ohjaamaan tuloilman kosteutta ulkoilmaa ja kiertoilmaa sekoittamalla (Kuva 17). Muutetussa uunissa on samat perusedut kuin nykyuunissa, mutta uuniin tulevan ilman kosteus on tarkempi, jolloin kuivaustulos on laadukkaampi. Lisäksi ulkoilman määrä optimoidaan minimiin, jolloin saavutetaan jonkin verran pienempi energian kulutus.

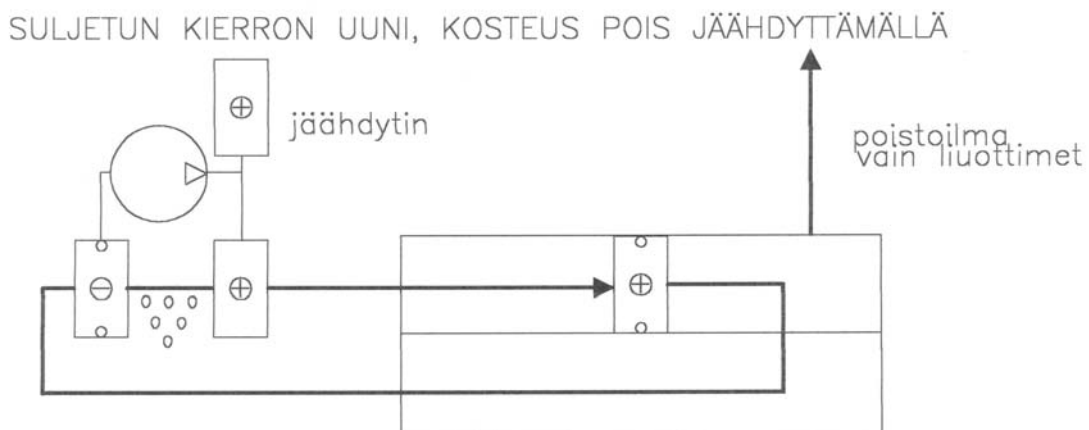
TULOILMAN KOSTEUDEN HALLINNALLA LISÄTTY UUNI



KUVA 17. Tuloilman kosteuden hallinnalla lisätty uuni.

Suljetun kierron uuni, kosteus pois jäähdyttämällä

Nykyinen uuni muutetaan suljetun kierron uuniksi, jossa uunin ilma on pääsääntöisesti kiertoilmaa. Koko uunin kiertoilmasta poistetaan kosteus jäähdytyspatterilla ja jäähdyttimen lauhdelämpö siirretään takaisin kiertoilmakanavaan (Kuva 18). Ylimääräinen lämpö poistetaan ulkoyksiköllä. Suljettu kierto on täysin ulkoisesta ilmankosteudesta riippumaton järjestelmä. Lisäksi käytettäessä jäähdytystä kuivaukseen, voidaan hyödyntää jäähdytyksen lauhdelämpöä.



KUVA 18. Suljetun kierron uuni, josta kosteus poistetaan jäähdyttämällä.

5.6.3.1.2 Arvio uunien energiankulutuksista

Nykyisen uunin ilmamäärä on $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ja käyttölämpötila $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Kun vuoden keskilämpötila on noin $3 \text{ }^\circ\text{C}$, on keskilämpötilaero noin $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Ulkoilmaa kokonaisilmamäärästä on noin 60% , joten uunin teho on 54 kW . Laskelmassa on käytetty 200 työpäivää vuodessa. Energian tarve on tällöin 8 tunnin vuorokautisella käyttöasteella 432 kWh . Vuosikulutus on puolestaan $86,4 \text{ MWh}$.

Tuloilman kosteuden hallinnalla lisätyn uunin tuloilma tarkempi kosteuden säätö voisi pienentää energian tarpeita noin 10% . Tällöin 8 tunnin vuorokautisella käyttöasteella kulutus olisi 389 kWh ja vuosikulutus 78 MWh .

Suljetun kierron uunissa, josta kosteus saadaan pois jäähdyttämällä, tarvitaan useampia kompressoreja. Toisaalta ilmalauhdutinta voidaan hyödyntää esim. hallin lämmityksessä. Suljetun kierron energian tarve 8 tunnin vuorokautisella käyttöasteella on 192 kWh ja vuosikulutus 38,4 MWh.

5.6.3.1.3 Yhteenveto

Kummankaan uunin investointia erityisesti opetuskäyttöön ei voi perustella rahan säästöillä. Perusteet investointeihin täytyykin etsiä tuotteiden laadun paranemisella, uunin kapasiteetin kasvulla tai uuden tekniikan soveltamisella. Tuloilman kosteuden hallinnalla varustettu uuni-investointi teollisuudessa olisi kannattava hankinta myös rahan käytön näkökulmasta.

Suljetun kierron uunin energiankulutus on pienempi kuin nykyisten uunien, mutta se käyttää kalleinta sähköenergiaa. Lisäksi uunin hankintahinta on melko korkea, joten takaisin maksuaikakin on pitkä. Jos korvattava uuni on sähkökäyttöinen, niin investoinnilla on jonkinlainen kannattavuus.

5.6.3.2 Kiertoilmalämpöpumppukuivaus pintakäsittelyuuneissa

Pintakäsittelyuuneissa käsiteltävät ilmamäärät ovat suuria ja nykyisillä toteutustavoilla ne kuluttavat paljon lämpöenergiaa ja alipaineistavat työtiloja heikentäen lämpöolojen hallintaa. Suljetulla ilmakierrolla hallien ilmatase saadaan hallintaan ja kuivatuksessa syntyvät päästöt voidaan pitää koteloituissa uuneissa levittämättä niitä työilmaan. Käyttämällä prosessi-ilman kuivatuksessa lämpöpumppua on mahdollista parantaa uunien lämpötaloutta. LIITTEESSÄ 1 on työterveyslaitoksen tutkimusinsinööri DI Aki Valkeapään selvitys lämpöpumpun käytöstä prosessi-ilman kuivauksessa. Raportissa tutkitaan laskennallisesti kiertoilmapumppukuivauksen soveltuvuus pintakäsittelylinjojen kuivatusuunien olosuhteisiin sekä lasketaan lämpöpumppukuivausprosessin ominaisenergiankulutus.

5.6.4 Poistuvan lämmön energiantarve

Pintakäsittelylinjan kuivatusosa on sen laajin ja eniten energiaa käyttävä yksikkö ja sen vaikutus linjan käyttö- ja investointikustannuksiin on merkittävin. Sen vuoksi optimaalisten kuivausmenetelmien ja niiden toimintaparametrien valitseminen on koko pintakäsittelyprosessin kannalta erittäin tärkeää.

Pintakäsittelylinjojen energiakustannuksista hyvin suuri osa koostuu suurista konekohtaisista poistoista, jolloin lämmitetty energia johdetaan pois hallitilasta. Suuria poistoilmoja syntyy hiomakoneilta, ruiskuautomaateista sekä kuivausuuneista. Hiomakoneen poistoilma voidaan palauttaa työilmaan talvikuukausina. Ruiskuautomaatin poistoilmaa ei voida johtaa takaisin hallitilaan johtuen suuresta maalihiukkasten määrästä, eikä ruiskuautomaatin poistossa voida myöskään hyödyntää lämmöntalteenottoa.

Ilmanvirtaukseen perustuvissa kuivausuuneissa käytetään yleisesti kiertoilmapuhaltimia, jolloin kierrätettävää ilmaa ei poisteta kokonaan uuneista. Energiakustannukset ovat kuitenkin huomattavia, koska uunien kiertoilma lämmitetään yleisesti yli 50 °C lämpötilaan. Ilman lämmittäminen tapahtuu öljy- tai vesilämpöpattereiden avulla.

Lämmöntalteenotolla energia saadaan talteen prosessihäviöistä usein tehokkaasti ja taloudellisesti. Lämmityskaudella lämmöntalteenotto käyttää poistuvan ilman lämpöä sisään otettavan ilman lämmittämiseen. Kesäkäytössä lämmöntalteenotto ohitetaan.

Hankkeen aikana pintakäsittelylinjojen energiakustannuksia vähennettiin mm. sammuttamalla tarpeettomien poistojen moottoreita, sammuttamalla ylimääräisiä IR- ja UV-lamppuja, kartoittamalla uunien vuotokohtia lämpökamerakuvauksilla, pienentämällä tarpeettoman suuria poistovirtauksia sekä tehostamalla linjojen toimintaa. Lisäksi PPT 2004-tutkimushankkeen ensimmäisen osan (A-osan) aikana aloitettiin yritysten pintakäsittelylinjojen energiataselaskelmat ja ne herättivät paljon kiinnostusta ja keskustelua.

Hankkeen B-osassa energiataselaskelmia jatkettiin ja alla olevan kaavan (Kaava 1) mukaan laskettiin poistuvan lämmön energiatarpeet.

Ilman lämmityksen energiantarve Q	
$Q = cpqSs$	
missä c	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
ρ	ilman tiheys, kg/m ³
q	ilmavirta, m ³ /s
Ss	sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ja aikajakson tulo

Energiakustannus	
1 kWh = 3,6 MJ	
Energianhinta * energiantarve / 3,6 * 3600 s	

Kaava 1. Ilman lämmityksen energiantarve.

Poistuvan lämmön energiakustannuksissa käytettiin poiston lämpötilaa, sekä ulkoilman lämpötilaa lämpötilaeron määrittämiseksi.

Edellä mainittujen lisäksi joissakin kohdissa jouduttiin tekemään laskennoissa poikkeuksia (tekemään edellä esitetyistä mittauspisteistä poikkeavia ratkaisuja). Kyseiset poikkeustapaukset merkittiin jokaisen yrityksen omaan raporttiin taulukoiden yhteyteen.

Poistuvan lämmön energiakustannukset laskettiin uuneista, esilämmittimistä, haihduttimista sekä jäähdyttimistä. Hiomakoneiden ja ruiskuautomaattien poistuvan lämmön energiakustannuksia ei tässä yhteydessä laskettu, sillä niiden talteenotossa on ongelmia lähinnä suodattimien toiminnan kannalta. Lämmityskustannukset puolestaan laskettiin uuneista, esilämmittimistä sekä haihduttimista. UV-uuneista laskettiin ainoastaan poistuvan lämmön energiakustannukset, sillä lämmön perusteella ei voida laskea lämmityskustannuksia (UV-lampun lämpösäteily). UV-uuneista poistuvan ilman kustannuksiin voitaisiin vaikuttaa lämmöntalteenotolla.

Yritysten kohdalla, jotka eivät ole ilmoittaneet erikseen sähkö- ja lämmityskustannuksiaan, käytettiin laskuissa sähkön hintana 0,0705€/kWh.

Poistuvan lämmön energiakustannusten keskiarvoksi kaikkien yritysten välillä tuli 1,85 euroa tunnissa. On kuitenkin muistettava, ettei kaikilta yrityksiltä pystytty laskemaan kaikkien kohteiden poistuvaa lämmön energiakustannusta, eikä parhaimmallakaan lämmöntalteenottojärjestelmällä kyetä ottamaan lämpöä talteen 100 %:sti. Poistuvan lämmön energiakustannusten suuruuden selitti ulko- ja poistoilman suuri lämpötilaero. Tämän lisäksi poistuva ilmamäärä oli tuloilmamäärää suurempaa, joka myös kasvatti lämmityskustannusten ja lämmitettävän ilman energiakustannusten eroa.

Eri vuodenaikojen vaikutusta lämmitys- ja poistuvan lämmön energiakustannuksiin ei projektissa kyetty määrittelemään. Merkittävin syy tähän oli ilmamäärien suuri vaihtelevuus eri kierrosten välillä.

5.7 Vedenhaihdutuskyky

Hankkeen A-osan aikana Hanna Parikka teki insinööriyön aiheesta CENTRIAn pintakäsittelylinjan vedenhaihdutuskyky vesi- ja vesi-uv-maaleja käytettäessä. Kokeellisessa osiossa selvitettiin maalien haihtumista lasilevyiltä punnitsemalla levyt ennen uunia ja uunin jälkeen. Työn tuloksena saatiin haihtumisen kannalta parhaat ajoarvot vesiohenteiselle sekä vesiohenteiselle uv-kovettuvalla maalilla. B-osan aikana mittauksia jatkettiin laajentaen tutkimusta eri materiaaleille ja ratanopeuksille. Insinööriyön tuloksia hyödynnettiin simulointimallin luomisessa.

5.7.1 Haihtuminen

Vesiohenteisiä maaleja käytettäessä vesi poistuu maalikalvon pinnasta haihtumalla. Pinnan alla oleva vesi puolestaan siirtyy pintaan diffuusion avulla. Diffuusio on pitoisuuseroista johtuvaa molekyylien satunnaista liikkumista. Maalikerroksen

vesimolekyylit pyrkivät siirtymään kohti kuivempaa pintaa. Prosessi jatkuu, mikäli olosuhteet sallivat, kunnes kaikki vesi on noussut pintaan ja haihtunut.

Haihtumisaika riippuu haihdutettavan veden määrästä ja haihtumisnopeudesta. Haihdutettavan veden määrään vaikuttaa maalikalvon paksuus ja maalin sisältämä prosentuaalinen veden osuus. Haihtumisnopeus puolestaan riippuu höyrynpaineen erosta maalin ja pinnoitetun kappaleen yllä kierrätetyn ilman välillä. Mitä suurempi ero on, sitä nopeampaa on haihtuminen. Paine-eroa voidaan lisätä vähentämällä kiertoilman kosteutta, lisäämällä kiertoilman tai pinnoitteen lämpötilaa tai lisäämällä virtaavan ilman nopeutta kappaleen pinnan yllä. Vaarana on kuitenkin pinnan liian aikainen sulkeutuminen ja nahkottuminen, jolloin haihtuminen hidastuu, koska diffuusio pintaan ei ole tarpeeksi nopeaa.

Suurin osa vesiohenteisista maaleista vaatii 0,5-5 minuutin tasaantumisaajan heikohkossa virtauksessa ennen varsinaista uunitusta. Vaakavirtaus soveltuu tähän hyvin. Tasaantumisen aikana maalin sidokset muodostuvat. Pystyvirtaus, joka on vaakavirtausta voimakkaampaa, saattaa aiheuttaa pinnan sulkeutumista.

Siirryttäessä vesiohenteisiin pintakäsittelyaineisiin kuivausuunin olosuhteiden merkitys korostuu. Varsinkin kosteuden ja ilmavirtausten merkitys kasvaa ja tästä johtuen niin vaaka- kuin pystyvirtauksiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Veden haihtuessa kosteus uunissa lisääntyy ja ennen pitkää haihtuminen loppuu, koska ilma ei enää pysty sitomaan vettä. Tämän takia kiertoilman merkitys korostuu. Uunista pitää poistaa kostea ilma ja vastaavasti tuoda kuivaa ilmaa tilalle, jotta haihtuminen olisi mahdollista.

5.7.1.1 Virtaus

Perinteisissä puhallusuuneissa ilmavirta on vaakavirtausta, joka saadaan aikaiseksi koneellisen tulon ja koneellisen poiston avulla. Ilmavirta ohjataan ohjauspelleillä kulkemaan vasten kappaleen kulkusuuntaa. Laminaariuunissa haihtuminen on tehokkainta uunin loppupäässä.

Profiilikappaleiden muotokohtiin tarvitaan myös pystyvirtausta. Niinpä uudemmissa tasouuneissa ilmavirtaus tuodaan kappaleen pinnalle yläpuolelta esim. suuttimien tai veitsien kautta. Pystyvirtaus on melko puuskittaista ja suutinuuneissa pistemäistä. Vaakavirtaus sen sijaan on tasaisempaa. Tärkeintä on virtausten tasainen leviäminen joka puolelle uunia.

5.7.1.2 Kosteus

Kosteus aiheuttaa eniten ongelmia pintakäsittelyssä. Mitä korkeampi ilmassa oleva suhteellinen kosteus on, sitä hitaammin tuotteiden kuivuminen tapahtuu. Lämpötilan korottaminen nostaa ilman vesihöyryn kyllästymispistettä, jolloin ilma pystyy sitomaan enemmän kosteutta itseensä. Tehostettu ilmanvaihto kuljettaa kyllästyneen vesihöyryn nopeammin pois.

Vesiohenteisten ja liuotinohenteisten aineiden vaatimat pintakäsittelyolosuhteet poikkeavat toisistaan. Yleensä liuotinohenteisiä tuotteita käytettäessä suositellaan, ettei suhteellinen kosteus saisi ylittää 80 %:ia. Vesiohenteisiä tuotteilla tämä vaatimus on usein 20 - 70 %:n välillä.

5.7.1.3 Lämpö

Lämpö nopeuttaa maalin kuivumista, koska lämpötilan nosto kasvattaa kylläisen höyryn painetta ja sitä kautta paine-eroa maalin ja ilman välillä. Samalla ilman maksimikosteus kasvaa parantaen kosteudensidontakykyä. Myös vesimolekyylien diffundoituminen kuivattavassa materiaalissa lisääntyy.

Lämmön siirtymistapoja ovat konvektio, johtuminen ja säteily. Usein ne esiintyvät kaikki yhtä aikaa. Konvektiolla eli kuljetuksella lämpö siirtyy ilmavirtauksen mukana. Johtumista tapahtuu lämmön siirtyessä alustasta maalikalvoon ja toisinpäin, tällöin energiaa siirtyy aineen rakenneosien välisissä törmäyksissä. Säteily saadaan aikaiseksi esim. IR-lampuilla, jolloin ainoastaan kohti säteilyä olevat pinnat lämpiävät.

Lämpötilaa ei voi kuitenkaan korottaa loputtomasti, sillä kappale ei saa lämmetä liikaa. Esimerkiksi mänty ei kestä kovinkaan suurta lämpötilaa, sillä pihka alkaa kiehua jo 50 °C. Vesiohenteisilla maaleilla tulee maalin kestokyvyn raja vastaan noin 80 asteen lämpötilassa. Liutinohenteisiin aineisiin verrattuna uunien lämpötiloja tulisikin laskea. Usein IR-lamputkin saattavat lämmittää kappaletta liikaa aiheuttaen pinnan sulkeutumisen.

5.7.2 Haihdutustestit

Haihdutustesteissä käytettiin vesiohenteista Aquatop 2600 -pintamaalia, jonka kuiva-ainepitoisuus on 43 % ja vesiohenteista UV-kovettuvaa Teknolux Aqua 1600 -maalia kuiva-ainepitoisuudeltaan 46 %. Maalit levitettiin käsin korkeapaineruiskulla lasilevyille. Testeissä ei käytetty puuta levitysalustana, koska huokoinen materiaali imisi osan kosteudesta ja tarkoitus oli selvittää nimenomaan haihtumisen määrää. Lasilevyjä oli käytössä 10 kappaletta, joten testien eräkkö määrytyi 10 levyyn. Levitysmäärä vakioitui noin kahdeksaan grammaan levyllä eli 130 grammaan neliöllä. Levitysmäärän toteamiseksi lasilevyt punnittiin ennen maalin ruiskutusta ja ruiskutuksen jälkeen. Punnitsemalla levyt heti sekä ensimmäisen että toisen uunin jälkeen saatiin selville uunikohtaisen haihtuminen. Punnitus viiden minuutin tasaantumisaajan jälkeen sekä vielä puoli tuntia uunista tulon jälkeen kertoi miten paljon haihtumista tapahtui vielä uunituksen päätyttyä. Tasaantumisaika ennen uuniin laittoa oli yksi minuutti. Haihdutustesteissä linjan muuttuvina tekijöinä olivat uunin lämpötila, kiertoilman puhallusteho ja IR-lamppujen teho. Kuljetinnopeus pidettiin vakiona eli 4 m/min. Laadullinen vaatimus pintakäsittelyssä oli ehjä pinta.

Testit tehtiin CENTRIAn pintakäsittelylinjalla, jossa on kaksi Ceflan suutinkuivausuunia. Molemmissa uuneissa on kaksi paria IR-lamppuja, joita voidaan säätää portaattomasti. Myös uunien lämpötilaa, kiertoilman nopeutta ja kuljettimen nopeutta voidaan säätää. UV-aineita varten kuivausvyöhyke jatkuu yhdellä galliumlampulla ja kahdella elohopealampulla. Lamppujen tehoa voidaan säätää portaattomasti ja niiden välissä on erilliset jäähdytysyksiköt.

Testeissä tutkittiin ensimmäisenä kiertoilman puhallustehon eli tekijän A vaikutusta. Puhallustehovaihtoehtoja olivat 0 %, 25 %, 50 %, 75 % ja 100 %. Näistä parhaalla

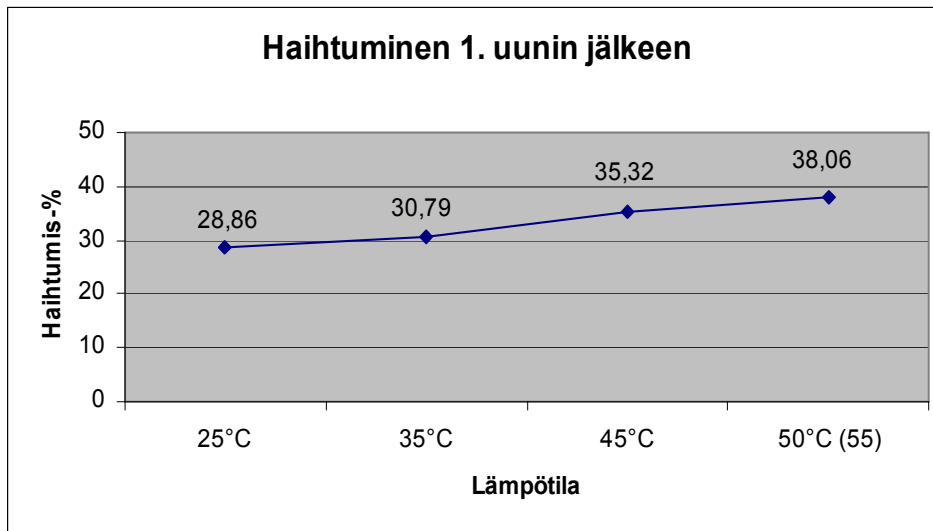
teholla testattiin tekijän B eli lämpötilan vaikutus. Lämpötiloja oli neljä, 25°C, 35°C, 45°C ja 55°C. Tarkoituksena oli selvittää tehokkain lämpötila tietyllä puhallusteholla eli tekijöiden A ja B yhteisvaikutus. Tähän lisättiin vielä tekijä C eli IR-lamput. Niitä käytettiin neljällä eri tavalla. Molemmat lamppuparit pois päältä, molemmat päällä, vain 1. pari päällä ja vain 2. pari päällä. Tuloksena saatiin kaikkien kolmen tekijän yhteisvaikutus haihtumiseen.

Testit etenivät uunikohtaisesti eli ensimmäisenä testattiin maalin haihtuminen ensimmäisessä uunissa, tämän jälkeen siirryttiin 2. uuniin. Lasilevy kulki kuitenkin aina molempien uunien läpi, jotta kokonaishaihtumista pystyttiin vertailemaan.

5.7.2.1 Parhaat ajoarvot

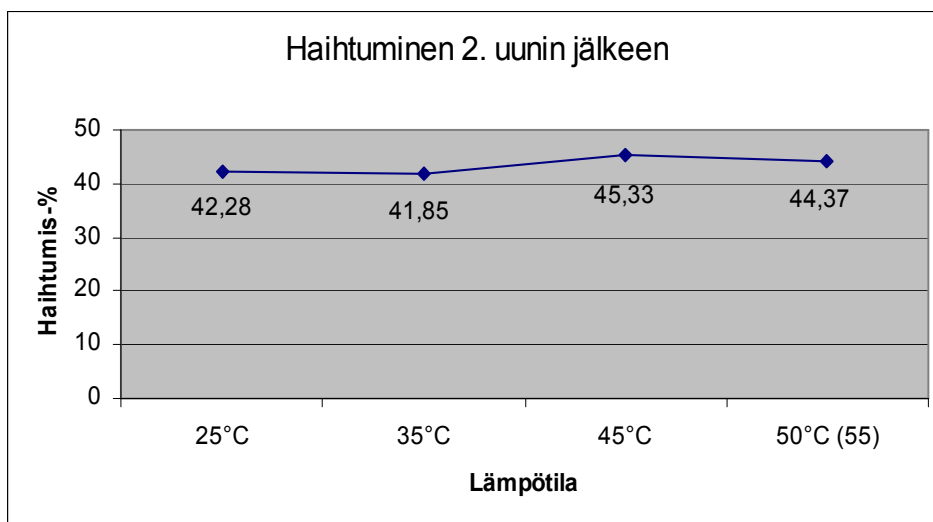
Vesiohenteisen **Aquatop 2600**-maalin parhaat ajoarvot 1. uunissa olivat kiertoilman puhallusteho 50 %, lämpötila 45 °C, 1. IR-lamppupari 0 % ja 2. IR-lamppupari 0 %. Vastaavat arvot toisessa uunissa olivat kiertoilman puhallusteho 100 %, lämpötila 50 °C, 1. IR-lamppupari 0 % ja 2. IR-lamppupari 70 %. Vesiohenteisen UV-kovettuvan **Teknolux Aqua 1600**-maalin parhaat ajoarvot olivat muuten samat, mutta ensimmäisen uunin lämpötilaksi riitti 35 °C.

Kuvassa 19 on esimerkkinä tulokset ensimmäisen uunin lämpötilojen vaikutuksesta haihtumiseen. Aquatop 2600 -maalin levitysmäärä oli reiluhko, 135 g/m². Suurin muutos haihtumisessa tapahtui nostettaessa lämpötilaa 35 asteesta 45 asteeseen.



KUVA 19. Aquatop 2600 -maalien haihtuminen 1. uunissa eri lämpötiloissa.

Kun tilannetta tarkasteltiin vielä 2. uunin jälkeen, voitiin todeta haihtumisen olleen tehokkainta 45 °C lämpötilassa (Kuva 20). 50 °C lämmössä tapahtunut haihtumisen pienehkö taantuminen saattoi johtua pinnan nahkottumisesta.

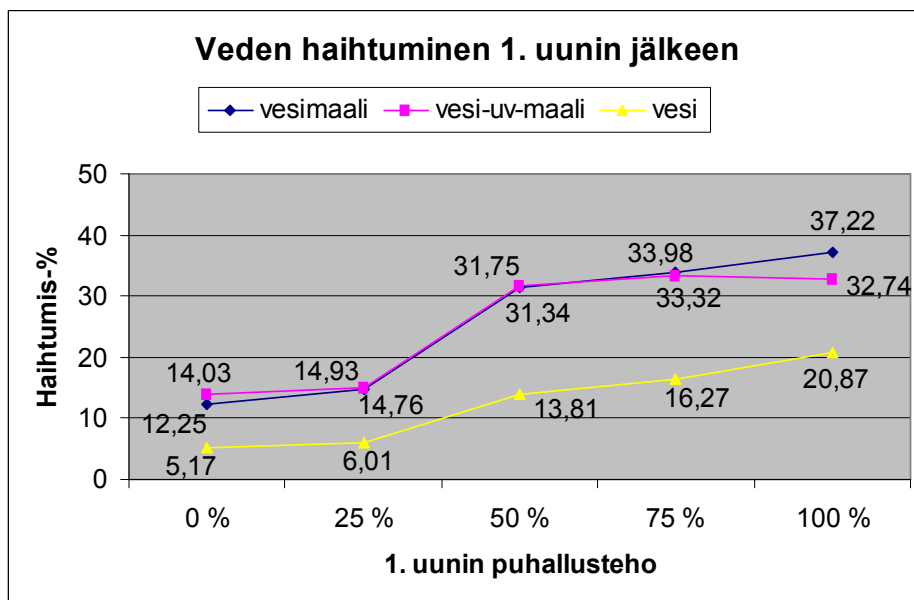


KUVA 20. Aquatop 2600 -maalien kokonaishaihtuminen 2. uunin jälkeen 1. uunin eri lämpötiloissa.

Tehtyjen testien perusteella suurin muutos haihtumisessa tapahtui nostettaessa puhallustehoa 25 %:sta 50 %:iin. Suurin osa haihtumisesta tapahtui ensimmäisen uunin aikana. Kokonaishaihtumisessa päästiin parhaimmillaan 45 prosenttiin vesiohenteisella maalilla. Vesi-ohenteisen maalin kuiva-ainepitoisuuden ollessa 43 % on teoreettinen haihtuvien aineiden määrä tällöin 57 %. Vesi-UV-maalien haihtuminen

oli kautta linjan hieman heikompaa ollen parhaimmillaan noin 41 %. Toisaalta kuiva-ainepitoisuus on tällä maalilla 3 % korkeampi, jolloin haihtuvien aineiden määrä on vastaavasti pienempi vesiohenteiseen maaliin verrattuna. Kaikki haihtuvat aineet eivät siis haihtuneet, mutta niin ei odotettukaan tapahtuvan. Kappaleeseen jää aina hieman kosteutta, vaikka kappale onkin käytännössä kuiva. Toinen uuni tasoitti kokonaishaihtumista ja uunituksen jälkeisen tasaantumisen aikanakin tapahtui vielä vähäistä haihtumista.

Kuvassa 21 on vertailtu maaleista haihtuvan veden ja pelkän veden haihtumista eri puhallustehoilla ensimmäisessä uunissa. Kuten huomataan, vesiohenteinen Aquatop 2600 -maali ja vesi-UV-maali Teknolux Aqua 1600 haihtuvat lähes identtisesti. Vain pienimmällä ja suurimmalla teholla on eroavaisuutta haihtumisessa. Molemmilla maaleilla tehon nosto 50 %:iin tehostaa haihtumista eniten. Veden haihtumiskäyrä seurailee maalien haihtumista, haihtuminen tosin on vähäisempää. Erilaisen rakenteen takia vesi ja maali eivät ole täysin vertailtavissa. Veden haihtumiseen vaikuttaa eniten lämpötilan nousu. Maalia haihdutettaessa ei lämpötilaa voi nostaa rajattomasti. Samansuuntaiseksi haihtumisen voi kuitenkin todeta.



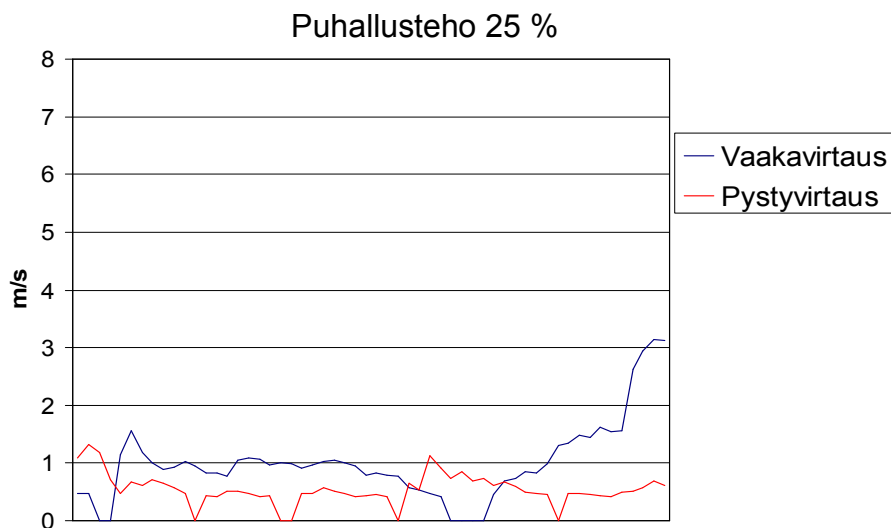
Kuva 21. Maalien ja veden haihtuminen eri puhallustehoilla 1. uunissa.

5.7.2.2 Olosuhteiden vaikutus haihtumiseen

Haihtumiseen vaikutti levitysmäärä. Ensimmäisessä uunissa haihtui levitysmäärästä riippumatta melko sama määrä maalia grammoissa. Suuremman levitysmäärän kappaleet jäivät siis märemmiksi. Tilanne tasaantui toisessa uunissa, mutta kokonaisuudessaan levitysmäärän kasvaessa haihtuminen pieneni.

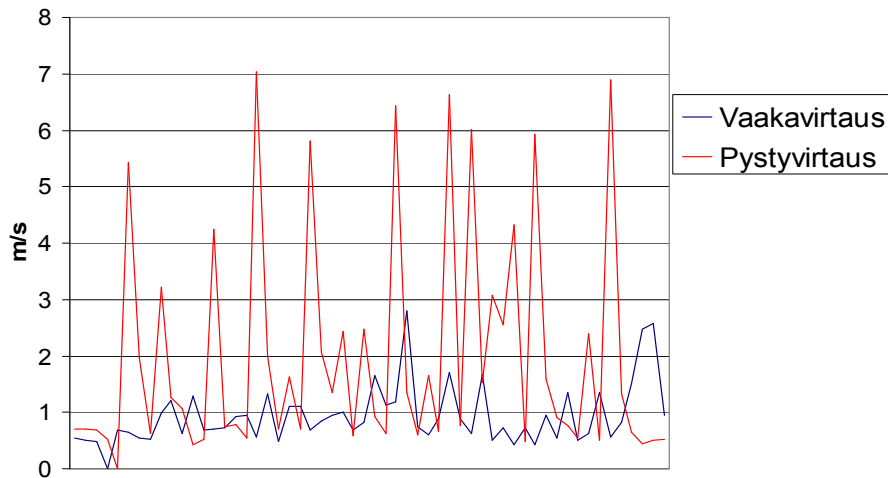
Myös uuniin tulevan ilman kosteus vaikutti haihtumiseen. Kosteampi ilma ei pystynyt sitomaan maalikalvosta haihtuvaa kosteutta yhtä hyvin kuin kuivempi. Tällä on merkitystä erityisesti loppukesästä, jolloin absoluuttinen kosteus on korkeimmillaan.

Suuremmalla kiertoilman puhallusteholla pystyvirtaus on huomattavasti vaakavirtausta voimakkaampaa. Esimerkiksi 25 %:n puhallusteholla vaakavirtaus oli vielä tehokkaampaa kuin pystyvirtaus (Kuva 22). Nostettaessa puhallusteho 75 %:iin pystyvirtaus nelinkertaistui vaakavirtauksen pysyessä melko vakiona (Kuva 23). Pystyvirtauksen voimistuminen selittää miksi puhallustehon nostaminen paransi haihtumista huomattavasti. Puhallusteho vaikutti myös lämpötilaan. Suuremmilla puhalluksilla saavutettiin paremmin halutut lämpötilat.



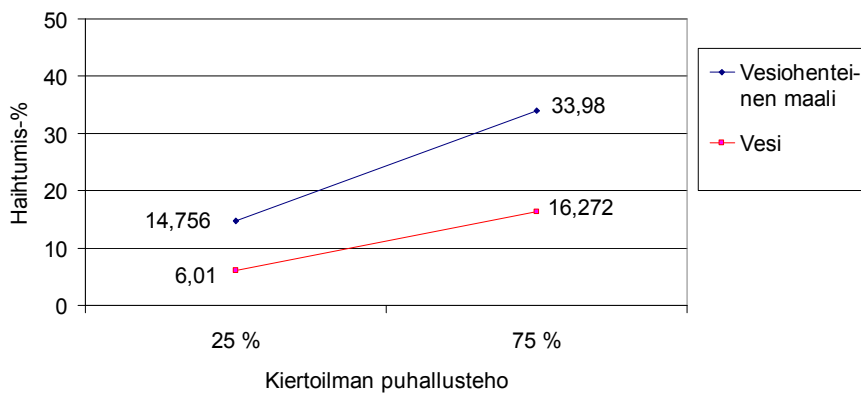
Kuva 22. Kiertoilman tehon vaikutus virtauksiin. Vaakavirtauksen keskiarvo on 1 m/s ja pystyvirtauksen 0,55 m/s, kun puhallusteho 25 %.

Puhallusteho 75 %



Kuva 23. Kiertoilman tehon vaikutus virtauksiin. Vaakavirtauksen keskiarvo on 0,94 m/s ja pystyvirtauksen keskiarvo 1,98 m/s, kun puhallusteho 75 %.

Puhallustehon nostaminen 25 %:sta 75 %:iin tehosti haihtumista huomattavasti (Kuva 24). 35 °C lämpötilassa vesiohenteisen maalin haihtumisprosentti tuplaantui, pelkän veden haihtumisessa oli vielä suurempi ero.



Kuva 24. Kiertoilman puhallustehon muuttamisen vaikutus haihtumiseen.

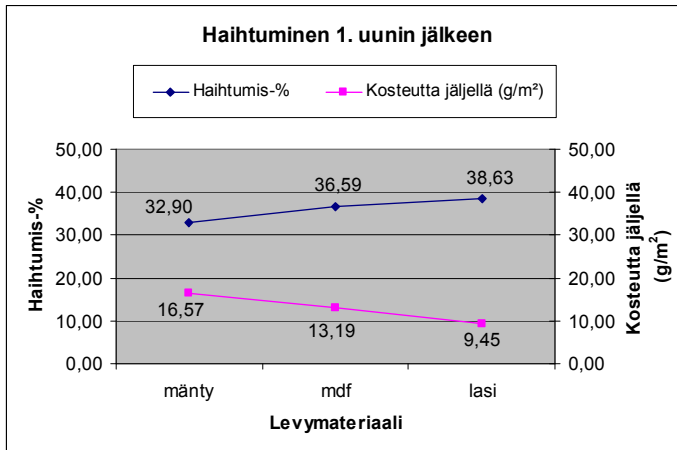
5.7.3 Jatkotestit

Tulevaa simulointimallia varten haluttiin tietää, miten haihtumiseen vaikuttaa eri pohjamateriaalit, joten testejä jatkettiin tältä osin B-osassa. Lisäksi tutkittiin miten kuljetinnopeuden muuttaminen näkyy haihtumisessa.

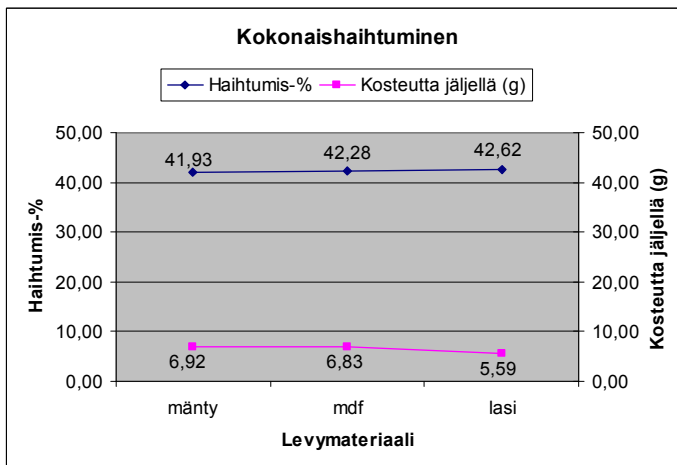
5.7.3.1 Eri pohjamateriaalit

Haihdutustestejä jatkettiin tutkimalla haihtumista eri pohjamateriaaleilla. Lasilevyn lisäksi testeissä käytettiin MDF-levyä ja massiivimäntyä. Testit toteutettiin samoin kuin aikaisemmatkin testit. Maalina käytettiin tosin vain Aquatop 2600 -maalia. Levitysmäärä oli eri materiaaleilla mahdollisimman tasainen; lasilevyillä keskimääräinen levitysmäärä oli 96 g/m^2 , MDF-levyillä 111 g/m^2 ja mänyllä 107 g/m^2 . Ruiskutus tapahtui käsin korkeapaineruiskulla. Punnitukset tehtiin samoin kuin muissakin testeissä ja uunitusarvoina olivat aikaisempien testien parhaat ajoarvot. Eri materiaaleilla tehtyjen testien halli- ja ulkoilman olosuhteet olivat melko samanlaiset, joten siltäkin osin testit olivat vertailukelpoisia.

Kaikki kappaleet olivat kuivia uunituksen jälkeen. Ensimmäisessä uunissa lasilevyiltä haihtui eniten (Kuva 25), tällöin neliölle jäi kosteutta 9,45 grammaa. Sen sijaan mäntylevyllä haihtuminen oli heikompaa ja mänyllä kosteutta jäikin lähes tuplasti lasilevyyen verrattuna. Toisessa uunissa haihtuminen tasoittui ja kokonaishaihtuma oli kaikilla levyillä lähes sama (Kuva 26), samoin kappaleeseen jäänyt kosteus oli tasoittunut $6-7 \text{ g/m}^2$. Kappaleeseen jäänyttä kosteutta laskettaessa huomioitiin maalin levitysmäärä, kuiva-ainepitoisuus ja tiheys sekä haihtuminen uunituksen aikana.



KUVA 25. Haihtuminen 1. uunin jälkeen eri pohjamateriaaleilla sekä kappaleisiin tällöin jäänyt kosteus.



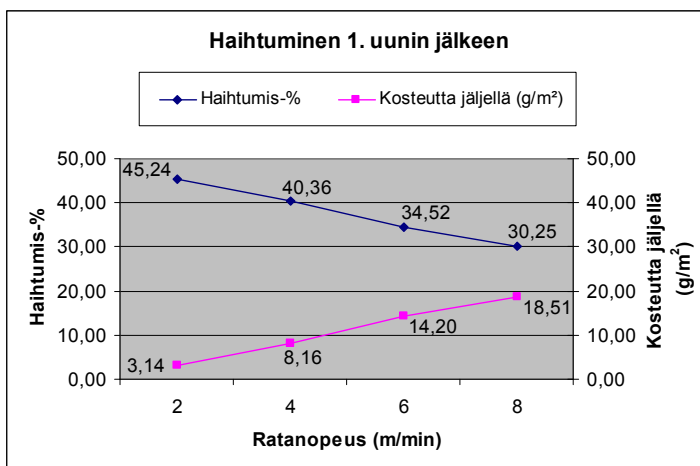
KUVA 26. Kokonaishaihtuminen 2. uunin jälkeen eri pohjamateriaaleilla sekä kappaleisiin tällöin jäänyt kosteus.

Testeissä pinnanlaatu oli visuaalisesti tarkasteltuna hyvä. Määntykappaleissa oksan kohdilla maali oli hieman heikommin tarttunut, mutta kuitenkin riittävästi. Lasilevyissä näkyi läpikatsottuna reikäisyyttä, mikä johtunee liian korkeasta ruiskutusaineesta. Pinnanlaatua, tarkemmin tarttuvuutta, tarkasteltiin myös hilaristikkokokeen avulla. Kokeessa tehtiin 11 uraa ristikkäin käsikäyttöisellä leikkurilla, urien etäisyys toisistaan 2 mm, urat harjattiin ja tulokset analysointiin. Kaikilla materiaaleilla maalikalvon lohkeilun määrä (lasi 0, määnty ja MDF 1) sijoittui kolmelle ensimmäiselle asteelle, jolloin tarttuvuus on riittävä.

5.7.3.2 Kuljetinnopeuden muutos

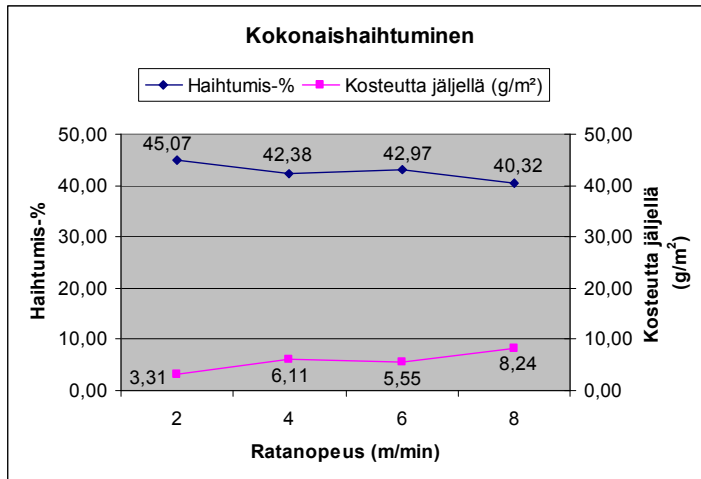
Kuljetinnopeuden muutoksen vaikutusta haihtumiseen testattiin lasilevyillä ja Aquatop 2600 -maalilla. Levitys tapahtui tällä kertaa ruiskuautomaatilla, jolloin levitysmäärä oli tasaisempi; noin 100 g/m^2 . Kuljetinnopeudet testissä olivat 2, 4, 6 ja 8 m/min. Kuuden ja kahdeksan minuutin ratanopeuksilla kappaleet olivat märkiä ensimmäisen uunin jälkeen, mutta toisen uunin jälkeen kaikki maalipinnat olivat kuivia.

Odotetusti hitaimmalla ratanopeudella haihtuminen oli tehokkainta. Uunitusajan lyhentyessä eli kuljetinnopeuden lisääntyessä haihtuminen heikkeni tasaisesti (Kuva 27). Hitaimmalla ratanopeudella, jolloin uunitusaika oli 3 minuuttia, kappale oli lähes kuiva. Kosteutta oli jäljellä vain 3 g, sen sijaan nopeammin kuivattuihin kappaleisiin jäi kosteutta reilummin.



KUVA 27. Haihtuminen 1. uunin jälkeen eri kuljetinnopeuksilla sekä kappaleisiin tällöin jäänyt kosteus.

Hitaimmalla uunitusajalla toista uunia ei enää tarvita, sillä haihtuminen ei enää parantunut. Muilla nopeuksilla sen sijaan 2. uunissakin tapahtui haihtumista. 4 ja 6 m/min kuljetinnopeuksilla haihtuminen oli hieman tehokkaampaa kuin 8 m/min (Kuva 28). Nopeimmalla kuljetinnopeudella kappaleeseen jäi eniten kosteutta.



KUVA 28. Kokonaishaihtuminen 2. uunin jälkeen eri kuljetinnopeuksilla sekä kappaleisiin tällöin jäänyt kosteus.

5.8 Simulointi

Tehokkaan ja toimivan simulointimallin luominen pintakäsittelyn kuivauksesta on tarpeellista prosessin suunnittelun, optimoinnin, energiansäästön ja prosessin säädön kannalta. Kuivauksen mallintaminen on osoittautunut kuitenkin erittäin vaikeaksi tehtäväksi, sillä kuivaus on monimutkainen virtausprosessi, jossa tapahtuu samanaikaisesti sekä lämmön että massan virtausta. Simuloinnissa käytettiin ostopalveluna virtausmallinnukseen erikoistunutta insinööritoimisto Process Flow Ltd Oy:tä. Yritys mallinsi haihtumista Fluent 6.2 CFD-ratkaisijan avulla.

Simuloinnissa mallinnettiin kuivatusuunin virtauksia, lämmönsiirtoa ja haihtumista. Ilmavirtaukset vaikuttavat konvektiiviseen lämmönsiirtoon ja IR-lamput säteilylämmönsiirtoon. Kosteus ja kosteuden haihtuminen vaikuttavat taas itse kuivumisprosessiin. Mallinnuksen tavoitteena oli saada selvyys uunissa tapahtuvista lopputuotteen kuivumiseen vaikuttavista ilmiöistä sekä kehittää simulointimalli, jota voidaan käyttää jatkossa uunien ja ajoparametrien suunnitteluun.

Simuloinnin ensimmäisessä osassa mallinnettiin kaksi erilaista uunikonstruktiota, suutinuuni ja veitsiuuni. Ne ovat rakenteeltaan lähes toistensa kaltaisia. Suutinuunissa ilma purkaantuu kotelosta pyöreiden suuttimien läpi kuivattavalle

pinnalle, kun taas veitsiuunissa ilma purkaantuu kotelosta koko radan levyisten rakojen eli veitsien läpi. Myös puhaltimen sijoittelu on erilainen kyseisissä uuneissa. Suutinuunissa puhalletaan ilma koteloon, kun taas veitsiuunissa ilma imetään poistoon. Lisäksi suutinuunissa on IR-lamput.

Mallinnuksessa tarvittavat ilmavirta-, lämpötila- ja kosteusarvot mitattiin CENTRIAn toimesta. Suutinuunin mallinnuksessa hyödynnettiin A-osassa tehdyn insinööriyön tuloksia. Mallinnuksen ensimmäisen vaiheen tuloksena saatiin mm. virtauskentät uuneissa, joista selvisi puhalluksen tasaisuus sekä suutin- ja veitsiuunin toiminnallinen ero.

Toisessa vaiheessa luotiin malli veden haihtumiselle. Tämä malli huomioi kuivaavan ilman lämpötilan, kosteuden ja nopeuden ja niiden avulla malli poistaa kosteutta pinnasta ja siirtää sitä ilmafaasiin. Tuloksena saatiin selville kosteuden vaikutus haihtumiseen. Haihdutettavana nesteenä käytettiin 1 mm paksuista vesipatsasta.

