

Styreenipäästöjen vähentämiskeinot ja lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdol- lisuudet veneteollisuudessa

Sanna Hyvönen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Sanna Hyvönen	
Työn nimi Styreenipäästöjen vähentämiskeinot ja lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdollisuudet veneteollisuudessa	
Päiväys 20.4.2012	Sivumäärä/Liitteet 44/3
Ohjaaja(t) Yliopettaja Merja Tolvanen, tuntiopettaja Teemu Räsänen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ENW Management Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää styreenipäästöjen vähentämiskeinoja ja niiden kustannuksia veneteollisuudessa. Työssä käsiteltiin myös tuotannossa syntyvän lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdollisuuksia. Lujitemuovijätteen hyötykäyttöä on tutkittu paljon, mutta mitään taloudellisesti toteuttamiskelpoista ratkaisua ei ole löytynyt. Veneiden valmistuksessa käytetystä hartsista styreeni haihtuu helposti ilmaan, ja sillä on paljon terveydellisiä vaikutuksia jo pieninä pitoisuuksina. Styreenin ominaisuudet tekevät siitä haasteellisen käsitellä. Suurin osa päästöjen hallintalaitteista on suunniteltu matalille ilmavirtauksille, kun taas styreenin käsittelyyn tarvitaan suuret ilmavirtaukset.</p> <p>Aluksi tutustuttiin veneitä valmistavaan yritykseen sekä saatuun aineistoon. Tarkoituksena oli selvittää soveltaisiko joku päästöjen vähentämiskeinoista yrityksen veneiden valmistusprosessiin tutkimalla kirjallista aineistoa ja kuuntelemalla asiantuntijaesitelmiä. Lisäksi selvitettiin, olisiko tuotannossa syntyvälle lujitemuovijätteelle toteuttamiskelpoista hyötykäyttöratkaisua.</p> <p>Työn tuloksena saatiin tietoa mahdollisista päästöjen vähentämiskeinoista sekä niiden kustannuksista. Styreenin ominaisuuksien johdosta päästöjen vähentämiskeinot olivat kuitenkin rajalliset ja kustannukset osoittautuivat korkeiksi. Lujitemuovijätteen osalta tällä hetkellä potentiaalisin hyötykäyttöratkaisu olisi jätteen poltto sementin valmistuksessa. Tämän työn valmistuessa asia on kehitteillä ja tulevaisuudessa hanke tullaan toteuttamaan.</p>	
Avainsanat Styreeni, lujitemuovi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Sanna Hyvönen			
Title of Thesis Styrene Emission Controls and Utilization of Reinforced Plastic Waste in Boat Building Industry			
Date	20 April 2012	Pages/Appendices	44/3
Supervisor(s) Mrs Merja Tolvanen, Principal Lecturer and Teemu Räsänen, Full-Time Teacher			
Client Organisation/Partners ENW Management Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to investigate alternatives and their costs to reduce styrene emissions in boat building industry. The utilization of reinforced plastic waste was also addressed. The utilization of reinforced plastic waste has been examined a lot in the past. No economically feasible solution has been found. The resin used in boat production contains styrene which evaporates easily into the workshop atmosphere. Because styrene is dangerous to human health in relatively low concentrations, the emissions are challenging to handle. Most of the emission control devices are designed to process low air flows whereas styrene emissions need high air flows.</p> <p>The first thing to do was to get acquainted with a company that manufactures boats and with the received material. The purpose was to find out from the material and from specialists if any of the alternatives to reduce emissions would be suitable for the company's boat production process. In addition feasible utilization methods for the reinforced plastic waste were examined.</p> <p>Due to the characteristics of styrene the alternatives to reduce emissions were limited and the costs turned out to be very expensive. As for reinforced plastic waste the most potential solution would be to incinerate the waste in cement production. At the time of completing the thesis, the idea is still being developed further and the project in question will be implemented in the future.</p>			
Keywords Styrene, reinforced plastic			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	8
2	LUJITEMUOVISIA VENEITÄ VALMISTAVAN YRITYKSEN KUVAUS.....	9
2.1	Veneiden valmistusprosessi Väliköntien tuotantolaitoksissa.....	9
2.2	Käytettävät kemikaalit.....	11
2.3	Kemikaalien varastointi	12
3	LUJITEMUOVITEOLLISUUDEN STYREENIPÄÄSTÖT	13
3.1	Styreeni kemiallisena yhdisteenä.....	13
3.2	Muovien styreenimäärät	14
3.3	Styreenin HTP–arvot.....	15
3.4	Styreenipäästöjen laskenta	16
4	LUJITEMUOVIKAPPALEIDEN VALMISTUSTEKNIIKAT	18
4.1	Laminointimenetelmät.....	18
4.1.1	Käsinlaminointi.....	18
4.1.2	Ruiskulaminointi.....	18
4.2	Paine- ja alipaineinjektio	19
4.2.1	RTM–menetelmä	20
4.2.2	Alipaine- ja kalvoinjektio	20
4.2.3	Injektointimenetelmien hyvät ja huonot puolet	20
4.3	DIAB Core Infusion – Hartsin infuusio ydinmateriaaliuria käyttäen	21
4.4	Puristusmenetelmät	22
4.5	Valmistusmenetelmien soveltuvuus Bella Veneiden tuotantolaitoksille.....	22
5	STYREENIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISKEINOT	24
5.1	Polttotekniikka.....	24
5.2	Adsorptiomenetelmät.....	26
5.3	Kondensaatiotekniikka.....	26
5.4	Biologiset menetelmät.....	27
5.4.1	Biosuodin	27
5.4.2	Biopesuri	27
5.4.3	Biosuotimen ja biopesurin vertailu	28
6	PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISKEINOJA BELLA VENEIDEN TUOTANTOLAITOKSILLA .	30
6.1	Styreenipäästöjen muodostuminen.....	30
6.2	Päästöt ilmaan	30
6.3	Päästöjen hallintakeinoja	31
7	LUJITEMUOVIJÄTE.....	33

7.1 Lujitemuovijätteen kierrätys Suomessa	34
7.2 Kierrätysmenetelmät	35
7.3 Esimerkkejä lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdollisuuksista.....	35
7.3.1 Jätteen hyödyntäminen energiana.....	35
7.3.2 Bitumistabilointi ja maarakennuskäyttö.....	36
7.3.3 Keraamimatriisi	37
7.3.4 Lujitemuovijätteen poltto sementin valmistuksessa	38
7.4 Lujitemuovijätteen hyötykäytön tulevaisuuden näkymät	38
7.5 Lujitemuovin hyötykäyttömahdollisuudet Bella Veneiden tuotantolaitoksilla ..	39
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	41
8.1 Styreenipäästöjen vähentämismahdollisuudet.....	41
8.2 Lujitemuovijätteen hyötykäyttö	42
LÄHTEET	43

LIITTEET

Liite 1 Styreenipäästöjen laskenta

Liite 2 Polttolaitoskustannuslaskelma

Liite 3 Esimerkki kyselylomakkeesta polttolaitokselle

1 JOHDANTO

Lujitemuovi eli kuitulujitettu muovi on komposiittimateriaali, joka muodostuu muoviin sekoitetuista lujitekuiduista. Lujitemuovi sisältää usein styreeniä, jota käytetään kappaleen ominaisuuksien parantamiseksi. Styreeni on haihtuva orgaaninen yhdiste ja haitallinen terveydelle jo pieninäkin pitoisuuksina. Näin ollen styreenipäästöjä tulisi pyrkiä vähentämään, jos siihen on mahdollisuus.