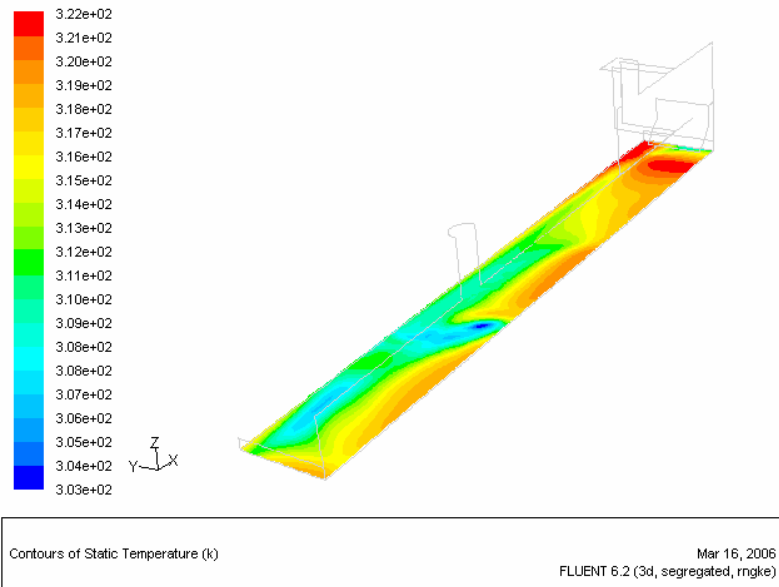
Kuivumismalli poisti vettä radan pinnalta siten, että rata pysyi kauttaaltaan veden peitossa veden höyrystyessä paikallisten kosteus- ja lämpögradienttien ajamana. Veden pinnan korkeus muuttui näin ollen paikallisesti ja tuloksista voitiin hakea uunien paikalliset ongelmakohdat.

Simulointi tulevaisuudessa

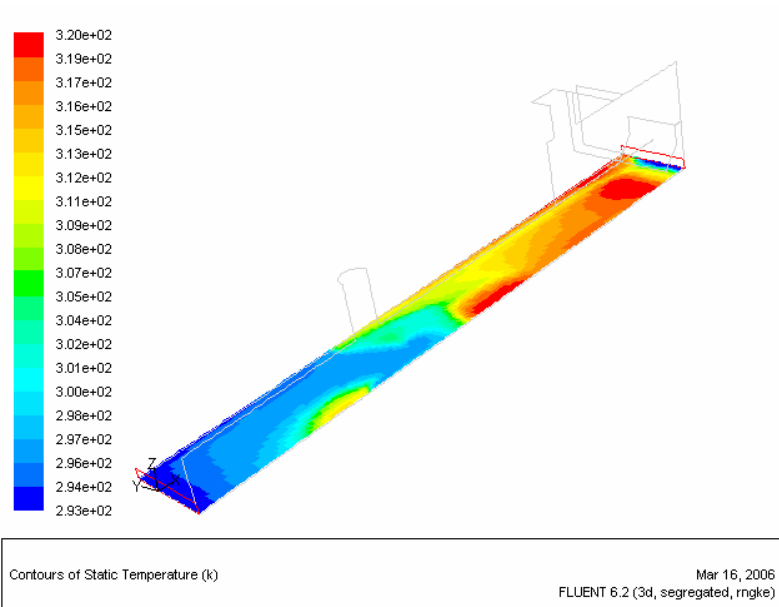
Simulointimallin kehitystyö jatkuu hankkeen päättymisen jälkeenkin. Haihtumisen selvittämisen lisäksi simulointia voidaan käyttää kuivausuunien virtausten ja lämpötilajakauman todentamiseen. Pelkästään näillä tiedoilla voidaan uunia säätää esimerkiksi tasaisemmin jakautuvan puhalluksen saavuttamiseksi.

Simulointiohjelmalla on aloitettu erilaisten uunikonstruktioiden mallinnus. Kuvissa 29 ja 30 on esimerkki laminaariuunin lämpötilan jakautumisesta uunin eri taseilla. Ensimmäisessä kuvassa uunin poisto ja tulo ovat tasapainossa, jolloin korvausilmaa ei virtaa uuniin uunin päistä. Lämpötila on uunissa melko tasainen vaihdellen 30 - 50 asteen välillä. Toisessa kuvassa puolestaan uunin poisto on tuloa suurempi, joten uuni imee korvausilman hallitilasta. Uunin alkupään siniset alueet ovat alle 30

asteisia, joten käytännössä kappale kulkee halli-ilmassa lähes uunin puoliväliin eli poistoilman imuun asti. Uunin loppupäässä halli-ilma ei vaikuta, koska ohjauspelti ja voimakas tulovirtaus estävät halli-ilman pääsyn uuniin.



KUVA 29. Lämpötila laminaariuunissa, kun uunin päistä ei tule halli-ilmaa uuniin.



KUVA 30. Lämpötila laminaariuunissa, kun uuni imee korvausilman uunin päistä.

5.9 Liutinainealtistuminen ja torjuntatoimet

Pintakäsittelylaitoksen työoloja kemiallisten altisteiden osalta selvitetiin Työterveyslaitoksen toimesta. Työterveyslaitoksen osuus hankkeessa kohdistui liutinaineiden aiheuttamien haittojen ja niiden pienentämiseen tähtäävien torjuntatoimien selvittämiseen pintakäsittelylinjoilla. Hankkeen edellisessä vaiheessa mukana olleissa yrityksissä oli selvitetty pintakäsittelylinjalla työskentelevien altistumistasot. Hankkeen toisessa vaiheessa keskityttiin liutinaineiden terveysvaikutusten selvittämiseen ja altistumisen vähentämiseksi tehtiin torjuntakokeiluja laboratorio-olosuhteissa ja työpaikoilla. Hankkeen aikana osallistuttiin myös kahteen seminaariin, joissa esiteltiin liutinainealtistumiseen ja torjuntatoimin liittyviä tuloksia. Hankkeessa selvitetiin myös pintakäsittelyalan vetovoimaisuutta yrityksiin tehdyn vetovoimaisuuskyselyn avulla.

5.9.1 Liutinainealtistumisen terveyshaitat

Orgaaniset liutinaineet ovat nestemäisiä yhdisteitä, joilla liutetaan tai ohennetaan veteen liukenemattomia aineita. Useimmat niistä haihtuvat nopeasti huoneenlämmössä. Liutinaineita käytetään usein seoksina. Liutinaineet esiintyvät käyttötavasta riippuen ilmassa joko höyrynä tai sumuna. Altistumisen tasoon vaikuttavat aineen käyttömäärän ja työskentelytavan lisäksi liutinaineen haihtuvuus ja altistumistapa.

Yleisimmin liutinaineille altistutaan hengitysteitse, jolloin hengitystiheyden nousu fyysisesti rasittavassa työssä lisää altistumista. Ihon kautta altistutaan etenkin nestemäisiä liutinaineita käsiteltäessä, mutta jotkin liutinaineet, kuten glykolieetterit voivat imeytyä ihon läpi myös höyrynä. Imeytymistä ihon ja hengityselinten kautta edesauttaa liutinaineiden rasvaliukoisuus. Monet liuottimet voivat vaikuttaa molemmilla tavoilla. Iho- ja hengitystiealtistumisen lisäksi liutinaineita voi kulkeutua elimistöön myös suun kautta. Puutteellisesta käsihygieniasta voi johtua, että liutinaineita pääsee ruokailun yhteydessä kulkeutumaan käsiltä ruoansulatuselimistöön. Myös tupakointi likaisilla käsillä voi aiheuttaa liutinaineiden kulkeutumista tupakansavun mukana elimistöön.

Liutinaineille altistumisen välittömiä terveysvaikutuksia ovat silmien sidekalvon, nenän ja nielun limakalvojen sekä hengitysteiden ärsytysoireet. Liutinaineiden hengittäminen vaikuttaa hermostoon aiheuttaen akuutteina oireina huimausta, päänsärkyä, huonovointisuutta, väsymystä ja huumausta. Roiskeet ärsyttävät silmiä ja nesteiden käsittely kuivattaa ihoa. Äkillinen, yleensä tapaturmainen altistuminen erittäin suurille liutinhöyrypitoisuuksille voi johtaa myrkytystilaan, jopa tajuttomuuteen. Lyhytaikaisen altistumisen oireet ovat yleensä ohimeneviä

Toistuva liutinainealtistuminen voi vahingoittaa hermostoa. Oireita ovat väsyneisyys, päänsärky, muistin ja keskittymiskyvyn heikkeneminen, unihäiriöt ja ärtyneisyys. Lisäksi voi esiintyä näköhäiriöitä, näkökentän supistumista ja värinäön muutoksia. Jatkuva tai toistuva ihokosketus voi aiheuttaa ihon tulehdusta, hilseilyä tai kuivumista. Pitkäaikaisen altistumisen aiheuttamat vaikutukset ovat osittain pysyviä

Kaikkien yksittäisten liuottimien vaikutuksesta lisääntymisterveyteen ei ole tietoa, mutta orgaanisten liutinaineiden katsotaan olevan perimälle, sikiölle ja lisääntymiselle vaaraa aiheuttavia aineita (TMp 1044/1991). Raskaana olevien naisten ei tule työskennellä työoloissa, joissa altistutaan liutinaineille, joiden pitoisuudet ovat 10 % tai enemmän HTP-arvosta. Raskaana olevien naisten ei tule lainkaan työskennellä tehtävissä, joissa voi altistua Suomessa tai EU:ssa syöpävaarallisiksi luokitelluille liuottimille (VNa 1335/2004).

Puunjalostusteollisuuden pintakäsittelyssä työskentelevien liutinainealtistumisesta ja sen aiheuttamista terveyshaitoista ei ole tehty tutkimusta. Rakennusteollisuudessa toimivien rakennusmaalarien työperäisen liutinainealtistumisen terveysvaikutuksista sen sijaan on vuonna 2005 valmistunut Työterveyslaitoksen julkaisema Ari Kaukiaisien väitöskirja. Rakennusmaalarien työolot poikkeavat pintakäsittelyn työoloista, mutta kummassakin altistutaan liutinaineille, joten tutkimuksen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina myös pintakäsittelyn työoloja tarkasteltaessa. Tutkimuksessa lähetettiin 1000 rakennusmaalarille ja 1000 kirvesmiehelle kyselylomake tarkoituksena selvittää aiemman ja viimeaikaisen liutinainealtistumisen aiheuttamia hermosto-oireita. Edelleen haluttiin selvittää

maalareiden työhön liittyvien hengitystieoireiden ja -sairauksien ja käsi-ihottuman esiintymistä.

Tutkimuksessa havaittiin muu muassa, että pitkäaikaisen liuotinaltistumisen voimakkuuden ja muisti-, keskittymis- ja mielialaoireiden välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkittäviä yhteyksiä. Rakennusmaalarit ilmoittivat myös merkitsevästi useammin astman kaltaisia hengitystieoireita ja nuha-, kurkku- ja silmäoireita kuin kirvesmiehet. Käsi-ihottuman ja kroonisen bronkiitin riski oli rakennusmaalareilla noin kaksinkertainen kirvesmiehiin verrattuna. Sen sijaan allergisen nuhan, allergisen silmätulehduksen ja keuhkoastman suhteen maalarit eivät eronneet kirvesmiehistä. Maalarivuosien määrän ja kroonisen bronkiitin, pitkittyneiden nuhaoireiden ja silmien ärsytysoireiden välillä todettiin annos-vaste -suhde.

Maalarivuodet eivät vaikuttaneet käsi-ihottuman esiintymistä lisäävästi. Käsi-ihottuman riski oli suurin maalareilla, jotka käyttivät päivittäin liuotinhenteisiä epoksi- ja uretaanimaaleja. Päivittäin vesiohenteisiä kittejä ja tasoitteita käyttävillä maalareilla puolestaan oli kaksinkertainen käsi-ihottuman riski kirvesmiehiin verrattuna. Vesiohenteisten maalien päivittäinen käyttö ei lisännyt käsi-ihottuman riskiä.

Kahdessa uudessa visuaalisen haun testeissä pitkäaikaisesti liuottimille altistuneet työntekijät olivat merkittävästi hitaampia kuin altistumattomat verrokkihenkilöt. Kontrastiherkkyydestä ero oli pienempi, mutta altistuneiden tulokset olivat tässäkin huonompia.

Elinaikana kertyvällä liuotinainealtistumisella ja pitkäaikaisilla hermostovaurio-oireilla on annos-vaste -suhde. Pelkästään vesiohenteisilla maaleilla työskentely ei näyttänyt aiheuttavan hermosto- ja ihovaikutuksia. Vesiohenteiset kitit ja tasoitteet ovat uusi riskitekijä. Niiden ärsyttäviä ja herkistäviä vaikutuksia ihoon ja hengitysteihin tulisi tutkia tarkemmin samoin kuin niiden vaikutuksia ihoon ja hengitysteihin. Tasoite- ja hiontatöihin liittyvien työmenetelmien ja henkilökohtainen suojautuminen tulisi arvioida uudelleen

Tutkimus tukee osaltaan käsitystä, jonka mukaan liuotinainealtistumiseen liittyvät terveyshaitat voivat olla laaja-alaisia mukaan lukien vaikutukset aineenvaihduntaan ja sydän- ja verenkiertoelimistöön. Näissä tarkemmat vaikutusmekanismit ovat vielä selvittämättä. Hermostovaurioiden korjaamiseksi ei ole tehokkaita menetelmiä. Altistuminen tulisivin vähentää työhygieenisiin mittauksin, henkilökohtaisen suojautumisen ja työmenetelmien muuttamisen avulla.

5.9.2 Ammattitaudit puun pintakäsittelyssä

Tilastokeskuksen mukaan vuosina 1970-2000 puu- ja huonekalumaalausta suorittavilla maalareilla esiintyi ammattitauteja yhteensä 245 kappaletta. Näistä liuotinainesairauksia oli 37, ihottumia 48, hengitystieallergioita 22 kappaletta. Vastaavasti esimerkiksi rakennusmaalareilla vastaavana aikana esiintyi liuotinainesairauksia 121, ihottumia 257, hengitystieallergioita 45 kappaletta. Toimialalla työskentelevään henkilöstöön suhteutettuna puu- ja huonekalumaalausta suorittavilla maalareilla esiintyi enemmän ammattitauteja kuin rakennusmaalareilla. Kun ammattitautitapaukset esitetään 10 000 työntekijää kohti, niin vuosittain liuotinainesairauksia ilmaantuu puu- ja huonekalumaalausta suorittavilla maalareilla noin 30, ihottumia noin 50 ja hengitystieallergioita noin 9 kappaletta. Vastaavat luvut rakennusmaalareilla ovat 9, 25 ja 5.

5.9.3 Liuotinainealtistuminen puun pintakäsittelyssä

5.9.3.1 Liuotinainealtistumisen arviointi

Liuotinaineille altistumista voidaan tutkia ilmasta tehtävin liuotinainepitoisuusmittauksin tai verestä ja virtsasta tehtävän biologisen monitoroinnin avulla. Ilmasta tehdyt tutkimukset tukevat työsuojelun ja työterveyshuollon ennalta ehkäisevää roolia. Tällöin pyritään löytämään työolosuhteet tai työvaiheet, joissa työntekijöillä on mahdollisuus altistua suurille liuotinainepitoisuuksille. Ilman liuotinainepitoisuusmittaus voidaan toteuttaa joko työntekijän hengitysvyöhykkeeltä tai kiinteästä mittauspisteestä.

Hengitysvyöhykkeeltä tehty mittaus kuvaa työntekijän altistumista, kun taas kiinteiden mittauspisteiden avulla voidaan selvittää liuotainehöyryjen leviäminen ympäristöön. Päästölähteitä voidaan etsiä myös suoraan osoittavilla mittareilla. Liuotainaineet esiintyvät ilmassa usein seoksina, joten työntekijän hengitysvyöhykkeeltä tehtävät liuotainemittaukset kuvaavat altistumista liuotinseoksen kaikille aineille. Ilmamittausten avulla ei voida selvittää ihon kautta tapahtuvan altistumisen osuutta. Ihoaltistumista voidaan selvittää erilaisten iholle kiinnitettävien keräimien, teippien tai iholta tehtävien pesujen avulla.

Biomonitorointimenetelmiä on olemassa vain osalle liuotainaineita, eikä kerralla voida selvittää kaikkien elimistöön päässeiden liuotainaineiden määrää, jolloin tulos kuvaa vain osaa altistumisesta. Biomonitorointi ottaa kuitenkin huomioon kaikki altistumisreitit, kuten ihon, hengitysteitten ja suun kautta tapahtuvan altistumisen. Näin ollen tulos kuvaa todellista altistumista kyseiselle liuotainaineelle. Biomonitorointi on myös ainoa tapa selvittää henkilökohtaisen suojautumisen toimivuutta.

Altistumisen haitallisuuden arviointia varten on suurimmalle osalle liuotainaineita käytettävissä työhygieeniset vertailuarvot eli haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (jatkossa HTP). HTP-arvot ovat Sosiaali- ja terveysministeriön arvioita työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden terveydelle, turvallisuudelle tai lisääntymisterveydelle. Ne on vahvistettu työturvallisuuslain (378/2002) 38 § 4 momentin nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (109/2005). Työnantajan on otettava ne huomioon työn vaarojen selvittämisessä ja arvioinnissa sekä työympäristön suunnittelussa työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioidessaan. Vaikutuksia, joita altistuminen voi aiheuttaa herkissä (atoopikot, erilaisia sairauksia potevat ym.) työntekijöissä ei yleensä ole voitu ottaa huomioon HTP-arvoja asetettaessa, joten työnantajan tulee arvioida herkkien työntekijöiden osalta työpaikan ilman haitallisuus erikseen.

Liuotainaineiden haitallisen vaikutuksen ilmaantuminen riippuu pitoisuuden lisäksi altistusajasta. 8 tunnin HTP-arvot (HTP_{8h}) on yleensä asetettu ottaen huomioon

liuottimien pitkäaikaisvaikutukset, kun taas 15 minuutin HTP-arvoissa (HTP_{15min}) on pyritty ottamaan huomioon liuotinaiden äkilliset, esimerkiksi huumaavat, vaikutukset. Suurimmalle osalle liuotinaiteista on HTP-arvot asetettu niiden samanlaisten hermostollisten vaikutusten vuoksi. Liuotinaiteiden samankaltaisten terveysvaikutusten johdosta käytetään liuotinaiseosten haitallisuutta arvioitaessa hyväksi summaussääntöä. Summaussäännön avulla yksittäisten liuotinaiteiden pitoisuuksien osuudet niiden HTP-arvosta lasketaan yhteen seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$C_1/HTP_1 + C_2/HTP_2 + C_3/HTP_3 + \dots + C_i/HTP_i + \dots + C_n/HTP_n \geq 1, \text{ missä}$$

C = tutkittavan aineen pitoisuus ilmassa

HTP = haitalliseksi tunnettu pitoisuus

Hengitysilman katsotaan tällöin olevan haitallista, jos osuuksien summa on ≥ 1 .

Biologisille mittauksille on annettu kahdenlaisia viitearvoja: altistumattomien viiteraja ja biomonitoinnin toimenpideraja. Altistumattomien viiteraja tarkoittaa pitoisuutta, joka ei yleensä ylitä työssään ao. kemikaalille altistumattomilla suomalaisilla. Viiterajat on tarkoitettu altistuneen yksilön tunnistamiseksi altistumattomista. Työssään altistuvien biomonitoinnin toimenpideraja puolestaan edustaa arvoa, jonka ylittämistä ei pidetä suositeltavana.

Työntekijän altistumista liuotinaiteille hengitysilman tai ihon kautta voidaan arvioida taulukon 7 mukaisesti. Taulukossa altistuminen on luokiteltu terveysvaaran kannalta neljään luokkaan (Lähde: Sihvonen S, Laitinen J, Liesivuori J. Kemikaalialtistumisen arviointi työpaikoilla ja työsuojelutarkastus. Työhallinnon julkaisu 76. Työministeriö, Tampere 1994).

TAULUKKO 7. Altistumisen luokittelu hengitysilman liuotainainepitoisuuden ja ihoaltistumisen mukaan.

1. Vähäinen	Esim. hengitysilman kautta altistumisen taso alle 25 % HTP:sta tai ihoaltistuminen vähäistä
2. Kohtalainen	Esim. hengitysilman kautta altistumisen taso 25-50 % HTP:sta tai ihoaltistuminen toistuvaa
3. Merkittävä	Esim. hengitysilman kautta altistumisen taso 51-99 % HTP:sta tai iho altistuu lähes päivittäin suuren osan aikaa ihoa vahingoittavalle kemikaalille
4. Liiallinen	Esim. hengitysilman kautta altistumisen taso ylittää HTP:n tai iho-oireita on ilmaantunut

5.9.3.2 Altistuvien lukumäärä

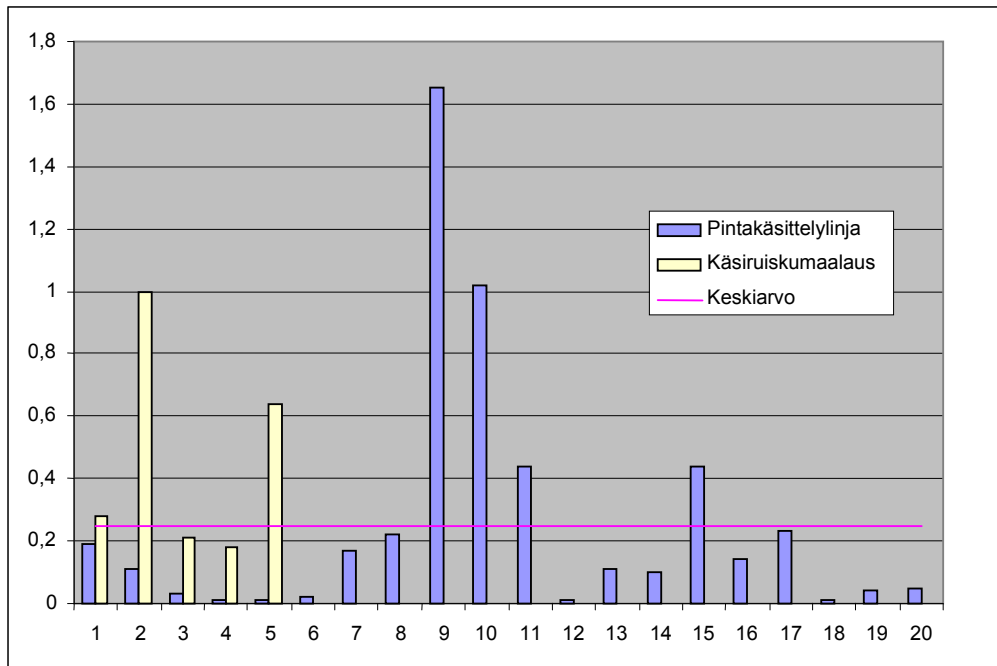
Useassa työssä altistuneiden työntekijöiden osuus altistavassa ammatissa toimivista on vähentynyt, sillä liuotainaineita sisältäviä tuotteita on korvattu täysin liuotinvapailta tuotteilla tai vähän liuotainaineita sisältävillä tuotteilla. Puusepäntuotteiden valmistusta tekevillä työpaikoilla noin 50 % maaleista ja lakoista on nykyään vesiohenteisia. Liuotainaineille altistumista ovat vähentäneet myös automatisoidut prosessit ja henkilökohtaisen suojautumisen parantuminen.

5.9.3.3 Altistumisen taso

Työterveyslaitoksen vuosina 1994 – 2003 puusepäntuotteiden valmistusta tekevillä työpaikoilla mittaamista liuotainainehöyryjen yhteispitoisuuksista 3 % ylitti liuotainaineseoksen HTP-arvon. 2000-luvulla HTP-arvojen ylityksiä ei ole tapahtunut. Vuosittaiset keskiarvopitoisuudet kyseisenä ajankohtana vaihtelivat 0,1 - 0,4. Pitoisuudet ovat olleet kasvusuunnassa 2000-luvulla.

Kuvassa 31 on esitetty hankkeessa mukana olleiden yritysten työntekijöiden hengitystievyöhykkeeltä mitattujen liuotainaineiden yhteispitoisuudet. Suurin osa mittauksista on tehty pintakäsittelylinjan työntekijöiltä ja osa käsiruiskumaalasta tehneiltä maalareilta. Yhteispitoisuuden raja-arvon (1.0) ylittävät pitoisuudet tarkoittavat, että niiden mittauksen kohdalla liuotainaineiden yhteispitoisuudelle annettu

haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP_{8h}) on ylittynyt. Kuvaan on merkitty myös kaikkien mittausten keskiarvo 0,25.



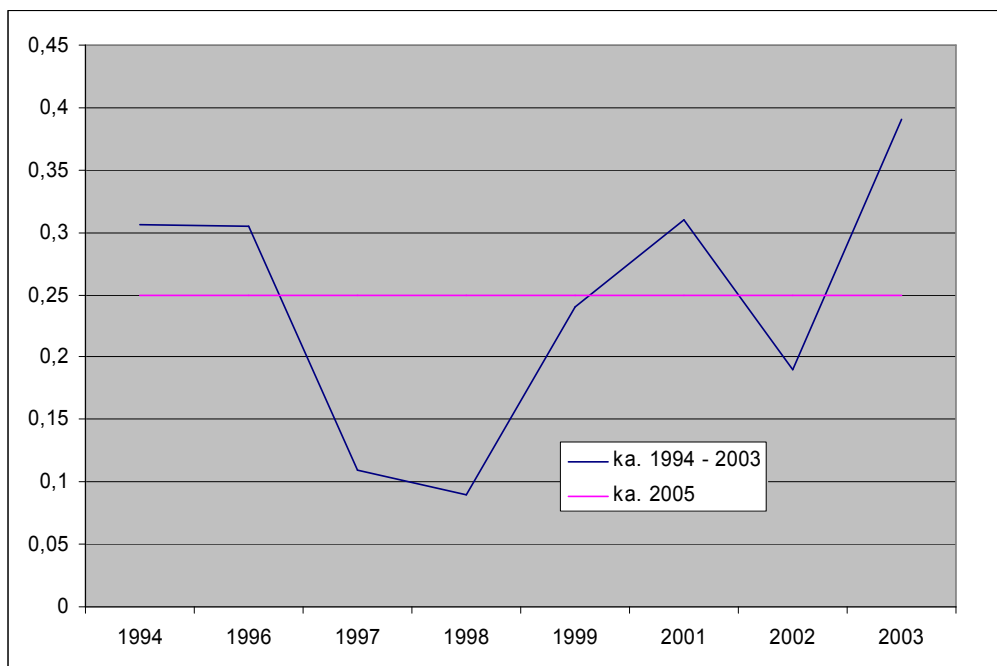
KUVA 31. Pintakäsittelylinjoilla ja ruiskumaalauksessa työskentelevien työntekijöiden hengitystievyöhykkeeltä hankkeen A-osassa mitattujen liuotinaineiden yhteispitoisuudet.

Hengitysteitse tapahtuva altistuminen oli kahdeksassatoista tapauksessa vähäistä (< 25 % HTP :sta), kolmessa kohtalaisista (25-50 % HTP :sta), yhdessä merkittävää (51-99 % HTP :sta) ja kolmessa liiallista (yli HTP :n). Kun lisäksi otetaan huomioon toistuva ihoaltistuminen, nousee myös niiden työntekijöiden, joilla hengitysteitse tapahtuva altistuminen oli vähäistä, altistustaso kohtalaiseksi.

Eniten altistuivat käsiruiskumaalarit ja maalauslinjan hoitajat. Syöttöä ja vastaanottoa tehneet altistuivat vähemmän. Työntekijöiden altistuminen vesiohenteisia maaleja käytettäessä oli huomattavasti pienempää kuin liuotinainepohjaisia maaleja käytettäessä. Eniten altistavia työtehtäviä olivat laitepesut, huollot ja maalinsekoitukset, joita tehtäessä altistumiset ovat hetkellisesti suurempia. Huoltomiesten altistumista ei selvitetty, mutta esimerkiksi pintakäsittelylinjan häiriötilanteita selvitettyä liuotinainepitoisuudet voivat ylittää niille annetut hetkellisen pitoisuuden HTP_{15min} -arvot.

Kiinteissä mittauspisteissä liuotainepitoisuudet olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta samaa luokkaa kuin hengitysvyöhykkeeltä mitatuissa henkilökohtaisissa näytteissä. Muutamassa yrityksessä pintakäsittelylinjoilta pääsi ympäristöön liuotainehuujuja siinä määrin, että pitoisuudet kiinteissä mittauspisteissä ylittivät HTP-arvon. Näistä vuotokohdista sisäilmaan vapautuvat liuotainehuurut sekoittuvat yleisilmanvaihdon vaikutuksesta tehokkaasti koko työtilaan. Pitoisuuksien vähentämiseksi olisikin tärkeää, että nämä vuotokohdat saadaan hallintaan esimerkiksi kotelointia ja kohdeilmanvaihtoa parantamalla.

Hankkeessa tehtyjen kokonaisliuotainepitoisuusmittausten keskiarvo oli 0,25. Vertailun vuoksi kuvassa 32 on esitetty keskiarvot Työterveyslaitoksen Suomessa tekemistä kokonaisliuotainepitoisuusmittauksista pintakäsittelyä suorittavilla työpaikoilla vuosina 1994 - 2003. Kuvasta näkyy, että pitoisuudet ovat vuosien aikana vaihdelleet, mutta trendi on kuitenkin mieluummin nouseva kuin laskeva. Nyt tehtyjen mittausten keskiarvo noudattelee tätä linjaa.



KUVA 32. Työterveyslaitoksen pintakäsittelylinjoilla tekemien kokonaisliuotainepitoisuusmittausten keskiarvot vuosina 1994 - 2003.

5.9.3.4 Altistumiseen vaikuttavia tekijöitä

Hankkeen A-osan tulosten perusteella voidaan todeta, että puusepäntuotteita valmistavien yritysten pintakäsittelylinjoilla liuotinaineille altistuivat eniten maalauslinjan hoitajat ja käsiruiskumaalarit. Syöttö- ja vastaanottopäässä altistuminen oli vähäisempää. Altistavimpia työtehtäviä olivat erilaiset laitepesut ja huollot sekä maalinsekoitus. Koneiden ja laitteiden huolto on erityisen riskialtista liuotinainealtistumisen kannalta, koska monissa yrityksissä ei nykyään enää ole erityisiä huoltohenkilöitä, vaan pintakäsittelylinjalla työskentelevät työntekijät tekevät huoltoja ja korjauksia niin pitkälle kuin mahdollista itse. Ilman suojautumista työntekijät voivat tällöin altistua suurillekin hetkellisille liuotinainepitoisuuksille.

Tyypillisiä liuotinaineiden päästölähteitä pintakäsittelytiloissa ovat puutteellisesti koteloidut linjan osat, avonaiset maaliastiat, maalinsekoituspisteet, käsiruiskumaalausasteet ja pinnavaunukuivaus. Etenkin pintakäsittelylinjojen niiden osien koteloiminen, missä tuotteet ovat vielä märkiä ja niistä haihtuu voimakkaasti liuottimia, olisi erittäin tärkeää altistumisen vähentämiseksi. Koteloinnin toteuttaminen alipaineistamalla vähentää liuotinainehöyryjen vapautumista entisestään. Hankkeessa mukana olleissa yrityksissä kaikissa esiintyi pintakäsittelytiloissa avoimia astioita, joista pääsi haihtumaan liuotinaineita tuotantotiloihin. Osa avoimista astioista oli täysiä odottamassa käyttöä, mutta tuotantotiloissa oli myös paljon tyhjiä astioita, jotka oli jätetty haihtumaan kuiviin ennen niiden varastointia. Yhteensä näiden avonaisten astioiden pinta-ala on suuri, joten niistä vapautuu huomattavia määriä liuotinaineita tuotantotiloihin. Näiltä osin liuotinaineiden pääseminen työilmaan voitaisiin estää helposti pitämällä astiat suljettuina ja varastoimalla tyhjät astiat niitä varten erikseen suunniteltuun tilaan.

Käsiruiskupisteistä, jos ne sijaitsevat pintakäsittelylinjan kanssa samoissa tiloissa vapautuu liuotinainehöyryjä, jotka vaikuttavat myös pintakäsittelylinjan henkilöstön altistumiseen. Näin tapahtuu jossain määrin, vaikka käsiruiskupisteen kohdepoisto olisikin hyvin toteutettu. Tästä syystä käsiruiskupisteet tulisivat sijoittaa erilleen pintakäsittelytiloista omaan sitä varten suunniteltuun tilaan. Valitettavasti useissa kohteissa käsiruiskupisteiden ilmanvaihto ei ollut kunnolla toteutettu ja niissäkin,

joissa kohdepoistot oli toteutettu hyvin, oli osassa kohdepoistoja suodattimet tukossa, joten ne eivät toimineet tarkoitetulla tavalla.

Muita altistumiseen vaikuttavia tekijöitä pintakäsittelylinjalla työskenneltäessä olivat hengityksensuojainten ja varsinkin suojakäsineiden käyttämättömyys työntekijöiden keskuudessa, vaikka kaikissa kohteissa oli työntekijöillä mahdollisuus käyttää niitä. Hengitysteitse tapahtuvan altistumisen mahdollisuuden tiedostivat lähes kaikki työntekijät, mutta ihon kautta tapahtuvaa altistumista ei useinkaan osattu tiedostaa. Suojainten käyttäminen näyttäisikin olevan kiinni tiedon lisäksi myös hyvin voimakkaasti sekä työntekijöiden että työnantajan asenteista.

Hengityssuojainten säilyttämisessä oli puutteita kaikissa työpaikoissa. Yleensä, kun niitä ei käytetty, ne oli jätetty tuotantotiloissa johonkin suojaamattomana, jolloin ilman epäpuhtaudet pääsivät laskeutumaan ja tarttumaan suojainten sisälle. Suojaamattomana säilytetyn likaisen hengityksensuojaimen käyttäminen altistaa työntekijän näin ollen juuri niille epäpuhtauksille, joita vastaan suojaimella pitäisi suojautua.

Itse pintakäsittelylinjoilla esimerkiksi ruiskuautomaattien suodattimet olivat joissakin tapauksissa tukossa, jolloin liuotainaineita pääsi niiden koteloidusta rakenteesta huolimatta työilmaan. Erityisesti tämä on ongelma silloin kun työntekijä aukaisee ruiskuautomaatin puhdistustöitä varten. Jos työntekijällä ei tällöin ole hengityksensuojain käytössä, voi hän altistua erittäin suurille hetkellisille liuotainainepitoisuuksille.

Kesällä pintakäsittelyhalleissa on yleensä erittäin kuuma. Tähän pyritään vaikuttamaan avaamalla ovia. Ovien avaamisesta kuitenkin seuraa, että ilmanvaihto pintakäsittelyhallissa ei enää toimi suunnitellulla tavalla, vaan epäpuhtaudet saattavat levitä tiloihin tavallisuudesta poiketen. Pintakäsittelyhalleissa säilytetään usein maali- ja lakkatynnyreitä enemmän kuin yhden päivän kulutuksen verran. Tämä lisää voimakkaasti palokuormaa.

5.9.3.5 Pintakäsittelyssä käytettävät maalit ja lakat

Vesiohenteiset maalit ja lakat

Maalit sisältävät monenlaisia aineosia: sideaineita eli polymeerihartseja, orgaanisia liuottimia, ohenteita, pigmenttejä, täyteaineita ja säilöntä ym. lisäaineita. Vesiohenteisten maalien sideaineena on yleensä polyvinyyliasetaatti (PVA-lateksi), polyakrylaatti (akryyllilateksi) ja niiden seokset esimerkiksi polystyreenin kanssa. Orgaanisia liuottimia vesiohenteisissa maaleissa on vähän, tavallisesti 0,5 – 2 %, erikoismaaleissa 2 – 5 %, lähinnä kalvonmuodostajina toimivia glykolieettereitä. Markkinoilla on myös täysin liuotteettomia maaleja, joissa orgaanisten aineiden (VOC) päästöt ovat niin pieniä, että ne luokitellaan parhaaseen materiaalipäästöluokkaan M1, jolloin mm. VOC-yhdisteiden kokonaisemissio on alle 1,2 mg/m²h.

Vesiohenteisissa lakoissa sideaineena on tavallisesti akrylaattia, uretaania tai niiden yhdistelmä. Nykyisissä lakoissa on muutamia prosentteja (n. 5 %) melko hitaasti haihtuvia orgaanisia liuotinaineita, mm. glykolyhdisteitä. Aiemmin (1980-luvulla) vesiohenteisissa parkettilakoissa oli kovetteena polyfunktionaalista atsiridiiniyhdistettä (PFA), joka aiheutti allergioita parkettimiehillä. Säilöntäaineina voi nykyisinkin olla bentsisotiatsolinonia tai muita isotiatsolinoneja, jotka ovat herkistäviä aineita.

Vesiohenteiset maalit ja lakat ovat yleistymässä puusepänteollisuudessa. Oikein käytettynä vesiohenteisten maalien ja lakkojen aiheuttamat terveyshaitat ovat varsin vähäisiä. Haihtuvien aineiden pitoisuudet ilmassa ovat pieniä (maaleilla usein alle 1 % ja lakoilla yleensä 1-5 % ohjearvoista). Ongelmia voivat aiheuttaa lähinnä herkistävät aineet. Ruiskumaalauksessa maali- tai lakka sumun pitoisuus on usein yli HTP-arvon, ja koska maaliumussa voi olla ärsyttäviä ja herkistäviä aineosia, tarvitaan maalatessa hengityksensuojaimia. Jotkin vesiohenteisissa maaleissa ja lakoissa esiintyvät liuotinaineet, esimerkiksi glykolyhdisteet kulkeutuvat melko helposti ihon läpi elimistöön. Tämän takia ihon suojaus on tärkeää.

Liutinohenteiset maalit ja lakat

Alkydimaalit ovat yleisimpiä liutinohenteisiä maaleja. Alkydihartsit valmistetaan moniarvoisesta alkoholista (esim. glyseroli), orgaanisesta haposta tai anhydridista (esim. ftaalihapponanhydridi), modifioituna öljyketjulla. Alkydimaalien liuottimena oleva lakkabensiini eli liuotinbensiinin kiehumisväli on noin 140-200 °C, ja aromaattisten hiilivetyjen osuus noin 17 %.

Alkydimaaleja levitetään siveltimellä, telalla ja ruiskulla. Tela- ja etenkin ruiskumaalauksessa käytettävät maalimäärät ja haihtuvan liuottimen määrä on huomattavasti suurempi kuin sivellinmaalauksessa. Tämä vaikuttaa sekä ilmanvaihdon että suojainten tarpeeseen. Liuotinbensiinin pitoisuus ilmassa nousee kuivumisen alkuvaiheessa ja on suurimmillaan noin ½-1 tuntia maalauksen lopettamisen jälkeen. Liuotinbensiini kuuluu ns. VOC-aineisiin, joiden käyttöä rajoitetaan myös ympäristösyistä.

Alkydeja käytettäessä ilmaan haihtuu liuotinbensiinihöyryjä. Niiden hengittäminen voi aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia ja huumauksen tunnetta. Pitkäaikainen voimakas altistuminen aiheuttaa osalle työntekijöistä pysyvän hermostovaurion. Iholle joutuessaan liuotinbensiini kuivattaa ihoa ja voi aiheuttaa ärsytysihottumia.

Ohjearovot voivat ylittyä mm. alkydeilla tehdyssä ruiskumaalauksessa, ja huonosti tuulettuvissa tiloissa myös telamaalauksessa. Hyvin tuulettuvissa tiloissa liuotinbensiinipitoisuudet ovat yleensä alle puolet HTP-arvosta. Ruiskumaalauksessa ilmaan leviää myös maalisumua, jolta maalarin tulee myös suojautua. Paljon liuotintyötä tekevien terveydentilaa tulee seurata työterveyshuollossa.

Epoksituotteet, myös **epoksimaalit**, ovat edelleen yleinen allergisten ihottumien, astman ja allergisen nuhan aiheuttaja. Epoksimaaleja käytettäessä tulee aina perehtyä käyttöturvallisuustiedotteeseen ennen tuotteen käyttöä. Tiedotteesta löytyy tietoa kemikaalien haitoista, oikeista työ- ja käsittelymenetelmistä ja suojautumisesta.

Kaikissa epoksituotteissa tarvitaan kovetin. Nykyiset kovetteet ovat amiiniyhdisteitä, aminoaddukteja tai polyamiineja. Tyypillinen amiinikovete sisältää isoforonidiamiinia.

Vesiohenteisissa epoksimaaleissa ja liuotteettomissa epoksimaaleissa epoksihartsiosa on nestemäistä ja aiheuttaa yleisesti ihoallergioita, jos ihoa ei suojata. Liuotinmaalien kiinteä epoksihartsi on allergisilta ominaisuuksiltaan nestemäisiä epokseja vähemmän haitallinen, mutta voi kuitenkin aiheuttaa oireita. Ruiskumaalauksen maalisumu voi myös aiheuttaa sekä ihon että hengitysteiden altistumista herkistäville aineille. Epoksimaalien ruiskutussumu ja roiskeet myös ärsyttävät silmiä ja hengitysteitä.

Liuotinohenteisissa epoksimaaleissa käytetään runsaasti nopeasti haihtuvia liuottimia: aromaattisia hiilivetyjä kuten tolueenia ja ksyleeniä, erilaisia alkoholeja ja ketoneita. Epoksimaalien käyttäjillä terveysvaikutukset (huumaus, ärsytys, pahoinvointi, jatkuvassa altistuksessa jopa hermostovauriot) ovat voimakkaampia kuin alkydimaaleilla. Paljon liuotintyötä tekevien terveydentilan seuranta työterveyshuollossa on tarpeen.

Liuotinohenteisiä **uretaanimaaleja** käytetään erikoiskohteissa. Niitä on yksi- tai kaksikomponenttisia. Liuotinperustaisissa maaleissa isosyanaatit ovat ongelma etenkin ruiskutustyössä, sillä ne sisältävät hengitysteitä herkistäviä isosyanaattiyhdisteitä. Vesiohenteisissa uretaanimaaleissa ei ole vapaata isosyanaattia, ja ne ovat käyttötilanteessa terveysvaikutuksiltaan rinnastettavissa muihin vesiohenteisiin maaleihin. Liuotinohenteissa uretaanimaali sekoitetaan käytön yhteydessä yleensä 3 komponentista:

- hartsi-pigmenttiosa (mukana liuottimia)
- kovetin isosyanaatti (yleensä heksametyleenidi-isosyanaatti eli HDI)
- ohenne esim. ksyleeni, tolueeni, etyyliasetaatti

Isosyanaatit, myös isosyanaattijohdokset eli esimerkiksi HDI:n esipolymeerit ovat voimakkaasti hengitysteitä herkistäviä. Pigmenteissä saattaa olla mukana myös myrkyllisiä metalliyhdisteitä, kuten lyijy- tai sinkkikromaattia. Kromaattit ovat syöpävaarallisia aineita ja niiden käytössä tulee harkita ASA-rekisteriin ilmoitustarvetta (altistumistaso, käyttökerrat/vuosi).

Maalin sekoituksessa ilmassa esiintyy liuotinhöyryjä, maalauksessa liuotinhöyryä ja ruiskutussumua, jossa on reaktiivisia isosyanaattiryhmiä.

Käyttöturvallisuustiedotteesta löytyy tietoa kemikaalien haitoista, oikeista työ- ja käsittelymenetelmistä ja suojautumisesta. Ennen liuotinpohjaisten uretaanimaalien käyttöön ottoa on tärkeää perehtyä huolella käyttöturvallisuustiedotteeseen. Yleensä valmistajat ovat tehneet tiedotteen erikseen hartsiosasta, kovetteesta ja ohenteesta.

Tuotteesta haihtuvien liuotehöyryjen ja ruiskutussumun hengittäminen voi ärsyttää hengityselimiä ja limakalvoja sekä aiheuttaa päänsärkyä ja huonovointisuutta. Pitkäaikainen suurten pitoisuuksien hengittäminen vaikuttaa huumaavasti ja voi aiheuttaa hermostollisia oireita, kuten väsyneisyyttä, hermostuneisuutta ja unen häiriöitä. Toistuva ihokosketus poistaa ihoa suojaavan rasvakerroksen ja voi aiheuttaa ärsytysihottumaa. Roiskeet ärsyttävät silmiä. Paljon liuotintyötä tekevien terveydentilaa tulee seurata työterveyshuollossa. Uretaanimaaleja käyttävien maalarien ihottumat ja hengitystieoireet tulee myös tutkia työterveyshuollossa.

Liuottimia sisältävät lakat ovat yleensä alkydilakkoja tai urea-alkydilakkoja. Niiden liuottimena ja ohenteena on yleensä liuotinbensini. Liuotinhenteisiä lakkoja käytettäessä tulee aina perehtyä käyttöturvallisuustiedotteeseen ennen tuotteen käyttöä. Tiedotteesta löytyy tietoa kemikaalien haitoista, oikeista työ- ja käsittelymenetelmistä ja suojautumisesta. Liuotinhenteiset lakat levitetään yleensä siveltimellä tai lastalla.

Lakoista haihtuvien liuotehöyryjen ja ruiskutussumun hengittäminen voi ärsyttää hengityselimiä ja limakalvoja sekä aiheuttaa päänsärkyä ja huonovointisuutta. Pitkäaikainen suurten pitoisuuksien hengittäminen vaikuttaa huumaavasti ja voi aiheuttaa hermostollisia oireita, kuten väsyneisyyttä, hermostuneisuutta ja unen häiriöitä. Lakkojen liuottimet ja ohenteet ovat hyvin helposti haihtuvia, joten niistä vapautuu nopeasti työilmaan suuri liuotinpitoisuus. Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien ylittäminen on melko tavallista. Paljon liuotintyötä tekevien terveydentilan seuranta työterveyshuollossa on tarpeen.

Toistuva ihokosketus lakkojen ja liuottimien kanssa poistaa ihoa suojaavan rasvakerroksen ja voi aiheuttaa ärsytysihottumaa. Roiskeet ärsyttävät silmiä.

Aiemmin paljon käytetyt ureaformaldehydilakat voivat aiheuttaa myös iho- ja hengitystieallergiaa.

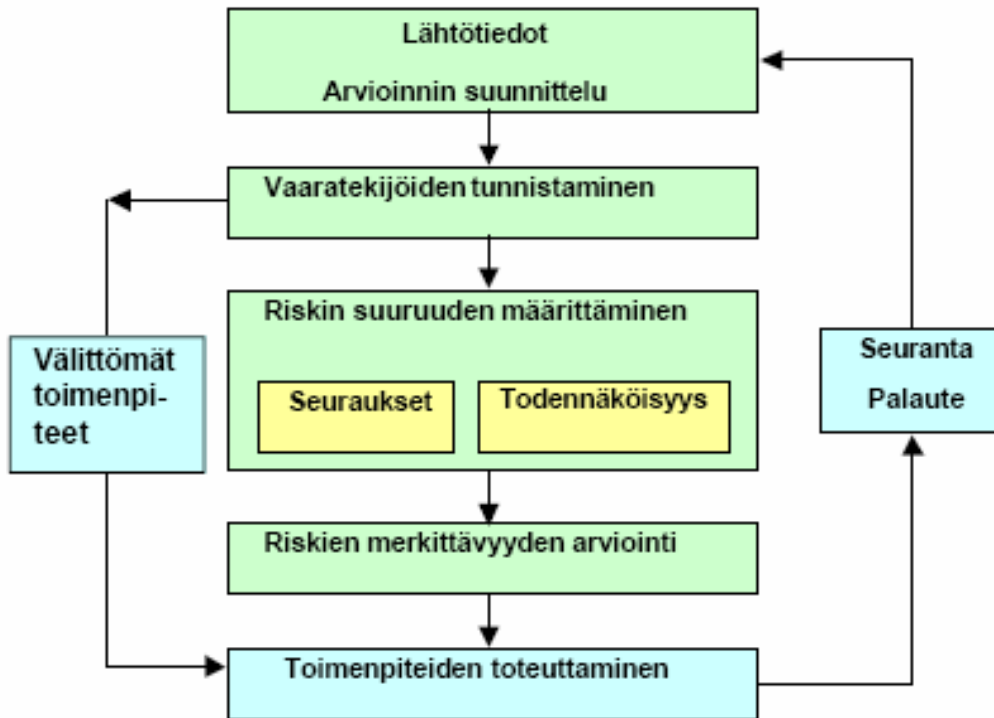
Lakkojen liuottimet ovat helposti syttyviä, ja lakkojen käsittelyssä ja varastoinnissa tulee ottaa huomioon tulenarkuus. Suurista kuivuvista lakkapinnoista haihtuva liuotinhöyry saattaa myös muodostaa syttyvän pitoisuuden.

5.9.5. Liuotainaineille altistumisen riskinarviointi

Työturvallisuuslain (738/2002, 10§) mukaan työilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen arviointi on työnantajan vastuulla. Eli työnantajan on selvitettävä ja tunnistettava työstä, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät. Milloin niitä ei voida poistaa, on arvioitava niiden merkitys työntekijän turvallisuudelle ja terveydelle. Työturvallisuuslain lisäksi valtioneuvosto on asetuksessaan 715/2001 antanut määräyksiä kemiallisten vaarojen tunnistamisesta, niihin liittyvien riskien arvioinnista ja mittauksista.

Ennen riskinarvioinnin suorittamista tulisi työpaikalla valita riskinarviointia toteuttamaan ryhmä jossa noudatetaan ns. PAT-periaatetta (**P**äätäjä, **A**siantuntijoita ja **T**oteuttaja). Ylimmän johdon tuki riskinarvioinnissa on välttämätöntä. Asiantuntijoina voidaan käyttää esimerkiksi yrityksen työsuojeluasiantuntijoita tai työterveyshuoltoa ja toteuttajat ovat työntekijöitä. Ryhmän on hyvä aluksi selvittää mistä riskinarvioinnissa on kysymys ja mitkä ovat riskinarvioinnin tavoitteet, miten arviointi toteutetaan sekä mitä riskinarvioinnista seuraa. Riskinarvioinnin tulisi olla työpaikan työterveyden ja -turvallisuuden perustyökalu, joka on kiinteä osa yrityksen johtamisjärjestelmää.

Riskinarvioinnin vaiheet on esitetty kuvassa 33.



KUVA 33. Riskinarvioinnin vaiheet

Suunnittelun ja esitietojen keräämisen jälkeen varsinainen luotinainealtistumisen riskinarviointi lähtee haittatekijöiden tunnistamisesta ja merkittävyyden arvioimisesta. Kemiallisten haittatekijöiden tunnistamisessa on tärkeää käytössä olevien vaarallisten aineiden tunnistaminen. Helpoiten se käy aineiden käyttöturvallisuustiedotteita tutkimalla. Käyttöturvallisuustiedotteen kohdasta 3 löytyy aineen varoitusmerkinnät, joita voidaan hyödyntää niiden haitallisuutta arvioitaessa. Aineita, jotka erityisesti tulisi ottaa huomioon kemikaalien terveysriskejä arvioitaessa ovat:

- syöpävaaralliset aineet
 - (Xn) R40, (T) R45, (T) R49
- herkistävät ja allergiaa aiheuttavat aineet
 - (Xn) R42, (Xi) R43
- perinnöllisyyteen ja lisääntymisterveyteen vaikuttavat aineet
 - (T) R46, (Xn) R68, (T) R60, (T) R61, (Xn) R62, (Xn) R63
- erittäin myrkylliset aineet
 - (T+) R26, (T+) R27, (T+) R28

Riskin merkittävyyttä arvioitaessa tulee selvittää kuka kemikaaleille voi altistua ja miten (hengitysteitse vai ihon kautta tapahtuva altistuminen). Kuinka usein altistutaan ja kuinka paljon kemikaalia käytetään eli mikä on arvioitu altistumistaso. Ovatko olemassa olevat varotoimet riittäviä vai pitäisikö varotoimia parantaa. Aina ei altistumistasoa voida työpaikalla riittävällä varmuudella arvioida. Tällöin voidaan suorittaa aineiden pitoisuusmittauksia ilmasta tai tutkia altistumista biologisesti verestä tai virtsasta.

Riskin suuruuden määrittäminen kemikaalialtistuksessa voidaan toteuttaa esimerkiksi taulukon 8 avulla (Lähde: Pääkkönen R, Rantanen S. Työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten riskien arviointi ja hallinta. Työterveyslaitos, Helsinki 1999.).

TAULUKKO 8. Yksinkertainen terveysriskien luokittelu kemikaalialtistuksessa. Luokittelu perustuu vaikutustietoihin altisteesta ja altistumistasoon. Riskin suuruutta ja toimenpiteiden tarvetta sekä kiireellisyyttä on arvioitava kokonaisuutena. Pitoisuus raja-arvoon suhteutettuna kuvaa seurausten todennäköisyyttä vain viitteellisesti.

Seuraukset	vähäiset	haitalliset	vakavat
Todennäköisyys	ohimenevä lievä sairaus, epämukavuus, ärsytys R20, 21, 22, 36, 37, 38	pitkäkestoisia vakavia vaikutuksia, pysyvät lievät haitat, palovammat, ihottumat R23, 24, 25, 33, 34, 40, 43, 48, 62, 63, 64	pysyvät vakavat vaikutukset, elämää lyhentävät sairaudet, myrkytykset, työperäinen syöpä R26, 27, 28, 35, 39, 41, 42, 45, 46, 49, 60, 61, 65
epätodennäköinen vakavat vaikutukset < 10 % HTP:sta, muut 10-50 % HTP:sta	ei toimenpiteitä (merkityksetön riski)	seuranta (vähäinen riski)	toimenpiteitä tarvitaan (kohtalainen riski)
mahdollinen vakavat vaikutukset 10 - 50 % HTP:sta, muut 50-100 % HTP:sta	seuranta (vähäinen riski)	toimenpiteitä tarvitaan (kohtalainen riski)	toimenpiteet välttämättömiä (merkittävä riski)
todennäköinen vakavat vaikutukset 50 - 100 % HTP:sta, muut yli HTP:arvon	toimenpiteitä tarvitaan (kohtalainen riski)	toimenpiteet välttämättömiä (merkittävä riski)	välittömät toimenpiteet (sietämätön riski)

Taulukon 8 avulla arvioitiin myös hankkeen A-osan aikana eri työpaikoilla tehtyjen liuotainemittausten perusteella altistumisesta työntekijöille aiheutuva terveyshaaitta. Kahdessa tapauksessa terveysriski oli kohtalainen. Muiden kohdalla terveysriskit olivat merkityksettömiä tai vähäisiä. Käsiruiskumaalarit altistuivat linjalla työskenteleviä enemmän, mutta myös heillä terveysriskit olivat vähäisiä yhtä maalaria lukuun ottamalla, jonka kohdalla terveysriski arvioitiin kohtalaiseksi. Kohtalaisen riskin kyseessä ollessa tarvitaan toimenpiteitä riskin alentamiseksi. Muissa tapauksissa riskin pitämiseksi alhaisena riittää seuranta. Olosuhteiden tai kemikaalien vaihtuessa tulee riski aina arvioida uudelleen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka liuotainainealtistumisesta aiheutuvat terveysriskit eivät olleet kovin korkeita, oli altistuminen joissakin tapauksissa merkittävää tai liiallista. Etenkin niiden työntekijöiden kohdalla, jotka eivät huolehtineet ihon suojauksesta altistuminen nousi suureksi.

5.9.6 Riskien hallinta

Kun työpaikan riskit on saatu arvioitua, tulee arviointiryhmän päättää riskin merkityksestä, eli laittaa riskit tärkeysjärjestykseen. Tätä varten selvitetään eri torjuntavaihtoehdot, niiden toteuttamiskelpoisuus ja kustannukset. Lisäksi tärkeysjärjestykseen vaikuttavat riskitaso ja altistuvien henkilöiden lukumäärä. Riskien torjuntaa lähdetään toteuttamaan tärkeysjärjestyksessä. Riskien priorisointi on tärkeää, koska kaikkia riskejä ei yleensä voida poistaa tai pienentää kerralla, vaan niitä toteutetaan ajan kanssa. Tällöin riskien vähentäminen aloitetaan tärkeimmästä päästä.

Torjuntatoimenpiteiden tulisi aina olla ensisijaisesti teknisiä. Tällaisia torjuntatoimia ovat esimerkiksi:

- aineesta luopuminen / korvaaminen vähemmän vaarallisella kemikaalilla
- työmenetelmien muuttaminen turvallisemmaksi, työpisteen suunnittelu
- automatisointi, ohjaus- ja valvontajärjestelmien käyttäminen
- tarkoituksen mukaiset laitteet ja niiden kunnossapito

- ilmanvaihdon parantaminen, kohdepoistot
- muut rakenteelliset ja tekniset suojelutoimenpiteet kuten osastointi ja kotelointi

Jos teknisillä toimenpiteillä ei altistumista voida kokonaan poistaa, voidaan riskiä yrittää pienentää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- altistuvien työntekijöiden lukumäärän vähentäminen
- altistumisen keston ja voimakkuuden vähentäminen
- henkilönsuojainten käyttö
- opetus ja ohjaus sekä omaksumisen varmistaminen
- ohjeet onnettomuus- ja vaaratilanteiden varalle
- työntekijöiden terveydentilan seuranta
- yhteistoiminta / tiedotus

Hengityksensuojainten tulisi aina olla toissijainen torjuntakeino, koska hengityksensuojain vaikeuttaa usein työskentelyä. Se lisää hengitysvastusta, painaa, rajoittaa näkemistä ja vaikeuttaa liikkumista sekä rajoittaa puheyhteyttä. Jos hengityksensuojaimiin kuitenkin joudutaan turvautumaan, niiden täytyy aina olla henkilökohtaisia. Erittäin tärkeää niiden käytön motivoinnin kannalta on, että käyttäjä pääsee itse vaikuttamaan suojaimen valintaan. Työnantaja vastaa aina henkilösuojainten hankinnasta, huollosta ja säilytyksestä aiheutuvista kustannuksista. Kaasunsuodattimilla varustetut moottoroidut hengityksensuojaimet ovat suosittuja, koska niissä puhdas hengitysilma tuodaan pumpun avulla työntekijän hengitysvyöhykkeelle, eikä hengitysvastusta näin ollen esiinny raskaassakaan työssä.

Hankkeen aikana ilmeni, että parhaat torjuntatoimet, joiden avulla pintakäsittelylinjojen liuotinainealtistumista voidaan vähentää, ovat liuotinainepohjaisten tuotteiden korvaaminen vesiohenteisilla, pintakäsittelylinjan märkääpään kotelointi ja ilmanvaihtotekniset ratkaisut.

Liuotinainepitoisuuksia vähentämällä vältetään niistä johtuvien sairauspoissaolojen aiheuttamat häiriöt tuotantoon ja kustannukset yritykselle

- työntekijän työpanoksen menetys, korvaavan työvoiman hankinta ja ylijäämien aiheuttamat kustannukset
- vaikutukset vakuutusmaksuihin ja työterveyshuollon kustannuksiin

Vaikka liuotinaineiden aiheuttamat terveyshaitat työpaikalla olisivat vähäisiä, kannattaa niitä kuitenkin pyrkiä edelleen vähentämään, koska puhtaalla työympäristöllä on todettu olevan vaikutuksia työntekijöiden toimintakykyyn ja viihtyvyyteen. Nämä tekijät puolestaan vaikuttavat tuottavuuteen.

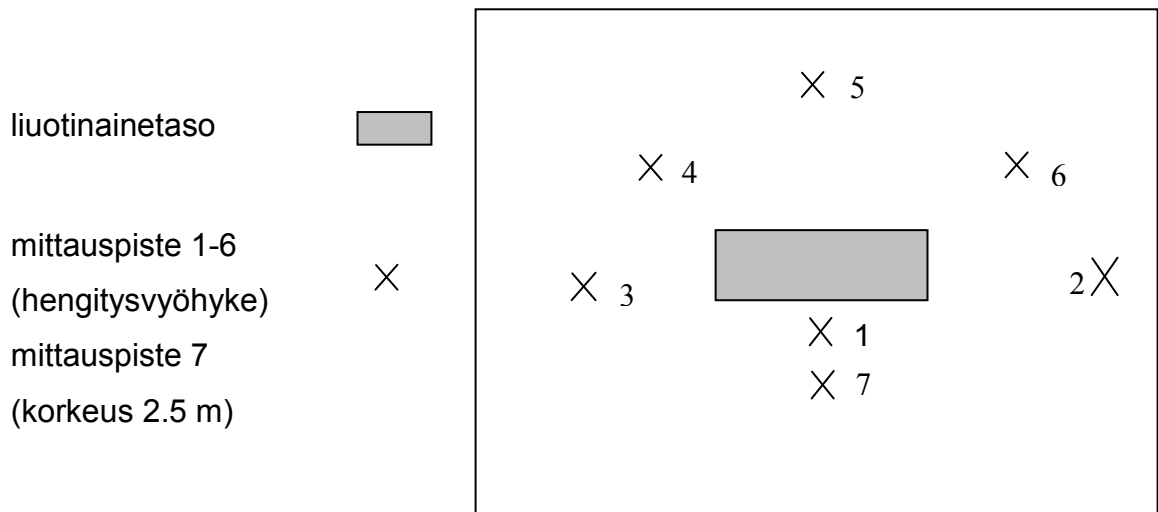
5.9.7 Torjuntakokeilut laboratoriossa

5.9.7.1 Yleistä

Alipaineistetun koteloinnin merkitystä työskentelyvyöhykkeen pitoisuuksiin tutkittiin Työterveyslaitoksen ilmastointilaboratorion koehallissa. Koteloinnin tehokkuutta tutkittiin ilman häiriövirtausta ja häiriövirtauksen kanssa eri otsapintanopeuksilla (poistoilmavirroilla).

5.9.7.2 Mittausjärjestelyt

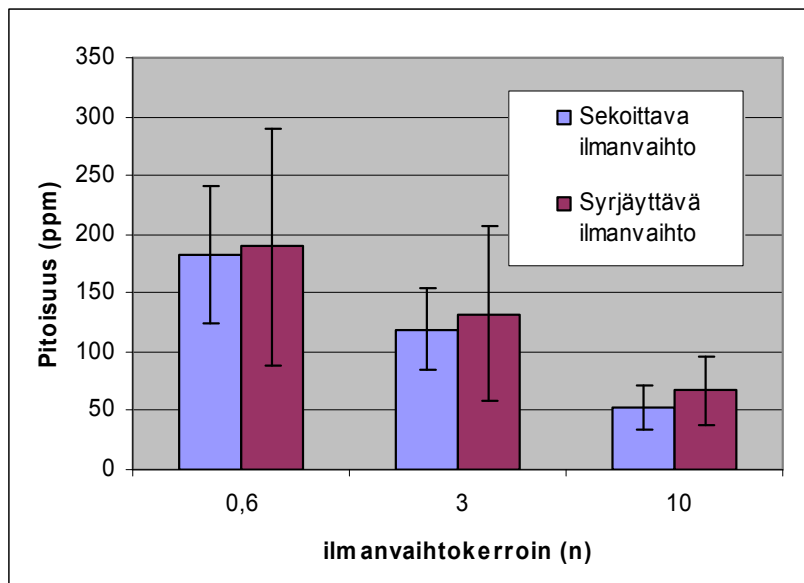
Mittaukset tehtiin koehallissa, jonka lattiapinta-ala oli 50 m², korkeus 6 m ja tilavuus 450 m³. Testeissä koehallin keskelle rakennetun tason päälle levitettiin ohut kerros asetonia. Asetonin pitoisuutta ilmassa mitattiin rekisteröivällä mittalaitteella (PGM-7600 MiniRae 2000) seitsemästä eri pisteestä (kuva 34). Ilmanvaihtokerroin kokeissa oli 0,6, 3 tai 10 vaihtoa tunnissa. Liuotinaineen päästö määritettiin punnitsemalla haihtunut liuotinaineen määrä kokeen aikana. Kokeet tehtiin ilman kotelointia ja koteloinnin kanssa. Koteloinnin poistoilmavirtaa ja otsapintanopeutta muutettiin. Koteloinnin poistoaukkoihin osassa testejä aiheutettiin myös häiriövirtaus, jonka suuruus oli 0,5 m/s.



KUVA 34. Laboratoriossa tehtyjen pitoisuuskokeiden mittausasetelma.

5.9.7.3 Ilmanvaihdon laboratoriomittausten tulokset

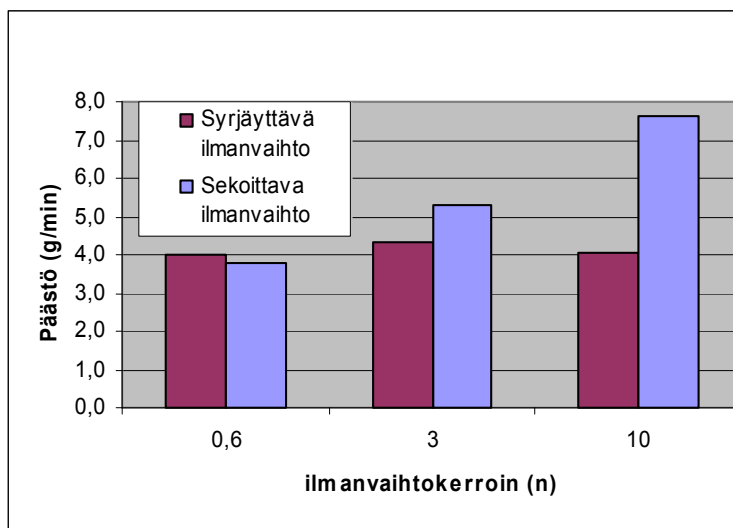
Ilmanjakotavalla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta pitoisuuteen hengitysvyöhykkeellä, kun ilmanvaihtokerroin oli sama (kuva 35). Ilmanvaihtokertoimen vaikutus pitoisuuksiin oli sen sijaan merkittävä.



KUVA 35. Hengitysvyöhykkeen epäpuhtauspitoisuuden keskiarvo ja hajonta riippuen ilmanjakotavasta ja ilmanvaihtokertoimesta.

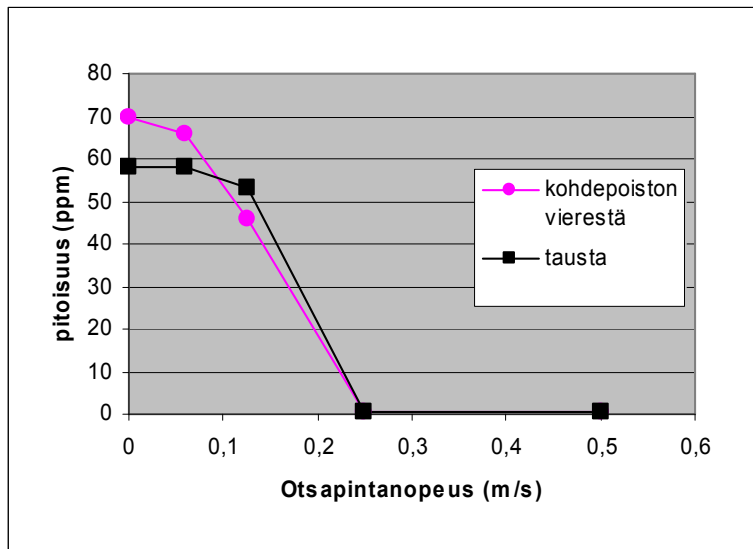
Ilmanjaolla oli suuri vaikutus päästölähteen voimakkuuteen, erityisesti sekoitusperiaatetta sovellettaessa. Ilmanvaihtokertoimen kasvattaminen lisäsi päästöä pinnasta ilmaan, koska ilmavirtaukset pintojen välittömässä läheisyydessä voimistuivat (kuva 36). Ilmanjakoa suunniteltaessa onkin huolehdittava, että alueille, joissa on koteloimattomia päästöpinnoja, ei sijoiteta tuloilmanjakolaitteita ja huolehditaan lisäksi, että läheiset tuloilmasuihkut eivät aiheuta ilmavirtauksia pintojen välittömässä läheisyydessä.

Syrjäyttävä ilmajakotapa aiheutti vähemmän päästöjä ilmaan kuin sekoittava ilmajakotapa (kuva 36). Tästä huolimatta pitoisuudet hengitysvyöhykkeellä eivät alentuneet sekoittavaan ilmankokoon verrattuna (kuva 35). Jos päästöjen läheisyydessä ei ole lämmönlähteitä, jotka aiheuttavat ylöspäin kohoavia konvektiovirtauksia, jäävät päästöt helposti syrjäyttävällä ilmajaolla alas työskentelyvyöhykkeelle, koska tuloilma on aina pidettävä ilmanjaon toimivuuden varmistamiseksi 1-2 °C viileämpänä kuin ilma työskentelyvyöhykkeellä. Tämä on syytä huomioida suunniteltaessa ko. tilojen ilmanjakoa.



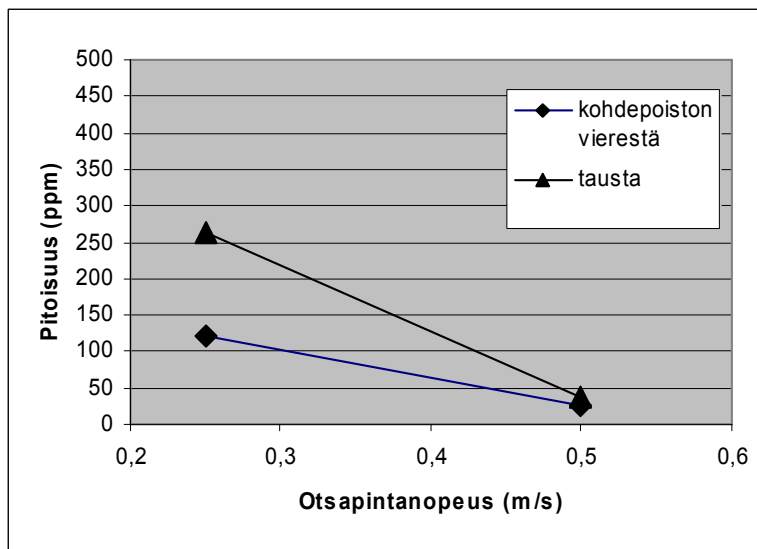
KUVA 36. Ilmanvaihtokertoimen ja ilmanjakotavan vaikutus haihtumiseen pinnasta

Jos päästölähteen ympäristössä ei esiinny häiriövirtauksia, kotelointien aukkojen mitoittaminen 0,3 m/s otsapintanopeudelle mittausten mukaan on riittävä pitämään päästöt kotelojen sisällä (kuva 37). Häiriövirtauksia syntyy esim. ovien käytöstä ja toiminnasta. Energiataloudellisesti on järkevää minimoida otsapinta-ala, jolloin poistoilmavirta saadaan myös minimoitua.



KUVA 37. Otsapintanopeuden vaikutus kohdepoiston tehokkuuteen, kun ilmanjakotapa sekoittava ja ilmanvaihtokerroin $n = 3$ vaihtoa/h.

Jos kotelon ympäristössä esiintyy häiriövirtauksia, kotelon poistoilmavirta on mitoitettava niin suureksi, että aukkoissa otsapintanopeus on suurempi kuin häiriövirtauksen maksimi nopeus (kuva 38). Teollisuudessa tyypillisesti häiriövirtaukset ovat suuruusluokkaa 0,3...0,6 m/s, mutta ovet voivat synnyttää nopeuksia, jotka ovat yli 1 m/s. Nämä on huomioitava kotelojen mitoituksessa.



KUVA 38. Koteloinnin otsapintanopeuden (poistoilmavirran) vaikutus yleisilman pitoisuuteen, kun kotelon aukkoon kohdistuu häiriövirtaus 0,5 m/s.

5.9.7.4 Johtopäätökset

Yhteenvedona koehallimittauksista voidaan todeta, että liuotainaineiden leviäminen ilmaan voidaan estää luotettavasti vain koteloimalla päästölähteet ja mitoittamalla kotelojen aukot siten, että otsapintanopeudet ovat vähintään 0,3 m/s tai vähintään häiriövirtausten suuruisia. Koteloiteja käytettäessä ilmanjakotavalla ei ole merkitystä, koska ilmanjakotapa ei vaikuta enää päästöjen voimakkuuteen. Ilmanjakotavan valintaan vaikuttavat siten muut tekijät kuin liuotainainepäästöt. Koteloinnit vähentävät myös ilmanvaihdon ilmavirtoja eli ilmanvaihtokerrointa ja siten ilmanvaihdon energiakustannuksia. Sitä, kuinka paljon ilmanvaihtokerrointa on mahdollista pudottaa koteloiteja käyttämällä ei kuitenkaan tutkittu.

5.9.8 Torjuntakokeilut työpaikalla

Hankkeessa mukana olleissa yrityksissä aikaisemmista tehtyjen selvitysten perusteella tiedettiin, että pintakäsittelylinjojen koteloimattomat osuudet, joissa kulki märkää tavaraa, olivat merkittävä liuotainaineiden päästölähde. Torjuntakokeilun tarkoituksena oli selvittää koteloinnin vaikutusta pintakäsittelylinjan liuotainainepäästöihin. Koteloinnin vaikutusta liuotainainepäästöihin kokeiltiin yhdellä työpaikalla, jossa kahden lämpöuunin välissä oli koteloimaton u-rata, jossa kulkeva puutavara oli vielä osittain märkää ensimmäisen uunin jälkeen.

5.9.8.1 Olosuhteet torjuntakokeilun aikana

Ennen torjuntakokeilujen aloittamista työpaikan edustajat olivat koteloineet u-radan tekemällä puusta radan ympärille kehikon, jonka päälle oli muovikalvosta tehty lattiaan asti ulottuva umpinainen kotelo. Myös ruiskuautomaatin ja uunin välinen koteloimaton osuus koteloitiin mittausten ajaksi. Uunin puhallin oli pysäytetty mittausten aikana, millä estettiin liuotainainehöyryjen leviäminen uunista ympäristöön (uunissa puhallusilmavirta suurempi kuin poistoilmavirta). Muuten olosuhteet pintakäsittelyhallissa ja tuotannossa olivat tavanomaiset. Mittausten aikana pintakäsittelylinjalla lakattiin. Koejärjestely selviää kuvasta 39.



KUVA 39. U-rata muovilla koteloituna ja ilman koteloitua.

Pintakäsittelylinjalla ei ennen mittausten aloittamista ollut tehty vielä mitään, joten hallin sisäilma oli saanut yleisilmanvaihdon vaikutuksesta puhdistua edellisestä päivästä saakka. Liutinainepitoisuus hallissa oli näin pienimmillään. Pintakäsittelylinja käynnistettiin tässä tilanteessa ja jonkin ajan päästä tehtiin ensimmäiset liutinainemittaukset. Näin saatiin selville koteloinnin vaikutus liutinainepäästöihin. Seuraavassa vaiheessa kotelointi purettiin ja mittaukset toistettiin. Kolmannessa vaiheessa laitettiin vielä uunin puhallin päälle, jolloin saatiin selville uunista puhallusilman mukana tulevien liutinainehöyryjen vaikutus pitoisuuksiin. Tässä vaiheessa tilanne vastasi tavanomaisia olosuhteita tuotannossa.

5.9.8.2 Näytteenottomenetelmät

Pintakäsittelylinjalta vapautuvien liutinainepitoisuuksien leviämistä ympäristöön selvitettiin keräämällä näytteitä kahdesta kiinteästä mittauspisteestä, joista toinen oli u-radan vieressä radan sisäpuolella ja toinen linjan vastaanottopäässä. Näytteitä kerättiin kolmessa eri vaiheessa, joten yhteensä näytteitä kerättiin kuusi kappaletta. U-radan vieressä liutinaineiden vapautumista ympäristöön seurattiin myös rekisteröivällä suoraan osoittavalla mittarilla PGM-7600 Minirae 2000.

Liutinainenäytteet kerättiin aktiivihiilipatruunaan imunopeudella 0,1 l/min standardin SFS 3861 mukaisesti. Näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti.

5.9.8.3 Mittaustulosten tarkastelua

Ensimmäisessä vaiheessa, kun sekä u-rata että ruiskuautomaatin ja uunin välinen osuus oli koteloitu ja uunin tuloilmapuhallin otettu pois päältä, nousi u-radan kohdalla liuotinainepitoisuus hieman alkutilanteeseen verrattuna, ollen 17 % HTP_{8h} -arvosta (taulukko 9). Todennäköisesti pitoisuudet pienenisivät tästä edelleen, jos kotelointi alipaineistettaisiin. Koteloinnin ohi päässeet pienet liuotinainepitoisuudet pystyi yleisilmanvaihto poistamaan, niin etteivät ne päässeet leviämään kauas. Tästä johtuen vastaanottopäässä altistuminen oli vähäistä liuotinainepitoisuuden ollessa 3 % HTP_{8h} -arvosta.

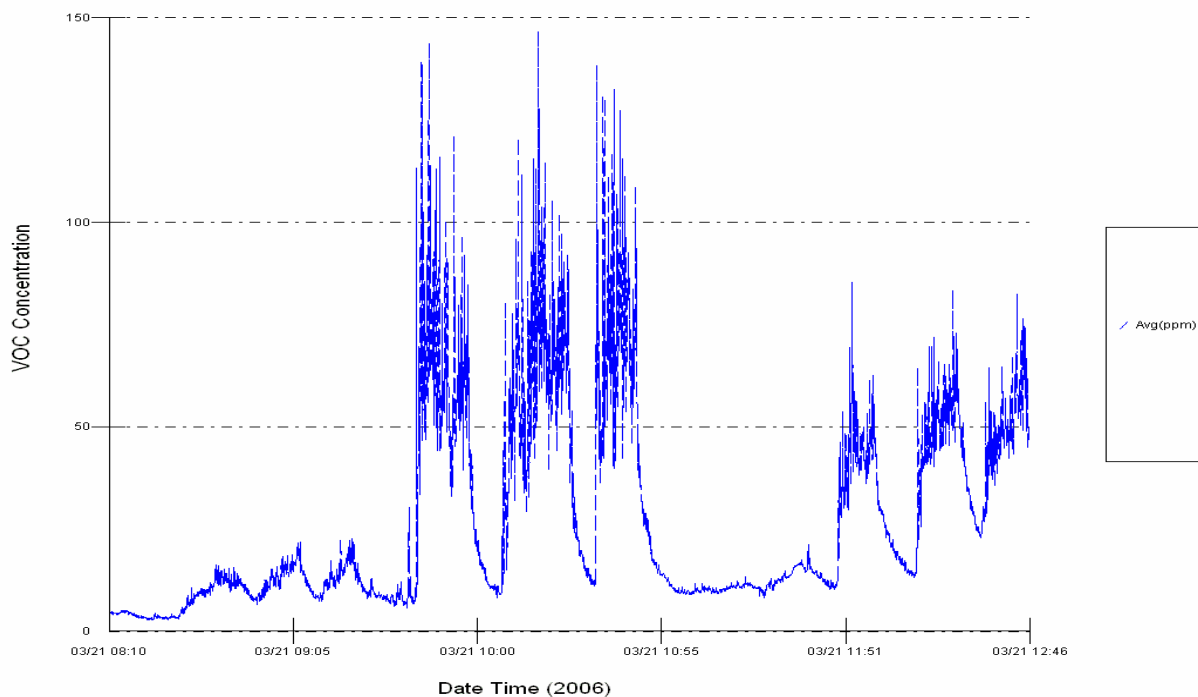
TAULUKKO 9. Torjuntakokeilun tulokset koteloinnin vaikutuksesta liuotinainepitoisuuteen. Tulokset %-HTP:sta.

	Liuotinainepitoisuus linjalla	Liuotinainepitoisuus vastaanotossa
Koteloitu linja	17	3
Koteloimaton linja	72	10
Koteloimaton linja + häiriövirtaus	37	14

Tämän jälkeen tuotannossa pidettiin tauko, jonka aikana kotelointiin käytetyt muovit poistettiin, mutta puhallin pidettiin edelleen pois päältä. Pintakäsittelylinjaston taas käynnistyttyä, nousivat liuotinainepitoisuudet u-radan kohdalla 72 %:iin HTP_{8h} -arvosta. Nyt pitoisuudet u-radan ympäristössä olivat niin isoja, ettei yleisilmanvaihto enää kyennyt estämään niiden leviämistä ympäristöön. Näin ollen vastaanottopäässä liuotinainepitoisuus nousi korkeammaksi, kuin koteloinnin aikana, ollen 10 % HTP_{8h} -arvosta.

Normaalitilanteessa pintakäsittelyhallissa on uunin ilmapuhallin päällä ja osa puhallusilmasta ohjautuu uunin ulkopuolelle. Halliin purkautuva ilmavirta aiheuttaa häiriövirtauksia, jotka sekoittavat tehokkaasti hallin ilmaa ja levittävät epäpuhtauksia laajasti koko pintakäsittelyhalliin. Häiriövirtausten vaikutuksen selvittämiseksi, kytkettiin uunin puhallin päälle, jolloin u-radalle muodostui voimakkaita häiriövirtauksia. Tässä vaiheessa u-radalta vapautuvat liuotinainepäästöt levisivät virtauksen vaikutuksesta kauemmas ympäristöön, jolloin radan vieressä pitoisuudet laskivat 37 %:iin HTP_{8h} -arvosta, mutta vastaanottopäässä häiriövirtauksen vaikutus näkyi kohonneena liuotinainepitoisuutena, ollen 14 % HTP_{8h} -arvosta.

Seuraavassa rekisteröivältä liuotinainemittarilta saadussa kuvassa (kuva 40) on esitetty ajan funktiona liuotinainepitoisuuden muutokset koteloinnin eri vaiheissa. Kussakin vaiheessa lakattavia tuotteita ajettiin linjalla kolmessa eri ryhmässä. Kuvaajasta näkyy hyvin, miten pitoisuus kasvaa aina, kun u-radalla kulkee tavaraa, mutta alenee nopeasti, kun linjalla on tauko.



KUVA 40. U-radän vierestä mitatun liuotinainepitoisuuden vaihtelu koteloituna, ilman kotelointia ja tuloilmapuhallin päällä.

5.9.8.4 Johtopäätökset

Torjuntakokeilu osoitti selvästi, että pintakäsittelylinjan avoimien osien kotelointi vähentää ilmaan pääsevien liuotinainehöyryjen pitoisuutta merkittävästi. Kun kotelointi vielä alipaineistetaan, vähenevät päästöt todennäköisesti entisestään. Yleisilmanvaihto riittää pitämään ilman liuotinainepitoisuudet alhaisina, jos linjasto on koteloitu. Uunin ilmamäärät tulisi säätää siten, että ympäristön ilma virtaa uuniin päin eli poistoilmavirta uunista tulisi olla 5-10 % suurempi kuin puhallusilmavirta.

5.9.9 Mittari liuotinainepitoisuuden karkeaan arviointiin

Vesiohenteisia maaleja ja lakkoja käytettäessä työilman liuotinainepitoisuudet ovat pieniä, joten voidaan arvioida, että yrityksissä, joissa ei käytetä liuotinohenteisiä tuotteita lainkaan työntekijöiden altistuminen on vähäistä. Jos vesiohenteisessa tuotteessa kuitenkin on esimerkiksi herkistäviä aineosia, voi altistumisen tarkempi arviointi olla tarpeen, koska herkistymistä voi tapahtua jo pienissä pitoisuuksissa. Yleensä arviointi on hyvä tehdä työterveyshuollon kanssa yhteistyössä.

Liuotinainepohjaisten tuotteiden kohdalla liuotinainepitoisuudet voivat nousta niin korkeiksi, että niistä aiheutuu työntekijälle terveyshaittoja. Jos työpaikalla käytetään liuotinohenteisiä tuotteita, tulee niiden aiheuttama liuotinainealtistuminen ja siitä aiheutuva mahdollinen terveyshaitan vaara pystyä arvioimaan. Usein tämä on vaikeaa ilman pitoisuusmittauksia. Arviointia helpottamaan kehitettiin hankkeen aikana indeksi, jonka avulla esimerkiksi työpaikan työsuojeluorganisaatiolla on mahdollisuus karkeasti arvioida altistumisen määrää ja mahdollisten tarkempien altistumisselvitysten tarvetta.

Kun työpaikalla lähdetään arvioimaan liuotainainien työntekijöille aiheuttamaa altistumista ja terveyshaittaa, tulee huomioida seuraavia seikkoja, joista liuotinainehöyryjä pääsee vapautumaan työilmaan. Onko pintakäsittelylinjalla koteloimattomia linjanosia etenkin märkäpäässä? Onko avoimia astioita ja kuinka paljon? Onko kohdepoistoja ja toimivatko ne suunnitellulla tavalla? Esiintyykö ilmanvaihdon sekoittavia häiriövirtauksia? Tapahtuuko tuotteiden kuivaus, maalinsekoitus tai käsiruiskumaalaus samassa tilassa pintakäsittelylinjan kanssa vai onko niitä varten varattu oma tila? Mikä on työntekijöiden päivittäinen altistumisaika?

Taulukossa 10 on esitetty mittari, jonka avulla voidaan työpaikalla karkealla tasolla tarkastella työpisteen altistumistasoa. Siihen on koottu ja pisteytetty työpaikoilla ja laboratoriokokeissa havaittuja tärkeimpiä tekijöitä, jotka puun pintakäsittelyssä aiheuttavat liuotinainehuurujen vapautumista työilmaan. Sen mukaan kuinka hyvin nämä tekijät on otettu huomioon torjuntatoimissa, voidaan toimenpiteet pisteyttää ja saadun yhteispistemäärän avulla arvioida altistumisen tasoa. Mittari on tarkoitettu avuksi työpaikan työsuojeluhenkilöstölle, jotta he osaisivat kiinnittää huomiota

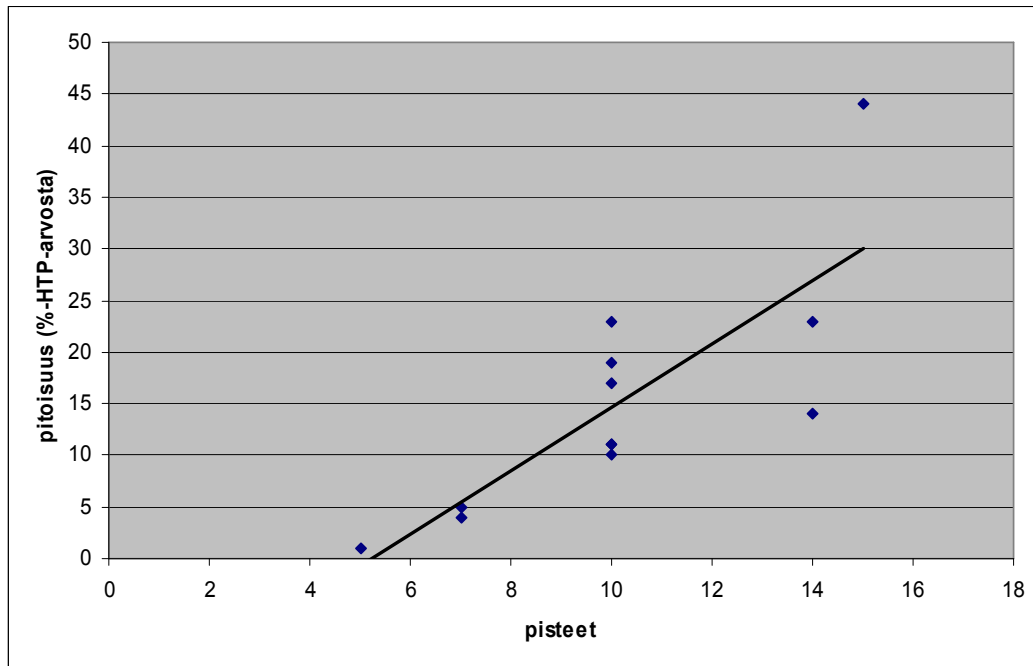
liuotinainealtistumisen kannalta oleellisiin tekijöihin. Mittarin antama pistemäärä kuvaa altistumista vain viitteellisesti, eikä sitä tule käyttää muuta kuin yhtenä apuvälineenä altistumisen arvioinnissa.

TAULUKKO 10. Yksinkertainen mittari liuotinainealtistumistason arvioimiseksi työpaikalla.

tekijä	pisteluokat			pisteet
	0	1	2	
märkápään kotelointi (HUOM. PISTEET)	hyvä (0 pistettä)	välttävä (2 pistettä)	puuttuu (4 pistettä)	
avoimet astiat	ei	jonkin verran	paljon	
kohdepoistojen toimivuus, otsapintanopeus	hyvä $\geq 0,5$ m/s	välttävä 0,5-0,35 m/s	puuttuu, tai alle 0,35 m/s	
tuotteiden kuivaus	omassa tilassa / kuivia	samassa tilassa, hyvä ilmanvaihto	samassa tilassa, huono ilmanvaihto	
altistumisaika h/pv	alle 2	2 – 4	yli 4	
häiriövirtaukset	ei esiinny	jonkin verran	usein / koko ajan	
maalinsekoitus	omassa tilassa	samassa tilassa, on kohdepoisto	samassa tilassa, ei kohdepoistoa	
käsiruiskumaalaus	omassa tilassa	samassa tilassa, on kohdepoisto	samassa tilassa, ei kohdepoistoa	
			YHTEENSÄ	

Mittarin maksimipistemäärä on 18. Hankkeen A-osassa tehtyjen mittausten perusteella voidaan sanoa, että kun pistemäärä on 9 tai enemmän, voidaan arvioida altistumisen pintakäsittelylinjalla voivan nousta kohtalaiseksi. Tällöin työpaikalla tulisi tehdä tarkempi altistumisselvitys esimerkiksi työterveyshuollon kanssa.

Kuvassa 41 on esitetty hankkeen A-osassa mitattujen työpisteiden pisteytys indeksin avulla. Kuvassa näkyy myös miten mitatut liuotinainepitoisuudet korreloivat indeksin avulla saatuun tulokseen. Eli mitä isommat pisteet altistumisarvioinnissa on saatu sitä isommat ovat pitoisuudet olleet.



KUVA 41. A-osassa mitattujen työpaikkojen liuotainepitoisuudet suhteutettuna indeksin avulla laskettuihin pisteisiin.

Vaikka pistemäärä olisi pienempi kuin 9, voi altistuminen silti olla kohtalaista, jos esimerkiksi ihoaltistuminen on suurta, käytetään tuotteita, jotka sisältävät herkistäviä aineosia tai liuotin on erittäin haihtuvaa. Liuotainehuuруja voi myös jonkin taulukossa esitetyn tekijän kohdalla vapautua niin paljon, että pisteluokka 2 (tai koteloinnin tapauksessa 4) ei anna oikeaa kuvaa, jolloin mittari aliarvioi altistumisen. Epävarmoissa tapauksissa kannattaa aina kääntyä esimerkiksi työterveyshuollon tai jonkin muun asiantuntijan puoleen.

Niissä yrityksissä, jotka indeksillä arvioituna pääsivät alle yhdeksän pisteen, oli kaikissa pienet liuotainepitoisuudet eli liuotainaltistuminen oli vähäistä. Tähän oli päästy panostamalla pintakäsittelylinjan liuotainepäästöjen vähentämiseen. Näillä pintakäsittelylinjoilla rata oli alipaineistettu ja koteloitu sekä tuotteet kuivattiin uunissa kuiviksi asti.

5.9.10 Pintakäsittelyalan vetovoimaisuuskysely

Hankkeen A-osan aikana nousi esille yritysten huoli pätevän työvoiman saannista tulevaisuudessa. Yritysten kanssa sovittiin, että hankkeen toisessa osassa pintakäsittelyalan vetovoimaisuutta selvitetään yritysten henkilökunnalle tehtävän vetovoimaisuuskyselyn avulla. Kysely toteutettiin yhdeksässä yrityksessä keväällä 2006. Kyselyyn vastasi 255 henkilöä 404:stä (63 %). Vastaajista 73 % oli miehiä ja 27 % naisia. Työntekijöitä vastaajista oli 87 % ja toimihenkilöitä 13 %. Vastaajien ikäjakauma oli seuraava:

- | | |
|---------------------|------|
| – alle 25-vuotiaita | 14 % |
| – 25 – 35-vuotiaita | 31 % |
| – 36 – 50-vuotiaita | 37 % |
| – yli 50-vuotiaita | 16 % |

Vastaajien koulutustausta oli puolestaan seuraavanlainen:

- | | |
|---|------|
| – Ammattikoulu tai vastaava | 51 % |
| – Ei ammatillista koulutusta lainkaan | 20 % |
| – Työllisyys- tai ammattikurssi, muu
työpaikalla tapahtunut koulutus | 16 % |
| – Opistoaste tai korkeakoulu | 11 % |

Vastaajilta kysyttiin millaiset seikat vaikuttaisivat heidän valintoihinsa, jos he olisivat hakemassa töitä pintakäsittelyalalta. Kysymykset käsittelivät työoloja, työn sisältöä, työn organisointia, johtamista ja työtyytyväisyyteen liittyviä asioita sekä työnantajan tarjoamien etujen ja palveluiden vaikutusta. Lisäksi kysyttiin miten yrityskuva vaikuttaa alan houkuttelevuuteen ja millaisena työntekijät itse näkevät alan vetovoimaisuuden tulevaisuudessa. Kyselyn tulokset on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

TAULUKKO 11. Vetovoimaisuuskyselyssä vastaajilta kysyttiin: ”Jos nyt hakeutuisit töihin nykyiseen tai muuhun samalla toimialalla olevaan työpaikkaan, niin miten seuraavat seikat vaikuttaisivat valintaasi?”. Tulokset ilmoitettu prosentteina vastaajista

	Ei lainkaan tai melko vähän (%)	Jossain määrin (%)	Melko tai erittäin paljon (%)
TYÖOLOJEN			
Työpaikalla vallitsee hyvä työilmapiiri	5	16	78
Työnantaja tarjoaa suojavaatetuksen	11	17	74
Työpaikalla pyritään pitämään kemialliset epäpuhtaudet mahdollisimman vähäisinä	11	20	66
Työsuhteesi olisi epävarma	17	16	64
Työssäsi esiintyy huonoja tai rasittavia työasentoja	8	29	62
Voit itse vaikuttaa henkilönsuojainten valintaan	11	28	60
Työpaikalla noudatetaan hyvää järjestystä	5	35	59
Joudut työssäsi tekemisiin haitallisten kemiallisten aineiden kanssa	20	24	56
Työpaikan yleinen siisteys	9	35	54
TYÖN SISÄLTÖ			
Toistotyö tai yksipuolinen työ	8	23	68
Työtäsi leimaa pakkotahtisuus (työtahtia ei voi itse määrätä)	9	27	63
Jatkuva kiire	9	34	57
Poikkeavat työajat (esim. vuorotyö)	31	22	46
Kovat vaatimukset ja tavoitteet	20	35	41
TYÖN ORGANISOINTI			
Työsi on mielekästä	5	14	79
Työsi on monipuolista	11	18	72
Voit vaikuttaa siihen miten suoritat työsi	4	24	70
Voit hyödyntää tietojasi ja taitojasi työssäsi	7	22	69
Voit kehittää ammatillisia tietojasi ja taitojasi	11	22	65
Voit tehdä työtäsi koskevia päätöksiä itsenäisesti	11	25	62
Voit osallistua työtäsi koskevaan päätöksentekoon	7	29	61
Sinulle annetaan vastuuta	6	32	60
JOHTAMINEN			
Esimiehet kohtelevat kaikkia tasa-arvoisesti	4	12	82
Työpaikalla on työturvallisuus otettu riittävästi huomioon	4	11	82
Hyvistä työsuorituksista palkitaan	9	12	76
Työpaikalla on panostetaan työntekijöiden viihtyvyyteen	8	15	75
Sinulla on mahdollisuus esittää turvallisuutta parantavia toimenpiteitä	5	25	68

	Ei lainkaan tai melko vähän (%)	Jossain määrin (%)	Melko tai erittäin paljon (%)
Esimies antaa palautetta työstäni	8	24	66
TYÖNANTAJAN TARJOAMAT EDUT JA PALVELUKSET			
Laajat työterveyshuollon palvelut (sisältäen esim. sairaanhoidon)	3	23	72
Mahdollisuus kehittää omaa ammattitaitoa	8	30	60
Työkykyä tukevan toiminnan järjestäminen	14	35	49
Harrastustoiminnan tukeminen	24	42	35
Ateriatuki	43	29	26
Muu, mikä?	3	1	4
YRITYSKUVA JA ALAN HOUKUTTELEVUUS			
Palkka on kilpailukykyinen	6	12	78
Yrityskuva ulospäin positiivinen	10	27	60

TAULUKKO 12. Pintakäsittelyalan työtyytyväisyyttä ja vetovoimaisuutta käsittelevien kysymysten vastaukset %-osuuksina vastaajista.