Lujitemuoviteollisuudessa syntyy myös jätteitä. Jätteen hyödyntämismahdollisuudet ovat rajalliset ja haastavat. Yleensä jäte päätyy sijoitettavaksi tavanomaisen jätteen kaatopaikalle, koska se on huomattavasti edullisin ja helpoin ratkaisu.

Nämä kaksi edellä mainittua asiaa ovat suuri haaste lujitemuoviteollisuudessa. Styreenin haitallisuus jo pieninä määrinä rajaa huomattavasti päästöjen käsittelyratkaisuja, ja mahdollisetkin ratkaisut ovat usein hyvin kalliita. Lujitemuovijätteen osalta lainsäädäntö tulee tiukkenemaan tulevaisuudessa ja tämä asettaa paineita yrityksille.

Tämän työn tavoitteena on selvittää keinoja ja kustannuksia styreenipäästöjen vähentämiseksi sekä lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdollisuuksia Bella Veneet Oy:n Kuopion tuotantolaitoksilla. Opinnäytetyön toteutus perustuu kirjalliseen aineistoon sekä asiantuntijaesitelmistä saatuihin tietoihin. Tarve tähän työhön on saatu ENW Management Oy:ltä, joka hoitaa kyseisen yrityksen ympäristöasioita.

2 LUJITEMUOVISIA VENEITÄ VALMISTAVAN YRITYKSEN KUVAUS

Bella Veneet Oy valmistaa moottoroituja lujitemuovisia vapaa-ajan veneitä. Bellan tuotantolaitoksia on yhteensä neljällä eri paikkakunnalla. Kuopiossa on toiminnassa kolme tehdasta Välikönttiellä ja kaksi tehdasta Siikarannassa. Välikönttien tuotantolaitokset sijaitsevat Neulamäen teollisuusalueen itäpuolella valtatie 5:n ja rautatien välissä. Henkilöstön määrä Välikönttiellä on noin 140. Alueella on kolme erillistä tuotantorakennusta, 8A, 8B ja 10, joiden vuosittainen tuotantokapasiteetti on keskimäärin 1 000 venettä vaihdellen suuresti vuoden mukaan. 8A on rakennuksista uusin, se otettiin käyttöön vuonna 2005. Lisäksi alueella on myös varistorakennus, toimistorakennus sekä varasto/tuotekehitysrakennus. (Pohjois-Savon ympäristökeskus, 2005.) Kuvassa 1 on nähtävissä Välikönttien tuotantolaitokset. Seuraavissa luvuissa on kerrottu veneiden valmistusprosessista Kuopion Väliköntientehtailta sekä tehtaiden toimintaan liittyvistä asioista.



KUVA 1. Välikönttien tuotantolaitokset 8A, 8B ja 10. Kuva Sanna Hyvönen.

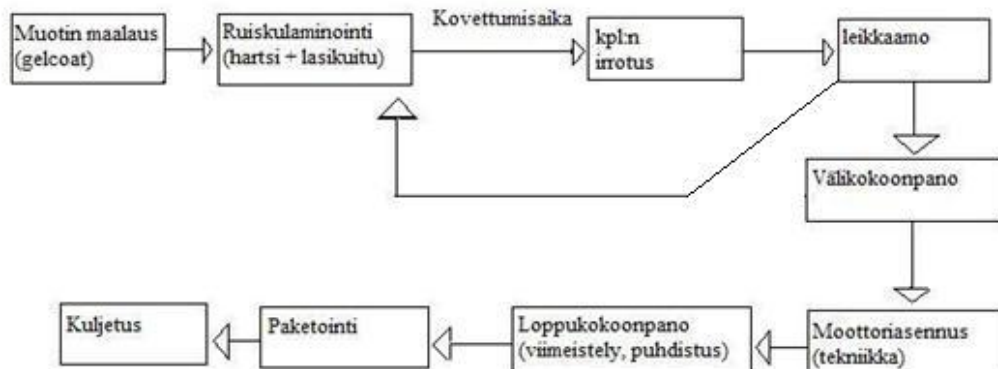
2.1 Veneiden valmistusprosessi Välikönttien tuotantolaitoksissa

Veneiden valmistuksessa käytetään ruiskumenetelmää. Ensin veneen muotti maalataan pintamaalilla, gelcoatilla, jonka kovettumisen jälkeen maalattu pinta tarkistetaan

ja mahdolliset virheet korjataan. Muotteihin laminoidaan noin 1 mm:n ensimmäinen kerros hartsia + lasikuitua ja se telataan ilman poistamiseksi. Kerros tarkistetaan ja sen jälkeen laminoidaan peruserrokset hartsilla, jossa käytetään lujitteena lasikuitua. Pienet osat laminoidaan käsin. Venemalleja on noin 50 erilaista ja yhdessä mallissa on 10 – 30 erilaista muottia. Muotteja käytetään aina uudelleen. Kun kappale on kovettunut, se irrotetaan muotista ja viedään leikkaamoon, jossa veneisiin leikataan tarvittavat aukot. Lopuksi kappaleet hiotaan hiomakoneella tarkkaan mittaansa.

Leikkaamosta kappaleet viedään välikokoonpanoon. Jos kappaleissa havaitaan virheitä, ne korjataan, muussa tapauksessa tarvittavat alueet hiotaan ja maalataan pintamaalilla (topcoat). Liitosmassaa tarvitaan liittämään muotista irrotetut veneen osat toisiinsa.

Välikokoonpanovaihetta seuraa moottoriasennus, jossa tarvittava tekniikka asennetaan paikoilleen. Loppukokoonpanovaiheessa veneeseen laitetaan verhoukset, puuosat, mittaristot ym. ja suoritetaan viimeistelyasennus. Lopuksi vene puhdistetaan, sekä tarkastellaan, onko valmiissa veneessä korjattavia virheitä. Valmis vene paketoitetaan ja kuljetetaan tilaajalle. Kuvassa 2 on nähtävissä veneen valmistuksen prosessikaavio ja kuvassa 3 kuvat laminoinnista, leikkaamosta, välikokoonpanosta ja paketoinnista.



KUVA 2 Veneen valmistuksen prosessikaavio. Kuva Sanna Hyvönen.



KUVA 3. Ylhäällä vasemmalla ruiskulaminoitu (harts + lasikuitu) veneen pohja, ylhäällä oikealla veneen kansikappale leikkaamossa, alhaalla vasemmalla valmiita veneitä ja alhaalla oikealla valmis vene pakattuna. Kuvat Sanna Hyvönen.

2.2 Käytettävät kemikaalit

Styreeniä sisältäviä kemikaaleja ovat harts, gelcoat, topcoat sekä liimamassa. Styreenisisältö näissä aineissa kemikaalista riippuen on 25 - 50 %, josta valmistettavaan veneeseen sitoutuu 95 %. Työvälineet puhdistetaan asetonilla ja muotit tolueenilla. Noin 10 % asetonin kokonaiskulutuksesta on kierrätettyä, sillä laitoksella käytetään asetonin tisluslaitteistoja. Kontaktiliimaa käytetään veneiden verhoilun kiinnittämiseen. Liimaan käytetään myös ohennetta, joka sisältää asetonia ja heksaaneja. (Pohjois-Savon Ympäristökeskus, 2005.)

Veneen aihion muotista irrottamiseen käytetään irrotusainetta ja muottivahaa. Veneen rakenteiden eristykseen käytetään uretaanivaahtoa. Jonkin verran erilaisia öljyjä kuluu trukkeihin, jätepuristimeen, kompressoreihin ja ilmanvaihtolaitteisiin. (Pohjois-Savon Ympäristökeskus, 2005.)

2.3 Kemikaalien varastointi

Kaikissa kolmessa tuotantorakennuksessa on erilliset varastot kemikaaleille. Kaikissa varastoissa lattia on allastettu ja kemikaalit on sijoitettu omiin valuma-altaisiinsa. Myös asetonin tisluslaitteistot sijaitsevat kemikaalivarastoissa. Hartsi johdetaan putkilinjoja pitkin tuotantorakennus 10:stä kaikkiin käyttökohteisiin eli myös muihin tuotantorakennuksiin. Styreeniä sisältävät geelit ja topcoatit varastoidaan joko 1 000 kg kontissa tai 20 kg astiassa kemikaalivarastoissa.

3 LUJITEMUOVITEOLLISUUDEN STYREENIPÄÄSTÖT

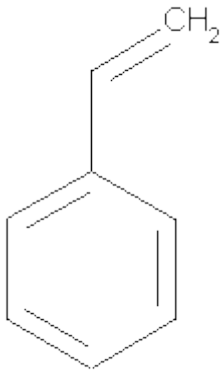
Styreenipäästöjä syntyy tyypillisesti kemianteollisuudessa, jossa käytetään styreeniä orgaanisena liuottimena, esimerkiksi muoviteollisuudessa ja pintakäsittelyteollisuudessa.

Lujitemuoviteollisuudessa styreenipäästöjä on pidetty suurimpana ongelmana yleisesti käytössä olevista matriisimuoveista ja valmistusmenetelmistä johtuen. Styreenillä on paljon terveydellisiä vaikutuksia jo pieninäkin määrinä. Altistuminen styreenihöyryille voi aiheuttaa pieninä pitoisuuksina hengitysvaikeuksia ja silmien ärtymystä, sekä suurina pitoisuuksina myös uneliaisuutta, pahoinvointia, päänsärkyä sekä koordinointivaikeuksia. Styreenillä on todettu olevan myös haitallisia vaikutuksia keskushermostoon, maksaan ja munuaisiin. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars, Komppa 2007, 414 - 415.)

Styreenin haitallisuudesta johtuen sille altistumista on pyritty vähentämään valmistustekniikoita kehittämällä ja kiinnittämällä huomiota tuotantotiloihin. Myös matriisimuoveja modifioimalla voidaan vaikuttaa päästöihin, joiden suuruuteen ensisijaisesti vaikuttaa muovin styreenipitoisuus. Geelitymisaika, valmistettavan laminaatin paksuus ja muovin viskositeetti ovat myös päästöihin vaikuttavia tekijöitä. (Saarela ym. 414 - 415.)

3.1 Styreeni kemiallisena yhdisteenä

Styreeni on väritön tai kellertävä, siirappimainen ja haihtuva neste. Styreenillä on taipumus siirtyä nesteestä kaasufaasiin erittäin helposti. Styreeni onkin huoneenlämpötilassa kaasua ja höyry on ilmaa raskaampaa. Styreeni voi polymeroitua lämmön, valon ja peroksidien vaikutuksesta. Aine voidaan stabiloida lisäämällä polymeraatioinhibiittoria (esimerkiksi hydrokinonia). Styreeni voi reagoida kiivaasti hapettimien ja vahvojen happojen kanssa. Aine syövyttää kuparia ja liuottaa kumia. Styreenin molekyylikaava on C_8H_8 , ja sen rakennekaava on kuvattu kuvassa 4. (Työterveyslaitos 2011.)



Kuva 4 Styreenin rakennekaava.

Styreeni voi syttyä, jos se kuumenee leimahduspistettään (31 °C) korkeampaan lämpötilaan ja palamistuotteina syntyy hiilidioksidia ja myrkyllistä hiilimonoksidia. Syttymiseen riittää pieni kipinä tai vaikka kuumen pinnan kosketus. Palot voidaan sammuttaa jauheella, vaahdolla tai hiilidioksidilla. (Työterveyslaitos 2011.)

Ilmassa styreeni hajoaa otsonin ja hydroksyyli-radikaalien vaikutuksesta. Yhdisteen puoliintumisaika on neljä tuntia. Ilmaan jouduttuaan styreeni voi huuhtoutua sateen mukana maahan. Maahan joutunut styreeni ei juurikaan enää haihdu takaisin ilmaan. (Työterveyslaitos 2011.)