Listaa viisi mielestäsi tärkeintä työtyytyväisyyteen vaikuttavaa tekijää?	
	%-osuus vastaajista
Työilmapiiri	62
Palkka	48
Työympäristö	32
Vaihteleva ja monipuolinen työ	18
Työaika	17
Mielekäs työ	14
Esimiehen toiminta	13
Muut johtamiseen liittyvät asiat	12
Tulevaisuutta ajatellen, millä toimenpiteillä mielestäsi pintakäsittelyalan vetovoimaisuutta työpaikkana voitaisiin parantaa?	
	%-osuus vastaajista
Työolojen kohentaminen	15
Paremmat koneet ja laitteet	12

Parempi palkka	11
Koulutuksen parantaminen	10

Kyselyn mukaan kolme tärkeintä vetovoimaisuuteen liittyvää tekijää vastaajien mielestä olivat:

- Hyvä työilmapiiri
- Palkkojen saaminen kilpailukykyiseksi
- Työolojen kohentaminen etenkin kemiallisten tekijöiden osalta
- Työntekijöiden tasa-arvoinen kohtelu esimiesten taholta
- Toimivat ja ajan tasalla olevat koneet ja laitteet
- Työturvallisuuden huomioiminen johtamisessa

Negatiivisimmin vastaajat suhtautuivat:

- Toistotyöhön
- Yksipuoliseen työhön
- Työhön, jota leimaa pakkotahtisuus

5.10 Maalaamohankinnan käsikirja -esiselvitystyö

Hankkeen B-osan aikana Jukka Ylitalo teki insinööriyön aiheesta Pintakäsittelylinjaston hankintaoppaan esiselvitystyö. Päättötyön tarkoituksena oli selvittää pintakäsittelylinjastoinvestointien ongelmakohtia ja laatia näiden pohjalta alustava runko ja tarvittava teoriapohja myöhemmin julkaistavaan pintakäsittelylinjaston hankintaoppaaseen.

Työssä lähdettiin liikkeelle laatimalla puu- ja metallialan yrityksille kysely, jossa yrityksiä pyydettiin selvittämään, mitä ongelmia heillä oli pintakäsittelylinjaston investoinnin yhteydessä ilmennyt ja mistä he haluaisivat lisätietoja ennen uusien investointien aloittamista.

Kyselyyn vastaamisessa havaittiin tiettyä haluttomuutta. Ilmeisesti yritykset halusivat pitää kyseiset tiedot salassa kilpailijoilta ja näin kehittää omaa liiketoimintaansa.

Kyselyn vähäisten vastausten johdosta investointien kaikkien ongelmakohtien määrittäminen jäi mahdottomaksi. Kuitenkin saaduista vastauksista huomattiin seuraava seikka: sopimuksissa oli joko puutteita tai niiden tulkinnoissa oli ilmennyt epäselvyyksiä kaupan osapuolten välillä. Eroa suurten ja pienten yritysten välillä oli myös mahdotonta määrittää vähäisten vastausten johdosta. Voidaan kuitenkin olettaa, että sopimusprosessi on helpompaa suurille yrityksille. Heillä on usein omat juristinsa hoitamassa sopimusasioita, kun tämä taas pienemmiltä yrityksiltä puuttuu, eivätkä he aina edes näytä sopimusta juristille ennen allekirjoitusta.

5.10.1 Hankintaoppaan sisältö

Edellä mainituista syistä itse päättötyö painotettiin käsittelemään sopimusjuridiikkaa ja sopimuksen laadintaa. On selvää, että ongelmia usein syntyy tällaisissa investoinneissa ja paras keino suojautua sen aiheuttamilta ongelmilta on laatia sopimus, joka kattaa kaupan kaikki kohdat ja on yksiselitteinen. Vastaavasti samanlaista ohjeistusta on hankala, tai jopa lähes mahdotonta tehdä aiheesta, miten ongelmien syntyminen voidaan välttää.

Pääsääntöisesti työ painottuu kansainväliseen kauppaan, mutta tietyiltä osin sitä voidaan käyttää myös kansallisen kaupan yhteydessä. Suurin hyöty työstä, ja myöhemmin julkaistavasta hankintaoppaasta, kohdistuu pk-yrityksille ja yrityksille, jotka suunnittelevat pintakäsittelylinjaston investointia ulkomailta ensimmäistä kertaa. Työtä voidaan soveltaa myös muihin kansainvälisiin kauppatilanteisiin. Rakenteeltaan työ seuraa kaupan kaikki vaiheet, lähtien liikkeelle eri kauppalaista ja niiden soveltamisesta eri tilanteissa. Tarjouskyselyn ja sopimuksen laadinta, maksutavat ja toimitusehdot ovat niin ikään esitetty työssä. Maksutavoista esitellään työssä vain kansainvälisen kaupan eri maksutavat, sillä niiden valintaan vaikuttavat nopeasti vaihtuvat tekijät, kuten esimerkiksi toisen maan olosuhteet ja myyjäpankin maksukyky. Paras asiantuntija arvioimaan parhaan maksutavan soveltumista kulloiseenkin tilanteeseen, on oma pankki. Seuraavassa lyhyesti esittely insinööriyön sisällöstä.

5.10.2 Investoinnin eri toteutusmallit

Pintakäsittelylinjastoja investoidaan nykyisin ympäri maailmaa. Eräät, ehkä merkittävimmät linjastonvalmistajat tulevat Italiasta. Yritysten lähtiessä investoimaan linjastoja ulkomailta, käyttävät he usein apunaan kauppaedustajia ja yksinmyyjiä.

Yleisin tapa on toimia kauppaedustajan eli agentin välityksellä. Tällöin edustaja toimii tietyn linjastonvalmistajan alaisena, eikä itse toimi sopimuksen osapuolena missään vaiheessa. Kauppaedustaja ei ole myöskään sitoutunut mihinkään kaupan tapahtumiin ilman erillistä sopimusta. Kauppaedustajan toiminnan luonteesta johtuen kauppaa voidaan pitää kansainvälisenä kauppana ja soveltaa siihen YK:n kansainvälistä kauppalakia, sillä investointi tehdään käytännössä suoraan ulkomaalaisen valmistajan kanssa. Lain soveltamisessa on kuitenkin huomattava kohdassa 1.1.2 Sovellettavat lait -esitetyt lakien soveltamisperiaatteet.

Yksinmyyjät toimivat puolestaan vapaammin ostamalla linjastot ensin omiin nimiinsä ja myymällä ne itse edelleen asiakkaalle. Yksinmyyjien kohdalla sovellettava laki riippuu siitä, toimiiko yksinmyyjä samassa maassa kuin ostaja. Jos ostaja toimii samassa maassa yksinmyyjän kanssa, sovelletaan kauppaan kansallista lakia. Vastaavasti, jos yksinmyyjä toimii toisessa maassa, sovelletaan joko kansallista tai kansainvälistä kauppalakia, riippuen siitä, mitä kyseiset maat ovat sopineet.

5.10.3 Sovellettavat lait

Sopimusjuridiikasta on työssä mukana Suomen Kauppalaki, sekä YK:n Kansainvälisen Kauppalaki, United Nations Convention on Contracts for the International Sale of Goods (CISG). Kyseiset lait antavat kaupalle minimiehdot kohdista, joista itse sopimuksessa ei ole sovittu. Lakien soveltaminen voidaan jättää myös sopimuksen ulkopuolelle, tai vastaavasti sopia jonkin maan kauppalain soveltamisesta, mainitsemalla tästä itse kauppasopimuksessa. Suomen Kauppalaki ja CISG ovat pääpiirteittään samanlaisia, mutta ne sisältävät kaupan kannalta merkittäviä eroavaisuuksia. Eroavaisuudet on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Suomen Kauppalain ja CISG:n tärkeimmät erot

Suomen kauppalaki	CISG
<ul style="list-style-type: none"> • Sovelletaan kansallisiin kauppoihin, ellei muuta olla sovittu • Myyjän ja ostajan oltava elinkeinoharjoittajia • Sopimusrikkomuksista välilliset ja välittömät korvaukset • Tavara esitarkastettava ennen kuljetusta, mikäli myyjä näin kehottaa, eikä tarkastukselle ole todistettavaa estettä • Reklamaatiosta ilmoitettava ”kohtuullisessa ajassa” 	<ul style="list-style-type: none"> • Sovelletaan kansainvälisiin kauppoihin silloin kun molempien osapuolten toimipaikkamaat ovat hyväksyneet CISG:n ja kauppasopimuksessa ei ole muuta sovittu. • Ostajan ei ole pakko olla elinkeinoharjoittaja • Sopimusrikkomuksista yksi vahingonkorvaustyyppi; selkeämpi mutta ankarampi seuraamuksiltaan, kuin mitä Suomen kauppalaki • Esitarkastus ennen kauppaa voidaan lykätä tilauksen saapumisajankohtaan, mikäli kauppa sisältää kuljetuksia • Reklamaatioaika kaksi vuotta

Jos kauppasopimuksessa ei ole sovittu erikseen minkä maan lakia kaupassa noudatetaan, laki määräytyy sen maan lain mukaan, missä maassa tilaus on vastaanotettu. Tällöin, jos investoi pintakäsittelylinjastoa Italiasta ja tilaus postitetaan Italiaan vastaanotettavaksi, noudatetaan CISG:tä siten, miten Italia sen on hyväksynyt. Jos tilaus kuitenkin vastaanotetaan Suomessa CISG:stä jää pois kokonaan II-osio, sillä Suomi ei ole hyväksynyt kyseistä kohtaa lainsäädännössään. Vaikka kaikki Pohjoismaat ovat hyväksyneet CISG:n poislukien II-osion, ei tätä lakia kuitenkaan noudateta kyseisten maiden välisissä kaupoissa. Näissä kaupoissa noudatetaan aina kansallista lakia, jotka ovat kaikissa pohjoismaissa sisällöltään vastaavia, pois lukien Norjan ja islannin kauppalait.

5.10.4 Sopimuksen laadinta

Sopimuksen laadinta on eräs kaupan tärkeimmistä tapahtumista ja sen sisältöön kannattaa panostaa erityisesti tällaisissa suurissa investoinneissa.

Pintakäsittelylinjastojen investoinneissa myyjä tai kauppaedustaja on usein se osapuoli, joka laatii kauppasopimuksen. Tällöin korostuu sopimusneuvottelujen tärkeys.

Allekirjoittamattoman sopimuksen sisältöön ei automaattisesti kannata luottaa, vaan se tulisi tarkastuttaa juristilla ja käydä myös itse läpi, että sopimusneuvottelujen yhteydessä sovitut asia löytyvät sopimuksesta. Esimerkiksi Fintra on julkaissut oman muistilistan sopimuksen sisällöstä kirjassaan Vientikaupan asiakirjat 2005.

Valmiita muistilistoja käytettäessä kannattaa kuitenkin muistaa niiden olevan vain ohjeellisia ja tarjoavan sopimuksen tarkastamiselle peruslähtökohdat. Esimerkiksi Fintran julkaisemasta muistilistasta puuttuu kokonaan toimitusajat, vaikka se on eräs kauppasopimuksen tärkeimmistä kohdista. Kuitenkin kyseisistä listoista on hyvä lähteä liikenteeseen ja täyttää niitä itse tietotaidon karttuessa.

5.10.5 Toimitusehdot

Toimitusehdoilla, eli toimituslausekkeilla määritellään kaupan osapuolten velvollisuudet kuljetusten ja vakuutusten osalta. Kansainväliseen kauppaan on luotu omat Incoterms 2000-toimituslausekkeet, joiden tarkoituksena on ollut vähentää kauppaehtoien tulkintanäköeroja kuljetusten osalta. Lauseke koostuu kolmesta eri kirjaimesta ja ne on jaettu lausekkeiden alkukirjainten mukaan E, F, C ja D ryhmiin. Kaikki toimitusehdot eivät sovellu kaikille kuljetusmuodoille, joten tämä on otettava huomioon jo sopimusneuvotteluiden yhteydessä, jolloin toimituksista päätetään. Ostajan näkökulmasta katsottuna kauppasopimuksen hinta yleensä kasvaa siirryttäessä E-alkuisista lausekkeista D-lausekkeisiin. Syynä tähän on kasvaneet toimituskustannukset myyjän näkökulmasta katsottuna. Lausekkeen valinta tulisi tehdä sen perusteella, kumpi osapuoli pystyy kantamaan vastuun pienemmin riskein. Jukka Ylitalon tulkinnan mukaan pintakäsittelylinjastoa investoitaessa olisi paras kyetä painottamaan toimitusehdoilla mahdollisimman paljon vastuuta ja velvoitteita myyjän puolelle. Tällöin vältetään omien resurssien käytöltä kuljetusten järjestämiseen.

5.10.6 Yhteenveto

Päättötöön tarkoituksena oli kartoittaa pintakäsittelylinjastoinvestointien yhteydessä ilmenneet ongelmat ja löytää niihin ratkaisuja. Kuitenkin ongelmien kokonaislaajuuden määrittäminen jäi mahdottomaksi vähäisten kyselyvastausten vuoksi.

Työn tuloksena saatiin laadittua pintakäsittelylinjaston hankintaoppaan esiselvitys, joka painottuu sopimusjuridiikkaan ja sopimuksessa huomioon otettaviin seikkoihin.

Pintakäsittelylinjaston investoinnissa on paljon yrityskohtaisia ja yleisiä riskitekijöitä, joilta pystytään turvautumaan ainoastaan hyvällä sopimuksella. Hyvä sopimus on puolestaan tulos onnistuneesta sopimusneuvottelusta ja yhteisymmärryksestä sopimuksen osapuolten välillä. Kriittisiä pisteitä kaupan yhteydessä voivat olla muun muassa toimitusaika, huoltotakuu tai varaosien saatavuus. Varaosien saatavuuden merkitys korostuu entisestään kansainvälisessä kaupassa, jolloin varaosat voidaan joutua tilaamaan linjaston valmistajalta. Tämä kasvattaa luonnollisesti varaosien toimitusaikaa.

5.11 Mittauspalvelu

Tutkimushankkeen aikana mitattiin pintakäsittelylinjojen sekä -hallien tulo- ja poistoilmojen määrää ja olosuhteita. Lisäksi tutkimushankkeen A-osan kolmannella mittauskierroksella saatiin käyttöön mittari, jolla mitattiin ja säädettiin projektiyritysten pintakäsittelylinjojen uunien vaaka- ja pystyvirtauksia. Tutkimushankkeen B-osan kesä, syksy ja talvikierroksilla jatkettiin A-osassa aloitettuja mittauksia, jotta voitiin muodostaa kokonaiskuva pintakäsittelylinjojen toimintakyvystä kahden täyden vuoden ajanjaksolta ja saada näin prosessi hallintaan ja toimimaan luotettavasti muuttuvissa olosuhteissa.

Näistä pintakäsittelylinjan mittauksista syntyi hankkeen aikana mittauspalvelu, jota tullaan myymään sekä hankeyrityksille että hankkeen ulkopuolisille puu- ja

metallialan pintakäsittelyä tekeville yrityksille. Mittauspalvelu käsittää pintakäsittelylinjan kuntotestin. Kuntotestissä kartoitetaan projektissa luoduin mittausmenetelmin yrityksen pintakäsittelylinjan ja -hallin olosuhteet mittaamalla pintakäsittelylinjan tulo- ja poistoilmat sekä uunien sisäiset virtaukset ja niiden ilmanolosuhteet. Mittalaitteilla voidaan mitata sekä taso-, kerros-, että riippulinjauuneja. Mitattujen tietojen perusteella voidaan muodostaa kokonaiskuva pintakäsittelylinjan uunien ja koko tilan toiminnasta. Mittauksien avulla on myös mahdollista tehdä mm. yrityskohtaisia ajoarvotaulukoita sekä raportoida mahdollisista vioista ja ongelmista heti paikan päällä.

5.12 Seminaarit

Hankkeen aikana järjestettiin kaksi PPT 2004 -seminaaria CENTRIA Tutkimus & kehityksen ja Työterveyslaitoksen yhteistyönä. Ensimmäinen ”Tulevaisuuden työpaikka” -seminaari oli avoin kaikille pintakäsittelyalalla toimiville ja siitä kiinnostuneille. Siinä käsiteltiin hankkeen tuotoksia yleisellä tasolla yksityiskohtiin menemättä. Toinen ”Tulosten julkistamisseminaari” oli tarkoitettu hankkeessa mukana olleille yrityksille ja rahoittajille. Tässä tilaisuudessa hankkeen tuloksia esiteltiin yksityiskohtaisesti ottaen huomioon yritysten tarpeet.

Ensimmäisessä seminaarissa CENTRIA T&K:n aiheina olivat mm. nykyaikainen pintakäsittely ja pintakäsittelylinjamittaukset. Niissä kerrottiin minkälaista on nykyaikainen pintakäsittely ja konekanta, minkälaisia vaatimuksia asetetaan pintakäsittelylinjan käyttäjälle, mitä mittauksia pintakäsittelylinjalle voidaan tehdä ja miten niiden avulla voidaan parantaa työskentelyolosuhteita. Toisessa seminaarissa keskityttiin hankkeen tuloksiin, joita tämä raportti käsittelee.

Molemmissa seminaareissa Työterveyslaitos piti esitykset aiheista: liuotinainealtistuminen ja torjuntatoimet, turvallisuusjohtaminen sekä pintakäsittelyn vetovoimaisuuskyselyn tulokset. Ilmanvaihdesta ensimmäisessä seminaarissa pidettiin yleinen esitys ilmanvaihdon toiminnan arvioinnista, kehittämisestä ja ylläpidosta. Yritysten edustajille pidetyssä seminaarissa keskityttiin teollisuushallin ilmastointiin ja kuivausuunin suljettuun kiertoon. Liuotinainealtistuminen ja

torjuntatoimet esityksessä käytiin läpi samoja asioita, joita tässä raportissa on laajasti kuvattu. Muista Työterveyslaitoksen seminaariesityksistä on lyhyt kuvaus seuraavissa kappaleissa.

5.9.11.1 Turvallisuusjohtaminen

Turvallisuusjohtamista käsittelevässä esityksessä käytiin läpi turvallisuusjohtamisen yleisiä periaatteita; mitä turvallisuusjohtamisella tarkoitetaan, mitä hyötyä siitä on ja miten sitä käytännössä voidaan toteuttaa työpaikalla. Yhteenvedona yleisestä osasta voidaan todeta, että niissä yrityksissä, joissa turvallisuusjohtaminen on hyvää perustasoaa tai parempaa, ovat myös toimet riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi monipuolisempia ja onnistuneempia kuin hyvän perustason alle jäävissä yrityksissä. Eniten eroja yritysten turvallisuusjohtamiskäytännöissä on toiminnan suunnittelussa, sidosryhmien kanssa toimimisessa sekä tiedonkulun ja dokumentoinnin hallinnassa. Uusien laatujärjestelmien mukaan toimimalla voidaan saavuttaa erinomainen taso myös turvallisuusjohtamisessa.

Esityksessä käytiin läpi myös hankkeen ensimmäisessä osassa pidettyjen yritysten palautetilaisuuksien turvallisuusjohtamista koskevia tuloksia. Yrityksistä saadun palautteen perusteella turvallisuusjohtaminen käsitteenä oli outo useimmille yrityksille. Kaikissa yrityksissä oli kuitenkin työsuojelupäällikkö ja -valtuutettu hoitamassa työturvallisuusasioita. Sen sijaan työsuojelutoimikunta ja työsuojelun toimintaohjelma oli vain muutamassa yrityksessä. Käytettävien tuotteiden käyttöturvallisuustiedotteet olivat olemassa kaikissa yrityksissä, mutta niiden saattamisessa työntekijöiden luettavaksi oli puutteita lähes kaikissa yrityksissä. Kaikissa yrityksissä tiedostettiin kyllä liuotainaineiden aiheuttamat ongelmat, mutta osassa yrityksiä tiedonpuutetta ja kiirettä pidettiin syynä siihen, ettei niihin ole kiinnitetty huomiota riittävästi turvallisuusjohtamisen muodossa. Hankkeessa kävi selvästi ilmi, että turvallisuusjohtamisen tasolla oli selkeä yhteys altistumisen tasoon. Niissä yrityksissä, joissa turvallisuus oli otettu johtamisessa huomioon oli myös altistuminen pienintä.

5.9.11.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtoa käsittelevässä esityksessä todettiin, että ilmanvaihdolla on merkittävä vaikutus työntekijöiden terveyteen, lämpöolosuhteisiin, ilman laatuun, työpaikkojen viihtyisyyteen, rakennusten käyttökustannuksiin ja tuottavuuteen teollisuudessa. Yleis- ja paikallisilmanvaihdon suunnittelussa lähtökohtana tulisi olla ratkaisut, joilla ilman epäpuhtaudet työskentelyvyöhykkeellä saadaan tavanomaisen toiminnan aikana pysymään alle 10 %:n tasolla HTP-arvoista, jotta riski korkeille epäpuhtauspitoisuuksille työtilan olosuhteiden vaihdellessa pienenee. Työpaikoilla, joissa esiintyy pölyä, savua, kaasuja tai höyryjä, on epäpuhtauksien leviäminen estettävä epäpuhtauksien syntypaikalla kohdeilmanvaihtoratkaisuilla. Tehokkaimmin epäpuhtauksien leviäminen estetään alipaineistetuilla koteloinneilla.

Epäpuhtauksien leviäminen työtilan ilmaan lisää yleisilmanvaihdon tarvetta ja rakennuksen käyttökustannuksia merkittävästi. Usein merkittävä osa rakennuksen lämpöenergian kulutuksesta johtuu juuri ilmastoinnista. Isoissa teollisuustiloissa käsiteltävät ilmamäärät ovat suuria, jolloin oikealla ilmanjakotavalla, lämmön talteen otolla, tehokkailla kohdepoistoilla, päästöjen koteloinneilla ja hallitsemattoman ilmanvaihdon pienentämisellä voidaan merkittävästi pudottaa lämpöenergian kulutusta ja lisätä tilojen tuottavuutta. Säästöpotentiaali on suuri etenkin vanhoissa 1960-1970 - luvulla rakennetuissa tiloissa.

Ovista ja toiminnasta syntyvät häiriövirtaukset on pyrittävä poistamaan ja huomioitava paikallisilmastointiratkaisuissa ja ilmanjakotavassa. Tilojen väliset ja rakennuksen ja ulkoilman väliset painesuhteet on pidettävä hallittuina epäpuhtauksien kulkeutumisen ja ovivedon ehkäisemiseksi. Työstä, lämpötilasta ja virtaavan ilman lämpötilasta riippuen veto voidaan kokea haitallisena, kun virtaavan ilman nopeus ylittää 0,15 - 0,5 m/s. Jatkuva altistuminen vedolle voi aiheuttaa terveyshaittoja. Lämpöoloja arvioitaessa on aina huomioitava myös työvaatetus, paikalliset ilmavirtaukset, ilman kosteus ja pintojen säteilylämpö.

Työpaikoilla, joissa on koneellinen ilmanvaihto, se on pidettävä toimintakunnossa. Yleisimpiä syitä toimimattomaan ilmanvaihtoon ovat huollon laiminlyönti,

ennakkohuollon puute sekä tuotannolliset muutokset, joita ei ole huomioitu ilmanvaihdon kannalta.

5.9.11.3 Pintakäsittelyalan vetovoimaisuus

Vetovoimaisuuskyselyn tulosten julkaisun lisäksi seminaareissa pohdittiin keinoja pintakäsittelyalan vetovoimaisuuden nostamiseksi. Keskusteluissa tulivat esille alan yleinen tunnetuksi tekeminen esimerkiksi tiedotusvälineissä ja kouluissa jo siinä vaiheessa, kun peruskoulun oppilaat tekevät jatko-opiskeluun ja ammatinvalintaan liittyviä päätöksiä. Tämä olisi etenkin etujärjestöjen tehtävä. Tärkeäksi asiaksi nähtiin tiedottaminen alan työolojen parantumisesta varsinkin kemiallisten tekijöitten osalta. Vesiohenteisten tuotteiden käytön lisääntyminen ja liuotinainepohjaisten tuotteiden huomattava vähentyminen tulisi saada paremmin yleiseen tietoisuuteen. Myös koneiden ja laitteiden ajanmukaistaminen voisi olla merkittävä tekijä alan vetovoimaisuuden kasvattamisessa. Paikallisesti toki yksittäinen yritys voi parantaa yrityskuvaansa julkisuudessa. Ne voisivat pyrkiä vaikuttamaan paikallisten oppilaitosten koulutukseen ja entistä enemmän lisätä työpaikoilla tapahtuvaa työharjoittelua.

6 BUDJETTI

Pintakäsittelylaitoksen päästö- ja toimintakykytutkimus -hanke jakaantui A- ja B-osiin. A-osa alkoi 1.4.2004 ja kesti toimenpiteiden osalta 30.6.2005 ja raportoinnin osalta 30.9.2005 asti. Välittömästi A-osan toiminnallisen osuuden jälkeen alkoi hankkeen B-osa, joka kesti 30.9.2006 asti. Hankkeen rahoittajina toimivat Tekes, Työsuojelurahasto ja hankeyritykset, yhtenä CENTRIA Tutkimus ja kehitys.

Hankkeen alussa työsuojelurahastolta haettiin 50 000 € osuutta, hankkeeseen myönnettiin 30 000 €. Lisäksi Tekes muutti alkuperäistä rahoituspäätöstä siten, että B-osan tukiprosentti laski 70 %:sta 50 %:iin. Nämä päätökset lisäsivät yritysten rahoitusosuutta. Taulukossa 14 on eritelty eri rahoittajien osuudet hankkeen A- ja B-osien aikana sekä osuudet kokonaisbudjetista.

TAULUKKO 14. Rahoituksen jakaantuminen hankeyritysten välillä.

Projektirahoitus	A-osa		B-osa		Kokonaisbudjetti	
	153 000		187 000		340 000	
	%	€	%	€	%	€
Tekes	70 %	107 100	50 %	93 500	59 %	200 600
TSR	9,8 %	15 000	8 %	15 000	8,8 %	30 000
Yritykset	20,2 %	30 900	42 %	78 500	32,2 %	109 400

7 YHTEENVETO

Pintakäsittelylaitoksen päästö- ja toimintakykytutkimushanke (PPT 2004) oli kestoaltaan kaksivuotinen. Tutkimushanke toteutettiin kahdessa osassa. A-osa alkoi 1.4.2004 ja kesti toimenpiteiden osalta 30.6.2005 ja raportoinnin osalta 30.9.2005 asti. Välittömästi A-osan toiminnallisen osuuden jälkeen alkoi hankkeen B-osa, joka kesti 30.9.2006 asti. A- ja B-osat toteutettiin hanke- ja tutkimussuunnitelman mukaisesti.

Hankkeessa oli mukana kymmenen puualan yritystä; ET-Maalauk Oy, Kensapuu Oy, LTM Company Oy, Matti-Ovi Oy, Mellano Oy, Närppes Nordwood Oy Ab, Puusepäntiike Hirviset Oy, Tiivituote Oy, Topi-Kalustaja Oy ja UPM Kymmene Wood Oy, yksi laitevalmistaja; Sasmator Oy ja yksi maalitehdas; Teknos Oy. B-osaan mukaan tuli myös yksi metallialan yritys; Värikyrö Oy.

Tutkimus- ja mittaustyötä hankkeessa tekivät CENTRIA Tutkimus ja kehitys sekä Työterveyslaitos, Oulun yksikkö. Hankkeen rahoittivat TEKES, Työsuojelurahasto, hankeyritykset sekä CENTRIA.

7.1 Onnistuminen tavoitteissa ja toimenpiteissä.

Projektin ja projektihenkilöstön onnistumista tavoitteiden ja toimenpiteiden saavuttamisessa on arvioitava kahdelta suunnalta. Ensimmäinen on projektihenkilöstön oma näkemys onnistumisesta ja toinen on yritysten henkilöstön antama palaute projektin aikana.

A ja B-osan tavoitteiden toteutuminen on edennyt hankesuunnitelman mukaisesti ja jopa aikataulullisesti edellä alkuperäistä suunnitelmaa, sillä tarvittavat työtehtävät on pääsääntöisesti suoritettu syyskuun 2006 loppuun mennessä.

Arvioitaessa toimenpiteiden ja yrityksissä suoritettujen tehtävien toteutumista on yrityksissä ja yrityksiltä saatu palaute ollut todella positiivista ja kannustavaa. Tämä on auttanut ja myös nostanut projektihenkilöstön motivaatiota pyrkimyksissä ratkaista vaikeitakin asioita.

Projektihenkilöstö kokee osittain epäonnistuneensa kahdessa hankesuunnitelmassa suunnitellussa toimenpiteessä; linjamittausten määrässä ja ajoarvotaulukoiden tekemisessä. Linjamittauksia oli tarkoitus suorittaa 8 kertaa joka yrityksessä. Läheskään kaikissa yrityksissä tämä ei toteutunut, sillä vähäiset säätömahdollisuudet ja tulevat linjainvestoinnit vähensivät mittausten tarvetta. Lisäksi linjamittauksissa ongelmia aiheutti yritysten täyteen kuormitetut tuotantoajot. Mittaukset piti suorittaa niillä arvoilla mitä mittaushetkellä tuotannossa oli, tästä johtuen ajoarvoja ei voitu juurikaan säätää eikä näin ollen laatia uusia ajoarvotaulukoita. Toisaalta pintakäsittelylinjoista ja tuotantotiloista pystyttiin kuitenkin löytämään ja korjaamaan epäkohdat ja sitä kautta parantamaan työskentelyolosuhteita.

Itse mittaustapahtuma ja välineistö kehittyivät hankkeen aikana aivan uudelle tasolle. Pystyimme kehittämään mittausvälineistön, jolla voitiin mitata pintakäsittelylinjan sisäiset ilmanvirtaukset, lämpötilat ja kosteudet. Tämä on Suomessa täysin uutta ja antaa aivan uuden mahdollisuuden tarkastella pintakäsittelyprosessin tilaa ja vedenhaihdutuskykyä.

Yhteistyö projektihenkilöstön, yritysten ja asiantuntijoiden kanssa on ollut erittäin hyvää ja rakentavaa, tämä on osaltaan mahdollistanut koko hankkeen erinomaisen onnistumisen. Yhteistyö Työterveyslaitoksen kanssa siten, että CENTRIA keskittyi prosessiosaamiseen ja Työterveyslaitos työympäristöasioihin, koettiin hyväksi ja suositeltavaksi työskentelytavaksi. Onnistuneen yhteistyön ansiosta hankkeen voidaan todeta onnistuneen jopa ennakoitua paremmin. Yhteistyötä Työterveyslaitoksen kanssa tullaan jatkamaan myös tulevaisuudessa.

7.2 Projektin tulokset

PPT2004 -projektin lähtökohtana oli selvittää erityyppisten pintakäsittelylinjojen kokonaisvaltainen ilmastoinnin sekä kuivausprosessin tila eri vuodenaikoina. Suomen vaihteleva ilmasto aiheuttaa ongelmia niin vesiohenteisille kuin katalyytti- ja liuotinpohjaisillekin aineille. Absoluuttisen kosteuden nousu heikentää vesiohenteisilla aineilla pintakäsittelylinjan kuivauskapasiteettia ja toisaalta vaikuttaa myös liuotinaineiden kuivumisnopeuteen. Pintakäsittelyprosessissa käytettävä ilma tulisikin erottaa halli-ilmasta, sillä niillä on erilaiset olosuhdevaatimukset. Keskiraskasta työtä tekevien työskentelyolosuhteiden kannalta halli-ilman tulisi olla 17-22 °C. Puutavaran laadun kannalta suhteellisen kosteuden pitäisi olla 45-55 %, mikä on pintakäsittelyn prosessi-ilmaksi liian kosteaa.

Projektin aikana halli-ilman lämpötila pysyi melko tasaisena, talvella lämpötila laski hieman. Sen sijaan kosteusolosuhteet vaihtelivat vuodenajan mukaan. Koska suhteellinen kosteus seuraa lämpötilaa, on absoluuttinen kosteus parempi mittari ilman kosteudensidontakyvyn kannalta. Kun halli-ilmaa käytetään kuivausuunin prosessi-ilmana, absoluuttisen kosteuden nousu heikentää uunin kuivaustehoa. Syksyllä, kun absoluuttinen kosteus on korkea, uunin poistoilma ei välttämättä kykene poistamaan riittävästi kosteutta, jolloin uunin kapasiteetti ei riitä kappaleiden kuivaamiseen. Erilaisten kosteusolosuhdevaatimusten takia prosessi-ilma tulisi voida säätää kuivaimella tai kostuttimella halutunlaiseksi.

Myös uunin ja hallitilan ilmantaseet vaikuttavat kuivausprosessiin. Jos uuni on liian alipaineinen, sinne kulkeutuu hallitilasta pölyä ja muita epäpuhtauksia aiheuttaen ongelmia tuotannon laatuun. Jos taas uunitase on ylipaineen puolella, kulkeutuvat hajapäästöt uunitilasta hallitilaan heikentäen työskentelyolosuhteita. Samoin hallitilan virheellinen ilmastointitasapaino aiheuttaa hallitsemattomia virtauksia ja epäpuhtauksien liikkumista eri tilojen välillä.

Hallitaseissa oli yritysten välillä suuria eroja. Keskimääräisesti hallitaseet näyttivät olevan hallinnassa, mutta yrityskohtaisesti tarkasteltaessa havaittiin, että yhdessäkään hankeyrityksessä ei todellisuudessa päästy hallitilan ilmastoinnin

tasapainotilaan. Parhaimmillaan pintakäsittelytilasta poistui ilmaa 35 000 m³/h enemmän kuin korvausilmaa saatiin tilalle. Vastaavasti toisessa ääripäässä tuloilmaa puhallettiin hallitilaan 44 000 m³/h enemmän kuin tilasta poistettiin ilmaa. Eniten taseisiin vaikuttivat muutokset yleisilmanvaihdossa, purunpoistossa ja jäähdytyksessä.

Hankeyritysten uunitaseet oli pyritty säätämään niin, että maksimaalinen tuotanto onnistui. Tehtyjen mittausten mukaan uunien ilmamäärät vaihtelivat sekä eri vuodenaikojen että eri mittauskertojen välillä reilustikin. Yleisesti ottaen taseet olivat syksyllä ja talvella hieman negatiiviset eli tilanne oli hallinnassa. Kesällä puolestaan poistoilman määrä lisääntyi, joten taseet painuivat liian negatiiviseksi. Oikeiden ilmamäärien säätöjen löytyminen ja sitä kautta tuotannon tasapainottaminen onkin vielä haaste muutamissa yrityksissä.

Uunitaseiden lisäksi projektin aikana mitattiin kuivausuunien sisäisiä virtauksia ja olosuhteita. Erityyppiset uuniratkaisut vaikuttavat siihen, kuinka voimakkaita ilmavirtauksia uunissa syntyy. Käytetyt pintakäsittelyaineet sekä levitysmäärät puolestaan vaikuttavat siihen, kuinka voimakasta ilmavirtausta voidaan käyttää.

Tasolinjoissa on hieman voimakkaampi vaakavirtaus kuin kerroskuivaimissa, mutta molemmissa uunityypeissä on haihdutus- ja jäähdytysvyöhykkeillä voimakkaampi virtaus kuin itse kuivausvyöhykkeellä. Vaakavirtauksen keskiarvo on noin 1 m/s. Tasolinjoista mitattujen pystyvirtausten perusteella havaittiin, että pystyvirtauksen kasvaessa vaakavirtaus heikkenee. Tasolinjoissa juuri kuivausvyöhykkeellä olikin voimakkain pystyvirtaus. Myös pystyvirtauksen keskiarvo jäi noin 1 m/s.

Perusmittausten lisäksi hankeyrityksissä pyrittiin ratkaisemaan yrityskohtaisia ongelmia aina yksittäisen jäähdytys- tai kuivausuunilohkon toiminnasta ruiskuautomaatin ilmastointiin tai jopa kokonaisen pintakäsittelylinjan investoinnin suunnitteluun.

Useassa hankeyrityksessä on käynnissä selvitystyö pintakäsittelyprosessin muuttamiseksi ympäristöystävällisempään suuntaan. Toistaiseksi itse prosesseissa

ei ole tapahtunut juurikaan muutoksia. Lähinnä yrityksissä on siirrytty jonkin verran vesiohenteisiin aineisiin tai investoitu työskentelyolosuhteita tai tuotantoa parantaviin yksittäisiin laitteisiin. Muutamassa yrityksessä on myös hankittu tai suunniteltu kokonaan uuden pintakäsittelyhallin tai -linjan investointia.

Pintakäsittelylinjan investoinnissa on paljon yrityskohtaisia ja yleisiä riskitekijöitä, joilta voidaan turvautua ainoastaan hyvällä sopimuksella. Hankkeen B-osan aikana valmistuikin insinööriyö maalaamohankinnasta painottuen käsittelemään juuri sopimusjuridiikkaa ja sopimuksen laadinnassa huomioon otettavia seikkoja. Yrityksille tehdyn kyselyn mukaan sopimuksen tekemisessä oli vielä paljon parannettavaa.

Parannettavaa on vielä työskentelyolosuhteissakin. Siirtyminen vesiohenteisiin pintakäsittelyaineisiin parantaa osaltaan olosuhteita, mutta myös työympäristön siisteydellä voidaan vaikuttaa työntekijöiden viihtyvyyteen. Eniten siisteyteen ja olosuhteisiin vaikuttavat kuivumaan jätetyt avoimet kemikaaliastiat, pinnoille kertyvä pöly sekä pintakäsittelytilaan varastoidut levy materiaalit, jotka omalta osaltaan lisäävät myös palokuormaa. Olennaisena osana työntekijöiden turvallisuuteen liittyy myös suojainten käyttö. Kuulosuojaimet ja suojavaatteet olivat hankeyritysten työntekijöillä hyvin käytössä, mutta vielä pitäisi panostaa käsineiden, hengityssuojainten ja suojalasien käyttöön. Etenkin huollon yhteydessä suojaimia tulisi muistaa käyttää. Erityisesti kiireaikoina huoltotöille on hankala löytää aikaa ja kiireessä usein suojautuminenkin unohtuu. Huolto on kuitenkin tärkeä osa linjan toiminnan ja tuotteiden laadun kannalta. Käyttöhenkilökunnan kiinnostus ja osaaminen vaikuttivat tähän suuresti.

Liutinainealtistuminen on yhä ongelma puusepänteollisuuden pintakäsittelyssä vaikka altistuvien työntekijöiden osuus on laskemassa vesiohenteisten tuotteiden yleistymisen myötä. Liutinaineiden aiheuttamia ammattitauteja ilmenee edelleen vuosittain useita. Liutinainepitoisuudet ovat kasvaneet 2000-luvulla ja isoja, yli HTP-arvojen olevia pitoisuuksia, esiintyy yhä työpaikoilla. Tästä johtuen liutinainepitoisuuksia tulee pyrkiä laskemaan jatkossakin.

Pintakäsittelyssä liuotinaineille altistuvat etenkin pintakäsittelylinjojen hoitajat ja käsiruiskumaalarit. Liuotinainealtistumisen kannalta ongelmallisimpia työvaiheita ovat erilaiset laitepesut ja huollot sekä maalinsekoitukset. Tyypillisiä liuotinaineiden päästölähteitä ovat puutteellisesti koteloidut pintakäsittelylinjan osat, avonaiset maaliastiat, maalinsekoitus- ja käsiruiskumaalauspiestet sekä tuotteiden kuivaus tuotantotiloissa.

Hankkeen aikana ilmeni, että parhaat torjuntatoimet, joiden avulla pintakäsittelylinjojen liuotinainealtistumista voidaan vähentää, ovat liuotinainepohjaisten tuotteiden korvaaminen vesiohenteisilla, pintakäsittelylinjan märkää kotelointi ja ilmanvaihtotekniset ratkaisut.

Torjuntakokeilujen perusteella laadittiin yksinkertainen indeksi, jonka avulla työpaikoilla voidaan arvioida pintakäsittelyssä työskentelevien liuotinainealtistumista. Niillä työpaikoilla, joilla on jo siirrytty vesiohenteisten tuotteiden käyttöön, ei indeksin käyttöön ole tarvetta. Indeksillä tärkeimpiä arviointiin vaikuttavia tekijöitä ovat ilmanvaihtokerroin, pintakäsittelylinjan kotelointi, häiriövirtaukset ja kohdepoistojen otsapintanopeus.

Pintakäsittelylinjoilla ilmanvaihtoon käytetyt ilmamäärät ovat usein suuria ja paljon energiaa vaativia. Huolellisesti suunniteltuna ja toteutettuna voidaan teknisen torjunnan avulla vähentää liuotinainepäästöjen lisäksi myös yleis- ja kohdeilmanvaihtoon käytettäviä ilmamääriä. Altistumisen vähentämisen lisäksi näin voidaan vaikuttaa myös ilmanvaihto- ja energiakustannusten pienentämiseen.

Liuotinaineille altistuminen on yksi tärkeimmistä pintakäsittelyalan vetovoimaisuuteen vaikuttavista tekijöistä, joten työolojen ja työturvallisuuden kohentaminen on tärkeää pätevän työvoiman saannin turvaamiseksi tulevaisuudessa. Muita tärkeitä vetovoimaisuuteen vaikuttavia tekijöitä vetovoimaisuuskyselyyn vastanneiden mielestä ovat palkkojen saanti kilpailukykyisemmäksi, työntekijöiden tasa-arvoinen kohtelu sekä ajan tasalla olevat koneet ja laitteet.

Siirtyminen vesiohenteisiin pintakäsittelyaineisiin mahdollistaa uusia ratkaisuja kuivaustekniikkaan. Pintakäsittelyuuneissa käsiteltävät ilmamäärät ovat suuria ja nykyisillä toteutustavoilla ne kuluttavat paljon lämpöenergiaa ja alipaineistavat työtiloja heikentäen lämpöolojen hallintaa. Kuivausuuneissa haihtunut kosteus voidaan kuivata kiertoilmasta kuivaimen avulla, jolloin mahdollistuu ns. suljettukierto. Suljetulla ilmakierrolla hallien ilmatase saadaan hallintaan ja kuivatuksessa syntyvät päästöt voidaan pitää koteloiduissa uuneissa levittämättä niitä työilmaan. Kostean ilman lämmittäminen kuivausprosessin kannalta on epätaloudellista ja siksi kierrätysilman ja lisäilman kuivaus, ennen sen lämpötilan nostoa, on järkevää. Käyttämällä prosessi-ilman kuivatuksessa lämpöpumppua on mahdollista parantaa uunien lämpötaloutta. Suljetussa kierrossa saavutetun poistoilman pienenemisestä syntyvän energiasäästön lisäksi säästöä syntyy myös kuivausuunin olosuhteiden vakiinnuttamisesta. Tällöin voidaan ajaa samalla maksimaalisella linjan ratanopeudella läpi vuoden.

Projektin aikana suljettua kiertoa tutkittiin selvittämällä miten CENTRIAn uuneihin tulevan ilman kosteus saadaan hallintaan mahdollisimman pienellä energiakustannuksella ja toisaalta miten kiertoilmalämpöpumppukuivaus soveltuu laskennallisesti kuivausuunien olosuhteisiin. Kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ideana oli, että uunissa ilmaan haihtuva kosteus poistetaan lämpöpumppupiirin höyrystimessä. Höyrystimessä kylmäaineeseen siirtynyt lämpö hyödynnetään kuivausilman lämmityksessä kylmäainepiirin lauhduttimella, jonka läpi kuivausilma puhalletaan takaisin uuniin. Kiertoilmalämpöpumppukuivauksen energiankulutus on noin 4 kertaa pienempi kuin perinteisemmän sorptiokuivauksen. Lisäksi lämpöpumppukuivausprosessissa syntyy ylimääräistä lämpötehoa noin 40 kW. Tämä voidaan hyödyntää esimerkiksi halliin tulevan ilman lämmittämiseen.

Nykyisten pintakäsittelylinjojen kuivatusosa on sen laajin ja eniten energiaa käyttävä yksikkö. Suurin osa energiakustannuksista koostuu suurista konekohtaisista poistoista. Lämmöntalteenotolla energia saadaan talteen prosessihäviöistä usein tehokkaasti ja taloudellisesti, mutta monessakaan hankeyrityksessä ei talteenottoa ollut. Poistuvan energian kustannus hankeyrityksissä oli keskimäärin 1,85 €/h. Jos

energiakustannuksia halutaan siis pienentää, poistuvan ilman lämmöntalteenotto olisi yksi vaihtoehto.

Myös kuivausuunien säädöillä voidaan vaikuttaa energiakustannuksiin. Virtaukset uunissa ei välttämättä ole parhaat mahdolliset, vaikka kiertoilman teho olisi täysillä. Toisaalta ylimääräisiä IR- ja UV-lamppuja voidaan sammuttaa ja tarpeettoman suuria poistovirtauksia voidaan pienentää. Kuivausuunien olosuhteita, säätöjä ja haihtumista tutkittiin myös projektin aikana tehdyssä insinööriyössä.

Hankkeen aikana kehitettiin mittauspalvelu, jota CENTRIA Tutkimus ja kehitys tulee markkinoimaan pintakäsittelyä tekeville yrityksille. Mittausten avulla on mahdollista testata ja tarkkailla pintakäsittelylinjan ja kuivausprosessin tilaa, huomioida koko hallitilan olosuhteiden vaikutus pintakäsittelyyn sekä havaita pintakäsittelylinjan puutteet ja toimintaan vaikuttavat virheellisyydet, jotka osaltaan heikentävät linjakapasiteettia ja tuotannon laatua.

TYÖTERVEYSLAITOS

Työympäristön kehittäminen - osaamiskeskus
Fysikaaliset tekijät ja tekniset torjuntaratkaisut
Teollisuusilmastointipalvelut

**KIERTOILMALÄMPÖPUMPPUKUIVAUS
PINTAKÄSITTELYUUNEISSA**

Tutkimusinsinööri DI Aki Valkeapää
Aapistie 1, 90220 OULU
puhelin 030 474 6116
faksi 030 474 6000
email: aki.valkeapaa@ttl.fi

Oulussa 30.8.2006

TIIVISTELMÄ

Selvitystyön tavoite oli laskennallisesti tutkia kiertoilmalämpöpumppukuivauksen soveltuvuus pintakäsittelylinjojen kuivatusuunien olosuhteisiin ja laskea lämpöpumppukuivausprosessin ominaisenergiankulutus. Laskennan lähtökohtana ovat tilaajan antamat lähtöarvot. Ominaisenergiankulutuksen vertailukohtana on käytetty Muntersin MX7600 ilmankuivaimen ominaisenergiankulutusta, joka on pyydetty laitetoimittajalta samoille prosessiarvoille kuin mille kiertoilmalämpöpumppukuivausprosessin ominaisenergiankulutus on laskettu.

Prosessilaskelman mukaan, kun puhaltimen ja lämpöpumpun sähkötehotarve huomioidaan laskelmassa, 100 %:n kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ominaisenergian kulutus optimiolosuhteissa on 0,35 kWh/kg vettä. Jos kiertoilmalämpöpumppukuivatusprosessiin lisätään edelleen nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä, saadaan laskennallisesti kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ominaisenergiankulutukseksi 100%:n ilmakierrolla 0,29 kWh/kg vettä optimiolosuhteissa. Laskelmassa on huomioitu lämmöntalteenottopatterien painehäviön vaikutus puhallintehtoon.

Kun osa kiertoilmasta poistetaan prosessista (poisto suhde 10 tai 20 %), kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ominaistehonkulutus esimerkiksi kesätilanteessa (korvausilma +18°C/50%) ilman lämmöntalteenottokytkentää on 0,31-0,33 kWh/kg vettä ja lämmöntalteenottokytkennällä 0,26-0,27 kWh/kg vettä. Ominaisenergiankulutuksissa on huomioitu puhaltimen sähköteho. Toisin sanoen yhdellä kilowattitunnilla sähköä saadaan vettä poistetuksi prosessista 3,0-3,9 kg.

Lämpöpumppukuivausprosessin taloudellisuutta arvioitaessa on huomioitava myös apulauhduttimesta saatava noin 30 - 45 kW:n lämpöteho, jolla voidaan lämmitellä esimerkiksi hallin tuloilmaa. Prosessissa syntyvä ylimääräinen teho riippuu käytettävästä kylmäaineesta ja lämmöntalteenottokytkennän käytöstä. Lämpöpumpun sähkön tarpeeseen vaikuttaa oleellisesti kompressorin isentrooppinen hyötysuhde ja prosessiin valittu kylmäaine. Lauhtumis- ja höyrystymislämpötiloja ei voida oleellisesti muuttaa, vaan ne määrää kuivausprosessi.