3.2 Muovien styreenimäärät

Alhaisen styreenihaihtuman saavuttamiseksi voidaan matriisimuoviin tehdä parafiini- tai vahalisäys. Tällaisia hartseja, joihin on lisätty höyrystymistä estäviä aineita kutsutaan LSE-hartseiksi (Low Styrene Emission). Kun hartsi kovettuu höyrystymistä estävät lisäaineet muodostavat kalvon hartsin pintaan. LSE-hartsi vaatii staattiset olosuhteet, ja siksi soveltuu vain käsinlaminointiin. (Kiema, 7.12.2011.) Nämä lisäaineet toimivat vain tietyntyyppisten muovien (esim. ortopolyesteri) kanssa, mutta ovat toisaalta tehottomia käytettäessä esimerkiksi vinyylesteriä (Saarela ym. 414 - 415). Bella Veneiden tuotantolaitoksilla ei pystytä hyödyntämään tätä menetelmää, sillä prosessia täytyisi muuttaa oleellisesti. Täyteaineiden käyttäminen sopisi vain käsinlaminointimenetelmään, mutta ei ollenkaan ruiskulaminointiin.

Tavallinen styreenimäärä useimmissa matriisimuoveissa on 38 - 45 %. Määrää tulisi pienentää alle 35 %:iin, jotta styreenihaihtumakin pienenesi. Styreenimäärän pienentäminen johtaa kuitenkin hartsin viskositeetin nousuun vaikeuttaen lujitemuovikappaleiden valmistusta ja työstöä, minkä takia styreenimäärän tulisi olla vähintään noin 30

% (määrä voi alittua käyttämällä täyte- ja lisäaineita sisältäviä gelcoateja). (Saarela ym. 414.) Matalan styreenimäärän hartseja kutsutaan LSC–hartseiksi (Low Styrene Content). LSC–hartsit eivät sovellu veneiden valmistukseen, sillä ne heikentävät tuotteen lujuusominaisuuksia. (Kiema, 7.12.2011.)

3.3 Styreenin HTP–arvot

HTP–arvo (Haitalliseksi Todettu Pitoisuus) tarkoittaa pienintä kemikaalipitoisuutta ilmassa, josta voi olla haittaa ihmisen terveydelle. STEL–arvo (Short Term Exposure Limit) on suurin sallittu pitoisuus lyhyellä ajanjaksolla, yleensä 15 min. Altistuminen STEL–arvoa suuremmille pitoisuuksille on kielletty. (The European UP/VE Resin Association 2011, 1.)

Styreenimonomeerin HTP–arvo on Suomessa 20 ppm/8 h ($86 \text{ mg/m}^3/8 \text{ h}$) ja STEL 100 ppm/15 min ($430 \text{ mg/m}^3/15 \text{ min}$). Styreeni tuoksuu voimakkaan imelälle ja sen voi aistia kun pitoisuus ylittää noin 0,05 ppm. Muualla Euroopassa HTP–arvo vaihtelee välillä 12 - 100 ppm/8 h ja STEL 40 – 100 ppm/15 min. Vain Isossa-Britanniassa arvo on niinkin korkea kuin 100 ppm/8 h ja 250 ppm/10 min, mutta heillä on velvollisuus vähentää päästöjä niin paljon kuin mahdollista. Taulukossa 2 on nähtävissä Euroopan HTP-arvot 8 tunnille ja lyhyelle aikavälille. (The European UP/VE Resin Association 2011, 2.)

TAULUKKO 1. HTP- ja STEL-arvot Euroopassa (The European UP/VE Resin Association 2011, 2.)

Maa	HTP (ppm/8 h)	STEL (ppm)
Suomi	20	100 (15 min)
Ruotsi	20	50 (15 min)
Tanska	25	25
Norja	25	37,5 (15 min)
Sveitsi	20	40 (4x10 min)
Itävalta	20	80 (15 min)
Saksa	20	40 (30 min)
Unkari	12	
Italia	20	40 (15 min)
Luxemburg	20	40 (30 min)
Hollanti	25	50 (15 min)
Puola	24	72
Espanja	20	40 (15 min)
Ranska	50	
Tšekki	24	94
Belgia	50	100 (15 min)
Iso-Britannia	100	250 (10 min)

3.4 Styreenipäästöjen laskenta

Kun tiedetään styreenimolekyylin rakenne, seoksen kulutus ja seoksen styreenisisältö, voidaan styreenipäästöt laskea. Styreenin kemiallinen kaava on C_8H_8 , eli styreenimolekyylissä on kahdeksan hiiliatomia ja kahdeksan vetyatomia. Näin ollen molekyylimassan ja sen hiiliosuuden voi laskea. Styreenipäästöjen laskentaesimerkki on nähtävissä liitteessä 1. Styreenipäästöt voidaan myös laskea suoraan taselaskentana. Laskeminen onnistuu, kun tunnetaan styreeniä sisältävien tuotteiden kulutus, tuotteiden styreenikoostumus (esim. p-%) ja styreenin haihtuva osuus. Tässä tapauksessa kertoimet on mietittävä tarkkaan.

Kun tiedetään styreenipäästöjen määrä, voidaan arvioida tarvittava ilmastonin kapasiteetin suuruus. Hallin ilmanvaihdon täytyy olla riittävä pitämään sisäilman styreenimäärän alle 20 ppm:ssä. Nyrkkisääntönä voidaan ajatella, että jos ilmaan tulee 1 kg styreeniä tunnissa, työskentelyalueelta ilmaa pitää poistua vähintään 12 000 m³/h, jotta pitoisuustaso pysyy alle 20 ppm. Käytännössä ilmamäärän pitää olla kuitenkin suurempi, sillä laminointipaikoissa ilmamäärän pitää vaihtua 5 - 10 kertaa tunnissa. (The European UP/VE Resin Association 2011, 2 - 3.) Liitteessä 1 on myös tästä

laskentaesimerkki, jossa on suuntaa antava laskelma, miten päästömäärä vaikuttaa ilmastointi kapasiteetin tarpeeseen.

4 LUJITEMUOVIKAPPALEIDEN VALMISTUSTEKNIIKAT

Valmistustekniikoita erilaisille lujitemuovikappaleille on useita. Valmistusmenetelmien pääryhmät ovat laminointimenetelmät, puristusmenetelmät, injektio menetelmät, suolakemenetelmät sekä valssaus. (Saarela ym. 2007, 153 - 154.) Yleensä menetelmässä on käytetty avointa tai suljettua muottia, jonka merkitys styreenipäästöihin on huomattava. Avoimessa muotissa syntyy enemmän päästöjä kuin suljetussa. Tässä luvussa on esitelty tekniikat, jotka sopivat isojen kappaleiden valmistukseen sekä suhteellisen suurille tuotantomäärille.

4.1 Laminointimenetelmät

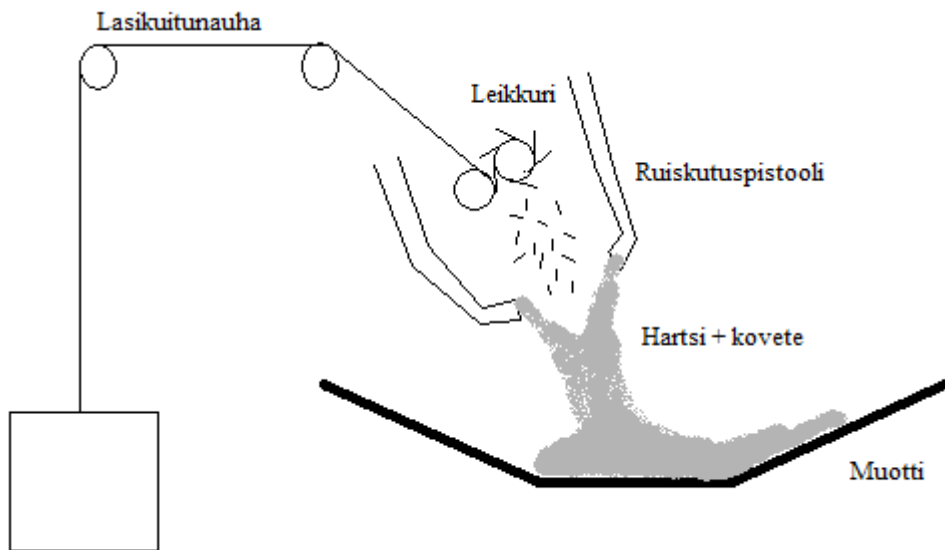
Laminointimenetelmiä ovat käsinlaminointi, ruiskulaminointi ja kuitukelaus. Valmistettava kappale laminoidaan kerroksittain avomuottiin, jossa se kovettuu joko ilman ulkoista painetta tai puristamalla ali-/ylipaineella. Bella Veneillä on käytössä käsinlaminointi ja ruiskulaminointimenetelmät.

4.1.1 Käsinlaminointi

Käsinlaminoinnissa käytetään märkälaminointia, jonka perustyövaiheet ovat muotin kiillotus, irrotusaineen levitys, gelcoat in levitys, lujitteiden asetus ja kostutus hartsilla, ilmanpoistotelaus, kappaleen irrotus, viimeistely sekä pintamaalaus. Märkälaminoinnissa käytetään lujitteena yleensä lasikuitua ja hartsina joko orto- tai isoftaalipolyesteriä. Epoksi tai vinyyliesteri toimivat hartsina vaativissa kohteissa, joissa edellytetään korkeita lujuus-, lämmönkesto- tai väsymisominaisuuksia. (Saarela ym. 2007, 158.) Bellalla käytetään hartsina polyesteriä.

4.1.2 Ruiskulaminointi

Ruiskulaminointi tapahtuu ruiskuttamalla lujitteet ja hartsit ruiskutuspuistoolilla muotin pinnalle. Työvaiheet ovat muuten samat kuin käsinlaminoinnissa, mutta hartsin levitys tapahtuu ruiskulla. Ruiskutuspuistooliin on kiinnitetty leikkuri, joka katkoo lujitteen halutun mittaisiksi katkokuiduiksi. Samalla hartsit ja kovete sekoittuvat puistoolissa keskenään. Puistoolista tulee hartsisuihku, jonka mukana katkotut lujitteet kulkeutuvat muotille. Kuvassa 5 on nähtävissä ruiskulaminoinnin periaate.



KUVA 5 Ruiskulaminoinnin periaatekuva. Kuva Sanna Hyvönen

Ruiskulaminointi on käsinlaminointia huomattavasti tuottavampaa, siksi Bellalla käsinlaminointia käytetään vain veneiden pienien osien valmistukseen. Kuvassa 6 on ruiskulaminoitu kappale sekä käsinlaminoituja kappaleita.



KUVA 6. Vasemmalla muotin pinnalle ruiskulaminoitu kappale ja oikealla käsinlaminoituja kappaleita. Kuvat Sanna Hyvönen.

4.2 Paine- ja alipaineinjektio

Injektio menetelmien periaate on syöttää matriisi tai kaikki komponentit muottiin joko paineen avulla tai valamalla. Mahdollisia menetelmiä on kolme, RTM-menetelmä,

alipaineinjektio sekä kalvoinjektio. Lopputuotteen ominaisuudet ja haluttu jaksoaika vaikuttavat siihen, mitä hartsia käytetään. Injektionopeus on hyvä, kun hartsi on matalaviskoosista. Polyesterihartsi soveltuu hyvin näihin menetelmiin. (Saarela ym. 2007, 166 - 168.)

4.2.1 RTM–menetelmä

RTM–menetelmä (Resin Transfer Moulding) tarkoittaa paineinjektiota, jossa matriisi injektoidaan yli- tai alipaineella suljettuun muottiin. Ennen hartsin injektointia muottiin on aseteltu lujitteet tai lujiteaihio. Injektointivaiheen päätyttyä kappale kovetetaan, poistetaan muotista sekä viimeistellään. Jos kappale tarvitsee korkean lujitepitoisuuden, injektionopeudesta täytyy tinkiä. Injektioprosessi on sitä vastoin nopea, jos kappaleen lujitepitoisuus on melko alhainen. (Saarela ym. 2007, 166 - 168.)

Lujiteaihion etuna on lujitteiden tarkempi suuntaaminen kuormitusten mukaisesti sekä valmistusprosessin nopeuttaminen. Hukkamateriaalia voidaan välttää käyttämällä ns. nettoaihioita, jonka ansiosta ei tarvitse leikata reunoja ja muita turhia osia pois. Aihioden valmistus on mahdollista automatisoida, jolloin valmistuskapasiteetti nousee ja saavutetaan työkustannusten säästöä. (Saarela ym. 2007, 166 - 168.)

4.2.2 Alipaine- ja kalvoinjektio

Alipaineinjektio periaatteena on imeä hartsi lujitteisiin alipaineen avulla. Kappale valmistetaan avoimella muotilla, mutta prosessi on kuitenkin suljettu, sillä toinen muottipinta on korvattu alipainesäkillä tai joustavalla muottipuoliskolla.

Kalvoinjektiossa hartsikalvoina oleva matriisi sijaitsee lujitekerrosten välissä tai ensimmäisenä kerroksena muotin pinnalla. Alipainekalvoa käytetään normaalisti myös tässä tekniikassa. (Saarela ym. 2007, 166 - 168.)

4.2.3 Injektointimenetelmien hyvät ja huonot puolet

Injektiomenetelmien hyvät puolet:

- Teknisesti laatu on hyvä.
- Hartsia säästyy.
- Tuotannon sarjanopeus kasvaa.

- Tuotteen muottiaika lyhenee 1 - 2 päivää.
- Styreenipäästöt vähenevät.
- Voidaan injektoida kerralla valmis kokonaisuus.