Laitetoimittajan (Munters) laskentaohjelman mukaan sorptiokuivaimen ominaisenergiankulutus on 1,2 kWh/kg (ilmavirta 2,5 m³/s, make-up ilmaa 20 %:a, kuivaukseen tulevan ilman tila 22,7°C/78,1%). Laskennallisesti sorptiokuivauksen ominaisenergiankulutus on 3,6 - 4,6 -kertainen kiertoilmalämpöpumppukuivaukseen verrattuna. Lämpöpumppukuivauksen takaisinmaksuaika riippuu energiahinnoista ja investointikustannuksista. Takaisinmaksuaikaa ei voida laskea ennen kuin kaikki kiertoilmalämpöpumppukuivauksen komponentit on valittu ja sovitettu yhteen ja edelleen saatu arvio koko "paketin" kustannuksista. Prosessiin parhaiten soveltuvalla kylmäaineella ei välttämättä löydy markkinoilta sopivan kokoista kompressoria, mikä voi vaikuttaa lämpöpumppukuivauksen ominaisenergiankulutukseen kompressorin isentrooppisen hyötysuhteen ja tehonkulutuksen kautta.

LIITE 1 - Kiertoilmalämpöpumppukuivaus

KÄYTETYT MERKINNÄT

C_{ph}	veden ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa, kJ/kgK
C_{pi}	kuivan ilman ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa, kJ/kgK
E	kuivatuksen ominaisenergiankulutus, kWh/kg vettä
H	sähköenergian hinta, €/kWh
h	entalpia, kJ/kg
h_i	kuivan ilman entalpia, kJ/kg
h_h	vesihöyryn entalpia, kJ/kg
h_k	kostean ilman entalpia, kJ/kg
h_v	veden entalpia, kJ/kg
K	lämpöpumpun käyttökustannukset, €
K_1	lauhdutustehon määrittämiseen liittyvä kompressorista riippuva kerroin
l_{ho}	veden höyrystymislämpö, 2501 kJ/kg ($t=0^\circ\text{C}$)
M_h	vesihöyryn molaarinen massa, kg/kmol
m_h	vesihöyryn massa, kg
M_i	kuivan ilman molaarinen massa, kg/kmol
m_i	kuivan ilman massa, kg
\dot{m}_i	kuivan ilman massavirta, kg/s
$\dot{m}_{i,puh}$	kuivan ilman massavirta puhaltimessa, kg/s
m_k	kostean ilman massa, kg
\dot{m}_k	kostean ilman massavirta, kg/s
m_v	veden massa, kg
\dot{m}_v	veden massavirta, kg/s
P	kompressorin sähköteho, kW
p_h	vesihöyryn osapaine, bar
$p_{h'}$	kylläisen höyryn paine, bar
p_i	kuivan ilman osapaine, bar
p_k	kokonaispaine, bar
Q	lämpöpumpun energian kulutus, kW
Q_v	kostean ilman tilavuusvirta, m ³ /s
q_{mk}	kostean ilman massavirta, kg/s
$q_{m,r}$	kylmäaineen massavirta, kg/s
R	yleinen kaasuvakio, $8,314 \cdot 10^3$ J/kmolK
T	lämpötila, K
t	lämpötila, °C
t_{jip}	jäähdytyspatterin näennäinen pintalämpötila, °C
T_l	lauhtumislämpötila, K
T_h	höyrystymislämpötila, K
w_k	kompressorin ottama todellinen työ, kJ/kg
x	kosteus, kg/kg k.i.
ε	kylmäkerroin
ε_c	Carnot- kylmäkerroin
ε_i	indikoitu kylmäkerroin
ε_t	teoreettisen höyryprosessin kylmäkerroin
ϕ_{JP}	jäähdytyspatterin (höyrystimen) teho, kW
ϕ_{LP}	lämmityspatterin (lauhduttimen) teho, kW

LIITE 1 - Kiertoilmalämpöpumppukuivaus

ϕ_{saatu}	lämpöpumpun lauhduttimesta saatu energia, kW
$\phi_{\text{hä}}$	lämpöhäviöt uunista ympäristöön, kW
$\phi_{\text{hä}}$	höyrystimen teho (kylmäteho), kW
ϕ_{yli}	apulauhduksen teho, kW
η_{cd}	kylmäaineen termodynaaminen hyötysuhde
η_{ct}	Carnot-hyvyyskerroin
η_{ki}	kompressorin indikoitu hyötysuhde
η_{m}	moottorin hyötysuhde
η_{mk}	kompressorin mekaaninen hyötysuhde
η_{p}	puhaltimen hyötysuhde
η_{s}	kompressorin isentrooppien hyötysuhde
φ	ilman suhteellinen kosteus, %
φ	lämpökerroin
φ_{c}	Carnot-lämpökerroin
π	kompressorin puristussuhde
ρ_{i}	kuivan ilman tiheys, kg/m ³
ρ_{h}	vesihöyryn tiheys, kg/m ³
ρ_{k}	kostean ilman tiheys, kg/m ³
τ	lämpöpumpun käyntiaika, h
Δh_{0}	entalpian muutos höyrystimessä, kJ/kg
Δh_{k}	entalpian muutos kompressorissa, kJ/kg
Δh_{ks}	entalpian muutos kompressorissa isentrooppisessa puristuksessa, kJ/kg
Δh_{l}	entalpian muutos lauhduttimessa, kJ/kg
Δp_{puh}	puhaltimen kokonaispaine, Pa
Δt_{puh}	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

LIITE 1 - Kiertoilmalämpöpumppukuivaus

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

KÄYTETYT MERKINNÄT

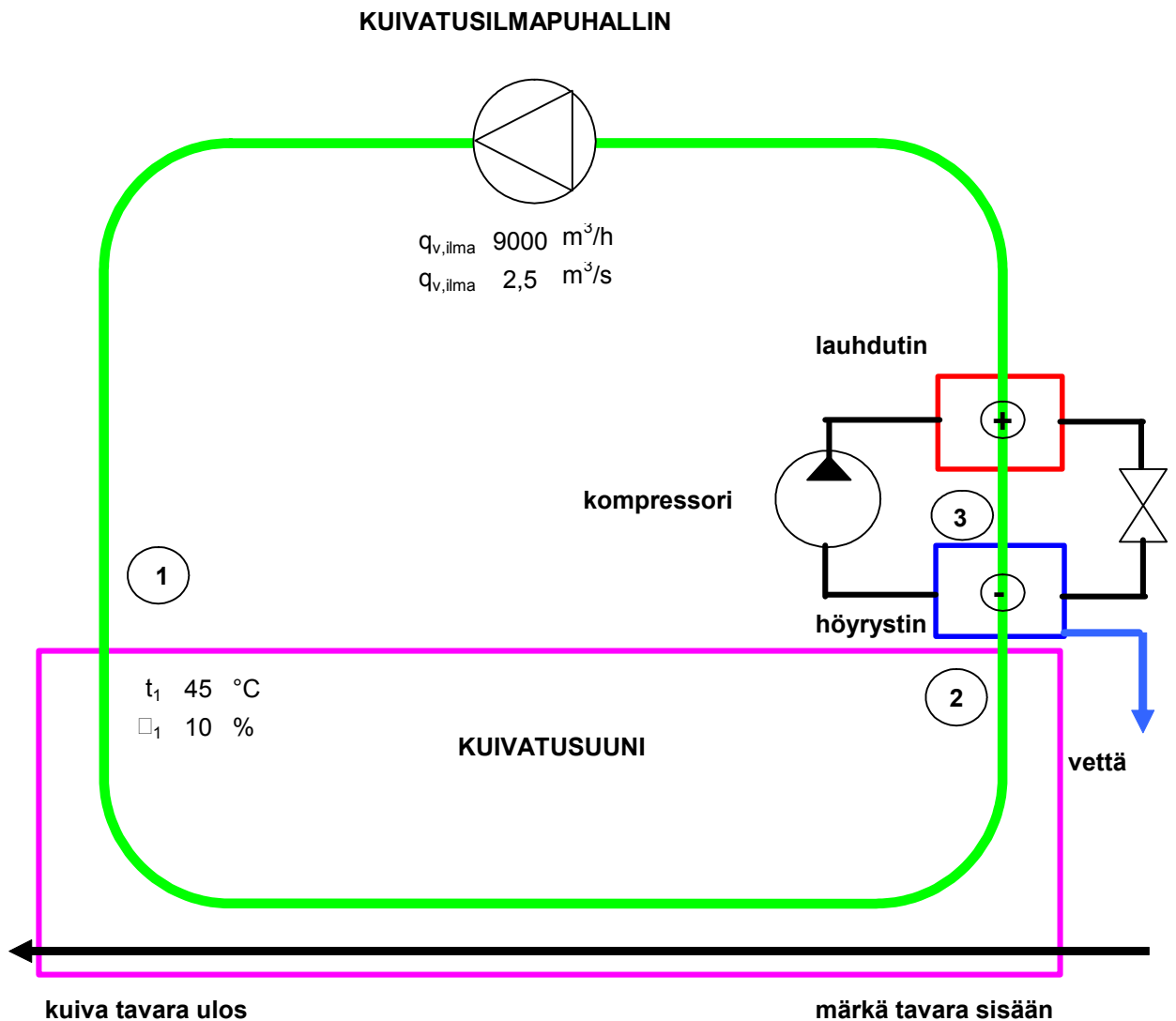
SISÄLLYSLUETTELO

1 PROSESSILASKENNAN KUVAUS JA LASKENNAN LÄHTÖARVOT	1
2 KUIVATUSPROSESSI	2
2.1 KOSTEA ILMA PROSESSILASKENNASSA	2
2.2 KUIVAUSPROSESSI H,X-PIIRROKSESSA	3
2.3 KUIVATUSILMAN TILAN MUUTOS UUNISSA	4
2.4 ILMAN KUIVAUS JA LÄMMITYS	6
3 LÄMPÖPUMPPUPROSESSI	7
3.1 TEOREETTINEN TAUSTA	7
3.2 KUIVAUSLÄMPÖPUMPUN LÄMPÖPUMPPUPROSESSIN LASKENTA	13
3.2.1 Lauhtumis- ja höyrystymislämpötilat	13
3.2.2 Tulistuminen höyrystimessä	13
3.2.3 Alijäähdyminen lauhduttimessa	13
3.2.4 Prosessissa kiertävä kylmäaine	13
3.2.5 Lämpöpumppuprosessi kylmäaineilla R 410 A, R404 A, R 134 A ja R407 C	14
3.2.6 Kiertoilmalämpöpumppukuivaus epäsuoralla lämmöntalteenotolla	16
3.2.7 Liuotinaineiden poisto prosessista	19
4 PROSESSIN OMINAISENERGIANKULUTUS	19
4.1 OMINAISENERGIANKULUTUSTEN VERTAILU	20

LIITTEET

1 Prosessilaskennan kuvaus ja laskennan lähtöarvot

Lämpöpumpulla siirretään lämpöä alhaisemmasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Lämmön siirtämiseen tarvitaan työtä (mechanically driven heat pumps). Toisen pääsäännön mukaan voidaan lämmön siirtämiseen korkeampaan lämpötilaan käyttää työn sijasta lämpöä (thermally driven heat pumps) tai molempia. Tässä rajoitutaan tarkastelemaan vain faasimuutokseen (käännteinen Clausius-Rankine prosessi) perustuvaa lämpöpumppuprosessia, jossa puristustyön tekee kompressorin. Selvitystyön tavoite oli laskennallisesti tutkia kiertoilmalämpöpumppukuivauksen soveltuvuus pintakäsittelylinjojen kuivatusuunien olosuhteisiin ja laskea lämpöpumppukuivausprosessin ominaisenergiankulutus. Laskennan lähtökohtana ovat tilaajan antamat lähtöarvot (taulukko 1). Ominaisenergiankulutuksen vertailukohtana on käytetty Muntersin MX7600 ilmankuivaimen ominaisenergiankulutusta, joka on pyydetty laitetoimittajalta samoille prosessiarvoille kuin mille kiertoilmalämpöpumppukuivausprosessin ominaisenergiankulutus on laskettu.



Kuva 1. Kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ilman ja kylmäaineen kiertoprosessit. Pisteet 1,2 ja 3 vastaavat h,x-piirroksen (kuva 2) prosessin tilapisteitä.

Kiertoilmalämpöpumppukuivaus käsittää kaksi erillistä kiertoprosessia; lämpöpumppupiirin kylmäaineen kiertoprosessin ja kuivatusilman kiertoprosessin (kuva 1). Uunissa ilmaan haihtuva kosteus poistetaan lämpöpumppupiirin höyrystimessä. Höyrystimessä kylmäaineeseen siirtynyt lämpö hyödynnetään kuivatusilman lämmityksessä kylmäainepiirin lauhduttimella, jonka läpi kuivatusilma puhalletaan takaisin uuniin.

Taulukko 1. Laskennan lähtöarvot.

Kuivatusilman lämpötila ennen uuniin puhallusta	45...50 °C
Kuivatusilman kosteus ennen uuniin puhallusta	10...20 %
Uunissa ilmaan haihtuva kosteus, kun ratanopeus 2 m / min ja uunin pituus 2 x 6 m	8712 g / 6 min (24,2 g/s)
Kuivatusilmavirta	9000 m ³ /h

2 Kuivatusprosessi

2.1 Kosteaa ilmaa prosessilaskennassa

Käsitellään ilmaa laskennassa ideaalikaasuna. Kosteaa ilmaa on kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Ideaalikaasun tilayhtälön mukaan kuivan ilman tiheys on

$$\rho_i = \frac{p_i M_i}{RT} \quad (1)$$

ja vesihöyryn tiheys

$$\rho_h = \frac{p_h M_h}{RT} \quad (2)$$

Kostean ilman tiheys on kuivan ilman ja vesihöyryn osatiheyksien summa

$$\rho_k = \rho_i + \rho_h \quad (3)$$

Ilman kokonaispaine on

$$p_k = p_i + p_h \quad (4)$$

Ilman kosteus on

$$x = \frac{m_h}{m_i} = \frac{\rho_h}{\rho_i} = \frac{p_h M_h}{p_i M_i} = 0,622 \frac{p_h}{p_i} = 0,622 \frac{p_h}{p_k - p_h} \quad (5)$$

Ilman suhteellinen kosteus on

$$\varphi = \frac{p_h}{p_h^*(t)} \quad (6)$$

Kylläisen höyryn paine on

$$\log p_h^* = 28,59051 - 8,2 \log(t + 273,15) + 0,0024804(t + 273,15) - \frac{3142,31}{t + 273,15} \quad (7)$$

Kostean ilman entalpia / kuivan ilman massa on

$$h_k = c_{pi}t + x(l_{h0} + c_{ph}t) \quad (8)$$

Ominaislämmöt riippuvat hieman lämpötilasta, mutta käyttämällä vakioarvoja ja käyttämällä veden entalpian nollapisteenä 0°, voidaan kostean ilman entalpia laskea yhtälöstä

$$h_k = 1,006t + x(2501 + 1,85t) \quad (9)$$

Kostean ilman massavirta on

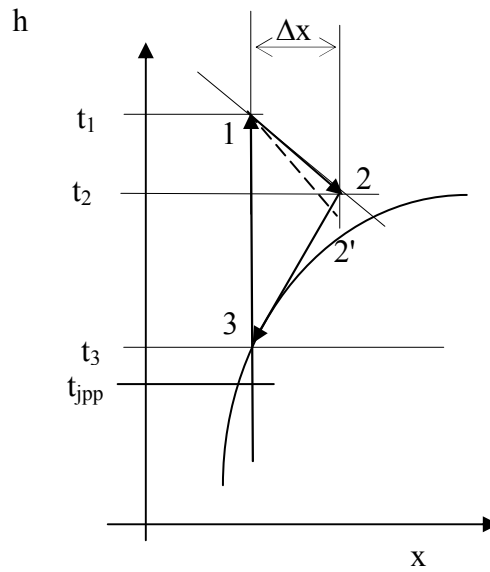
$$m_k = Q_v \cdot \rho_k \quad (10)$$

Kuivan ilman massavirta saadaan kokonaismassavirrasta

$$m_i = \frac{m_k}{1 + x} \quad (11)$$

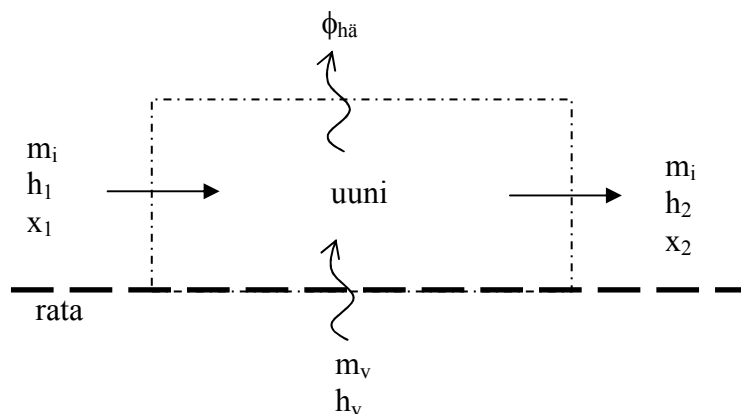
2.2 Kuivausprosessi h,x -piirroksessa

Kuvan 2 mukaisesti kiertoilmalämpöpumppukuivaus käsittää kolme ilman tilan muutosta. Kuvan 2 merkinnöin piste 1 kuvaa ilman tilaa ennen puhallusta uuniin ja piste 2 ilman tilaa uunin märkäpäässä ennen ilman virtausta höyrystimeen (jäähdytyspatteriin). Uunissa välillä 1-2 tuotteista haihtuu vettä virtaavaan ilmaan. Haihduttamisessa tarvittava lämpö otetaan ilmasta, jolloin ilma jäähtyy ja sen kosteus kasvaa. Höyrystimessä välillä 2-3 ilmasta poistetaan vettä ja samalla ilma on jäähdytettävä kosteuteen, joka on sama kuin ilman kosteus ennen uuniin puhallusta, koska ilmaa lämmitettäessä välillä 3-1 ilman kosteus pysyy vakiona. Piste 3 kuvaa ilman tilaa heti höyrystimen (jäähdytyspaterin) jälkeen. Piste 1 kuvaa ilman tilaa heti lauhduttimen (lämmityspatterin) jälkeen. Ilman kiertoprosessin pisteet 1 ja 3 määrittävät myös lämpöpumppuprosessin höyrystymis- ja lauhdutuslämpötilat.



Kuva 2. Kiertoilmalämpöpumppukuivausprosessin ilman tilanmuutokset h,x -piirroksessa, kun veden haihtuminen uunissa tapahtuu adiabaattisesti (ei lämpö- ja vuotohäviöitä). Katkoviiva kuvaa uunia, jossa tapahtuu lämpöhäviöitä ympäristöön uunin pinnoista.

2.3 Kuivatusilman tilan muutos uunissa



Kuva 3. Pintakäsittelylinjan kuivatusuunin energia- ja vesivirrat.

Kuvan 3 merkinnöin uunin energia- ja vesitase ovat

$$m_i h_1 + m_v h_v = m_i h_2 - \phi_{hä} \quad (12)$$

$$m_i x_1 + m_v = m_i x_2 \quad (13)$$

Yhtälöstä 12 entalpien muutos on

$$m_i \Delta h = m_i (h_2 - h_1) = m_v h_v - \phi_{hä} \quad (14)$$

Yhtälöstä 13 vesitaseen muutos on

$$m_i \Delta x = m_i (x_2 - x_1) = m_v \quad (15)$$

Jakamalla puolittain yhtälöt 14 ja 15 saadaan ilman tilan suunnan muutokselle yhtälö

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = h_v - \frac{\phi_{hä}}{m_v} = c_{pv} t_v - \frac{\phi_{hä}}{m_v} \quad (16)$$

Yhtälöstä 16 nähdään, että adiabaattisessa haihtumisessa, jos veden lämpötila on 0°C, prosessi etenee pitkin vakioentalpia suoraa h,x-piirroksessa.

Yhtälöistä 12 ja 13 saadaan edelleen

$$\Delta x = \frac{m_v}{m_i} \quad (17)$$

$$x_2 = \frac{m_v}{m_i} + x_1 \quad (18)$$

$$\Delta h = \frac{m_v}{m_i} c_{pv} t_v - \frac{\phi_{hä}}{m_i} \quad (19)$$

$$h_2 = h_1 + \frac{m_v}{m_i} h_v - \frac{\phi_{hä}}{m_i} = h_1 + \frac{m_v}{m_i} c_{pv} t_v - \frac{\phi_{hä}}{m_i} \quad (20)$$

Ilman lämpötila on

$$t_2 = \frac{h_2 - x_2 \cdot 2501}{1,006 + 1,85x} \quad (21)$$

Taulukkoon 2 on laskettu annettujen lähtöarvojen pohjalta ilman tila uunin jälkeen adiabaattisena tapauksena (ei häviöitä) ja häviöllisenä tapauksena. Lämpöhäviöiksi uunin seinämien kautta on arvioitu 5,6 kW. Tämä on saatu käyttämällä pinta-alana 40 m², lämpötilaerona 20°C ja seinämän U-arvona 7 W/m²°C. Lämmönjohtavuutena on käytetty arvoa 50 W/mk, seinämän paksuutena 2mm ja sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summana 0,14 m²°C/W. Laskennassa on oletettu, että ilmavuotoja ei esiinny. Lisäksi laskentaa on yksinkertaistettu jättämällä pois mahdollisen puhaltimessa tapahtuvan lämpötilanousun. Prosessi on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1. Ilmaan haihtuva vesimäärä (24,2g/s) on oletettu vakioksi sisäänpuhalluslämpötilan alueella 45...50°C.

Taulukko 2. Ilman tila uunin jälkeen ennen kuivausta, kun muuttujina ovat puhallusilman lämpötila ja kosteus ennen uunia (t_1, x_1, φ_1) sekä uunin häviöt.

Q_v	ρ_k	m_{k1}	m_{i1}	m_h	t_1	φ_1	x_1	h_1	t_2	φ_2	x_2	h_2	Δx	Δh	$\phi_{hä}$
m ³ /s	kg/m ³	kg/s	kg/s	g/s	°C	%	kg/kg	kJ/kg	°C	%	kg/kg	kJ/kg	kg/kg	kJ/kg	kW
2,500	1,091	2,738	2,711	24,2	45	10	0,0060	60,81	23,4	82	0,0149	61,56	0,0089	0,75	0
2,500	1,073	2,683	2,662	24,2	50	10	0,0078	70,44	28,0	70	0,0169	71,20	0,0091	0,76	0
2,552	1,073	2,738	2,717	24,2	50	10	0,0078	70,44	28,4	68	0,0167	71,18	0,0089	0,74	0
2,500	1,091	2,738	2,711	24,2	45	10	0,0060	60,81	21,4	92	0,0149	59,5	0,0089	-1,31	5,6
2,500	1,073	2,683	2,662	24,2	50	10	0,0078	70,44	26,0	79	0,0169	69,09	0,0091	-1,35	5,6

2.4 Ilman kuivaus ja lämmitys

Höyrystimessä poistetaan tuotteista ilmaan haihtunut vesi. Jäähdytyksen jälkeen kuivausilman vesisisältö ei muutu ilman virratessa lauhduttimen kautta takaisin uniin (kuva 2). Tämä tarkoittaa, että kuivausilman absoluuttinen kosteus pisteessä x_3 höyrystimen jälkeen on oltava sama kuin ilman absoluuttinen kosteus pisteessä x_1 lauhduttimen jälkeen ennen uuniin puhallusta (kuva 2). Lämpöpumpun höyrystimenä ja lauhduttimen käytetään lamellipattereita. Kuivausilman kohdatessa jäähdytyspatterin, jonka pintalämpötila on alle ilman kastepisteen, tiivistyy vesihöyryä ilmasta patterin pintaan. Tuotteista ilmaan haihtuvan vesivirran on oltava sama kuin ilmasta jäähdytyspatteriin kondensoituvan vesivirran ilman kiertoprosessin pitämiseksi hallittuna. Jäähdytyspatterissa (höyrystimessä) kuivausilman tila lähestyy jäähdytyspatteri näennäistä pintalämpötilan ja kyllästyskäyrän leikkauspistettä, mutta ei saavuta sitä, koska osa ilmasta niin sanotusti "ohittaa" patterin. Käytännön laskelmissa suora höyrystyspatterissa tapahtuva ilman tilan muutos voidaan riittävän tarkasti laskea, jos patterin ohituskerroin tunnetaan. Prosessilaskennassa on lähdetty siitä, että jäähdytyspatteri valitaan siten, että vaadittu ilman tila saavutetaan. Tällöin ei tarvitse tuntea jäähdytyspatterin ohituskerrointa, koska kosteus, johon jäähdytyksellä on päästävä, tiedetään. Laskelmien realisoimiseksi, liitteessä 6 ja 7 on laskettu ja valittu patterivalmistajan laskentaohjelmalla prosessivaatimuksiin soveltuvat jäähdytys- ja lämmityspatterit. Kuivatuksessa ja lämmityksessä tarvittavat patteritehot saadaan yhtälöistä

$$\phi_{JP} = m_{i,puh}(h_2 - h_3) \quad (22)$$

$$\phi_{LP} = m_{i,puh}(h_1 - h_3) \quad (23)$$

Yhtälöillä 22 ja 23 lasketut jäähdytys- ja lämmityspatterien tehot on esitetty taulukossa 3 ja 4. Koko kiertoprosessi on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 3. Ilman tila, poistuva vesivirta ja jäähdytyspatterin teho.

t_1 °C	ϕ_1 %	$q_{v,puh}$ m ³ /s	$m_{i,puh}$ kg/s	t_2 °C	t_3 °C	h_2 kJ/kg	h_3 kJ/kg	Δh kJ/kg	x_2 kg/kg	x_3 kg/kg	Δx kg/kg	m_v kg/s	ϕ kW
45	10	2,5	2,738	23,4	6,3	61,6	21,4	40,2	0,0149	0,0060	0,009	0,024	110
50	10	2,5	2,662	28,0	10,1	71,2	21,8	41,5	0,0169	0,0078	0,009	0,024	110
45 ¹⁾	10	2,5	2,738	21,4	6,3	59,05	21,4	38,1	0,0149	0,0060	0,009	0,024	104
50 ₁₎	10	2,5	2,662	26	10,1	69,1	29,8	39,3	0,017	0,0078	0,009	0,024	104

1) uunin seinämien lämpöhäviöt ympäristöön 5,6 kW.

Taulukko 4. Ilman tila, poistuva vesivirta ja lämmityspatterin teho.

t_1 °C	ϕ_1 %	$q_{v,puh}$ m ³ /s	$m_{i,puh}$ kg/s	t_3 °C	t_1 °C	h_3 kJ/kg	h_1 kJ/kg	Δh kJ/kg	x_3 kg/kg	x_1 kg/kg	Δx kg/kg	m_v kg/s	ϕ kW
45	10	2,5	2,738	6,3	45	21,4	60,8	39,4	0,006	0,006	0,0	0,0	108
50	10	2,5	2,662	10,1	50	29,8	70,4	40,7	0,0078	0,0078	0,0	0,0	108
45 ¹⁾	10	2,5	2,738	6,3	45	21,4	60,8	39,4	0,006	0,006	0,0	0,0	108
50 ₁₎	10	2,5	2,662	10,1	50	29,8	70,4	40,7	0,0078	0,0078	0,0	0,0	108

1) uunin seinämien lämpöhäviöt ympäristöön 5,6 kW.

Kuten taulukosta 3 nähdään, jäähdytyspatterin teho on sama riippumatta sisäänpuhalluslämpötilasta, koska ilmasta haihdutetaan sama määrä vettä. Taulukoista 3 ja 4 nähdään myös, että pelkästään jäähdytyspatterissa kylmäaineeseen siirtynyt teho riittää lämmittämään ilman höyrystimen jälkeen uunin sisäänpuhalluslämpötilaan ilman lisälämmitystä. Lisäksi prosessissa syntyy ylimääräistä lämpötehoa noin 30 %:a kompressorista, joka on poistettava ilmakierrosta esimerkiksi apulauhduttimen kautta.

3 Lämpöpumppuprosessi

3.1 Teoreettinen tausta

Carnot-prosessi on kaikkien kiertoprosessien ideaalinen vertailuprosessi. Vastapäivään kiertävä Carnot-prosessi on lämpöpumppuprosessi. Lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin (teoreettinen maksimi) on

$$\varphi_c = \frac{T_l}{T_h - T_l} \quad (24)$$

Jäähdytyskoneen (kylmäkoneen) Carnot-kylmäkerroin on

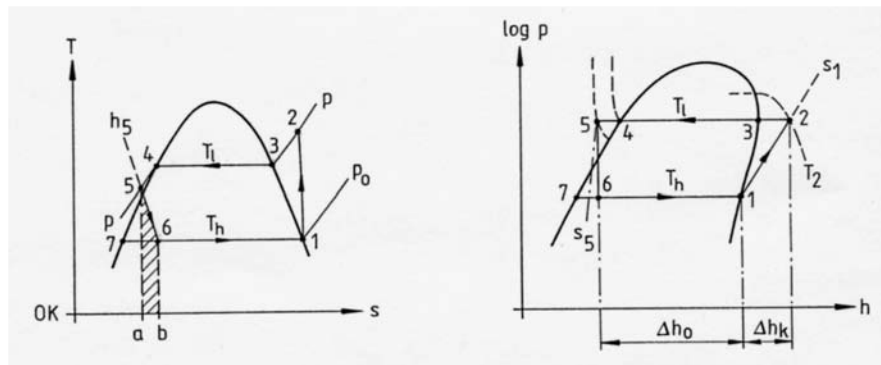
$$\varepsilon_c = \frac{T_h}{T_l - T_h} \quad (25)$$

Häviöttömälle prosessille

$$\varphi = \varepsilon + 1 \quad (26)$$

Teoreettinen höyryprosessi eli käänteinen Clausius-Rankine prosessi tarkoittaa ideaalista puristusta ja virtausta ilman painehäviöitä (kuva 4).

- 1-2 Isentrooppinen puristus (kaasun ja ympäristön välillä ei lämmönsiirtoa eli adiabaattinen prosessi, häviötön)
- 2-3 Tulistuksen jäähdytys
- 3-4 Lauhdutus lauhduttimessa
- 4-5 Mahdollinen nesteen alijäähdytys vakiopaineessa
- 5-6 Nesteen kuristus paisuntaventtiilissä, jolloin osa nesteestä höyrystyy
- 6-1 Seoksen höyrystyminen kylläiseksi höyryksi höyrystimessä



Kuva 4. Teoreettinen (ideaalinen) höyryprosessi T-s ja log p - h tasossa.

Carnot-prosessiin verrattuna höyryprosessin lämmönpoisto ei tapahdu vakioämpötilassa. Myös kuristuksessa (paisuntaventtiilissä) entropia suurenee, ja prosessi poikkeaa lämpötilojen T_h ja T_l välillä toimivasta Carnot-prosessista. Poikkeamat ovat höyryprosessin kylmäaineelle ominaisia lämpötiloista T_h , T_l ja T_5 riippuvia.

Teoreettisen höyryprosessin kylmäkerroin on

$$\varepsilon_t = \frac{h_1 - h_6}{h_2 - h_1} = \frac{\Delta h_o}{\Delta h_k} \quad (27)$$

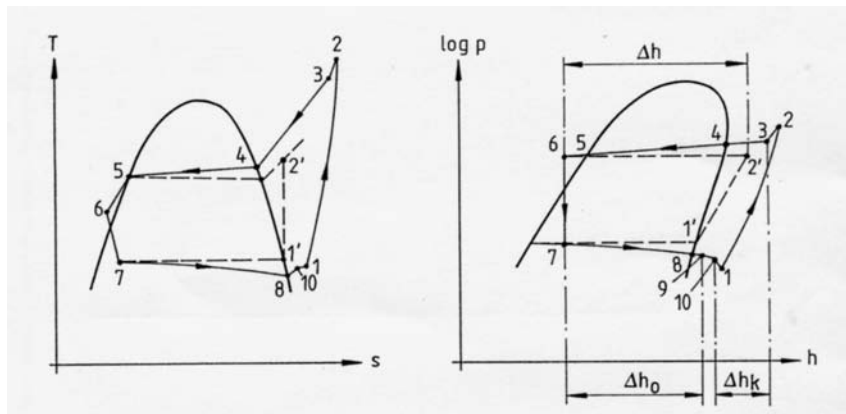
Teoreettisen lämpöpumpun lämpökerroin on

$$\varphi_t = \frac{h_2 - h_5}{h_2 - h_1} = \frac{\Delta h_0 + \Delta h_k}{\Delta h_k} \quad (28)$$

Kylmäaineen termodynaaminen hyötysuhde eli ns. Carnot-hyötysuhde on

$$\eta_{cd} = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_c} \quad (29)$$

Todellisessa höyryprosessissa syntyy useita häviöitä, jotka muuttavat edellä kuvattua teoreettista höyryprosessia. Puristus ei ole isentrooppinen, vaan entropia kasvaa, mikä lisää kompressorin puristustyötä. Puristus ei ole myöskään adiabaattinen, vaan kompressorista poistuu lämpöä ympäristöön. Kompressoria voidaan jäähdyttää myös tarkoituksella. Kompressorissa syntyy painehäviöitä venttiileissä, höyry lämpenee imukanavassa, imuventtiileissä ja jäähtyy painekanavissa puristuksen jälkeen. Putkistoissa, höyrystimessä ja lauhduttimessa syntyy painehäviöitä. Höyrystimessä ja imuputkessa voi tapahtua kylläisen höyryn tulistumista.



Kuva 5. Todellisen ja ideaalisen höyryprosessin erot T-s ja log p - h tasossa..

Häviöllisen prosessin kylmäkerroin on

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_0}{w_k} \quad (30)$$

, missä w_k on kompressorin ottama työ/massa. Kompressorin indikoitu hyötysuhde

$$\eta_{ki} = \frac{\Delta h_{ks}}{w_k} = \frac{\text{entalpian muutos isentrooppisessa puristuksessa}}{\text{kompressorin ottama todellinen työ/massa}} \quad (31)$$

Indikoitu kylmäkerroin

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_0}{w_k} = \eta_{ki} \frac{\Delta h_0}{\Delta h_{ks}} = \eta_{ki} \varepsilon_t \quad (32)$$

Jäähdytyskompressorien ideaalinen vertailuprosessi on häviötön adiabaattinen eli isentrooppinen puristus. Kompressorin isentrooppinen hyötysuhde η_s on isentrooppisen puristustyön suhde todelliseen työhön.

Kompressorin isentrooppinen hyötysuhde on

$$\eta_s = \frac{h_{2'} - h_{1'}}{h_2 - h_1} \quad (33)$$

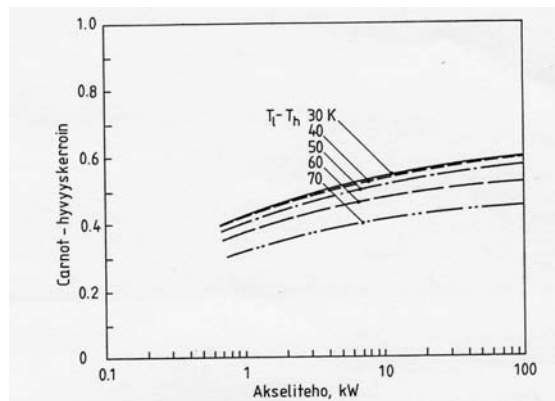
Käyttömootorin tehon laskemiseksi on huomioitava myös kompressorin mekaaniset häviöt, mahdolliset välityshäviöt ja moottorin häviöt. Koneiston kokonaiskylmäkerroin riippuu kaasun puristushäviöistä (kaasun kitkasta), kompressorin mekaanisista häviöistä, käyttömootorin häviöistä ja mahdollisen välityksen häviöistä. Kokonaiskylmäkerroin eli todellisen häviöllisen prosessin kylmäkerroin on

$$\varepsilon = \eta_{ki} \eta_{mk} \eta_m \varepsilon_t = \eta_{cd} \eta_{ki} \eta_{mk} \eta_m \varepsilon_c \quad (34)$$

, missä η_{mk} on kompressorin mekaaninen hyötysuhde, η_m on moottorin (ja välityksen) hyötysuhde, η_{ki} indikoitu hyötysuhde ja η_{cd} kylmäaineen hyötysuhde. Lyhyemmin todellisen häviöllisen prosessin kylmäkerroin on Carnot-hyvyyskertomella ilmaistuna

$$\varepsilon = \eta_{ct} \varepsilon_c \quad (35)$$

Kuvassa 6 on esitetty Carnot-hyvyyskertomien arvoja hyvälaatuisille koneistolle eri lämpötilaeroilla ja akselitehoilla.



Kuva 6. Carnot- hyvyyskertomia hyvänlaatuisille koneistoille.

Kompressorin käyttöteho on

$$P = \frac{\phi_h}{\eta_{cd}\eta_{ki}\eta_{mk}\eta_m\epsilon_c} = \frac{\phi_h}{\eta_{ct}\epsilon_c} = \frac{\phi_h}{\epsilon} \quad (36)$$

tai

$$P = q_{mr}\Delta h_k \quad (37)$$

Höyrystimen teho on

$$\phi_h = q_{mr}\Delta h_0 \quad (38)$$

Lauhduttimen teho on

$$\phi_l = q_{mr}\Delta h_l \quad (39)$$

Kylmäaineen massavirta saadaan, kun höyrystin teho tunnetaan

$$q_{mr} = \frac{\phi_h}{\Delta h_0} \quad (40)$$

Prosessilaskennassa ongelmallisinta on todellisessa kompressorissa tapahtuvan entalpian muutoksen laskeminen. Jotta kompressorissa tapahtuva entalpian muutos voidaan laskea, on tunnettava kompressorin ottama todellinen työ/massa. Käyttämällä kompressorivalmistajien valinta- ja mitoitusohjelmia, saadaan kompressorin todellinen tehontarve, ja myös lauhdutin saadaan mitoitettua oikealle teholle. Lämpöpumpun lämpökerroin voidaan laskea myös entalpian muutoksista

$$\varphi = \frac{\Delta h_l}{\Delta h_k} \quad (41)$$

Lämpöpumpun energiankulutus

$$Q = P \cdot \tau \quad (42)$$

, missä τ on käyntiaika tunteina. Käyttökustannukset saadaan yhtälöstä

$$K = P \cdot \tau \cdot H \quad (43)$$

, missä H on sähköenergian hinta €/kWh. Käyttämällä Carnot-hyvyyskerrointa, lämpöpumpun käyttökustannukset voidaan laskea yhtälöstä

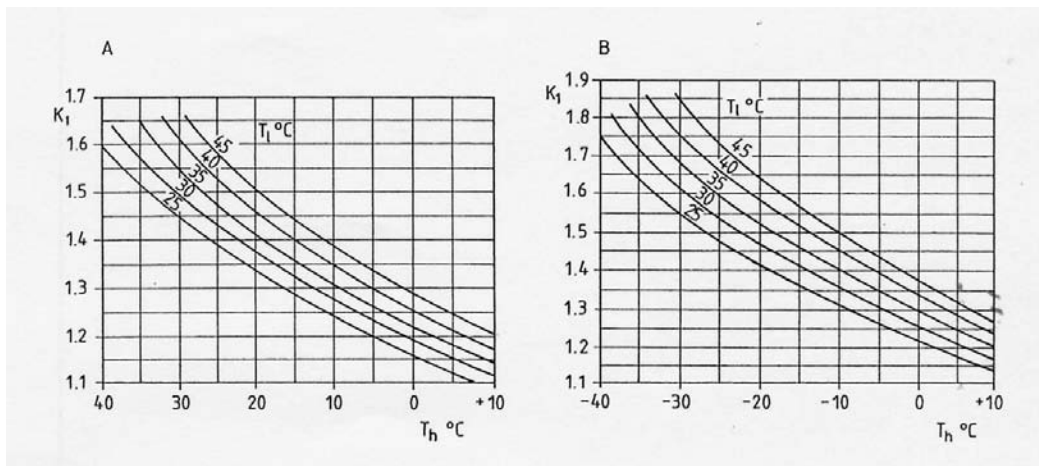
$$K = \frac{\phi_h \cdot (T_l - T_0)}{\eta_{ct} \cdot T_0} \cdot \tau \cdot H \quad (44)$$

Lauhdutusteho saadaan yhtälöstä

$$\phi_l = \phi_h + P + \phi_{in} - \phi_{out} \quad (45)$$

Likimääräisesti lauhdutusteho voidaan laskea kuvan 17 avulla yhtälöllä

$$\phi_l = K_1 \cdot P \quad (46)$$



Kuva 7. Käyrästo lauhduttimen tehon arvioimiseksi (A=avokompressorit, B=imukaasujäähdytteiset puolihhermeettiset kompressorit).

Kompressorikäyttöisten lämpöpumpujen tehokkuutta kuvataan siis lämpökertoimella, joka on tuotetun lämpötehon suhde käytettyyn tehoon. Lämpöpumpujen rakenne ja toiminta on sama kuin jäähdytyskoneistoilla, mutta niillä on yleensä korkeammat lämpötilatasot ja vaatimus korkeammasta lämpökertoimesta. Lämpöpumpun lämpökerroin saadaan yhtälöstä

$$\varphi = \frac{\phi_{saatu}}{P} = (0,9...1,0) + \eta_{ct} \varepsilon_c = (0,9...1,0) + \eta_{ct} \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (47)$$

3.2 Kuivauslämpöpumpun lämpöpumppprosessin laskenta

3.2.1 Lauhtumis- ja höyrystymislämpötilat

Kuivatusprosessi määrää lämpöpumpppiirin lauhtumis- ja höyrystymislämpötilat. Valitaan laskennassa lämpötilaeroksi läpivirtaavan ilman ja höyrystymis- ja lauhtumislämpötilojen välille 5°C. Lämpötilaeron kasvattaminen pienentää lämmönsiirtopintoja, mutta huonontaa lämpöpumpun lämpökerrointa. Lämpötilaeron pienentäminen taas kasvattaa lämmönsiirtopintoja ja parantaa lämpöpumpun lämpökerrointa. Tyypillinen lämpötilaero ilmalauhduttimissa on 2-20°C ja höyrystimissä 3-10°C.

3.2.2 Tulistuminen höyrystimessä

Kylmäaineen tulistuksella ehkäistään kylmäainenesteen tuleamista kompressorille ja nesteiskuista aiheutuvia kompressorien särkymisiä. Imukaasun tulistus on edullista pitää mahdollisimman alhaisena. Kylmäaineen ominaistilavuus kasvaa tulistuksen mukana. Käytetään laskennassa tulistuksena 7°C.

3.2.3 Alijäähtyminen lauhduttimessa

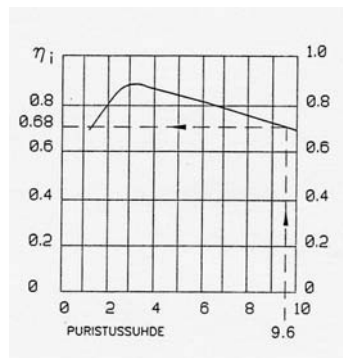
Kylmäainetta alijäähdytetään lauhduttimessa, jotta kylmäaine ei kupli nestejohdon painehäviöiden seurauksena ennen paisuntaventtiiliä. Alijäähdyttämällä nestettä lauhduttimessa saadaan myös lisää kylmätehoa höyrystimessä ilman, että kompressorin puristustyö kasvaa. Käytetään laskennassa alijäähdytyksenä 5°C.

3.2.4 Prosessissa kiertävä kylmäaine

Perinteisten vanhojen täysin halogenoitujen kloorihiilivetyjen eli CFC-aineiden (R-11, R-12, R-502) käyttö on kielletty. Myös osittain halogenoitujen kloorihiilivetyjen eli HCFC-aineiden (R-22, R-401, R-402, R-403, R-409) käyttö on kielletty uusissa kylmälaitteissa. Fluorihiihivetyjä eli HFC-aineita (R-134a, R-404A, R-407C, R-410A) saa käyttää Suomessa uusissa laitteissa. Kahden tai useamman aineen seosten käyttäytyminen poikkeaa puhtaiden aineiden käyttäytymisestä lukuun ottamatta atseorooppisia seoksia (R134A, R404A, R410A), joiden höyrystyessä tai lauhtuessa lämpötila ei muutu. R407C on ns. tseorooppi ts. sillä on suuri lämpötilaliukuma aineen lauhtuessa ja höyrystyessä.

3.2.5 Lämpöpumppuprosessi kylmäaineilla R 410 A, R404 A, R 134 A ja R407 C

Taulukoissa 5-8 on esitetty lämpöpumppuprosessin toiminta-arvot, prosessia kuvaavat kertoimet ja kompressorin tehontarve neljällä eri kylmäaineella. Kompressorin isentrooppinen hyötysuhde on arvioitu kuvasta 18. Kaikissa tapauksissa isentrooppisen hyötysuhteen arvona on käytetty arvoa 0,8 (puristusuhde 3,2-3,7). Taulukoihin on laskettu myös energia, joka tarvitaan kiertoprosessissa yhden vesikilon haihduttamiseen eli ominaisenergiankulutus. Kuivatusteho on ilmoitettu yksikössä kWh/kgH₂O. Kiertoprosessit eri kylmäaineilla on esitetty liitteissä 2-5.



Kuva 8. Kompressorien isentrooppinen hyötysuhde painesuhteesta riippuen.

Taulukko 5. Lämpöpumppuprosessi kylmäaineella R410A.

R410A

t_0 °C	t_i °C	T_0 K	T_1 K	p_0 bar	p_1 bar	π	η_i	ε_c	φ_c	
4	50	277	323	7	24	3,4	0,8	6,03	7,03	
h_1 kJ/kg	h_2' kJ/kg	h_2 kJ/kg	h_3 kJ/kg	h_4 kJ/kg	h_5 kJ/kg	h_6 kJ/kg	h_7 kJ/kg	Δh_0 kJ/kg	Δh_k kJ/kg	Δh_l kJ/kg
377	402	408	387	280	270	270	371	101	31	138
ε_t	η_{cd}	φ	ε	η_{ct}	ϕ_0 kW	q_{mr} kg/s	ϕ_l kW	P kW	ϕ_{yli} kW	E kWh/kg
4,04	0,67	4,42	3,23	0,54	110	1,089	151	34	43	0,39

Taulukko 6. Lämpöpumppuprosessi kylmäaineella R404A.

R404A

t_0 °C	t_i °C	T_0 K	T_1 K	p_0 bar	p_1 bar	π	η_i	ε_c	φ_c	
4	50	277	323	0,9	3	3,3	0,8	6,03	7,03	
h_1 kJ/kg	h_2' kJ/kg	h_2 kJ/kg	h_3 kJ/kg	h_4 kJ/kg	h_5 kJ/kg	h_6 kJ/kg	h_7 kJ/kg	Δh_0 kJ/kg	Δh_k kJ/kg	Δh_l kJ/kg
432	468	477	423	288	276	276	422	146	45	201
ε_t	η_{cd}	φ	ε	η_{ct}	ϕ_0 kW	q_{mr} kg/s	ϕ_l kW	P kW	ϕ_{yli} kW	E kWh/kg
4,06	0,67	4,47	3,24	0,54	110	0,753	151	34	43	0,39

Taulukko 7. Lämpöpumppuprosessi kylmäaineella R134A.

R134A

t_0 °C	t_i °C	T_0 K	T_1 K	p_0 bar	p_1 bar	π	η_i	ε_c	φ_c	
4	50	277	323	3,5	13	3,7	0,8	6,03	7,03	
h_1 kJ/kg	$h_{2'}$ kJ/kg	h_2 kJ/kg	h_3 kJ/kg	h_4 kJ/kg	h_5 kJ/kg	h_6 kJ/kg	h_7 kJ/kg	Δh_0 kJ/kg	Δh_k kJ/kg	Δh_l kJ/kg
411	439	446	423	272	265	265	402	137	35	181
ε_t	η_{cd}	φ	ε	η_{ct}	ϕ_0 kW	q_{mr} kg/s	ϕ_l kW	P kW	ϕ_{yli} kW	E kWh/kg
4,89	0,81	5,17	3,91	0,65	110	0,803	145	28	37	0,33

Taulukko 8. Lämpöpumppuprosessi kylmäaineella R407C.

R407C

t_0 °C	t_i °C	T_0 K	T_1 K	p_0 bar	p_1 bar	π	η_i	ε_c	φ_c	
4	50	277	323	6,8	22	3,2	0,8	6,03	7,03	
h_1 kJ/kg	$h_{2'}$ kJ/kg	h_2 kJ/kg	h_3 kJ/kg	h_4 kJ/kg	h_5 kJ/kg	h_6 kJ/kg	h_7 kJ/kg	Δh_0 kJ/kg	Δh_k kJ/kg	Δh_l kJ/kg
422	457	466	434	280	270	270	418	148	44	196
ε_t	η_{cd}	φ	ε	η_{ct}	ϕ_0 kW	q_{mr} kg/s	ϕ_l kW	P kW	ϕ_{yli} kW	E kWh/kg
4,23	0,70	4,47	3,38	0,56	110	0,743	145	33	37	0,38

Parhaiten kuivatuslämpöpumppuun näyttäisi soveltuvan kylmäaineeksi R134A. Kylmäaineen termodynaaminen hyötysuhde on selvästi korkeampi kuin R410A:lla, R404A:lla tai R407C:llä. Kompressorin tehontarve R134A:lla on noin 15%:a alhaisempi kuin R410A:lla, R404A:lla tai R407C:llä.

Lauhduttimen lauhdutusteho on 37 - 43 kW isompi kuin kuivausilman lämmityksessä tarvittava teho riippuen prosessissa käytettävästä kylmäaineesta. Lämpöpumppupiiriin on lisättävä siis apulauhdutin, ja apulauhduttimelle on löydettävä järkevä käyttökohde lämmön hyödyntämiseksi. Yksi mahdollisuus on käyttää ylimääräinen lämpö hallin lämmittämiseen.

Laskelman mukaan lämpöpumppukuivaus suljetulla ilmakierrolla kuluttaa sähköenergiaa 0,33-0,39 kWh yhtä haihdutettavaa vesikiloa kohden (puhallintehoa ei ole huomioitu). Toisin sanoen yhdellä kilowattitunnilla (1 kWh) saadaan poistettua vettä 2,5-3,0 kg. Lasketut ominaisenergiankulutustasot jäävät 30-45 %:a alhaisemmiksi kuin mitä esimerkiksi laitevalmistajien esitteissä ilmoitetaan. Esimerkiksi DeltaStechologies (www.deltastech.co.nz) ilmoittaa kuivaustehoksi 3,5 - 4,5 kg/kWh. Ero selittyy osittain prosessiteknisillä eroilla uunissa.

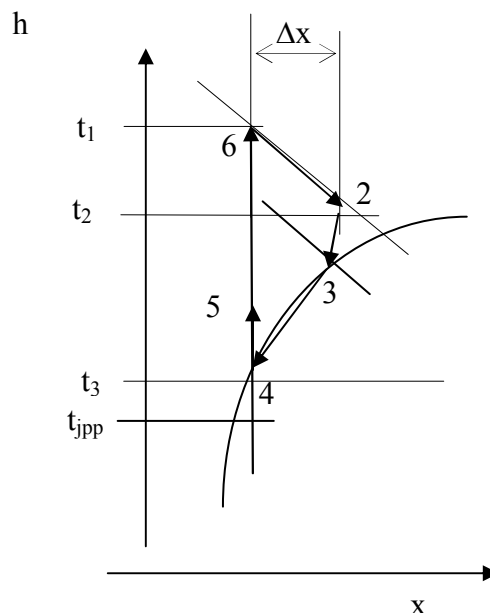
Lämpöpumppukuivauksen taloudellisuutta arvioitaessa on huomioitava myös apulauhduttimesta saatava taloudellinen hyöty, joka syntyy kuivauksen sivutuotteena. Jos lämpöä käytetään hallin lämmittämiseen, laskee se ilmastoinnin energiakustannuksia.

Laskelmassa on käytetty kompressorin isentrooppisena hyötysuhteena arvoa 0,8. Lasketut Carnot-hyvyyskertoimet ovat välillä 0,54-0,65. Jos niitä verrataan vastaavan tehoisten kompressorin mitattuihin arvoihin, ne ovat realistisia.

Kompressoritoimittajien mitoitusohjelmilla kompressorien tehontarve saadaan tarkemmin. Esimerkiksi Danfossin mitoitusohjelmalla (liite 8) Scroll-kompressorin (liite 9) tehontarpeeksi kylmäaineella R407C saadaan 37,3 kW, jolloin jäähdytysteho on 113 kW, COP-arvo 3,03 ja kylmäaineen massavirta 0,73 kg/s. Kompressorin tehontarve on noin 10 % suurempi kuin laskettu, toisaalta myös jäähdytysteho on 3 % suurempi. Muille laskennassa käytetyille kylmäaineille esimerkkinä käytetyiltä kompressoritoimittajalta ei löydy riittävän tehokkaita kompressoreja. Lämpöpumpputekniikan ongelmallisin kohta onkin prosessin vaatimuksiin halutulla kylmäaineella hyvin soveltuvan kompressorin löytäminen markkinoilta. Kompressorin on kriittisin komponentti haettaessa alhaista ominaisenergiankulutusta, jos puhalluslämpötila ja kosteus pidetään valituissa arvoissa, eikä prosessia muuteta uunin sisällä.

3.2.6 Kiertoilmalämpöpumpputekniikka epäsuoralla lämmöntalteenotolla

Kompressorin tehontarve riippuu lauhtus- ja höyrystyslämpötiloista, käytettävästä kylmäaineesta, kompressorin Carnot-hyvyyskertoimesta ja kuivaustehosta. Höyrystimen jäähdytystehoa, ja samalla kompressorin tehoa voidaan alentaa lisäämällä kuvan 10 ilmakiertoon nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän. Prosessi on esitetty h,x-piirroksessa kuvassa 9.

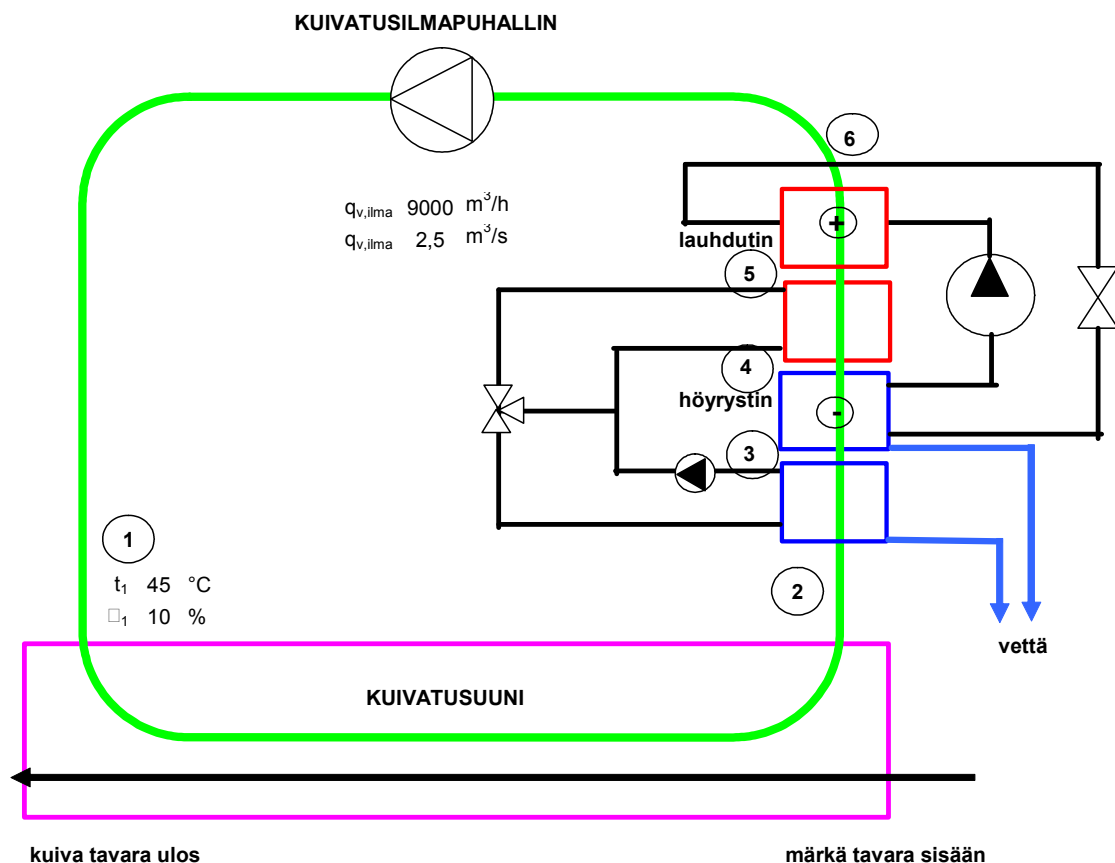


Kuva 9. Kiertoilmalämpöpumpputekniikan prosessin ilman tilanmuutokset h,x-piirroksessa, kun veden haihtuminen uunissa tapahtuu adiabaattisesti ja järjestelmään on lisätty nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän. Osa höyrystimen kuivaustehosta (kylmätehosta) siirtyy lto-patterille (2-3) ja ilman lämmitystarve pienenee määrän 4-5.

Nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhde on 40...60 %. Lämmöntalteenottojärjestelmän ideana on poistaa osa uunista poistuvasta kuivatusilman vedestä jo lto-patterissa, jolloin höyrystimen ja samalla lämpöpumpun tehontarve pienenee. Lämpö voidaan siirtää höyrystimen jälkeen sijoitettuun lamellipatteriin, jolloin myös lauhdutinteho pienenee.

Nestekiertoisella lämmöntalteenotolla toteutettu prosessi on esitetty liitteessä 1 h,x-piirroksella perusprosessin rinnalla. LTO-patterien laskennassa on käytetty suoraan patterivalmistajan mitoitusohjelmaa. Liuospatterin laskenta ilman valmisohjelmaa on työläs. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteena laskennassa on käytetty arvoa 50 %. Lämmöntalteenottokytkentää käytettäessä höyrystimen kylmäteho putoaa 110 kW:sta 83,5 kW:iin. Kylmätehon lasku johtuu kylmäaineen massavirran pienentymisestä. Vastaavasti uuniin puhallettavan ilman lämmitystarve pienenee 108 kW:sta 82 kW:iin. Lämpöpumpuprosessin arvot lämmöntalteenottokytkennällä on esitetty taulukossa 9.

Laskennan mukaan lämmöntalteenottokytkentä pienentää höyrystimen kylmätehoa 26,5 kW ja lämpöpumpun kompressorin tehontarvetta 25 %:a, kun kylmäaineena on R134A. Ilman lämmöntalteenottoa kompressorin tehontarve on 28 kW ja lämmöntalteenoton kanssa 21 kW.



Kuva 10. Kiertoilmalämpöpumpukuivauksen ilman ja kylmäaineen kiertoprosessit, kun järjestelmä sisältää myös nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän. Tilapisteet 1-6 vastaavat kuvan 9 merkintöjä h,x-piirroksessa (1=6, kun lämpötilan muutos puhaltimen ja uunin välillä 0°C)

Taulukko 10. Lämpöpumppuprosessi kylmäaineella R134 A, kun prosessissa lämmöntalteenotto.

R134A + LTO

t_0 °C	t_i °C	T_0 K	T_1 K	p_0 bar	p_i bar	π	η_i	ε_c	φ_c	\square
4	50	277	323	3,5	13	3,7	0,8	6,03	7,03	
h_1 kJ/kg	h_2' kJ/kg	h_2 kJ/kg	h_3 kJ/kg	h_4 kJ/kg	h_5 kJ/kg	h_6 kJ/kg	h_7 kJ/kg	Δh_0 kJ/kg	Δh_k kJ/kg	Δh_l kJ/kg
411	439	446	423	272	265	265	402	137	35	181
ε_t	η_{cd}	φ	ε	η_{ct}	ϕ_0 kW	q_{mr} kg/s	ϕ_l kW	P kW	ϕ_{yli} kW	E kWh/kg
4,89	0,81	5,17	3,91	0,65	83,5	0,609	110	21	28	0,25

Lämmöntalteenottopatterit lisäävät painehäviötä ilmapuolella. Tarkastellaan niiden taloudellista merkitystä.

Puhaltimen sähköteho saadaan yhtälöstä

$$P = \frac{Q_v \Delta p_{puh}}{\eta_p} \quad (48)$$

Arvioidaan kitka- ja kertavastuksiksi ilman pattereita ilman kanavissa ja uunissa 100 Pa. Patterien painehäviöt saadaan patterivalmistajan mitoitusohjelmasta. Ilman lämmöntalteenottoa patterien painehäviöt ovat yhteensä 482 Pa ja lämmöntalteenoton kanssa 854 Pa. Puhallintehoksi ilman lämmöntalteenottoa saadaan 2,2 kW ja lämmöntalteenoton kanssa 3,7 kW, kun puhaltimen hyötysuhteen käytetään arvoa 0,65. Puhallintehon kasvu lämmöntalteenoton lisäyksen seurauksena on siis 1,5 kW.

Lämpöpumppukuivausprosessin ominaisenergian kulutukseksi saadaan ilman lämmöntalteenottoa 0,35 kWh/kg vettä ja lämmöntalteenoton kanssa 0,29 kWh/kg vettä (puhaltimen sähköteho huomioitu).

Pääasiassa puhaltimen teho menee ilmavirtaan eli

$$P = m_i \Delta h = m_i c_{pi} \Delta t = \rho_i Q_v \Delta t_{puh} \quad (49)$$

ja ilman lämpötila nousu puhaltimessa saadaan yhtälöstä

$$\Delta t_{puh} = \frac{\Delta p_{puh}}{\rho_i c_{pi} \eta_p} \quad (50)$$

Lämpötilan nousu kuivatusilmapuhaltimessa on ilman lämmöntalteenottoa 0,8°C ja lämmöntalteenoton kanssa 1,3°C. Puhaltimessa tapahtuva lämpötilanousu menetettäneen lämpöhäviöinä puhaltimen ja sisäänpuhalluksen välillä.

3.2.7 Liuotainaineiden poisto prosessista

Liuotainainepäästöjen poistamiseksi uunista on poistettava osa kiertoilmasta. Ilma kannatta poistaa uunin märkäpäästä ennen höyrystintä. Korvausilma kannatta puhaltaa takaisin prosessiin myös ennen höyrystintä, jolloin prosessi pysyy hallittuna. Kun tulo- ja poistoilmavirta pidetään samansuuruisina, pienenee höyrystimen kylmäteho ja samalla lämpöpumpun sähköteho riippuen prosessiin tuotavan ilman määrästä ja ilman tilasta.

Esimerkiksi kesällä, jos prosessiin tuodaan +18°C ilmaa, jonka suhteellinen kosteus on 50 %, ja ilmavirta on 250 l/s (10 % kokonaisilmavirrasta), alenee lämpöpumpun tehontarve 6 %. Jos ilmamäärä on 500 l/s (20 % kokonaisilmavirrasta), alenee lämpöpumpun tehontarve 11 %. Talvella vaikutus on suurempi, koska ulkoilman ja sisäilman suhteellinen kosteus on alhaisempi. Jäähdytysteho pienenee, koska ilman tila uunin jälkeen siirtyy h,x-piirroksessa kohti prosessiin sekoitettavan ilman tilaa.

Korvausilma uuniin voidaan ottaa sisältä tai ulkoa. Lämmittämiseen voidaan käyttää poistettavan ilman lämpöä ja/tai apulauhduttimen lämpöä. Tässä ei enää lähdetä tarkastelemaan apulauhduttimen lämmön hyödyntämistä tai uunin korvausilman lämmöntalteenoton järjestelyjä.

4 Prosessin ominaisenergiankulutus

Laskelman mukaan kiertoilmalämpöpumppukuivaus kuluttaa sähköenergiaa 0,33-0,39 kWh yhtä haihdutettavaa vesikiloa kohden, kun puhaltimen ottamaa sähkötehoa ei huomioida, ja prosessi toimii 100 %:sti kiertoilmalla. Toisin sanoen yhdellä kilowattitunnilla saadaan poistettua vettä 2,5-3,0 kg. Kun puhaltimen sähköteho huomioidaan laskelmassa, kiertoilmalämpöpumppukuivauksen (100 %:sti kiertoilmalla) ominaisenergian kulutukseksi saadaan 0,35 kWh/kg vettä (R134A). Jos kiertoprosessiin lisätään nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä, on kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ominaisenergiankulutus 0,29 kWh/kg vettä (R134A), joka sisältää puhaltimen sähkötehon ja lto-patterien painehäviöiden vaikutuksen puhallintehoon.

Kun osa kiertoilmasta poistetaan prosessista (poisto suhde 10 tai 20 %), kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ominaistehonkulutus kesätilanteessa (korvausilma +18°C/50 %) R134A kylmäaineella ilman lämmöntalteenottokytkentää on 0,31-0,33 kWh/kg vettä ja lämmöntalteenottokytkennällä 0,26-0,27 kWh/kg vettä, mikä sisältää myös puhaltimen sähkökulutuksen. Toisin sanoen yhdellä kilowattitunnilla sähköä saadaan vettä poistetuksi prosessista 3,0-3,9 kg.

Prosessin taloudellisuutta arvioitaessa on huomioitava myös apulauhduttimesta saatava noin 40 KW lämpöteho, jolla voidaan lämmittää esimerkiksi hallin tuloilmaa. Edelleen kiertoprosessista poistettavan ilman lämpö voidaan hyödyntää ilmastoinnin tuloilman lämmityksessä rekuperatiivisella lämmöntalteenottolaitteistolla.

Lämpöpumpun sähkön tarpeeseen vaikuttaa oleellisesti kompressorin isentrooppinen hyötysuhde ja prosessiin valittu kylmäaine. Lauhtumis- ja höyrystymislämpötiloja ei voida oleellisesti muuttaa, vaan ne määrää kuivausprosessi.

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton lisääminen kuivausprosessiin vähentää oleellisesti lämpöpumpun sähkötehoa. Se kuitenkin kasvattaa merkittävästi investointikustannuksia. Kiertoilmalämpöpumppuprosessin kannattavuus selviää vasta, kun järjestelmän takaisinmaksuaika lasketaan. Takaisinmaksuajan laskeminen edellyttää prosessin yksityiskohtaisempaa suunnittelua, jotta voidaan arvioida rakentamis- ja laitekustannukset, koska valmista laitteistoa ainakaan Suomessa ei ole saatavilla.

4.1 Ominaisenergiankulutusten vertailu

Laitetoimittajan (Munters) laskentaohjelman mukaan sorptiokuivaimen ominaisenergiankulutus on 1,2 kWh/kg, kun laskenta-arvot ovat seuraavat:

- ilmavirta 2,5 m³/s
- kuivaukseen tulevan ilman tila 22,7°C/78,1%

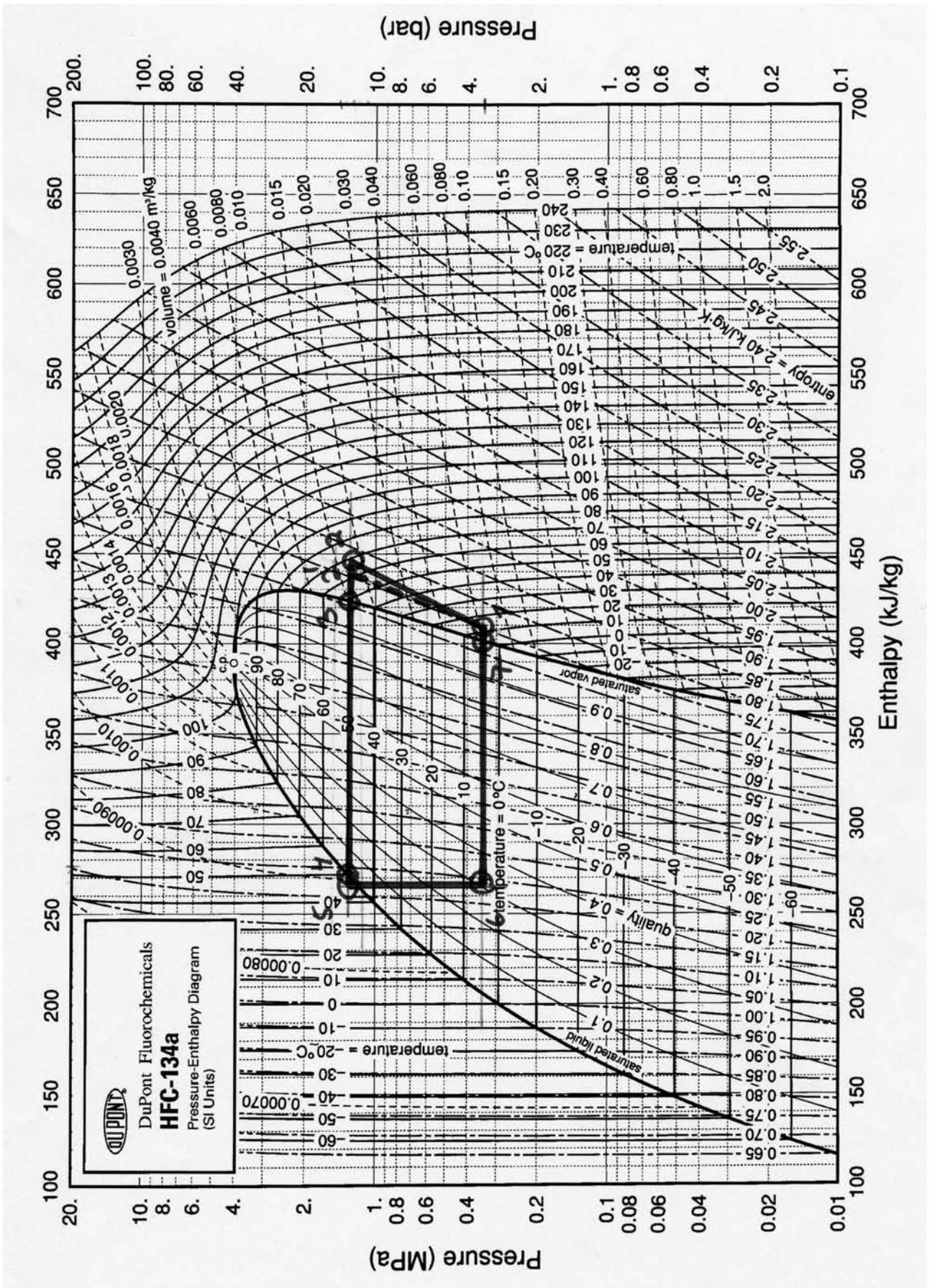
Kuivaukseen tulevan ilman tila on määritetty seuraavasti:

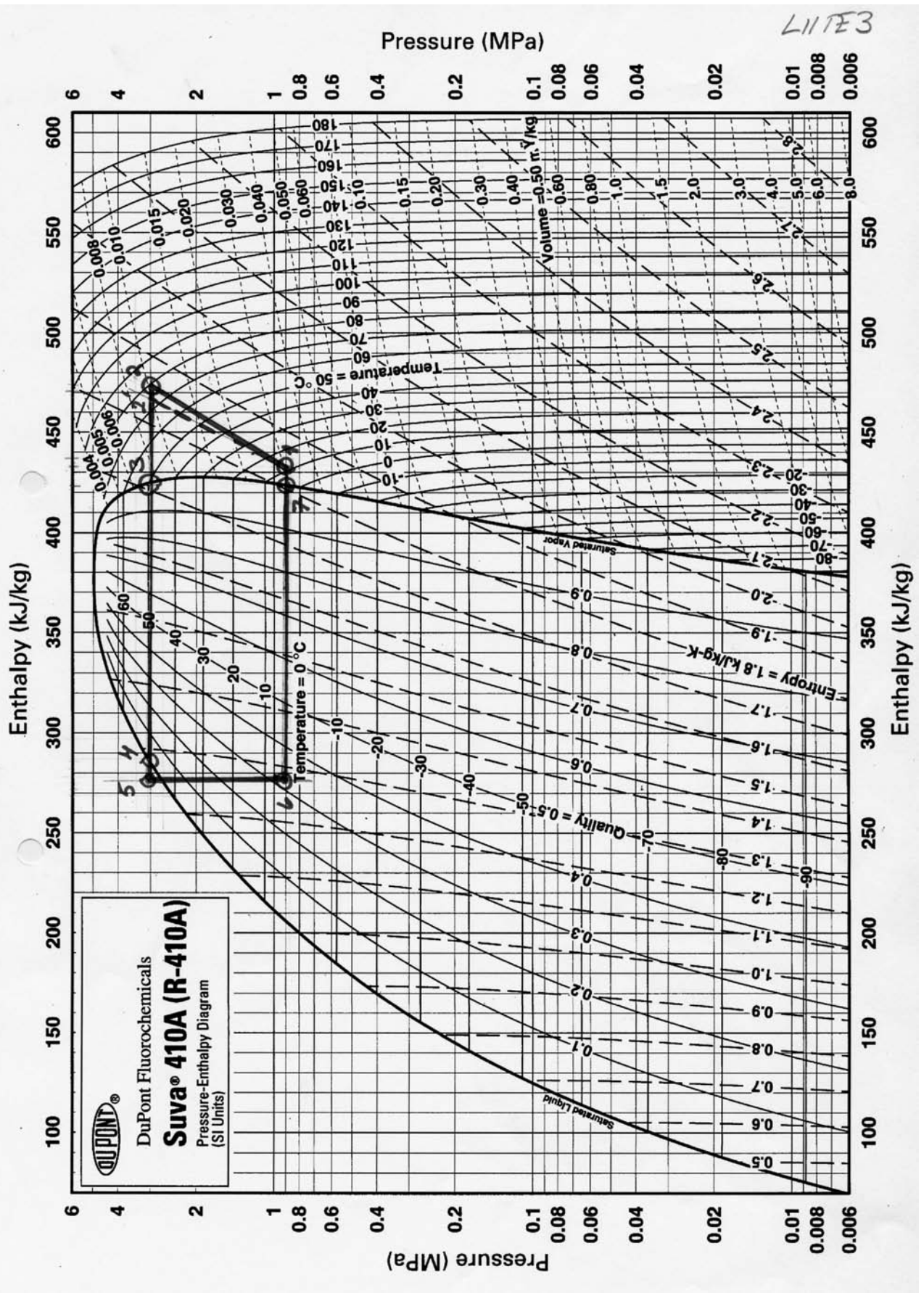
- prosessi-ilma 23,4°C/81,5% (80 %),
- make-up ilma 20°C/60% (20%)

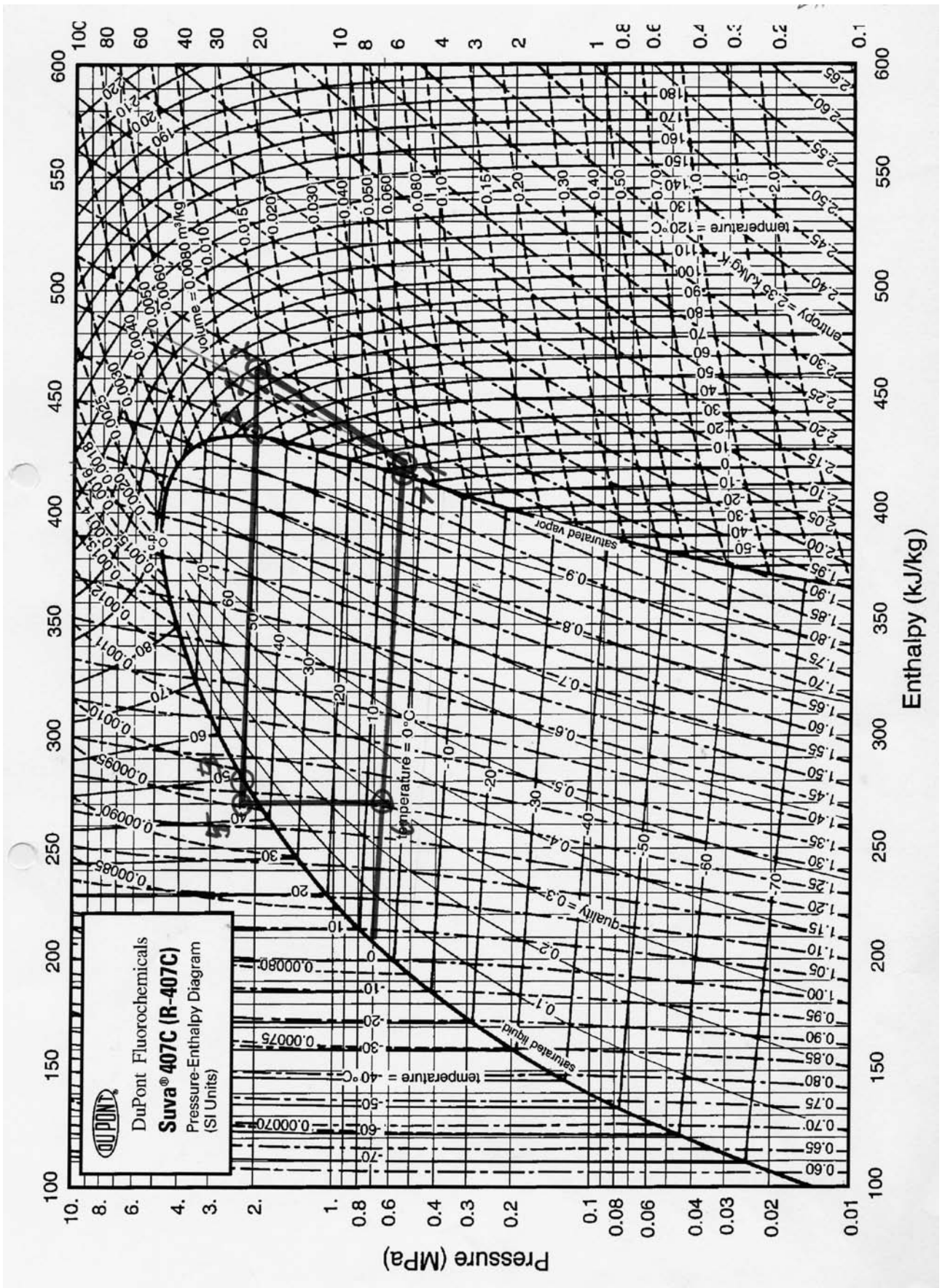
Kiertoilmalämpöpumppukuivauksen ominaisenergiankulutus, kun myös puhallinteho on otettu huomioon, on sekoitussuhteella 80/20 0,31-0,33 kWh/kg ja lämmöntalteenottokytkennän kanssa 0,26-0,27 kWh/kg. Sorptiokuivauksen ominaisenergiankulutus on siis 3,6 - 4,6 -kertainen verrattuna kiertoilmalämpöpumppukuivaukseen käytetyillä laskennan lähtöarvoilla. Lisäksi kiertoilmalämpöpumppukuivauksessa syntyy 28-43 kW ylimääräistä lämpöä riippuen kytkennästä (LTO) ja kylmäaineesta, joka voidaan hyödyntää apulauhduttimen kautta esimerkiksi tilan lämmityksessä.

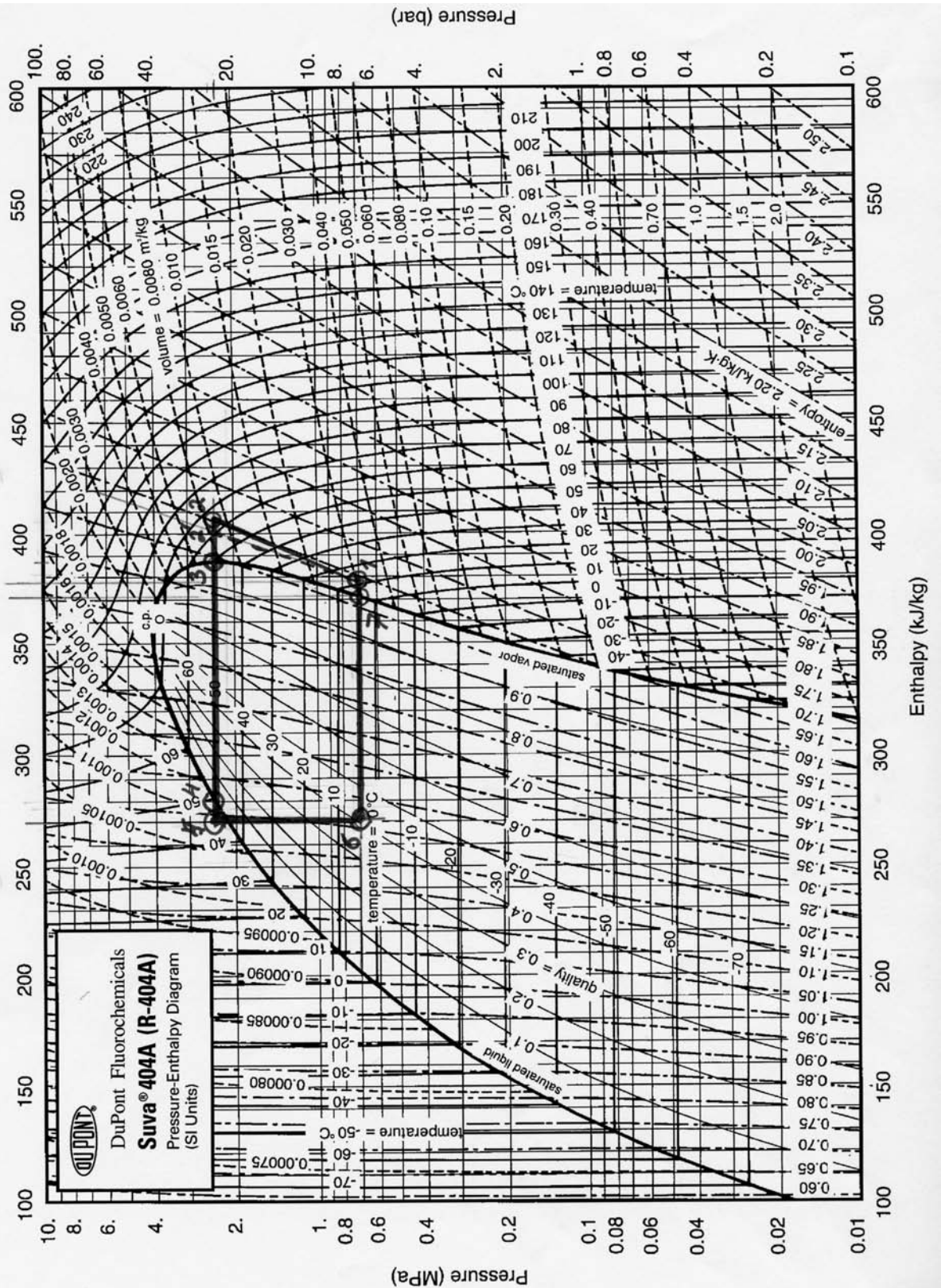
Takaisinmaksuaika riippuu energiahinnoista ja investointikustannuksista. Takaisinmaksuaikaa ei voida laskea ennen kuin kaikki kiertoilmalämpöpumppukuivauksen komponentit on valittu ja sovitettu yhteen ja edelleen saatu arvio koko "paketin" kustannuksista.

Liitteissä 6 ja 7 näkyvät pattereiden dimensiot, joista saa käsityksen järjestelmän fyysisistä mitoista. Jäähdytys- ja lämmityspatterien leveys on noin 1500 mm ja korkeus noin 700 mm. Lämmöntalteenoton patterit ovat hieman pienempiä mitoiltaan. Prosessiin parhaiten soveltuvalla kylmäaineella ei välttämättä löydy markkinoilta sopivan kokoista kompressoria, mikä voi vaikuttaa lämpöpumppukuivauksen ominaisenergiankulutukseen.









Heat exchanger from Coiltech

	Id	perusprosessi lämmityspatteri	
Air	Capacity	114	kW
	Flow rate	2.2	m ³ /s
	Temperature in	6.3	°C
	Humidity in	100	%
	Temperature out	48.5	°C
	Humidity out	8	%
	Pressure drop	233	Pa
	Velocity	2.5	m/s
R410a	Condensing temperature	50.0	°C
	Flow rate	0.84	kg/s
Dimensions	Width	1500	mm
	Height finned/external	600 / 603	mm
	External depth	341	mm
	No. of tube rows	8	
	Fin pitch	1.8	mm
	No. of liquid passes	16	
	Connection number	DN 1x34/1x28	
	Face area / Heat surface	0.90 / 207	m ²
	Weight / Volume	113 / 29	kg / l
Material	Tube material	Copper 0.35	mm
	Fin material	Aluminium 0.15	mm
	Header material	Copper	
	Casing material	Galvanized steel	
Ordering code	QLOM-150-060-08-18-16-0		

Heat exchanger from Coiltech			
	Id	perusprosessi kuivatus	
Air	Capacity	115	kW
	Flow rate	2.4	m ³ /s
	Temperature in	23.4	°C
	Humidity in	82	%
	Temperature out	6.0	°C
	Humidity out	100	%
	Condensate	25.6	g/s
	Pressure drop, wet / dry	249 / 181	Pa
	Velocity	2.3	m/s
Refrigerant	Refrigerant	R410a	
	Evaporating temperature	4.0	°C
	Pressure drop	66	kPa
Dimensions	Length finned/external	1500 / 1650	mm
	Height finned/external	700 / 703	mm
	External depth	399	mm
	No. of tube rows	10	
	Fin pitch	2.5	mm
	No. of liquid passes	20	
	Connection number	DN 1x22/1x34	
	Face area / Heat surface	1.05 / 221	m ²
	Weight / Volume	135 / 42	kg / l
Material	Tube material	Copper 0.35	mm
	Fin material	Aluminium 0.15	mm
	Header material	Copper	
	Casing material	Galvanized steel	
Ordering code	QLEM-150-070-10-25-20-F-1		

Danfoss Foresee - Version 1.0

Unit system °C - W °F - Btu/h
 Frequency 50 Hz 60 Hz
 Refrigerant
 Product type
 Voltage / Freq
 Target capacity W
 Model filter

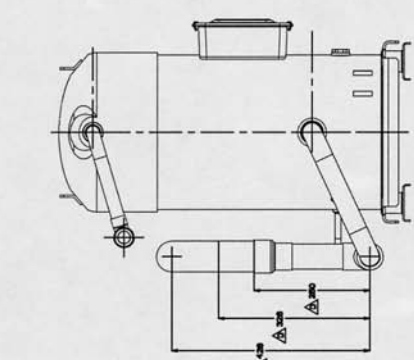
Conditions
 Evaporating temperature °C
 Condensing temperature °C
 Subcooling K
 Evaporator superheat K
 Total superheat K

Order results by Model name Cooling capacity

Technology	Model	Refrigerant	Voltage	Cooling capacity (W)	Power input (W)	COP	Current (A)	Mass flow (kg/h)
Scroll	SZ482-6	R407C	230/3/50	100 911	33 486	3,01	103,77	2 348
Scroll	SZ485-7	R407C	500/3/50	102 010	32 812	3,11	0,00	2 365
Scroll	SZ485-4	R407C	400/3/50	102 010	32 812	3,11	57,88	2 365
Scroll	SZ482-4	R407C	400/3/50	103 838	33 502	3,10	57,63	2 416
Scroll	SZ482-7	R407C	500/3/50	103 838	33 502	3,10	49,56	2 416
Scroll	SZ540-6	R407C	230/3/50	112 956	37 265	3,03	115,97	2 628
Scroll	SZ540-4	R407C	400/3/50	115 874	37 256	3,11	64,33	2 696
Scroll	SZ540-7	R407C	500/3/50	115 874	37 256	3,11	55,33	2 696
Scroll	SZ600-6	R407C	230/3/50	125 000	40 999	3,05	128,03	2 908
Scroll	SZ600-4	R407C	400/3/50	127 910	40 966	3,12	70,96	2 976
Scroll	SZ600-7	R407C	500/3/50	127 910	40 966	3,12	61,02	2 976

Results : 11

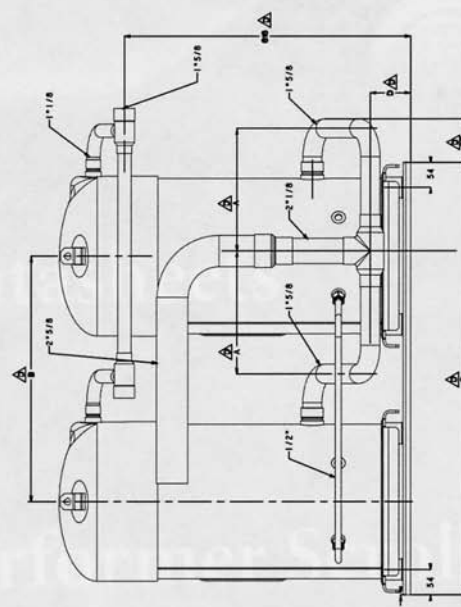
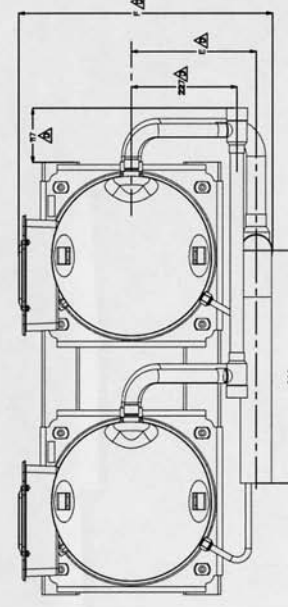
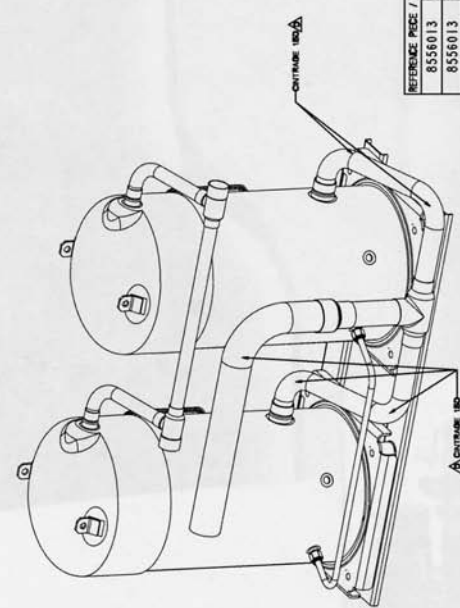
POUR SZ540 SEULEMENT
/For SZ540 only



ECH/Scale 1/2

NE PAS VOUS SERVIR DE LA COMPARTIMENT DE CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ SANS LA PETITE CAPSULE BEZEL AVANT LE DÉMARRAGE DU COMPRESSEUR. NE PAS VOUS SERVIR DE LA COMPARTIMENT DE CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ SANS LA PETITE CAPSULE BEZEL AVANT LE DÉMARRAGE DU COMPRESSEUR.

DO NOT USE THE COMPARTMENT OF CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ SANS LA PETITE CAPSULE BEZEL BEFORE STARTING THE COMPRESSOR.

REFERENCE PRICE / PRIX RÉFÉRENCIÉ	MODEL / MODÈLE	DESCRIPTION / DESCRIPTION	A	B	C	D	E	F
8556013	P01 D	S600 AVEC ACCROCHAGE ET RÉSERVOIR À CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ	264	528	630	87	268	[548]
8556013	P03 D	S600 AVEC RÉSERVOIR À CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ	246	492	604	104	232	[510]
8556013	P02 D	S482 AVEC ACCROCHAGE	264	528	630	87	268	[548]
8556013	P04 D	S482 AVEC RÉSERVOIR À CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ	246	492	604	104	232	[510]
8556013	P05 D	S540 AVEC ACCROCHAGE	264	528	630	87	268	[548]
8556013	P06 D	S540 AVEC RÉSERVOIR À CHARGES D'ÉTANCHÉITÉ	246	492	604	104	232	[510]

D. DOKU	85101744	807	08 153844
C. REE	2010162	809	08 153851
A. REE	1411161	809	08 153851
IB. IZAK	1011161	809	08 153851
REVISION	DATE	APPROBATION	REVISION
REV. 1/12	12/12	12/12/2012	12/12/2012
TANDEM S600/S40/482 BRASE			
S600/S40/482 brazed tandem			
8556013			

Jukka Ylitalo

**PINTAKÄSITTELYLINJASTON HANKINTAOPPAAN
ESISELVITYSTYÖ**

SOPIMUSJURIDIikka JA SOPIMUKSEN LAADINTA

**Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Puutekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2006**

Toimipiste Tekniikan toimipiste, Ylivieska	Aika 28.10.2006	Tekijä Jukka Ylitalo
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Pintakäsittelylinjaston hankintaoppaan esiselvitys		
Työn ohjaaja Insinööri Hanna Parikka	Sivumäärä 34 + 6 liitettä	
Työn valvoja Kauppatieteiden maisteri Sirpa Soukka		
<p>Pintakäsittelylinjastojen investoinnit olivat päättyneet usein tuomioistuimien käsiteltäviksi. Se, miksi investoinnit olivat joutuneet tällaisiin vaikeuksiin, ei ollut yleisesti tiedossa.</p> <p>Tästä syystä keväällä 2006 julkaistiin päättötyön aihe Pintakäsittelylinjaston hankintaoppaan –esiselvitys. Työn tilaajana toimi Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysyksikkö CENTRIA. Työn tarkoituksena oli kartoittaa investointien ongelmat ja laatia tarpeellinen teoriapohja myöhemmin julkaistavaan hankintaoppaseen.</p> <p>Teoriaosiossa selvitettiin investointikaupoissa sovellettavat lait ja esitettiin näiden soveltamismenetelmät eri maiden välisiin kauppatapahtumiin. Sopimusjuridiikkaa pyrittiin käsittelemään mahdollisimman tarkasti, jotta sen sisällön pohjalta olisi mahdollisimman helppo laatia itse hankintaopas. Kaikkia pintakäsittelylinjaston investoinnin kannalta merkityksettämiä sopimusjuridisia seikkoja työssä ei käsitelty, työn selkeyden turvaamiseksi. Sopimusten laatimisesta työssä selvitettiin tärkeimmät osa-alueet, joiden lisäksi oudoimpia käsitteitä käytiin läpi laaja-alaisemmin.</p> <p>Tutkimusosiossa lähdettiin liikkeelle yritys kyselyllä, jonka tarkoituksena oli kartoittaa pintakäsittelylinjastojen investoinneissa ilmenneitä ongelmia. Tämän kyselyn tulokset vaikuttivat myös edellisessä kappaleessa mainittuun teoriaosion sisältöön. Kyselyn ulkopuolella esiintyneitä ongelmakohtia kartoitettiin myös eräältä puualan yritykseltä sekä yhdistykseltä, joka toimii pintakäsittelyalan yritysten tukijärjestönä.</p> <p>Työn tutkimustuloksissa saatiin ratkaisu siihen, miksi pintakäsittelylinjaston investoinnin päättyessä tuomioistuimeen vastaajana toimii ostaja ja kantajana myyjä eikä maahantuojaa, vaikka kauppa toteutetaan maahantuojan välityksellä.</p>		

Asiasanat:

CISG, Kauppalaki, pintakäsittelylinjaston investointi, sopimusjuridiikka, sopimuksen laadinta

KÄSITTEET

argumentti	Perustella tai todistella jokin asia (Suomen kielen perussanakirja. Ensimmäinen osa, 46).
kansainvälinen kauppa	Kauppa, jonka osapuolina ovat kahden eri maan yritykset (Suomen kielen perussanakirja. Ensimmäinen osa, 388).
kansallinen kauppa	Kahden kotimaisen yrityksen välinen kauppa (Suomen kielen perussanakirja. Ensimmäinen osa, 389).
kauppaedustaja (agentti)	Itsenäinen yrittäjä, joka toimii kaupoissa ostajan ja myyjän (esimiehensä) välissä. Kauppaedustaja ei toimi kauppojen sopijapuolena, vaan hänen tehtäviinsä kuuluu ainoastaan sopimuksen laadinta, jonka päämies ja ostaja allekirjoittavat. (BJL. Kauppaedustaja ja yksinmyyjä Euroopan, Saksan ja Suomen oikeudessa.)
luottoriski	Riski, jonka toinen osapuoli ottaa kantaakseen myöntäessään luoton ottajalle jotain velaksi (Suomen kielen perussanakirja. Toinen osa, 111).
referenssikohde	Suosittelijan esittelemä kohde (Suomen kielen perussanakirja. Toinen osa, 628). Tämän työn kohdalla referenssikohdeella tarkoitetaan esittelykohdetta.
sopimuksen laadintaprosessi	Prosessi, johon kuuluvat sopimusneuvottelut sekä sopimuksen laadinta.
sopimusintressi	Sopimuksen kohta, jonka ratkaiseminen omaksi edukseen on yrityksen toiminnan kannalta tärkeää (Suomen kielen perussanakirja. Ensimmäinen osa, 292).
suora kauppa	Ostajan ja valmistajan välinen kauppa.
yksinmyyjä (maahantuoja)	Yksityinen yrittäjä, joka ostaa laitteita itselleen ja jälleenmyy ne. Toimii periaatteessa kuten tavallinen jälleenmyyjä. (BJL. Kauppaedustaja ja yksinmyyjä Euroopan, Saksan ja Suomen oikeudessa.)