Injektiomenetelmien huonot puolet:

- Vaatii ammattitaitoa.
- Pinnan laatu vaihtelee (kehittyy koko ajan).
- Injektointijätettä syntyy huomattavia määriä.
- Materiaalikustannukset ovat suuret (4 €/m² kalliimpaa, lisäksi muovikalvoista, virtausputkista ym. lisäkustannuksia).
- Muotit ovat teknisemmät.

(Lappi 2011.)

4.3 DIAB Core Infusion – Hartsin infuusio ydinmateriaaliuria käyttäen

DIAB Core Infusionissa käytetään ydinainetta hartsia johtavana kerroksena niin, että ydinaineen pintaan sahatut urat johtavat hartsia mahdollisimman hyvin. Valmistus alkaa gelcoatien levittämällä muottiin, minkä jälkeen hyvän pinnanlaadun aikaansaamiseksi sen päälle voidaan laminoida ohut lujitekerros ja hartsia. Kun lujitekerros on kovettunut, muottiin asetetaan kuivat lujitteet ulommaksi lujitekerrokseksi ja niiden päälle asetellaan Divinycell-levyt (Divinysell ydinainetta voi ostaa suoraan valmiina muottiin sopivana kittinä). Ydinmateriaalin päälle asetellaan kuivat lujitteet sisemmäksi lujitekerrokseksi. (Leinonen 2011.)

Seuraava vaihe on asettaa lujitteiden päälle primääriset ja sekundääriset hartsinsyöttölinjat sekä alipaineen imulinja. Hartsilinjojen päälle levitetään alipainesäkki ja tiivistetään se muotin reunaan tiivistenauhalla. Avaamalla alipaineventtiilin hartsi pääsee virtaamaan astiasta lujitteisiin. (Leinonen 2011.)

DIAB prosessin edut:

- Lopputuotteen lujuus on käsinlaminointia parempi.
- Suljetulla muotilla saadaan päästöt ja roiskeet minimiin.
- Laatu pysyy samana osasta toiseen.
- Mahdollista valmistaa entistä kevyempiä tuotteita.

DIAD prosessin haitat:

- Lujitemateriaalien hinta on korkeampi.
- Veneen rakenne tulisi muuttaa ”sandwich” komposiitiksi.

(Leinonen 2011.)

4.4 Puristusmenetelmät

Puristusmenetelmiä on kaksi, ahto- ja siirtopuristus. Menetelmissä raaka-aine puristetaan muotoonsa joko asettamalla se muottiin puolivalmisteena / komponenttain tai annostelemalla se siirtosylinteriin ja siitä männän avulla muottionkaloon. (Saarela ym. 2007, 180.)

Siirtopuristus soveltuu muodoltaan monimutkaisemmille kappalaille kuin ahtopuristus. Menetelmien haittapuolena on se, ettei muotteihin voi laittaa gelcoat pintaa ja valmiin kappaleen pinnan laatu on korkeintaan hyvä, ei erinomainen.

4.5 Valmistusmenetelmien soveltuvuus Bella Veneiden tuotantolaitoksille

Käytössä olevan ruiskulaminoinnin haittapuoli on siitä syntyvät styreenipäästöt. Styreenihaihtumaa syntyy hartsin 4 - 6 %, gelcoatoin 10 - 14 % ja pintamaalin 4 - 5 % ruiskutuksesta. Suljetussa muottitekniikassa styreenihaihtuma olisi vain alle 1 %. (The European UP/VE Resin Association 2011, 2.)

Siirtyminen suljettuun muottitekniikkaan olisi periaatteessa mahdollista, mutta käytännössä mahdotonta. Esimerkiksi RTM-menetelmä soveltuisi veneiden valmistukseen, sillä se ei juuri eroa veneiden tuotantoteknisistä vaatimuksista. Menetelmän etuna olisi lyhyt muottiaika ja suuri vuosittainen mahdollinen tuotantomäärä. Ongelmaksi muodostuu muotin muoto, sillä Bellalla valmistettavat veneet ovat hyvin monimuotoisia. Tästä johtuen muotin valmistus hankaloituisi ja investointikustannukset nousisivat kohtuuttoman suuriksi.

RTM-menetelmän muottikustannus yhdelle yksinkertaiselle ja hyvin pienelle muotille olisi 2 000 – 3 000 € ja laiteinvestointi 15 000 – 30 000 €. (Saarela ym. 2007, 197.) Bellan tehtailla on lukuisia muotteja. Ehkä tulevaisuudessa suljettu muottitekniikka kehittyi niin paljon, että muottien hintataso laskee niiden muotoon nähden. Jos muot-

tien hinnat laskevat, tulee huomioida myös materiaalikustannukset. Suljetun muotin materiaalikustannukset ovat tuplasti enemmän ruiskumenetelmään nähden.

Myös DIAB prosessi olisi periaatteessa mahdollinen, mutta veneiden rakenne tulisi muuttaa kokonaan sandwich-komposiitiksi umpilaminaatista, mistä tulisi liikaa kustannuksia. DIAB prosessi olisi huomattavasti helpompi ottaa käyttöön, jos veneen valmistajalla olisi valmiiksi käytössä ydinaine veneiden rakenteessa.

5 STYREENIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISKEINOT

Tehokas tapa vähentää styreenipäästöjä on ehkäistä päästöjen leviäminen työtilasta kovin laajalle. Päästöjä voi myös vähentää käyttämällä hartsia, jossa on alhainen styreenisisältö. Ruiskulamoinnissa työntekijän ammattitaidolla on myös huomattava vaikutus päästöjen määrään.

Styreenipäästöjen vähentämiseksi on olemassa erilaisia tekniikoita, kuten päästöjen polttaminen korkeassa lämpötilassa (terminen) / alhaisessa lämpötilassa (katalyyttinen), biologiset menetelmät, kondensaatiotekniikka tai adsorptiomenetelmät (esim. aktiivihiihiuodatus). (Kong, Bahner, Turner 2003, 5.) Edellä mainitut puhdistustekniikat edellyttävät, että styreenipitoiset kaasut kerätään lähteistä ja johdetaan putkea pitkin puhdistettavaksi. Puhdistustekniikan valintaan vaikuttavat erityisesti poistokaasun pitoisuustaso ja sen tilavuusvirta (Nm^3/h).

Välikäntien tehtailla poistoilmavirtaukset ovat suuret ($50\,000 - 90\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$) ja poistokaasujen liuotinpitoisuudet alhaiset, sillä työtilan pitoisuustason täytyy pysyä alle raja-arvojen ($0,1 \text{ g/m}^3/15\text{min}$ ja $0,086 \text{ g/m}^3/8\text{h}$).