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ KÄSITTEET

1. JOHDANTO	1
2. INVESTOINNIN ERI TOTEUTTAMISMALLEJA	3
3. INVESTOINNIN SUUNNITTELU	5
4. INVESTOINTIKAUPOISSA SOVELLETTAVAT LAIT	6
5. SUOMEN KAUPPALAIN JA CISG:N MERKITTÄVIMMÄT EROT	9
6. TARJOUSKYSelyn LAADINTA	11
7. MAKSUTAVAT	12
8. SOPIMUSNEUVOTTELUT JA SOPIMUKSEN LAADINTA	14
8.1. YLEISTÄ HANKINTASOPIMUKSISTA	14
8.2. SOPIMUKSEN KOHDAT	15
9. ENNEN SOPIMUKSEN ALLEKIRJOITTAMISTA	18
10. TOIMITUSEHDOT	20
11. TOIMITUKSEN JÄLKEISET TOIMENPITEET	20
MAHDOLLISTEN RIITATILANTEIDEN RATKAISEMINEN	21
12. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA SEN TOTEUTUS	22
13. LINJAINVESTOINTIEN EPÄKOHTIEN KARTOITUSKYSELY	22
13.1. KYSELYN KYSYMYKSET	22
13.2. KYSELYN TOTEUTUS	23
13.3. KYSELYN TULOKSET	24
13.3.1. <i>Puualan yritykset</i>	24
13.3.2. <i>Metallialan yritys</i>	26
13.3.3. <i>Johtopäätökset</i>	27
14. TUTKIMUSTULOKSET	27
15. EHDOTUKSIA HANKINTAOPASKIRJAAN	28
16. YHTEENVETO	29
LÄHDELUETTELO	
LIITTEET	

1. JOHDANTO

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysyksikkö CENTRIA käynnisti vuonna 2004 Pintakäsittelylaitoksen päästö- ja toimintakykytutkimusprojektin PPT 2004. Projektin aikana monissa yhteistyöyrityksissä oli havaittu ongelmia, joiden seurauksina pintakäsittelylinjastoinvestoinnit olivat päätyneet tuomioistuimen käsiteltäviksi. Nämä ongelmat olivat ilmenneet myös monissa projektin ulkopuolisissa yrityksissä. Kyseisistä ongelmista ei kuitenkaan oltu koskaan tehty kartoitusta. Tästä syystä CENTRIA julkaisi keväällä 2006 päättötyön, jonka tarkoituksena oli kartoittaa investointien yhteydessä ilmenneitä ongelmia sekä koota näiden tietojen perusteella aineistoa myöhemmin julkaistavaan pintakäsittelylinjaston hankintaoppaaseen.

Työ aloitettiin keväällä 2006 yrityksille suunnatulla kyselylomakkeella. Kyselyssä kartoitettiin mahdollisia pintakäsittelylinjaston investoinnin yhteydessä ilmenneitä ongelmia sekä tietoja, joista yritykset halusivat lisäselvityksiä ennen investointiin ryhtymistä. Kyselyn aikana pohdin myös itse syitä siihen, miksi investoinnit ovat yleensä päätyneet tuomioistuimeen. Yrityskyselyn pohjalta havaitsemani ainoa merkittävä syy tähän oli puutteelliset sopimukset. Myös se, ettei pintakäsittelylinjasto tai jokin sen osa toiminut kuten sopimuksessa oli sovittu, oli eräs syy siihen, miksi investoinneissa oli ilmennyt ongelmia (Rajaniemi Juhani 2006, 1). Tällaisista ongelmista on kuitenkin lähes mahdotonta tehdä kaikille yrityksille soveltuvaa ohjeistusta. Oman pohdinnan ja kyselyn tulosten perusteella päätin painottaa työni käsittelemään sopimusjuridiikkaa ja sopimuksen laadintaa.

Yrityksen investointikaupoissa on tapahtunut viime vuosina merkittäviä muutoksia. Yhä useammassa kaupoissa joko investoinnin tilaaja tai myyjä on ulkomaalainen. Tämä muutos on aiheuttanut suuria paineita luoda kansainvälistä kauppaa koskevia lakeja ja säännöksiä. Nyt jo voimaantulleet lait ja asetukset ovat luoneet kansainvälisille kaupoille yhteiset pelisäännöt ja turvanneet investoinnin kumpaakin osapuolta.

Osto- ja myyntitoiminnan kansainvälistyminen on myös luonut uudet yrittäjäjoukot, kauppaedustajat ja yksinmyyjät. Normaalissa arkikielessä näistä käytetään nimitystä agentti ja maahantuoja. Merkittävää kuitenkin on, ettei näiden yrittäjien eroa yleensä

tunnetta. Yleisesti on totuttu puhumaan maahantuojista. Erojen tunteminen on kuitenkin tärkeää, sillä se, kumman kanssa kauppa toteutetaan, vaikuttaa osaltaan kaupan luonteeseen.

Kauppaedustajat ja yksinmyyjät toimivat kaupan osapuolina eri tavoin ja ottavat tietyn vastuun itse kauppatahtumasta. Kauppaedustajat edustavat yleensä tiettyjen valmistajien tuotteita, eivätkä toimi sopimusosapuolena kaupan missään vaiheessa. Yksinmyyjät voivat puolestaan toimia vapaammin ja etsiä asiakkailleen parhaiten soveltuvia tuotteita. Yksinmyyjät ostavat myytävät tuotteet itselleen ja jälleenmyyvät ne edelleen loppukäyttäjille. Käytännössä he toimivat kuten tavalliset jälleenmyyjät.

Kauppaedustajat ja yksinmyyjät keskittävät osaamisensa yleensä tietyille osa-alueille ja tarjoavat asiakkailleen asiantuntevaa palvelua. Kuitenkaan näiden käyttäminen kaupan välikäsinä ei aina varmista ongelmattomaa kauppatahtumaa.

Tämän työn teoriaosiossa käsitelen kansainvälisen kaupan luonnetta sekä tärkeimmät perustiedot kaupoissa sovellettavista laeista ja näiden soveltamisesta eri maiden välisissä kauppatahtumissa. Myös muu investointikaupan teoria sopimuksen laadinnan osalta on tässä työssä käsitelty, ja sen pohja on rakennettu helpottamaan myöhemmin julkaistavan pintakäsittelylinjaston hankintaoppaan laatimista. Teoriaosion tärkein tehtävä on tarjota hankintaoppaan laatijoille yleiskuva pintakäsittelylinjaston investoinneista ja samalla toimia osittain teoriapohjana kyseiselle oppaalle.

Tutkimusosiossa keskityn puolestaan kuvaamaan tekemäni kyselyn ja sen tulokset. Tutkimustulosten ja analysoinnin jälkeen esitän myös omat näkemykseni siitä, mitä hankintaoppaan sisällön tulisi käsitellä.

2. INVESTOINNIN ERI TOTEUTTAMISMALLEJA

Suuren investoinnin toteuttaminen on pitkä prosessi, joka voi sisältää yhden tai useamman osapuolen. Osapuolina ovat aina ostaja ja myyjä. Myyjänä voi olla joko linjaston valmistaja tai yksinmyyjä, mutta kaupan välissä voi olla myös kauppaedustaja. Myöhemmin käytän yksinmyyjistä ja kauppaedustajista yhteistä nimitystä toimittajat, ellei asiayhteys vaadi tekemään eroa näiden välille. Erityisesti toimittajien käyttö on suositeltavaa investoinneissa, joissa tuotteen valmistaja on ulkomaalainen.

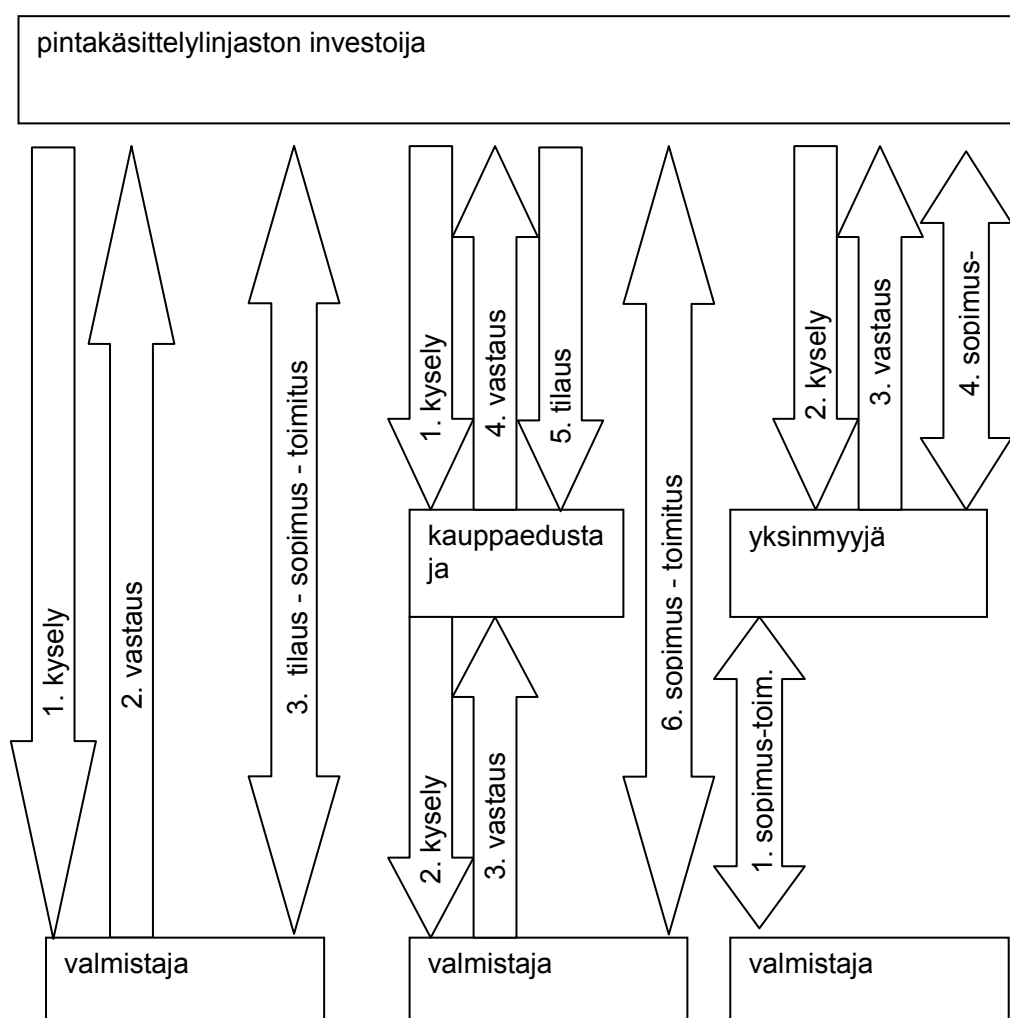
Hyvänä puolena toimittajien käytölle voidaan sanoa investointia tekevän yrityksen pienempi henkilöstöressurssitarve investoinnin toteuttamiseen. Toimittajat kykenevät tarjoamaan asiakkailleen asiantuntevaa palvelua, sillä yleensä he ovat keskittäneet osaamisensa jollekin tietylle toimialalle. Myös toimittajien tietotaito vastaavista aikaisemmista projekteista voi muodostua arvokkaaksi.

Yleisin tapa pintakäsittelylinjastojen investoinneissa on toimia kauppaedustajan (agentin) välityksellä. Tällöin edustaja toimii tietyn linjastonvalmistajan alaisena, itsenäisenä yrittäjänä, eikä edustaja itse toimi investointikaupan osapuolena missään vaiheessa. Kauppaedustajan velvollisuudet rajoittuvat yleensä tuotteen markkinointiin ja kauppasopimuksen laadintaan. Yksinmyyjät toimivat puolestaan vapaammin, ostamalla linjastot ensin omiin nimiinsä ja myymällä ne itse edelleen asiakkaalle. (BJL. Kauppaedustaja ja yksinmyyjä Euroopan, Saksan ja Suomen oikeudessa.) Kauppojen eri toteutusmallit on esitetty kuviossa 1.

Edellä mainitusta syystä kauppaedustajaa ei voida sitoa kaupan mihinkään tapahtumiin, ilman erillistä sopimusta. Vastaavasti yksinmyyjä toimii kaupassa kuten tavallinen jälleenmyyjä. Tästä syystä kauppaedustajan kautta tapahtuvaa kauppaa voidaan pitää kansainvälisenä kauppana ja soveltaa siihen YK:n kansainvälistä kauppalakia. (BJL. Kauppaedustaja ja yksinmyyjä Euroopan, Saksan ja Suomen oikeudessa.)

Yksinmyyjien kohdalla sovellettava laki riippuu siitä, toimiiko yksinmyyjä samassa maassa kuin ostaja. Jos yksinmyyjä toimii samassa maassa ostajan kanssa, sovelletaan kauppaan kansallista lakia. Vastaavasti, jos yksinmyyjä toimii toisessa maassa, sovelletaan joko kansallista tai kansainvälistä kauppalakia, riippuen siitä, mitä kyseiset maat ovat sopineet. Eri maiden välillä sovellettavia lakeja on käsitelty kohdassa 4. Investointikaupoissa sovellettavat lait.

Investoinnissa on kannattavinta toimia kotimaisen toimittajan kanssa, sillä muutoin niiden käytön perimmäinen tarkoitus menettää merkityksensä. Jos linjasto hankitaan ulkomaiselta toimittajalta, eikö olisi sama hankkia se silloin suoraan valmistajalta?



KUVIO 1. Pelkistetty esimerkki erilaisista tilauskäytännöistä.

3. INVESTOINNIN SUUNNITTELU

Heti suunnitteluvaiheen alussa kannattaa neuvotella linjastojen toimittajien sekä pintakäsittelyaineiden valmistajien kanssa. Pintakäsittelyaineiden valmistajat ovat tietoisia omien aineidensa soveltuvuudesta erilaisille levitysmenetelmille sekä laitteistokokoonpanoille. Neuvottelemalla mahdollisemman monen eri osapuolen kanssa, varmistetaan paras mahdollinen lopputulos. Esimerkiksi Tikkurila Coatings Oy on ollut mukana suunnittelemassa virolaisen Haapsalu Uksetehan pintakäsittelylinjastoa vuonna 2005. Tällöin Tikkurila antoi omat näkemyksensä hankittavan pintakäsittelylinjaston toimivuudesta ja esitti omat muutosehdotuksensa linjaston kokoonpanoon (Ovaska 34-2006, 38-39.)

Omasta yrityksestä on myös hyvä varata henkilöstöä projektin suunnitteluvaiheeseen. Henkilöillä olisi hyvä olla entuudestaan kokemusta pintakäsittelylinjaston investoinneista tai niiden käytöstä. Henkilöt, jotka ovat ennen olleet mukana samantapaisissa investoinneissa tietävät, mitä ongelmia investointien yhteydessä on ilmennyt ja voivat täten antaa arvokasta tietoa tulevaan investointiprojektiin (tarvittavat takuuehdot, mitä edellisissä projekteissa on unohtunut ottaa huomioon jne.). Vastaavasti pintakäsittelylinjaston parissa työskentelevät ihmiset osaavat antaa oman näkökulmansa siihen, miten linjaston tulisi toimia käytännössä ja mihin eri osa-alueisiin investoinnissa tulisi kiinnittää huomiota.

Kaupan osapuolia valittaessa on hyvä tutkia kaikkien osapuolten taloudellinen tilanne. Osapuolina voivat olla muun muassa linjaston valmistaja, kauppaedustaja tai yksinmyyjä. Näiden lisäksi on huomioitava myös alihankkijat. Jos on mahdollisuus saada tietoon yrityksiä, joihin kyseiset osapuolet ovat toimittaneet tai rakentaneet vastaavanlaisia kokonaisuuksia, kannattaa selvittää, kuinka investoinnit ovat onnistuneet. Tämän tiedon hankkiminen voi tosin olla mahdotonta, sillä hyvin moni yritys haluaa pitää tiedot itsellään ja käyttää tätä tietoa oman yrityksensä kehittämiseen.

4. INVESTOINTIKAUPOISSA SOVELLETTAVAT LAIT

Yritysten välisissä kaupoissa tärkeimmät lait ovat Kauppalaki 27.3.1987/355 (epäselvyyksien välttämiseksi käytän myöhemmin Kauppalaista nimitystä Suomen Kauppalaki) ja YK:n kansainvälinen kauppalaki Convention on Contracts for the International Sale of Goods (CISG). Edellä mainitut lait antavat kaupoille ainoastaan minimiehdot, joita sovelletaan kauppasopimuksen kohtiin, joita itse sopimus ei kata (Pasanen Anni 2005, 81). Mitä lakia milloinkin sovelletaan, riippuu täysin siitä, missä maissa sopimusosapuolet ovat tai mitä lakia sopimuksessa on sovittu sovellettavan.

Yritysten välisissä kaupoissa ei sovelleta lainkaan kuluttajansuojalakia, joka koskee ainoastaan yrityksen ja yksityisen kuluttajan välisiä kauppia (Kuluttajansuojalaki 20.1.1978/38, 1§). Kuluttajansuojalakia vastaavaa lakia ei ole yritystenvälisiin kauppoihin Suomessa luotu.

Suomen kauppalaki tai CISG voidaan jättää kaupan ulkopuolelle sopimalla tästä erikseen kauppasopimuksessa. Sopimuksessa voidaan myös sopia sovellettavaksi jonkin tietyn maan kauppalakia. Jollei sopimuksessa ole mainintaa sovellettavasta laista, määräytyy sovellettava laki sen maan lainsäädännön mukaan, missä tilaus on vastaanotettu. (Laki kansainvälisluontoiseen irtaimen esineiden kauppaan sovellettavasta laista 387/1964 3§, 5§.)

Sovellettava laki kannattaa kuitenkin kirjata ylös sopimukseen, sillä ilman lakiviittausta tuomioistuin tai välimiesoikeus joutuu itse argumentoimaan sovellettavasta laista mahdollisissa riitatilanteissa. Tämä puolestaan aiheuttaa lisäkustannuksia kaupan osapuolille. (Pasanen 2005, 82.)

Suomen kauppalaki sekä CISG ovat pääpiirteittäin samanlaisia. Kumpikaan laki ei puutu itse sopimuksen muotoon, vaan ne sallivat vapaamuotoisen sopimisen kaupan osapuolten välillä. (Kauppalaki 27.3.1987/355 3§; United Nations Convention on the Contracts for the International Sale of Goods 1980, Article 3.)

Suomen kauppalaki on kaupan osapuolten välinen yleislaki, jota sovelletaan kaikkeen irtaimen omaisuuden kauppaan kansallisissa kaupoissa (Kauppalaki 355/1987, 1§ 1 momentti). Irtaimella omaisuudella tarkoitetaan kaikkea sellaista omaisuutta, joka on siirrettävissä. Suomen Kauppalain soveltaminen voi olla kyseenalaista pintakäsittelylinjaston yhteydessä, sillä pintakäsittelylinjastot ovat kiinteitä kokonaisuuksia. Kuitenkaan ne eivät tarvitse rakennuslupaa, ja tästä syystä ne voidaan katsoa Kauppalain piiriin. Toinen huomioitava seikka on kauppalain 2§ 2 momentti ”Lakia ei sovelleta sopimukseen, jonka mukaan tavaran toimittajan on myös suoritettava työtä tai muu palvelus, jos palvelus muodostaa pääosan hänen velvollisuuksistaan”. Normaalisti pintakäsittelylinjaston asentaa alihankkijayritys linjaston valmistajan tai yksinmyyjän avustamana, jolloin suoritettu työ toimittajan osalta ei muodosta pääosaa hänen velvollisuuksistaan.

YK:n kauppalakia eli yleissopimusta kansainvälisestä kaupasta (CISG) sovelletaan kauppoihin, jos osapuolten liikepaikat sijaitsevat eri valtioissa ja jos valtiot kuuluvat kauppalain hyväksyneiden valtioiden joukkoon (Sisula-Tulokas 1998, 58). CISG:n soveltamisala noudattaa samaa linjaa kuin Suomen kauppalakikin.

Suomi on jättäytynyt CISG:n II osion ulkopuolelle, joka puuttuisi sopimuksentekoon. Saman poikkeuman ovat tehneet myös kaikki muut Pohjoismaat. Näin ollen Suomi ja muut Pohjoismaat noudattavat CISG:n osalta ainoastaan materiaalisia määräyksiä. (Sisula-Tulokas 1998, 56; Kivelä, Nordell 2003, 222; Pasanen 2005, 83-83; Helsingin kauppakorkeakoulu, Kansainvälinen irtaimen kauppa.)

CISG:n II osio voi kuitenkin tulla sovellettavaksi kaupassa, mikäli kaupan toinen osapuoli on maasta, joka on hyväksynyt CISG:n kokonaisuudessaan ja sopimuksessa sovitaan lain soveltamisen tapahtuvan kyseisen maan lainsäädännön mukaan (Soimakallio Sarissa 1999, 10). Mikäli sopijaosapuolen liikepaikka sijaitsee Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Islannissa tai Norjassa, ei CISG:tä sovelleta kyseisten maiden yritysten välisiin kauppoihin. Näissä tapauksissa noudatetaan aina kansallista lakia (Sisula-Tulokas 1998, 59; Anni Pasanen 2005, 84.) CISG:n hyväksyneet maat on esitetty liitteessä 1 ja sen soveltaminen erilaisissa kauppatilanteissa on esitetty liitteessä 2.

Myynti- ja toimitusehdot syrjäyttävät kauppalait niiltä osin, mitä myynti- ja toimitusehdoissa on sovittu. Periaatteessa kyseiset ehdot toimivat sopimuksessa ”valmiiksi kirjoitettuna” sopimuskohtana, jonka toinen osapuoli hyväksyy allekirjoituksella.

Jos lähtee suunnittelemaan yritykselle omia myynti- ja toimitusehtoja, tulee näiden olla mahdollisimman yksiselitteisiä ja selkeitä. Pienille yrityksille, jotka toteuttavat investointikauppoja suhteellisen harvoin, en voi suositella omien myynti- ja toimitusehtojen laatimista, sillä niiden laatiminen on työlästä, ja niiden laadinnassa on syytä käyttää asiantuntijana juristia. On myös huomioitava, etteivät kyseiset ehdot välttämättä sovellu yrityksen oman myynnin sekä investointikauppojen yhteyteen, jolloin niiden käytettävyys vähenee.

Myös eri liitot julkaisevat omia myynti- ja toimitusehtoja, joita he suosittelevat käytettäväksi liiton edustamien yritysten investointien yhteydessä. Pintakäsittelylinjaston investointeihin soveltuu hyvin muun muassa Teknisen kaupan liiton työstökoneiden ja laitteiden myynti- ja toimitusehdot. Liittojen julkaisemien myynti- ja toimitusehtojen käyttöoikeus vaatii yleensä liittymistä kyseiseen liittoon.

Kauppatapoja, eli toimituslausekkeitä, ei tule sekoittaa laeiksi. Kuitenkin ne toimivat sopimuksessa yhtä sitovana kuin mikä muu tahansa sopimuskohta. Toimitusehdot koskevat kaupan kohteen toimitusaikaa, -tapaa sekä osapuolten vastuunjakoa. Toimitusehtoja on käsitelty tarkemmin kappaleessa 10. Toimitusehdot.

Hankintaoppaassa sopimusjuridiikan merkitystä ei tule korostaa liikaa, sillä lakien merkitys korostuu ainoastaan suppeissa sopimuksissa, joissa kaupan kaikkia kohtia ei ole katettu. Myös lakien liika selventäminen voi heikentää asian hahmottamista. Lakien tunteminen voi kuitenkin helpottaa itse sopimuksen laadintaa, sillä tällöin osa sovittavista asioista voidaan jättää kokonaan lain tulkinnan varaan. Lakien eroavaisuudet (esitetty seuraavassa kappaleessa) ja sovellettavan lain määräytyminen eri maiden välisissä kaupoissa ovat sellaisia osa-alueita, jotka oppaassa kannattaa esittää. Pääpainon tulisi kuitenkin keskittyä sopimuksen laadintaan ja opastaa

laatimaan mahdollisimman kattava sopimus, jolloin kauppalakeja ei jouduttaisi edes tulkitsemaan.

5. SUOMEN KAUPPALAIN JA CISG:N MERKITTÄVIMMÄT EROT

Vaikka Suomen kauppalaki ja CISG sisältävätkin paljon yhtäläisyyksiä, sisältävät ne myös sopimuksen kannalta merkittäviä eroavaisuuksia. Eroavaisuudet on kuvattu alla olevassa taulukossa.

Suomen kauppalaki	CISG
<ul style="list-style-type: none"> • Sovelletaan kansallisiin kauppoihin, ellei muuta ole sovittu. • Myyjän ja ostajan oltava elinkeinoharjoittajia. • Sopimusrikkomuksista välilliset ja välittömät korvaukset. • Reklamoitava ”kohtuullisessa ajassa”. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sovelletaan kansainvälisiin kauppoihin silloin kun molempien osapuolten toimipaikkamaat ovat hyväksyneet CISG:n ja kauppasopimuksessa ei ole muuta sovittu. • Ostajan ei ole pakko olla elinkeinoharjoittaja. • Sopimusrikkomuksista yksi vahingonkorvaustyyppi; selkeämpi mutta ankarampi seuraamuksiltaan, kuin Suomen kauppalaki. • Reklamointiaika kaksi vuotta.

TAULUKKO 1. Suomen kauppalain ja CISG:n tärkeimmät erot. (Lähde: Sisula-Tulokas 1998, 54-56)

Pintakäsittelylinjaston investoinnin kannalta lakien merkittävin ero on reklamointiaika. Jos kaupan kummallekin osapuolelle sopii kahden vuoden reklamointiaika,

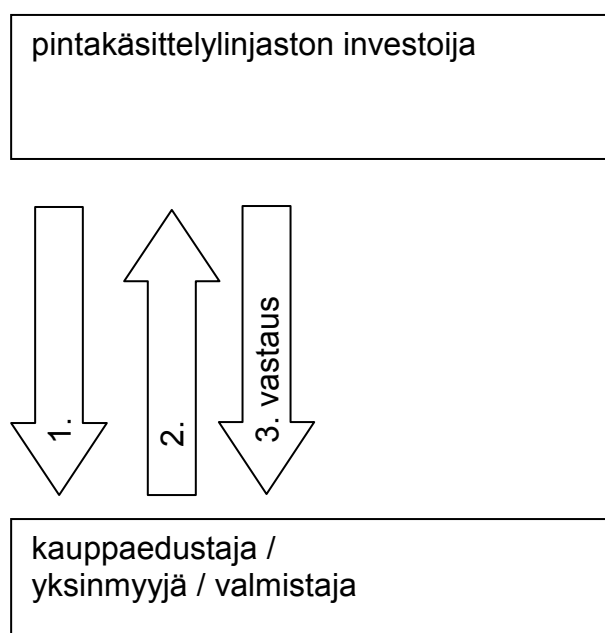
sovellettavaksi laiksi käy suoraan CISG. Jos kuitenkin päädytään Suomen Kauppalain tulkintaan, reklamoinnille tulisi määrätä reklamointiaika.

Suomen Kauppalaissa ostaja ei ole oikeutettu saamaan välillisiä korvauksia, jos vahingonkorvausvaatimus koskee myyjästä johtuneita viivästymisiä, ja ne ovat olleet myyjän vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella, eikä myyjä ole pystynyt ottamaan tätä seikkaa kaupantekohetkellä huomioon. Tapauksissa, joissa vahingonkorvausvaatimus koskee ostajalle syntyneitä tavaran virheistä syntyneitä vahinkoja, eikä myyjä pysty toimittamaan virheetöntä tavaraa vaikutusmahdollisuuksiensa ulkopuolella, ei ostaja ole oikeutettu saamaan välillisiä korvauksia. (Kauppalaki 27.3.1987/355 27§, 40§.) Kaikissa muissa vahingonkorvausvaatimuksissa ostaja on oikeutettu saamaan korvausta niin välillisistä kuin välittömistäkin korvauksista. Edellä mainitusta syystä johtuen on ehkä hieman epä johdonmukaista sanoa CISG:n olevan korvausvaatimuksiltaan ankarampi (ks. taulukko 1, CISG, sopimusrikkomuksen vahingonkorvaustyyppi, s9).

Kuitenkin Suomen Kauppalaki ja CISG eroavat korvausvaatimuksissa siinä, missä ostaja tai myyjä on korvausvelvollinen. Esimerkiksi CISG:ssä ostaja on oikeutettu saamaan korvausta, mikäli myyjä toimittaa siihen sisältyvät asiakirjat virheellisenä. Tämä korvausvelvollisuus säilyy, vaikka myyjä toimittaisi asiakirjat etuajassa ja korjaisi ne ennen sovittua luovutusajankohtaa (United Nations Convention on Contracts for the International Sale of Goods Article 34). Vastaavaa korvausvelvollisuutta Suomen Kauppalaki ei tunne. Suomen Kauppalaissa puhutaan vain tavaran virheestä ja sen korvausvelvollisuudesta (Kauppalaki 27.3.1987/355 40§). Se, käsittääkö tässä tapauksessa tavara myös vaadittavia asiakirjoja, jää auki. Kuitenkin tässä ja edellisessä kappaleessa mainittujen seikkojen johdosta, olisi johdonmukaisempaa puhua korvausperiaatteiden olevan CISG:ssä Suomen Kauppalakia laajempia, eikä ankarampia.

6. TARJOUSKYSÉLYN LAADINTA

Lähes poikkeuksetta kaikki suuret investoinnit pitävät sisällään tarjouskyselyn (ks. kuvio 2). Tällä luodaan ensimmäiset viralliset kontaktit kaupan osapuolten välille. Tarjouskyselyssä tulee myyjältä tai kauppaedustajalta pyytää täydelliset tuote-, ominaisuus- ja hintatiedot sekä toimitusaikataulut ja muut toimitukseen vaikuttavat tiedot (Vientikaupan asiakirjat 2005, 5-1).



KUVIO 2. Pelkistetty malli tarjouskyselystä.

Tarjouskyselyyn on suositeltavaa lisätä vastausaika, jona toisen osapuolen on vastattava tarjoukseen. Tällä parannetaan mahdollisuuksia saada vastaus halutussa ajassa, joka on tärkeää erityisesti pintakäsittelylinjastojen investoinneissa, joissa tarjouskyselyitä lähetetään useille eri linjastojen myyjille tai kauppaedustajille. Vastausajalla mahdollistetaan usean eri valmistajan tarjouksen saapuminen tietyinä ajanjaksona, jolloin tarjousten vertailu ja jatkotoimenpiteet nopeutuvat. Jos vastaus tarjoukseen saapuu vastausajan ulkopuolella, on sitä käsiteltävä myyjän tekemänä uutena tarjouksena (Laki varallisuus oikeudellisista oikeustoimista 13.6.1929/228, 4§). Jos myöhässä saapunut tarjous katsotaan yritykselle parhaimmaksi vaihtoehdoksi, on siitä annettava hyväksyvä vastaus tarjouksen antajalle.

7. MAKSUTAVAT

Kansainväliseen kauppaan on luotu omat maksutavat. Tähän ovat johtaneet eri maiden erilaiset taloudelliset tilanteet. Kansainvälisen kaupan maksutavoilla pyritään takaamaan myyjän oikeus saada myydystä tavarasta maksu. (Lojander, Suonpää 2004, 110.)

Yleisen käytännön mukaan maksutavan valinta tehdään sopimusneuvottelujen yhteydessä (Helppi, Paloheimo 2005, 106).

Kansainvälisessä kaupassa valittavat maksutavat ovat:

Maksumääräys: Nopea ja halpa maksutapa, joka vastaa kotimaankaupan pankkisiirtoa. Maksumääräys toimitetaan ostajalle myyjän kotimaan pankin kautta, joka toimittaa sen edelleen ostajan kotimaan pankille ja edelleen asiakkaalle. Maksumääräys on eniten käytetty maksutapa kansainvälisessä kaupassa. (Lojander, Suonpää 2004, 111.)

Sekki: Hidas maksutapa, jota käytetään yleensä silloin kun maksumääräyksen kustannukset tulevat maksumääräystä halvemmaksi. Sekin suurimpina haittoina ovat petos- ja väärennösvaarat, rahavarojen hidas siirtyminen sekä korkeat palvelukustannukset. (Lojander, Suonpää 2004, 111.)

Perittävä: Käytössä kaksi eri muotoa: D/P, eli asiakirjat luovutetaan vasta maksun tultua tilille sekä D/A, eli asiakirjat luovutetaan hyväksynnän jälkeen. Asiakirjojen luovuttamisen hoitaa pankki. Maksutapa soveltuu erittäin hyvin kauppasuhteisiin, joissa myyjä ja ostaja tekevät paljon toistuvia kauppoja. (Lojander, Suonpää 2004, 111-112.)

Remburssi: Sopii erittäin hyvin muun muassa projektiluontoiseen kauppaan, jossa asiakassuhteet voivat olla uusia. Remburssissa on perittävää kehittyneempi maksutapa, jossa ostajan pankki on velvollinen

maksamaan myyjälle kauppahinnan myyjän esitettyä remburssiehtojen mukaiset asiakirjat. Pankki puolestaan perii maksun ostajalta jälkikäteen (Laki 24. Remburssi: Mikä on remburssi? 2006.)

Remburssin myöntämisen edellytyksenä pankit voivat edellyttää ostavalta yritykseltä hyvää maksukykyä. Käytännössä remburssissa ostajan pankki ottaa kaupasta luottoriskin, mikäli ostaja ei jostain syystä halua tai kykene maksamaan kauppahintaa. Remburssi on ostajan kannalta kaikista turvallisista vaihtoehdoista. (Helppi, Palonheimo 2005, 115.)

Ennakkomaksu: Varsinkin Venäjän kaupassa yleisesti käytetty ennakkomaksutapa on sama kuin Suomen sisäisessä kaupassa. Ennakkomaksussa ostaja voi vaatia myyjän pankilta takauksen turvatakseen kauppahinnan takaisinsaannin, jollei tavaraa toimiteta. (Lojander, Suonpää 2004, 112.)

Luottokauppa: Luottokauppa on myös Suomen sisäisessä kaupassa käytetty menetelmä, jossa ostaja ja myyjä ovat sopineet tietyn luottorajan, ja myyjä toimittaa tavaraa tähän rajaan asti. Menetelmä soveltuu myös ulkomaankaupan maksuliikenteeseen. (Lojander, Suonpää 2004, 112.)

Jos kauppa toteutetaan yksinmyyjän välityksellä, tapahtuu maksu tämän kautta. Täten, jos yksinmyyjä on kotimainen, tapahtuu maksu kotimaan maksutapojen mukaan. Tällöin voidaan maksutavoiksi valita esimerkiksi ennakkomaksu tai luottokauppa.

Pintakäsittelylinjaston investointikaupoissa olisi hyvin tärkeää kyetä painottamaan maksusuoritteet kaupan loppusuoralle, jolla turvataan toisen osapuolen sitoutuminen kauppaan loppuun asti (Rajaniemi Juhani 2006. 2). Tällöin, jos kaupan jälkeen sovitaan suoritettavaksi osa maksusuoritteista, voi myyjä vaatia normaalia paremmat takaukset turvatakseen omat saatavat. Myöskään tuskin kukaan suostuisi toimittamaan näin isoa investointia pelkästään kertamaksulla, joka suoritettaisiin projektin loputtua. Syynä tähän on suuret sidotut pääomat linjaston myyjän puolelta. Tiettyä maksutapaa en voi tässä yhteydessä suositella, sillä siihen vaikuttavat useat

muuttuvat tekijät. Muuttuvia tekijöitä ovat muun muassa kauppapuolten taloudelliset tilanteet ja heidän toimipaikkamaiden taloudelliset olosuhteet. Parhaat asiantuntijat maksutapojen valintaan ovat tästä syystä pankit, jotka selvittävät kauppapuolten ja -maiden taloudelliset tilanteet (Lojander, Suonpää 2004, 112).

8. SOPIMUSNEUVOTTELUT JA SOPIMUKSEN LAADINTA

Pintakäsittelylinjastojen investoinneissa on muodostunut yleiseksi käytännöksi, että linjaston myyjä tai kauppaedustaja valmistelee sopimuksen. Tällöin sopimuksen laadintaa tärkeämmäksi kohdaksi nousevat sopimusneuvottelut, joissa tulee päästä yksimielisyyteen sopimuksen kaikista kohdista ja ehdoista. Kuitenkin sopimuksen laadinnasta on hyvä tietää perustiedot, sillä sopimuksen laadinta on suoraa seurausta sopimusneuvotteluista.

Sopimuksen laadintaprosessi on usein aikaa vievää, mutta siihen panostaminen kannattaa.

Sopimusneuvotteluja ei kannata jättää pelkästään suullisen sopimuksen tai sähköpostikeskustelun varaan, vaan neuvotteluissa sovituista asioista kannattaa pitää itsellään kirjaa, jolloin sopimuskohtien oikeellisuus on helppo tarkastaa sopimuksen allekirjoituksen yhteydessä.

8.1. Yleistä hankintasopimuksista

Hankintasopimus on kauppasopimus, joka voi syntyä kansainvälisessä käytännössä vallitsevan sopimusvapauden nojalla joko suullisesti tai kirjallisesti. Kuitenkin on suositeltavaa tehdä sopimus kirjallisesti, sillä muulloin sen syntyminen ja ehdot on vaikea todistaa oikeudessa. Sopimuksen laadinta on kaupan eräs tärkeimmistä tapahtumista, ja sen tulee olla myös mahdollisimman yksiselitteinen kieliasultaan, jotta

ehtojen tulkinnassa ei pääsisi syntymään erimielisyyksiä (Ojajärvi, Vainio 2002, 77, 107).

Sopimuksen purusta ja osapuolten velvollisuuksista on sovittu Suomen kauppalaissa, kun sopimusosapuolten toimipaikat sijaitsevat Suomessa sekä CISG:ssä, kun kaupan osapuolten toimipaikat sijaitsevat CISG:n hyväksyneissä maissa (ks. luku 4. Investointikaupoissa sovellettavat lait). Kaikissa sopimuksissa kannattaa mainita sovellettava laki epäselvyyksien välttämiseksi.

Sopimuksesta tulisi käydä ilmi sopimuksen laatija, sillä riitatilanteissa sopimuksessa ilmenneet epäkohdat ja puutteet tulkitaan yleisen sopimusoikeuden periaatteen mukaan sopimuksen laatijan häviöksi (Oikeuslaitos. KouHo:2005/10). Sopimuksen laatija on usein vaikea tunnistaa suorissa kaupoissa. Kauppaedustajan kautta tapahtuvassa kaupoissa edustaja itse tekee kauppasopimuksen, jolloin kyseinen taho on vastuussa kauppasopimuksen epäselvyyksistä.

8.2. Sopimuksen kohdat

Sopimuksessa ilmi käytävät kohdat ovat kaikissa kauppasopimuksissa erilaisia, riippuen kaupan luonteesta ja kaupan osapuolten erilaisista tarpeista. Luvussa 9. Ennen sopimuksen allekirjoitusta esitetty lista antaa hyvän mallipohjan sopimuksen kohdille. Näiden listojen kannattaa muistaa olevan ainoastaan ohjeellisia, ja ne saattavat sisältää puutteita, mutta ne antavat hyvät lähtökohdat sopimuksen laatimiselle. Näitä listoja kannattaa päivittää omien kokemusten ja näkemysten mukaan. Toinen hyvä esimerkki sopimuksen tarkistuslistaksi on Fintran julkaisema muistilista sopimuksen sisällöstä:

1. Sopijapuolet
2. Sopimuksen kohde
3. Kauppahinta
4. Maksuehdot ja maksutapa
5. Toimitusehto

6. Pakkaus
7. Vahingonvaara
8. Omistusoikeus
9. Takuut
10. Myyjän huolto, asennus ja varaosien toimitusvelvollisuus
11. Toimitukseen sisältyvät asiakirjat
12. Tarkastukset ja reklamaatiot
13. Oikeus pidättäytyä suorituksesta
14. Kaupan purku
15. Vahingonvastuuasiat
16. Hinnanalennus ja sopimussakko
17. Ylivoimainen este, force majeure*
18. Luvat, lisenssit, viranomaisten hyväksymiset yms.
19. Sovellettava laki (Esimerkiksi Suomen kauppalaki, CISG**), riitojen ratkaisumenetelmä ja –paikka***
20. Sopimuksen muuttaminen ja siirtäminen
21. Sisäkaupassa myös osapuolten arvonlisäveronumerot ja niiden oikeellisuus

Lähde: Vientikaupan asiakirjat 2005, 6-8.

**Force majeure, eli ylivoimainen este –lauseke antaa tuotteen myyjälle suojan ylivoimaisen esteen ilmaantuessa vapautua kaupan viivästysvastuusta. Lauseke voi olla hyvinkin yleinen tai yksityiskohtainen, eikä sille ole sovittu pakottavia muotoseikkoja. Yksityiskohtaisessa lausekkeessa käy ilmi kaikki ne tapahtumat, jotka katsotaan ylivoimaiseksi esteeksi. (Tekes. Primen sopimukset.)*

***Esimerkiksi ulkomaankaupassa sopimuksissa kannattaa käyttää viittausta: ”This contract is governed by the domestic law of Finland, including the Sales Act 1987” silloin, kun kaupassa halutaan soveltaa Suomen kauppalakia. Vastaavasti, jos halutaan soveltaa CISG:tä siten, miten Suomi on sen hyväksynyt, sopimukseen tulisi lisätä viittaus: ”This contract is governed by the Finnish law”. (Sisälä Tulokas 1998, 59.) Suoraa viittausta CISG:hen (esimerkiksi ”This contract is governed by the law of Convention on Contracts for the International Sale of Goods”) tulisi välttää, sillä tällöin CISG tulee sovellettavaksi tilauksen vastaanottomaan hyväksynnän mukaan.*

****Mahdollisten riitatilanteiden vuoksi, joiden seurauksen voi joutua turvautumaan välimiesoikeuteen tai tuomioistuimeen, kannattaa sopimukseen kirjata sopimispaikkakunta, jossa mahdolliset riitatilanteet ratkaistaan (Soukka Sirpa 2006). Tämän lisäksi on tärkeää sopia sovellettavasta laista, sillä ilman tätä*

tuomioistuimien joutuu ensin argumentoimaan sovellettavasta laista. Tämä puolestaan aiheuttaa lisäkustannuksia kaupan kummallekin osapuolelle.

Ylhäällä olevaa muistilistaa läpikäydessä kannattaa huomioida siitä puuttuvan toimitusaika, vaikka se on eräs sopimuksen tärkeimmistä kohdista. Esimerkiksi, jos linjaston asennus tilataan aliurakoitsijalta ja alkamisajankohta on suunniteltu mahdollisimman lähelle toimitusaikaa, toimitusajan maininnan merkitys sopimuksessa kasvaa. Esimerkitapauksessa linjaston toimitusajan pidentyessä myös asennusaikataulu viivästyy. Jos linjaston ostaja ei pysty todistamaan toimitusajan viivästymistä sovitusta, on hän velvollinen maksamaan aliurakoitsijalle hänelle mahdollisesti aiheutuneet odottamiskustannukset. Vastaavasti, jos sopimuksessa on mainittu toimitusajankohta, eikä toimittaja ole pyytänyt toimitukselle jatkoaikaa tai kykene osoittamaan, että viivästys johtuu hänestä riippumattomista syistä, on ostaja oikeutettu purkamaan sopimuksen ja saamaan vahingonkorvauksia välittömistä vahingoista (Kauppalaki 27.3 1987/355, 27§ ja 54§; United Nations Convention on the Contracts for the International Sale of Goods 1980, Article 45).

Sopimuksen teon hetkellä kannattaa myös miettiä, olisiko oman toiminnan kannalta parempi, jos mahdollisten alihankkijoiden hyväksymiseen osallistuisi kaupan kummatkin osapuolet. Tietyissä tilanteissa tämä voi lisätä projektin onnistumismahdollisuutta ja varmistaa mahdollisimman pätevien alihankkijoiden käytön.

Jos kyseessä on kauppaedustajan kautta tapahtuva kauppa, kannattaa hänen velvollisuuksiin lisätä pykälä, jossa kauppaedustaja sitoutuu toimimaan mahdollisissa reklamaatio- ja ongelmatapauksissa välikätenä ostajan ja linjaston valmistajan välillä. Näin vältytään ongelmilta, jotka voisivat johtaa tilanteeseen, jossa asiakas itse joutuisi neuvottelemaan linjaston valmistajan kanssa. Varsinkin, jos valmistaja on ulkomaalainen, kommunikointiongelmien voimat hankaloittaa neuvottelua.

Sopimuksen kohteen kuvaukseen tulee sopimuksissa myös panostaa. Pelkkää avaimet käteen mainintaa sopimuksessa tulee välttää. Tämän sijasta sopimukseen tulee luetella kaikki siihen sisältyvät toimitukset ja palvelut, sillä usein esimerkiksi

sähkön tuominen tiloihin ja paineilmalatteiden asennus eivät välttämättä kuulu toimitukseen. Nämä katsotaan usein kuuluvan kiinteistöön ja siten erilliseen toimitukseen, ellei niistä ole sopimuksessa muuta sovittu.

Kansainväliseen kauppaan on kansainvälinen kauppakamari ICC laatinut vuonna 1998 The ICC Model International Sale Contract englanninkielisen sopimusmallipohjan, jonka voi tilata käyttöönsä. Sopimusmallipohja on tarkoitettu käytettäväksi yksittäisissä kauppatapauksissa, ja se sisältää myös yleiset kauppaehdot. Alustavasti sopimusmallipohjaan voi tutustua Sisula-Tulokkaan kirjoittamassa kirjassa Ulkomaan kauppaoikeus. Valmiita sopimus pohjia käyttäessä on kuitenkin muistettava niidenkin olevan muiden muistilistojen ohella vain ohjeellisia, eivätkä ne sisällä jokaisen liikesuhteen erityispiirteitä (TIEKE, 1. Sopimuksen laatimisesta.) Vaikka kappaleessa 8. Sopimusneuvottelut ja sopimuksen laadinta mainittiin pintakäsittelylinjastojen investointisopimusten olevan normaalisti myyjän tai kauppaedustajan tekemiä, voidaan sopimusneuvotteluissa vaatia sopimuksen pohjaksi ICC:n sopimusmallipohjaa.

9. ENNEN SOPIMUKSEN ALLEKIRJOITTAMISTA

Ennen sopimuksen allekirjoittamista on sopimuksesta syytä tarkastaa, ovatko kaikki sovitut asiat kirjattu sopimukseen ja onko niiden esitystapa yksiselitteinen. Suositeltavaa olisi näyttää sopimusta myös juristille ennen allekirjoittamista.

Sopimuksesta tarkastettavat kohdat voivat esimerkiksi olla seuraavat:

1. Sopimuksen osapuolet (nimi, paikkakunta jne.)
2. Johdanto: Esimerkiksi pintakäsittelylinjaston investointiprojektiin toimitettavien laitteiden ja eri työvaiheiden yleisesittely
3. Sopimuksen kohde
4. Tilaajan ohjeet / oikeudet / velvollisuudet
5. Toimittajan oikeudet / velvollisuudet
6. Noudatettavat toimintaperiaatteet

7. Vastuut, vastuunrajoitukset
8. Vakuudet
9. Yleiset / yksilölliset sopimusehdot
10. Toimitusaika
11. Muut aikataulut (esimerkiksi rakennusaikataulu)
12. Hinta
13. Toimitustapa
14. Indeksitarkastus
15. Kauppahinta
16. Maksuehdot
17. Verotus
18. Sopimustakaukset
19. Eräpäivä, viivästyskorko
20. Viivästyssakko
21. Lisätyöt
22. Vakuutukset
23. Force majeure –lauseke
24. Sopimuksen muuttamissäännöt
25. Sopimuskieli
26. Sovellettava laki
27. Oikeustiet / oikeuspaikka
28. Käytetty sopimusasiakirja – asiakirjojen pätevyysjärjestys
29. Liitteet
30. Salassapitolauseke
31. Sopimuksen voimassaoloaika
32. Sopimuksen irtisanominen / purkaminen
33. Takuut (mitkä kuuluvat takuun piiriin ja mitkä eivät)
34. Vahingonkorvaus
35. Sopimuksen päiväys
36. Allekirjoitukset
37. Mahdolliset todistajat, valtakirjat jne.

10. TOIMITUSEHDOT

Toimitusehdoilla määritellään ostajan ja myyjän velvollisuudet tuotteen kuljettamiseen ja vakuuttamiseen. Toimitusehdot on syytä sisällyttää tarjouskyselyvaiheeseen, sillä ne vaikuttavat osaltaan kaupan kokonaishintaan. Suomen sisäisessä kaupassa käytetään Finnterms 2001 –lausekkeita ja kansainvälisessä kaupassa Incoterms 2000 –lausekkeita. Toimitusehdon valinta tulisi tehdä sen perusteella, kumpi osapuoli pystyy kantamaan vastuun pienemmin riskein. Siirryttäessä E-alkuisista lausekkeista D-alkuisiin nousevat yleensä kaupan kokonaiskustannuksetkin, johtuen suuremmasta toimittajan vastuusta ja kustannuksista. Incoterms 2000 –toimitusehdot ja niiden soveltuvuus eri kuljetusmuodoille on esitetty liitteessä 3.

Tarjouskyselyyn ja lopulliseen sopimukseen liitetystä toimitusehdosta tulee käydä ilmi toimituslausekkeen lyhenne (Incoterms / Finterms) sekä määräpaikka, jossa kauppatavara on sovittu vaihtavan omistajaa. Esimerkiksi CIP (INCOTERMS 2000) Raahe. Tässä esimerkissä Raahe on toimituksen kriittisin paikka, jossa kuljetuksen maksusuoritteet siirtyvät kaupan toiselle osapuolelle ja toimitusehdoista riippuen usein myös vaaranvastuu. Käytettävä toimituslauseke (Incoterms / Finterms) on syytä olla sopimuksessa esillä, sillä erilaisia toimituslausekkeita on ympäri maailmaa käytössä useita, joilla on sama lyhenne mutta eri merkitys. Tämän merkitys korostuu erityisesti kertaluontoisissa kaupoissa, joissa asiakkaan ja myyjän kauppasuhteet ovat uusia. (Vientikaupan asiakirjat 2005 5-3.)

Toimitusehtojen valinnan yhteydessä on kummankin osapuolen käsitettävä, mitä toimitusehto käytännössä tarkoittaa. Tärkeintä on tuntea, missä on toimituksen kriittinen piste, eli piste, missä tuote luovutetaan ostajan vastuulle. (Pk-yrityksen riskienhallinta. Toimitusehtojen tarkistuslista.)

11. TOIMITUKSEN JÄLKEISET TOIMENPITEET

Heti toimituksen jälkeen tulee tarkastaa saapuneiden lähetysten kunto. Tämän lisäksi on varmistettava, että lähetys sisältää kaikki pakkauslistassa mainitut tavarat. Jos tilatussa tavarassa ilmenee jo tällöin virheitä tai puutteita, tulee niistä reklamoida sopimuksessa sovittua osapuolta välittömästi. Reklamointi on paras suorittaa kirjallisesti ja varmistaa, että itselle jää todiste reklamoinnista ja sen ajankohdasta. Paras tapa reklamoida on sähköposti. Tällöin lähetetty reklamointisähköposti kannattaa tulostaa itselle. Toinen hyvä reklamointitapa on faksi, mutta tällöin reklamoinnista on mahdotonta saada itselle todiste tapauksissa, joissa faksin vastaanottaja kadottaa telekopion. Faksin hyvänä puolena on reklamointiajan näkyminen lähetetyssä telekopiolla.

Mahdollisten riitatilanteiden ratkaiseminen

Jos investoinnin yhteydessä tai sen jälkeen ilmenee riitatilanteita, tulisivat riidat kyetä ratkaisemaan neuvottelemalla. Kuitenkaan aina neuvotteluilla ei päästä yksimielisyyteen. Tällöin riidat voidaan ratkaista kansallisissa ja kansainvälisissä kauppasuhteissa tuomioistuinmenettelyllä tai välimiesoikeudella. (TIEKE. 1 Sopimuksen laatimisesta.)

Välimiesoikeuteen turvautuminen kannattaa tilanteissa, joissa sopimusintressit ovat suuret. Kustannuksiltaan välimiesoikeus voi kuitenkin tulla kalliiksi. Tuomioistuinmenettelyn ja välimiesoikeuden eroina ovat välimiesoikeuden salaisuus ja asiantuntevuus siinä käytettyjen asiantuntijoiden vuoksi. Asiantuntijoiden valinnan suorittavat sopijaosapuolet. (TIEKE. 1. Sopimuksien laatimisesta.)

Välimiesoikeuden tuomio on lähes kaikkialla täytäntöönpanokelpoinen, ja sen antamasta tuomiosta ei voi valittaa. Näistä syistä se on suositeltavin menetelmä erimielisyyksien ratkaisuksi, mikäli neuvotteluilla ei saada aikaiseksi yhteisymmärrystä. (Sisula-Tulokas 1998. 244.)

12. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA SEN TOTEUTUS

Työn tarkoituksena oli selvittää pintakäsittelylinjastojen investoinneissa ilmenneitä ongelmia puu- ja metallialan yrityksissä sekä etsiä ongelmiin ratkaisuja. Ennen työn aloittamista oli jo yleisesti tiedossa usean pintakäsittelylinjastoinvestointien päätyneen oikeuteen, jossa osapuolina olivat linjaston ostaja ja valmistaja, vaikka kauppasopimus oli tehty maahantuojan kanssa. Saman asian mainitsi myös Rajaniemi Juhani päättötyön aloituspalaverissa 4.4.2006. Ilmeisiä syitä siihen, miksi maahantuoja oli vetäytynyt ongelmatapauksissa kaupan ulkopuolelle, ei tiedetty.

Työn ensimmäisessä vaiheessa lähdettiin selvittämään linjastoinvestointien epäkohtia yrityksille suunnatulla kartoituskyselyllä. Kyselyn tulosten perusteella valittiin tämän esiselvitystyön alussa esitetty teoriaosio.

13. LINJAINVESTOINTIEN EPÄKOHTIEN KARTOITUSKYSELY

Tärkein työhön liittyvä osa-alue oli kartoituskysely, jossa yrityksiä pyydettiin selvittämään omien pintakäsittelylinjastoinvestointien epäkohtia sekä omia toiveita siitä, mitä asioita myöhemmin julkaistavassa hankintaopaskirjassa tulisi heidän mielestään käsitellä.

13.1. Kyselyn kysymykset

Kyselylomakkeen ohessa puualan yrityksille lähetettiin oma saattokirja (LIITE 4) ja metallialalle omansa (LIITE 5).

Kysely (LIITE 6) jaettiin kuuteen (6) eri osa-alueeseen;

1. Yrityksen perustiedot
2. Pintakäsittelymenetelmät
3. Tiedot pintakäsiteltävistä tuotteista
4. Tiedot käytettävistä pinnoitusaineista linjastossa
5. Tiedot pintakäsittelyn nykytilanteesta
6. Lisäselvennykset

13.2. Kyselyn toteutus

Kysely toteutettiin sähköpostitse erillisellä Microsoft Word –pohjaisella kyselylomakkeella. Samalla annettiin mahdollisuus ottaa yhteyttä ja toteuttaa kysely joko puhelimitse tai erikseen toteutettavalla tapaamisella.

Kyselyitä lähetettiin kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa kyselylomakkeita lähetettiin kaikkiaan 19 kappaletta. Kyselyistä 18 kappaletta lähetettiin suoraan puualan yrityksille sekä yksi kysely yritykselle, jonka oma toiminta ei suoraan liittynyt puualaan, eikä heillä itsellään ollut pintakäsittelylinjastoa tai sen tarvetta tulevaisuudessa. Kyseisellä yrityksellä tiedettiin olevan kontakteja satoihin puualan yrityksiin, joille kysely voitaisiin välittää. Kysely lähetettiin osin yrityksen tiettyyn toimipaikkaan ja osin koskemaan yrityksen kaikkia toimipaikkoja. Kaikkiaan kyselyn saavutti 28 eri toimipaikkaa puualan yrityksissä. Se, montako toimipaikkaa saavutti kyselyn puualan ulkopuoliseen yritykseen lähetetty kysely, oli vaikea arvioida. Varovainen arvio tästä oli 15 yritystä. Kyselykierros tuotti 2 vastausta.

Toisella kierroksella kyselyitä lähetettiin kymmenen kappaletta metallialan yrityksille, sillä myös tällä alalla oli havaittu pintakäsittelylinjastojen investoinneissa samoja ongelmia kuin puualallakin. Kysely kohdistettiin tällä kierroksella yrityksiin, jotka käyttivät jauhemaalausta yhtenä pääasiallisena pintakäsittelymenetelmänä. Tämä kierros tuotti yhden yhteydenoton. Tässä yhteydenotossa yrityskysely päätettiin toteuttaa henkilökohtaisena haastatteluna 17.6.2006 yrityksen toimitiloissa.

Näiden lisäksi ongelmakohtia kartoitettiin eräältä pieneltä puualan yritykseltä suullisesti. Ongelmakohtia tiedusteltiin myös eräältä pintakäsittelyalan yhdistykseltä. Jäseniä yhdistyksellä oli yli 50. Yhdistys oli kuitenkin itse alkanut suunnittelemaan samantapaista opaskirjaa omille jäsenilleen, eivätkä he halunneet saattaa tietojaan ulkopuolisten tietoon.

13.3. Kyselyn tulokset

Ensimmäisen kierroksen kyselyyn vastanneista yrityksistä toinen sijaitsi Etelä-Suomessa ja toinen Pohjanmaalla. Kumpikin kyselyyn vastanneista yrityksistä oli erikoistunut rakennuspuutuoteteollisuuden jatkojalosteisiin.

Toisen kierroksen kyselyyn vastannut metallialan yritys sijaitsi Etelä-Suomessa. Yritys oli erikoistunut tuotteiden alihankintana tehtäviin pintakäsittelyihin. Pääasiakkaina yrityksellä olivat metallialan yritykset.

Kyselyn vähäisten vastausten johdosta pintakäsittelylinjastoinvestointien ongelmien kokonaislaajuuden analysointi muodostui mahdottomaksi.

13.3.1 Puualan yritykset

Etelä-Suomessa sijainnut suuri puualan yritys käytti pintakäsittelyssä neljää eri menetelmää; ruiskutus (uusin menetelmä), telalevitys, valu sekä kasto. Näistä ruiskutus, telalevitys ja valu olivat päämenetelmiä. Kastomaalauksen osuus oli hyvin pieni.

Yritys oli investoinut uusimman automaattinen ruiskumaalauslinjaston vuonna 2002, jonka hankintaan oli käytetty suomalaista maahantuojaa. Linjaston valmistaja oli puolestaan italialainen yritys. Lähivuosien aikana yrityksessä nähtiin tarve lisäinvestointeihin muissa pintakäsittelylinjastoissa, koskien lähinnä linjastojen syöttö- ja pinkkauslaitteita sekä ruiskuautomaatteja.

Viimeisin ruiskuautomaattilinjaston investointi oli tehty ilman suurempia ongelmia. Ongelmia oli ilmennyt sopimuksen tulkinnassa sekä sopimukseen kuuluvasta käyttöönottokoulutuksessa. Myöskään ruiskuautomaatin toiminta ei ollut vastannut täysin yrityksen odotuksia, joka johtui laitetoimittajan vähäisistä tiedoista koskien yrityksen päätuotteen pintakäsittelyä. Saman ongelman uskottiin nousevan myös tulevaisuudessa tehtävien pintakäsittelylinjastoinvestointien ongelmaksi.

Kysyttäessä, mihin yritys haluaisi lisätietoja ennen tulevaa linjastoinvestointia, tärkeimpinä asioina nousivat esiin paremmat mahdollisuudet saada lisätietoja nykyisistä pintakäsittelymenetelmistä sekä käytettävissä olevista aineista. Investoinnin toimivuuden kehittämisen kannalta tarpeelliseksi nähtiin mahdollisuutta koeajaa yrityksen omia asiakaskoossa olevia tuotteita linjastolla ennen linjaston investointia. Myös pintakäsittelyaineiden valmistajien osallistuminen tuleviin projekteihin pidettiin tärkeänä.

Pohjanmaalla sijainnut rakennuspuutuoteteollisuuden erikoistunut yritys ei halunnut antaa omia kokemuksiaan ulkopuolisten tietoon. Kyseiset tiedot he halusivat pitää itsellään ja täten kehittää omaa liiketoimintaansa. Tämä oli ihan ymmärrettävää, sillä kuulopuheiden mukaan yrityksen viimeaikaisessa pintakäsittelylinjaston investoinnissa oli ilmennyt merkittäviä ongelmia.

Kyselyn ulkopuolella haastateltu puualan yritys oli alun perin suunnitellut tilaavansa linjaston maahantuojan eli yksinmyyjän kautta. He olivat kuitenkin päätyneet tilaamaan linjaston suoraan valmistajalta, edullisemman hinnan vuoksi. Kaupan yhteydessä ei ollut ilmennyt suurempia ongelmia. Ainoat merkittävimmät ongelmat olivat ilmenneet asennuksessa sekä toimituksen viivästymisenä.

Asennusongelmat olivat johtuneet linjaston valmistajan ja asennusmiehen erilaisista näkemuseroista. Asennushenkilö oli käsittänyt toimivansa asennuksessa ainoastaan esimiehenä, toimimatta ollenkaan itse käytännön asennustöissä. Yritys oli ottanut asian puheeksi linjaston valmistajan kanssa ja asiasta oli päästy yksimielisyyteen ostajan eduksi.

Sopimuksessa oli sovittu tarkat toimitusajat, mutta toimitus oli tästä huolimatta viivästynyt merkittävästi. Haastateltava henkilö ei osannut sanoa viivästykselle syytä mutta oletti viivästyksen johtuneen valmistajan toimitusvaikeuksista.

13.3.2 Metallialan yritys

Metalli- ja puualan pintakäsittelyn alihankintapalveluyrityksessä päämenetelmänä oli käytössä jauhemaalaus, ja tehty kysely kohdistettiin koskemaan tätä linjastoinvestointia. Investointi rakennutettiin kokonaan suomalaisen yrityksen toimesta, joka oli aikaisemmin rakentanut vastaavanlaisia linjastoja muille yrityksille.

Jauhemaalaamolinjaston investoiminen oli aloitettu vuonna 1999, ja toimitusajaksi oli sovittu suullisesti kolme kuukautta. Kuitenkin investoinnin ongelmat olivat johtaneet siihen, ettei linjastoa oltu saatu toimimaan halutulla tavalla haastattelupäiväänsäkään mennessä. Toimitusjohtajan mielestä tähän oli pääsyynä rakentamisen hoitaneen yrityksen henkilöstön huono ammattitaito.

Haastattelussa Pk-yrityksessä suurimmaksi ongelmaksi selvisi erittäin epätarkka ja puutteellinen sopimus. Sopimuksessa ei ollut mainintaa pintakäsittelylinjaston valmistumisajankohdasta, vastuunjaosta, huoltojärjestelyistä eikä hinnasta. Hinnasta oli sovittu ainoastaan suullisesti, ilman todistajia. Huonon sopimuksen laatimiseen oli ilmeisesti syynä investointia tilaavan yrityksen toimitusjohtajan ja rakentajan sen hetkinen hyvä ystävyysuhde ja toisten tunteminen entuudestaan.

Metallialan yrityksen toimitusjohtaja oli yrittänyt painostaa rakentajaa nopeuttamaan rakennusaikataulua jättämällä projektin maksuja maksamatta. Sopimuksessa oli kuitenkin pykälä, joka velvoitti ostajan maksamaan rakentajan tekemät hankinnat etukäteen.

Myös reklamoinnissa oli ilmennyt ongelmia. Yrityksen toimitusjohtaja väitti reklamoineen havaituista virheistä ajoissa, ensin suullisesti ja sen jälkeen kirjallisesti. Kirjallisesta reklamoinnista kuitenkin puuttuivat reklamointipäiväykset.

Haastattelupäivänä kyseinen pintakäsittelyinvestointi oli menossa käräjille, ja se oli maksanut siihen päivään mennessä melkein kuusi kertaa enemmän, mitä alun perin oli suullisesti sovittu.

13.3.3 Johtopäätökset

Yrityskyselyyn vastanneista yrityksistä kummallakin oli puutteita sopimuksissa. Eräässä puualan yrityksessä ongelmat johtuivat sopimuksen tulkinnan näkemuseroista. Metallialan yrityksessä ei oltu nähty juuri ollenkaan vaivaa koko sopimusprosessiin, vaan siihen oli jäänyt valtavasti aukkoja.

Metallialan yrityksen tapaus oli puualan yritystä mutkikkaampi, sillä kauppahintaa tai toimitusaikaa ei pystytä määrittelemään lainsäädännöllisinkään keinoin. Tällöin tuomioistuimen on käytettävä asiantuntijaa arvioimaan kyseisen investoinnin kokonaishinta sekä toimitusaika. Kauppalain tulkinta tässä tapauksessa voi kuitenkin olla kyseenalaista (ks. kappale 4 Investointikaupoissa sovellettavat lait, Kauppalaki 355/1987 2§, s 6-7).

Vaikka kyselyyn ei saatu toivottua määrää vastauksia, voidaan kuitenkin investointihankkeiden olettaa olevan turvallisempia suurille yrityksille. Suurilla yrityksillä on usein omat juristinsa hoitamassa sopimusasioiden juridista puolta, joka vastaavasti pienemmiltä yrityksiltä puuttuu. Pienemmät yritykset eivät välttämättä edes ymmärrä käyttää lakimiehien apua sopimusten laatimisessa, vaan sopimusasiat voivat jäädä kokonaan toimitusjohtajan vastuulle.

14. TUTKIMUSTULOKSET

Tämän työn yhteydessä työn teoriaosiota voidaan pitää tärkeimpänä tutkimustuloksena, sillä teoriaosio on suoraa seurausta tutkimusosion yrityskyselyn tuloksista. Päättötyön aloituspalaverissa Juhani Rajaniemen mainitsema ongelma maahantuojan jäämisestä kaupan välistä pois ongelmatapauksissa, joissa asia on

edennyt tuomioistuimeen, on myös selvinnyt eri kauppojen toteutusmalleja tutkimalla. Jos kauppa on oikeasti tapahtunut maahantuojan välityksellä, ei maahantuoja (ts. yksinmyyjä) voi jäädä kaupan välistä pois, mikäli asiaa joudutaan käsittelemään tuomioistuimessa. Syynä tähän on se, että maahantuojan velvollisuudet ovat rinnastettavissa jälleenmyyjän oikeuksiin. Tällöin maahantuoja on velvoitettu toimimaan vastaajana asian käsittelyjen yhteydessä. Kuitenkin epäilen kyseisten kauppojen tapahtuneen agentin eli kauppaedustajan välityksellä, jolloin agentilla ei ole mitään velvollisuuksia toimia kaupan osapuolena (ks. kappale 2. Investoinnin eri toteuttamismalleja). Ilmeisesti yrityksissä ei ole ymmärretty maahantuojan ja agentin välisiä eroja, ja tästä syystä he ovat käsittäneet agentin velvollisuudet maahantuojan velvollisuuksien kaltaisiksi.

15. EHDOTUKSIA HANKINTAOPASKIRJAAN

Työtä tehdessäni havaitsin muiden osa-alueiden, kuten esimerkiksi teknisten tietojen käsittelyn opaskirjan muodossa muodostuvan liian monimutkaiseksi ja liian pitkäksi. Teknisten tietojen oikeellisuutta ilmoitettuihin arvoihin voi parhaiten verrata käyttämällä valmistajien aikaisempien projektien referenssikohteita hyväkseen. Tällöin ei tosin ole mahdollista päästä kokeilemaan linjastoja omilla tuotteilla, vaan koeajo suoritetaan linjaston omistavan yrityksen tuotteilla. Tämä kuitenkin voi antaa ensinäkemyksen siitä, mihin linjasto todellisuudessa kykenee.

On myös mahdotonta esittää tiettyjä toimintamalleja ja ohjeita siitä, miten reklamaatioita ja virheitä voitaisiin välttää, mutta hyvin laaditulla sopimuksella voidaan ongelmien haittavaikutuksia merkittävästi minimoida tai jopa kokonaan välttää.

Pintakäsittelylinjaston hankintaoppaan tulisi painottua sopimusjuridiikan käsittelyyn ja sopimuksen laadintaan, jolloin opaskirja toimisi myös muidenkin kuin pelkästään pintakäsittelylinjastojen investointien oppaana. Tällöin opas voisi noudattaa tämän työn sisällysluettelon runkoa. Oppaan nimen tulisi myös selventää paremmin sen sisältöä.

Esimerkiksi ”Pintakäsittelylinjaston hankintaopas: sopimusjuridiikka ja sopimuksen laadinta” selventäisi sisältöä huomattavasti paremmin.

Tutkimustuloksissa esitetty yksinmyyjän ja kauppaedustajan välinen ero on oppaassa tehtävä selväksi, jotta yritykset tiedostavat, mitä velvollisuuksia mahdollisella toimittajalla itse kauppatapahtumassa on.

Suomen kauppalaista ja CISG:stä hankintaopaskirjassa kannattaa antaa pieni kuvaus sekä liittää kummankin lain Internet –linkit:

- <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870355> (Suomen kauppalaki)
- <http://www.cisg.law.pace.edu/cisg/text/treaty.html> (alkuperäinen CISG)
- <http://www.finlex.fi/fi/laki/kaannokset/1964/en19640387.pdf> (CISG suomennettuna)

Myös Pk-yrityksen riskienhallinta –sivuston työvälineet tarjoavat hyviä tarkistuslistoja.

Sivustojen osoite: http://www.pk-rh.com/show_doc.asp?ID=443.

16. YHTEENVETO

Päätötyön tarkoituksena oli selvittää pintakäsittelylinjastojen investointien epäkohdat yrityskyselyn avulla ja rakentaa saatujen vastausten perusteella tämän työn teoriaosion runko.

Työn yhteydessä tehdyssä yrityskyselyssä saatiin kolme vastausta. Näiden lisäksi investoinnissa syntyneitä ongelmia kartoitettiin eräältä puualan yritykseltä, yrityskyselyn ulkopuolella.

Vähäisistä vastauksista johtuen kaikkia ongelmakohtia ei kuitenkaan kyetty selvittämään. Kuitenkin jo näillä vastauksilla suurimmaksi ongelmakohtaksi havaittiin epäselvät sopimukset. Epäselvät sopimukset ilmenivät kahdella eri tavalla: sopimusteksti ei ollut yksiselitteistä tai sopimus itsessään oli laadittu huonosti, jolloin siihen jäi huomattavia aukkoja.

Myös eri toimittajamallien tuntemus ei ollut yrityksissä selvää. Yleisesti puhuttiin maahantuojasta, vaikka käytännössä kyseessä oli agentti eli kauppavedustaja. Toimintamallien huonosta tuntemisesta johtuen yrityksissä ei osattu tehdä selvää eroa näiden kahden eri toimittajan välille, vaikka niiden toiminta kaupan yhteydessä poikkeavat huomattavasti toisistaan. Tekemällä ero näiden kahden eri toimittajan välille ratkaistiin myös se ongelma, miksi maahantuoja jättää ostajan ja linjaston valmistajan neuvottelemaan keskenään kaupan ongelmista.

Erot pienten ja suurten yritysten välillä jäivät myös mahdottomaksi määritellä. Kuitenkin erot oletettiin olevan merkittävät. Suurilla yrityksillä on usein omat juristinsa hoitamassa sopimusasioissa, mutta pieniltä yrityksiltä tämä etu puuttuu. Usein sopimusneuvottelut ja sen laatiminen jäävät pienissä yrityksissä kokonaan toimitusjohtajan vastuulle.

Pintakäsittelylinjaston investointi on usein suuri tapahtuma, johon on syytä valmistautua etukäteen tutkimalla sopimusjuridiikkaa ja sopimuksen laadintaa. Sopimusjuridiikan ja sopimuksen laadinnan hallinta helpottaa huomattavasti investointitapahtuman hahmottamista ja varmistaa näin myös omien etujen toteutumisen sopimuksen allekirjoitushetkellä. Vaikka sopimusjuridiikan omasta mielestä hallitsisikin, olisi sopimusta syytä näyttää myös juristille.

Suomen kauppalakia tai kansainvälistä kauppalakia sovelletaan irtaimen tavaran kauppaan niiltä osin, mitä itse kauppasopimuksessa ei ole sovittu. Kuitenkin tekemässäni tutkimuksessa sopimusten puutteet olivat yhden yrityksen kohdalla niinkin merkittäviä, ettei kaikkia kohtia pysty määrittelemään edes kauppalakien avulla.

Kauppasopimuksista on olemassa erilaisia mallipohjia ja tarkistuslistoja, joiden käyttö antaa hyvät lähtökohdat sopimuksen laatimiselle. Kuitenkaan nämä eivät ota huomioon jokaisen yritystoiminnan erityisluonteita. Tästä syystä yritysten olisi hyvä rakentaa omat sopimusmallipohjat tarkistuslistoineen ja täydentää niitä tietotaidon karttuessa.

LÄHDELUETTELO

Painetut julkaisut

Helppi Minna, Paloheimo Annemari. 2005. Ulkomaankaupan rahoitus. Tampere. Tammer-Paino Oy.

Kivelä Heikki, Reijo Nordell. 2003. Yrittäjän oikeutta. Porvoo. WS Bookwell Oy.

Lojander Taina, Suonpää Jani. 2004. Firma. Käytännön yritystoiminta. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava.

Ojajärvi Juha, Vainio Silja. 2002. Ammattikorkeakoulun juridiikka I. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava.

Ovaska Pekka. Haapsalu Uksetehas kolminkertaisti tuotantokapasiteettinsa uuden maalauslinjan avulla. RUUTU –Tikkurila coatingsin asiakaslehti 34/2006,38-39.

Pasanen Anni. 2005. Kansainvälisen kaupan käsikirja. Helsinki. Multikustannus Oy.

Sisula-Tulokas Lena. 1998. Ulkomaankauppaoikeus. Helsinki. Lakimiesliiton Kustannus.

Soimakallio Sarissa. 1999. Tilausvahvistus osana kansainvälistä kauppasopimusta. Turku. Unipaps.

Suomen kielen perussanakirja. Ensimmäinen osa. 1990. Helsinki. Valtion painatuskeskus

Suomen kielen perussanakirja. Toinen osa. 1992. Helsinki. Valtion painatuskeskus

Vientikaupan asiakirjat 2005. Fintra-sarja. 32.p. Helsinki. Multiprint Oy.

Sähköiset julkaisut

BJL. Kauppaedustaja ja yksinmyyjä Euroopan, Saksan ja Suomen oikeudessa. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta <http://www.bjl-legal.com/content.pl/article=HandVert/sprache=f/frame=>. Luettu 28.7.2006.

CISG: Table of Contracting States. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta <http://www.cisg.law.pace.edu/cisg/countries/cntries.html>. Luettu 6.8.2006.

FINPRO. Incoterms –toimituslausekkeiden soveltuvuus eri kuljetusmuotoihin. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta <http://www.finpro.fi/NR/rdonlyres/3F5BD5E3-B7BC->

46BC-88A4-BA35A3B79BA5/1163/Incotermstoimituslausekkeidensoveltuvuus1.doc
Luettu 26.8.2006.

Helsingin kauppakorkeakoulu. Kansainvälinen irtaimen kauppa. WWW-dokumentti.
Saatavilla osoitteesta
<http://hkkk.fi/~rudanko/kv.sopimusjamarkkinointi/johdatus%20kv2.ppt>. Luettu
28.7.2006.

Laki 24. Remburssi: Mikä on remburssi? WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta
<http://www.laki24.fi/yrit-osakeyhtio-remburssi.html>. Luettu 15.8.2006.

Oikeuslaitos. KouHo:2005/10. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta
<http://www.oikeus.fi/34617.htm>. Luettu 25.9.2006.

PK-yrityksen riskienhallinta. Työvälineiden tulostettavat versiot. WWW-dokumentti.
Saatavilla osoitteesta http://www.pk-rh.com/show_doc.asp?ID=443. Luettu 4.9.2006

Sopimuksen keskeisiä kohtia. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta http://www.pk-rh.com/show_doc.asp?ID=495. Luettu 13.3.2006.

Suomen kuljetusopas. Toimituslausekkeet. WWW-dokumentti. Saatavissa osoitteesta
<http://www.kuljetusopas.com/kuljetus/toimituslausekkeet/>. Luettu 4.5.2006.

Tekes. Primen sopimukset. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta
http://www.tekes.fi/esa_juridiikka/sopimusopas/toteutus.htm. Luettu 29.8.2006.

TIEKE. 1. Sopimuksen laatimisesta. WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta
http://www.tieke.fi/verkostot/ict_klusteri/ict-sopimukset/perustietoja_sopimuksista/1_sopimuksien_laatimisesta/. Luettu 21.8.2006.

Turun yliopisto. YLEISSOPIMUS kansainvälistä tavaran kaupan koskevista
sopimuksista. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.law.utu.fi/xcisg/yleissop.htm>.
Luettu 4.5.2006.

Turun yliopisto. CISG: Convention on Contracts for the International Sale of Goods.
WWW-dokumentti. Saatavilla osoitteesta <http://www.law.utu.fi/xcisg/cisg.htm>. Luettu
6.8.2006.

Lait ja asetukset

Kauppalaki 27.3.1987/355

Kuluttajansuojalaki 20.1.1978/38

Laki kansainvälisluontoiseen irtaimen esineiden kauppaan sovellettavasta laista
387/1964

Laki varallisuusosoikeudellisista oikeustoimista 13.6.1929/228

UNITED NATIONS CONVENTION ON CONTRACTS FOR THE INTERNATIONAL SALE OF GOODS (1980).

Painamattomat

Rajaniemi Juhani 2006. 1. Henkilökohtainen tiedonanto. Päätötyön aloituspalaveri. 4.4.2006

Rajaniemi Juhani 2006. 2. Henkilökohtainen tiedonanto. 22.8.2006

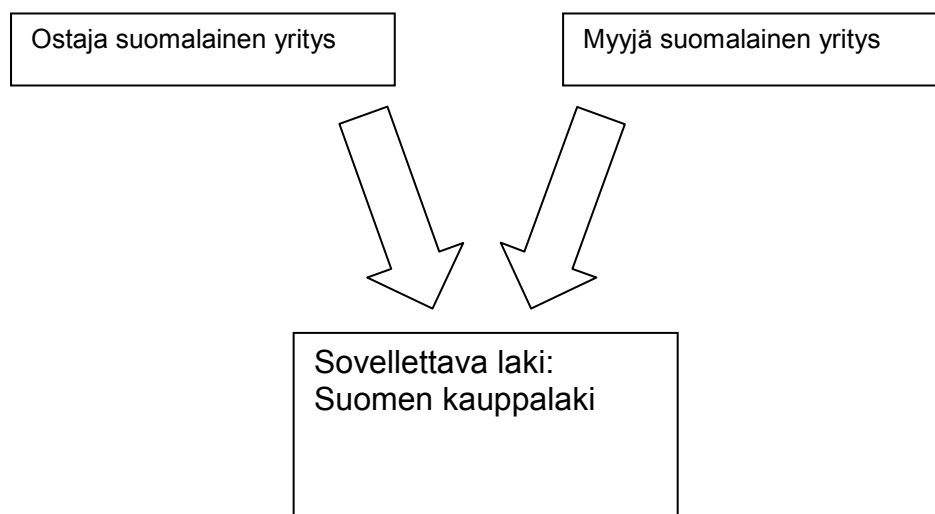
Soukka Sirpa 2006. Henkilökohtainen tiedonanto. Päätötyön I palaveri. 5.5.2006.

CISG:n hyväksyneet maat

A	Alankomaat	Argentiina	Armenia	Australia	
B	Belgia	Bosnia-Hertsegovina	Bulgaria		
C	Chile	Columbia			
E	Ecuador	Egypti	Espanja		
G	Gabon	Georgia	Guinea		
H	Honduras				
I	Islanti	Irak	Israel	Italia	Itävalta
J	Jugoslavia				
K	Kanada	Kiina	Kroatia	Kuuba	Korea
L	Kypros Latvia	Lesotho	Liberia	Liettua	Luxemburg
M	Mauritania	Meksiko	Moldova		
N	Norja				
P	Paraguay	Peru	Puola		
R	Ranska	Romania	Ruotsi		
S	Saksa Sveitsi	Singapore Syyria	Slovakia	Slovenia	Suomi
T	Tsekki				
U	Uganda Uzbekistan	Unkari	Uruguay	Uusi-Seelanti	
V	Valkovenäjä		Venäjä	Viro	
Y	Yhdysvallat				

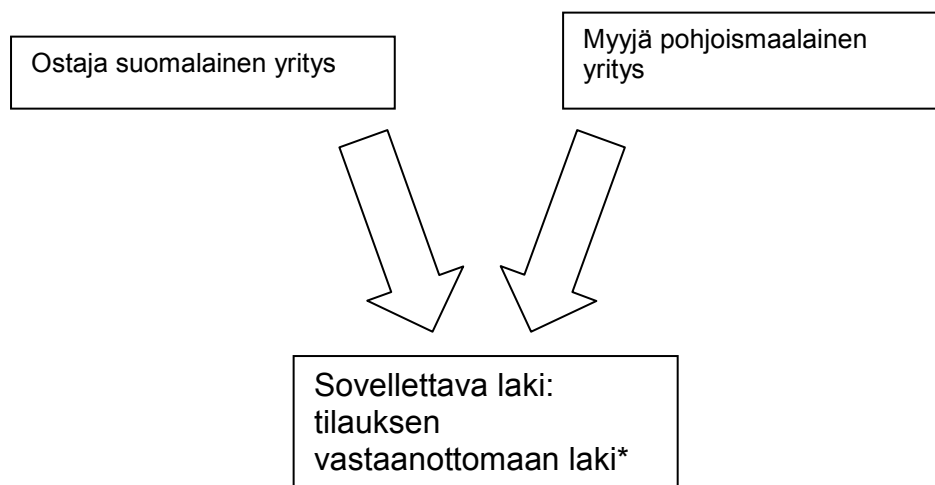
Lähde: CISG: Table of Contracting States (Suom. JY)

Suomalaisten välinen kauppa



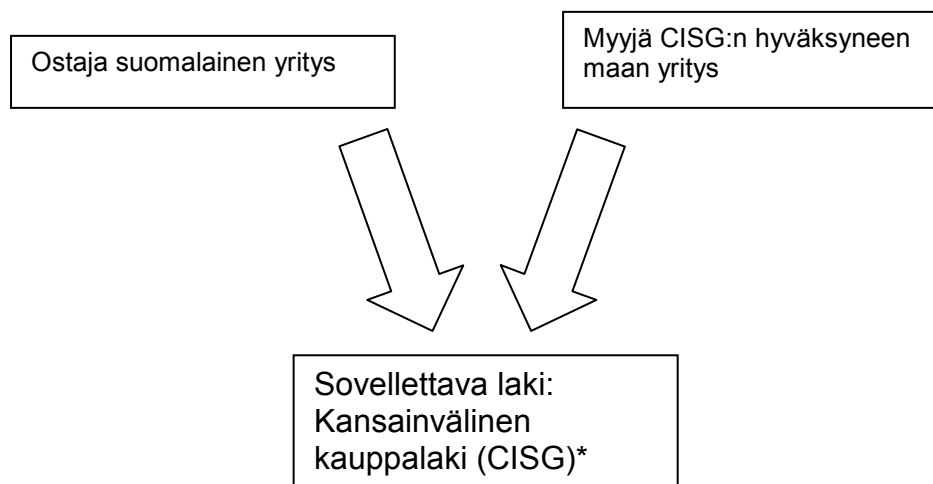
Voimassa ellei sopimuksessa sovita muuta käytäntöä

Pohjoismaiden välinen kauppa



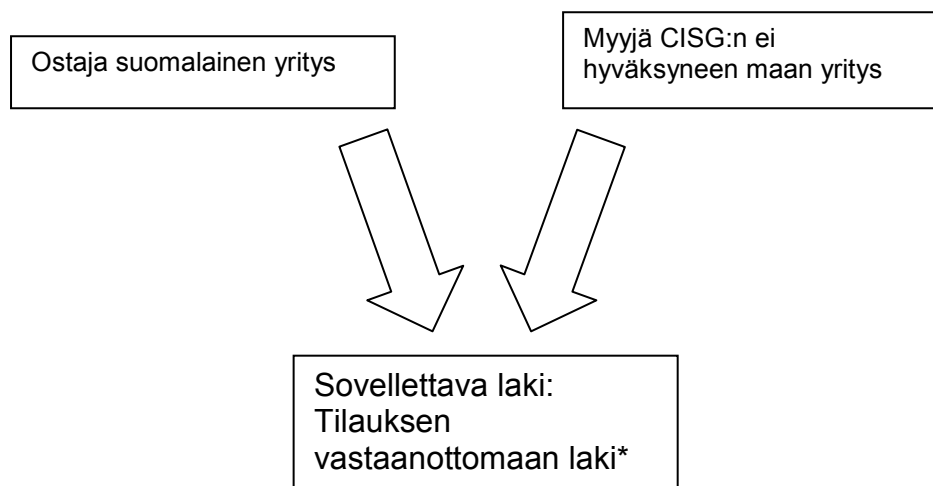
*Laki kansainvälisluontoiseen irtaimen esineiden kauppaan sovellettavasta laista 387/1964

Voimassa ellei sopimuksessa sovita muuta käytäntöä

Kansainvälisen kauppalaian (CISG) hyväksyneiden maiden välinen kauppa

* HUOM! kaikki maat eivät ole hyväksyneet CISG:tä kokonaisuudessaan

Voimassa ellei sopimuksessa sovita muuta

Kansainvälisen kauppalaian hyväksyneen ja ei hyväksyneen maan välinen kauppa

*Laki kansainvälisluontoiseen irtaimen esineiden kauppaan sovellettavasta laista

Voimassa ellei sopimuksessa sovita muuta
käytäntää

Lähde: Helsingin kauppakorkeakoulu. Kansainvälinen irtaimen kauppa.

INCOTERMS 2000 toimituslausekkeet**Ryhmä E**

"Lähtöpää"

EXW Ex Works; Noudettuna lähettäjältä

Ryhmä F

"Pääkuljetus maksamatta"

FCA Free Carrier; Vapaasti rahdinkuljettajalla

FAS Free Alongside Ship; Vapaasti aluksen sivulla

FOB Free On Board; Vapaasti aluksessa

Ryhmä C

"Pääkuljetus maksettu"

CFR Cost and Freight; Kulut ja rahti maksettuna

CIF Cost, Insurance and Freight; Kulut, vakuutus ja rahti maksettuna

CPT Carriage Paid To; Kuljetus maksettuna

CIP Carriage and Insurance Paid To; Kuljetus ja vakuutus maksettuina

Ryhmä D

"Saapuva"

DAF Deliver at Frontier; Toimitettuna rajalle

DES Delivered Ex Ship; Toimitettuna aluksessa

DEQ Delivered Ex Quay; Toimitettuna laiturilla

DDU Delivered Duty Unpaid; Toimitettuna tullaamatta

DDP Delivered Duty Paid; Toimitettuna tullattuna

Lähde: Suomen kuljetusopas. Toimituslausekkeet

Toimituslausekkeiden soveltuvuus eri kuljetusmuodoille

	meri	maa	rautatie	ilma	kontti	yhdistetty	
EXW		X	X	X	X	X	X
FCA		X	X	X	X	X	X
FAS		X					
FOB		X					
CFR		X					
CIF		X					
CPT		X	X	X	X	X	X
CIP		X	X	X	X	X	X
DAF			X	X			X
DES		X					
DEQ		X					
DDU		X	X	X	X	X	X
DDP		X	X	X	X	X	X

Lähde: Pasanen Anni 2005, 281.

Hei!

Opiskelen Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulussa puutekniikkaa kolmatta vuotta ja seuraava kysely on osana aloittamaani päättötyötä. Päättötyössäni on tarkoitus kartoittaa maalaamolinjainvestointien epäkohtia sekä tutkia yleisiä kauppaehtoja. Päättötyön pohjalta on aikanaan tarkoitus koota yritysten käyttöön tarkoitettu pintakäsittelylinjaston hankintaopas.

Kyseinen päättötyö on osana PPT 2004 – projektia.

Haluan korostaa kyselylomakkeet olevan pääsääntöisesti tarkoitettu yrityksille, joissa suunnitellaan pintakäsittelylinjaston investoimista, tai yrityksille joilla sellainen on jo investoitu. Kohdassa 5. *Tiedot pintakäsittelylinjan nykytilanteesta* (kohta a. Suunnitteilla pintakäsittelylinjaston investoiminen) olevat kysymykset voivat kiinnostaa myös muita kuin pelkästään edellä kuvattuja yrityksiä.

Kaikista saamistani vastauksista olen erittäin kiitollinen ja toivottavasti niistä saatujen tietojen pohjalta saadaan luotua hankintaopas, josta myös Teille on tulevaisuudessa hyötyä!

Halutessasi voitte myös soittaa allekirjoittaneelle ja pyytää mahdollista haastattelua, joko puhelimitse tai tehtaallanne, mikäli koette sen helpommaksi kuin itse kyselyyn vastaamisen.

Ystävällisin terveisin

Jukka Ylitalo

Puutekniikan insinööriopiskelija

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu,

Ylivieskan yksikkö

puh. 040-705 1617

jukka.ylitalo@cop.fi

Hei!

Opiskelen Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulussa puutekniikkaa kolmatta vuotta ja seuraava kysely on osana aloittamaani päättötyötä. Päättötyössäni on tarkoitus kartoittaa maalaamolinjainvestointien epäkohtia sekä tutkia yleisiä kauppaehtoja. Päättötyön pohjalta on aikanaan tarkoitus koota yritysten käyttöön tarkoitettu pintakäsittelylinjaston hankintaopas.

Kyseinen päättötyö on osana PPT 2004 – projektia.

Haluan korostaa kyselylomakkeet olevan pääsääntöisesti tarkoitettu yrityksille, joissa suunnitellaan pintakäsittelylinjaston investoimista, tai yrityksille joilla sellainen on jo investoitu. Kohdassa 5. *Tiedot pintakäsittelylinjan nykytilanteesta* (kohta a. Suunnitteilla pintakäsittelylinjaston investoiminen) olevat kysymykset voivat kiinnostaa myös muita kuin pelkästään edellä kuvattuja yrityksiä.

Kyselylomakkeen pohja on suunniteltu lähinnä puualan yrityksille, mutta päättötyössä tulee olemaan mukana myös metallin maalauslinjat ja juuri siksi päätin lähestyä myös juuri Teitä.

Kaikista saamistani vastauksista olen erittäin kiitollinen ja toivottavasti niistä saatujen tietojen pohjalta saadaan luotua hankintaopas, josta myös Teille on tulevaisuudessa hyötyä!

Halutessasi voitte myös soittaa allekirjoittaneelle ja pyytää mahdollista haastattelua, joko puhelimitse tai tehtaallanne, mikäli koette sen helpommaksi kuin itse kyselyyn vastaamisen.

Ystävällisin terveisin

Jukka Ylitalo

Puutekniikan insinööriopiskelija

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu,

Ylivieskan yksikkö

puh. 040-705 1617

jukka.ylitalo@cop.fi

Pintakäsittelylinjaston investointiepäkohtien kartoitus

Jukka Ylitalo
040-705 1617
jukka.ylitalo@cop.fi

Kyselylomakkeen täyttöohje

-Tekstivastaus tapahtuu harmaisiin tyhjiin kohtiin

-Vaihtoehtokohtiin voi vastata klikkaamalla hiiren osoitinta halutun vastauksen ruudun kohdalla.

-Eriyisen tärkeää olisi vastata linjaston investointiin, hankintaan ja toimintaan liittyviin kysymyksiin

-Kohdassa 2. Tiedot pintakäsittelyn nykytilanteesta a kohta on yrityksille, joissa suunnitellaan pintakäsittelylinjan investoimista ja kohta b yrityksille, jotka eivät näe tarvetta uusia linjastoa.

-Kohdat 2 ja 3 kartoittavat yrityksen yleisilannetta, eivätkä koske pelkästään pintakäsittelylinjastoa.

Huom.

Kyselyssä koottavia yritysten tietoja, sekä mahdollisten muiden yhteistyökumppaneiden nimiä ei julkaista itse päättötyössä, eikä niitä saateta ulkopuolisten tietoon.

1. Yrityksen perustiedot

Yrityksen nimi

Toimiala

Päätuotteet

Liikevaihto

Yhteyshenkilö

Yhteyshenkilön yhteystiedot

2. Pintakäsittelymenetelmät

Käytössä oleva päämenetelmä

- Ruiskutus
 - Telalevitys
 - Kasto
 - Valu
 - Muu, mikä?

Omat näkemykset menetelmän toimivuudesta yrityksen tarpeisiin nähden

Mahdolliset muut menetelmät

- Ruiskutus
 - Telalevitys
 - Kasto
 - Valu
 - Muu, mikä?

Omat näkemykset menetelmän toimivuudesta

3. Tiedot pintakäsiteltävistä tuotteista

Pinnoitettava materiaali

- Massiivipuu, mikä / mitkä?
- Levymateriaali, mikä / mitkä?

Pinnoitettavien kappaleiden muodot

- Levymäisiä
- Pitkiä
- Moniulotteisia
- Esikasattuja

Mahdollisia tarkennuksia

4. Tiedot käytettävistä pinnoitusaineista linjastossa

Käytettävät pinnoitteet ja niiden suhteelliset osuudet (%)

- | | |
|--------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> maali | % |
| <input type="checkbox"/> lakka | % |
| <input type="checkbox"/> petsi | % |

Ovatko pinnoitteet

- vesiohenteisia?
- liuotinohenteisia?
- UV-kovettuvia?

5. Tiedot pintakäsittelyn nykytilanteesta

a) Suunnitteilla pintakäsittelylinjaston investoiminen

Tarve uusia pintakäsittelylinjastoa lähitulevaisuudessa?

- Kyllä
- Ei

Syyt linjaston uusimiselle

Tarve uusia koko linjasto?

- Kyllä
- Ei, mitkä osat?

Jos vastasit kyllä, onko investoinnilla tarkoitus

- korvata nykyisin käytössä oleva pintakäsittelylinjasto?
- korvata käsin tapahtuva pintakäsittely?

Onko pintakäsittelylinjastolle varattu tila nykyisistä toimitiloista?

- Kyllä
- Ei

Tarkennuksia (haluttaessa)

Mitä hankaluuksia uskot investoinnin yhteydessä ilmenevän (Esim. sopimuksissa, toimitusehdoissa, itse toimituksessa, laitteiston toiminnassa jne.)?

Mihin asioihin haluaisit lisätietoja ennen investoinnin aloittamista?

b) Linjastoinvestoinnille ei nähdä tarvetta lähitulevaisuudessa

Nykyisen pintakäsittelylinjan investoimisvuosi
Linjaston maahantuoja (toimittaja)
Linjaston valmistaja ja valmistusmaa

Uusittiinko linjasto kokonaan?
 Kyllä
 Ei, mitä uusittiin?

Korvasiko nykyisin käytössä oleva linjasto alunperin
 vanhan linjaston?
 käsin tapahtuneen pintakäsittelyn?

Sijoitettiin nykyinen pintakäsittelylinjasto vanhan linjaston tilalle?
 Kyllä
 Ei, mihin?

Sovellettiin kaupassa Teknisen kauppaliiton työstökoneiden ja laitteiden yleisiä myynti- ja toimitusehtoja?
 Kyllä
 Ei, mitä?

Esille tulleet epäkohdat tai ongelmat pintakäsittelylinjastoa investoitaessa tai sen jälkeen (Esim. toimitusehdoissa, itse toimituksessa jne.) Oliko vika mielestänne linjaston toimittajassa vai valmistajassa?).

Syntyikö ongelmia kauppasopimuksen ehdoista tai tulkinnoista
 Kyllä
 Ei
Jos vastasit kyllä, niin mitä ongelmia ilmeni?

Omia parannusehdotuksia investoinnin toimivuuden kehittämiseksi.

Lisäselvennyksiä

Onko nykyisin käytössä olevaan linjastoon kokeiltu myös muita pintakäsittelyaineita kuin mitä alun perin oli tarkoitus?
 Kyllä, mitä?
 Ei

Jos vastasit kyllä, niin onko vaihdoissa ilmennyt hankaluuksia?

Mitä asioita näkisit omasta mielestäsi tarpeelliseksi käsitellä pintakäsittelylinjaston hankintaopissa?

C: CENTRIA tutkimus ja kehitys –
CENTRIA forskning och utveckling

ISBN: 978-952-5107-66-1 (PDF)
ISSN: 1459-8949



KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
MELLERSTA ÖSTERBOTTENS YRKESHÖGSKOLA