5.1 Polttotekniikka

Polttoprosessissa VOC-päästöjä sisältävät kaasut johdetaan polttolaitteeseen. Polton lopputuotteena syntyy hiilidioksidia ja vesihöyryä. Termisessä poltossa kaasut palaa $800 - 850 \text{ °C}$:een lämpötilassa, ja katalyyttisessä vain $300 - 350 \text{ °C}$:een lämpötilassa. Molemmissa puhdistusaste on korkea, noin 98 %. Termisessä poltossa poistettu kaasu lämmitetään ensin esilämmittimessä ja johdetaan sieltä varsinaiseen polttimeen. Termisessä poltossa joudutaan usein käyttämään lisäpolttoainetta jos tulevat kaasut eivät riitä ylläpitämään hapetusreaktiota. Termistä lämmön talteenottoa voidaan käyttää vähentämään polttoainekustannuksia, mutta muun polttoaineen lisäys ei silti ole taloudellisesti kannattavaa. (Kong ym. 2003, 5 - 9.)

Katalyyttisessä poltossa käytetään yleensä keraamista katalyyttipetiä. Katalyytteinä voidaan käyttää platinaa tai palladiumia, joiden avulla päästöt poltetaan hiilidioksidiksi ja vedeksi.

Jotta lisäpolttoainetta ei tarvittaisi lainkaan eli päästäisiin ns. autotermiseen polttoon ja liuottimien energiasisältö riittäisi polton energiatarpeeseen, tulisi liuotinpitoisuus optimoida ja valita sopivin polttomenetelmä. Terminen ja katalyyttinen poltto voidaan jakaa rekuperatiiviseen (epäsuora lämmöntalteenotto) ja regeneratiiviseen menetelmään. Taulukossa 2 on nähtävissä käsittelyyn tulevien VOC-poistokaasujen tyypillisiä autotermisiä pitoisuuksia. (Antson, ym. 2008, 41.)

Taulukko 2. Eri jälkipolttotekniikoilla saavutettavat autotermiset pitoisuudet.

Menetelmä	Terminen	Katalyyttinen
Rekuperatiivinen	8 ... 11 g/Nm ³	3 ... 5 g/Nm ³
Regeneratiivinen	1,5 ... 2,5 g/Nm ³	0,5 ... 1,5 g/Nm ³

Rekuperatiivinen poltto tarkoittaa poistokaasun esilämmittämistä epäsuoralla lämmöntalteenotolla syttymislämpötilaan. Lämmönsiirrin on tässä tapauksessa putki- tai levytyyppiä ja lämmönsiirtymisen hyötysuhde on noin 70 %. Regeneratiivisessa poltossa esilämmön talteenotossa kaasuvirta lämmittää ja vuorotellen jäädyttää lämmönsiirtomateriaalia, joka on yleensä jotain keraamista materiaalia tai terästä. Näin saavutetaan jopa 97 % lämmönsiirtymisen hyötysuhde, jolloin autotermisen poltto saavutetaan jo pienissä pitoisuuksissa. (Antson ym. 2008, 41 - 42.)

Katalyyttisessä rekuperatiivisessa poltossa tarvittava lämpötila on 300 - 500 °C, joka riippuu valitusta katalyytistä ja käsiteltävästä kaasusta. Liian korkea lämpötila heikentää katalyytin toimintaa tai voi jopa tuhota sen. Puhdistusaste huononee jos katalyytti heikkenee ja siksi niitä voi joutua puhdistamaan tai vaihtamaan. Katalyyttisen rekuperatiivisen polton autotermisen pitoisuus (3 - 5 g/Nm³) on hieman liian korkea styreenipäästöihin. (Antson ym. 2008, 43.)

Katalyyttinen regeneratiivinen poltto soveltuu laimeille kaasuvirroille, joten menetelmä soveltuisi styreenipäästöille. Menetelmä on ehdottomasti energiataloudellisesti kehittynein. Katalyytin käyttö yhdistyy regeneratiiviseen lämmöntalteenottoon. Katalyytin toimintariskit eivät eroa rekuperatiivisesta poltosta. Puhdistusasteeseen vaikuttaa valittu petiratkaisu. (Antson ym. 2008, 44.)

Termisen polttolaitoksen etu on sen korkea puhdistusaste. Haittana on sen korkea energiantarve (varsinkin jos lämmönvaihdinta ei asenneta) ja lisäpäästöjen muodostuminen poltossa (hiilidioksidi, typenoksidit). Katalyyttisessä poltossa taas energiantarve on pienempi, eikä lisäpäästöjä juuri synny. Koska energiantarve on pienempi,

myös käyttökustannukset ovat huomattavasti pienemmät verrattuna termiseen polttoon, mutta katalysaattorin asennus voi olla kalliimpi investointi. Investointikustannukset riippuvat kuitenkin katalysaattorin koosta. (Kong ym. 2003, 9.) Polttolaitoksen kokoa voidaan pienentää, jos poistoilmavirtaa pienennetään.

Styreenipäästöjä ajatellen termiset menetelmät eivät sovi niille. Styreenipitoisuudet ovat liian pieniä autotermisen polton saavuttamiseksi. Jos kaasuja poltettaisiin lisäpolttoaineen avulla, päästöjen väheneminen olisi kovin pieni verrattuna energian kuluksi.

5.2 Adsorptiomenetelmät

Adsorptiomenetelmässä käytetään yleensä hiiliadsorberia, jossa VOC molekyylit sitoutuvat aktiivihilipatjaan. Käytetty hiilipatja joko heitetään pois tai regeneroidaan. Yleensä aktiivihilipatja on sijoitettu poistoilmakanavaan, jossa liuotinhöyryjä sisältävä kaasu virtaa aktiivihilipatjan läpi. Liuotin adsorboituu adsorbentin pinnalle. Ilma kiertää kanavassa useita kertoja, jotta paras puhdistusaste saavutettaisiin. (Kong ym. 2003, 14.)

Adsorptiomenetelmä soveltuu alhaisille päästöjen pitoisuuksille ja vain matalille virtauksille. Haittana on styreenin polymerisoituminen ja epätodennäköinen styreenin talteenotto. Myös käyttö- ja investointikustannukset ovat suurehkot. (Kong ym. 2003, 14.)

5.3 Kondensaatiotekniikka

Kondensaatioissa (jäähdytys) VOC –kaasujen lämpötilaa lasketaan kastepisteen alapuolelle, jolloin VOC –höyryt tiivistyy. Jäähdytysjärjestelmiä on kahdenlaisia; yksivaiheisia ja monivaiheisia. Yksivaiheisissa saavutetaan tyypillisesti 4 – (-21) °C:een lämpötila ja monivaiheiset toimivat -23 °C ja -73 °C:een välillä. Menetelmän toimintatehokkuus riippuu lämpötilasta ja styreenipäästöjen määrästä. Kondensaatiotekniikka on harvinainen ratkaisu styreenipäästöjen hallinnassa. Menetelmässä ei synny mitään ylimääräisiä päästöjä. Haittapuolia ovat, ettei tiivistynyttä styreeniä voi uudelleen käyttää, tehokkaasti toimiakseen se vaatii suuret liuotinpitoisuudet poistokaasussa (20 – 40 g/Nm³) ja menetelmä on taloudellisesti melko toteuttamiskelvoton. (Kong ym. 2003, 15.)

5.4 Biologiset menetelmät

Biologisissa käsittelyissä käytetään jotain suodattavaa menetelmää, kuten biosuodinta tai biopesuria, joiden mikro-organismit hajottavat päästöjen orgaaniset yhdisteet hiilidioksidiksi ja vedeksi. Biologisia menetelmiä on käytetty jo pitkään hajuhaittojen hallintaan Euroopassa ja muualla maailmassa. Vasta muutaman viime vuoden aikana menetelmää on ruvettu käyttämään teollisuuden liotinpäästöjen hallintaan. (Kong ym. 2003, 34.)

5.4.1 Biosuodin

Prosessissa syntynyt saastunut ilma tulee ensin esivalmistelu yksikköön, jossa lämpötila ja ilman kosteuspiitoisuus säädetään tarpeen mukaiseksi. Sen jälkeen kaasu virtaa suodinpedin läpi, jossa on mikro-organismeja sisältävä kantaja-aine. Kantaja-aine voi olla synteettistä tai luonnon materiaalia. Kaasun orgaaniset aineet sitoutuvat biomassaan, jossa ne tuhoutuvat. (Kong ym. 2003, 34 - 35.)

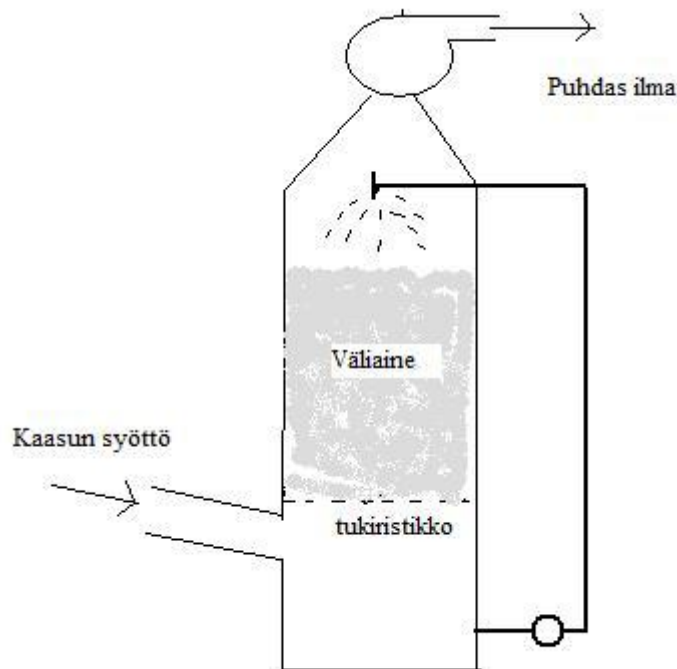
Biosuotimen toimivuuteen vaikuttaa suodatinmateriaalin valinta. Ideaalisessa materiaalissa tulisi olla laaja pinta-ala, mahdollisimman vähäinen vastapaine ja sopiva alusta mikro-organismeille. Väliainetta voi olla kahta laatua:

- luonnon orgaaninen väliaine, joka koostuu turpeesta, kompostoituvista lehdistä, puun kuorista ja/tai mullasta
- inertti synteettinen väliaine.

Joissain tapauksissa voi olla käytössä molempien materiaalien yhdistelmä. Biosuotimen toimintatehokkuuteen vaikuttaa myös virtauksen nopeus, kosteus, pH, paine, lämpötila, biomassan kasvu ja bakteerien määrä. (Kong ym. 2003, 35 - 37.)

5.4.2 Biopesuri

Biopesuprosessissa VOC –päästöjä sisältävät kaasut virtaavat tilaan, jossa kierrätetty vesi painaa kaasut suodatinmateriaalille. Mikro-organismit kasvavat biofilminä ja tuhoavat päästöjen orgaaniset aineet. Väliaine on synteettistä epäorgaanista ainetta, joka sallii tasaisen kaasun virtauksen. Kierrätetty vesi säätelee pH:ta, väliaineen ravinteiden määrää ja biofilmin paksuutta. (Kong ym. 2003, 37.) Kuvassa 7 on nähtävissä biopesuri.



KUVA 7 Yksinkertaistettu kuva biopesurista. Kuva Sanna Hyvönen.

5.4.3 Biosuotimen ja biopesurin vertailu

Biopesurin väliaine on synteettistä materiaalia, joka on suunniteltu niin, ettei se tukkeudu. Nestettä kierrätetään systeemissä jatkuvasti ja raikasta vettä ja ravinteita lisätään tarvittaessa. Biosuotimen väliaine on tyypillisesti orgaanista ainesta, joka voi turvota ja / tai puristua kasaan ajan kuluessa. Biosuotimessa kosteuspitoisuus on yleensä 50 % laitteesta riippuen eikä siinä ole nestekiertoa. Biosuotimeen verrattuna biopesuri pystyy käsittelemään suurempia styreenipitoisuuksia.

Menetelmien heikkoutena on suuri tilantarve, riittämätön puhdistusaste ja vaihtelevan kuormituksen aiheuttama alhainen käyttövarmuus. (Antson ym. 2008, 46.)

Biologisia menetelmiä käytetään jo Euroopassa, mutta Suomessa menetelmän käyttö olisi haasteellista. Prosessiin tarvittava minimilämpötila on 15 - 25 °C, joten Suomen ilmasto on liian haasteellinen. Lisäksi bakteerit tarvitsevat ravintoa (styreeni) koko ajan, näin ollen tuotannon pysähtyminen aiheuttaa epäjatkuvuutta. Menetelmän asennuskustannukset ovat korkeat, esimerkiksi tehtaalle, jonka koko on 1800 m² ja ilmamäärä on 15 000 m³/h, biosuotimen suodatinosan tulisi olla noin 610 m³ ja asen-

nus maksaisi noin 280 000 €. Lisäksi laitoksen sisällä tulisi tehdä rakenteellisia muutoksia, jotka tuovat lisäkustannuksia. Suuremmalle laitokselle tarvittaisiin tietenkin suurempi suodatinosa. (Luukkonen, 16.11.2011.)

6 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISKEINOJA BELLA VENEIDEN TUOTANTOLAITOKSILLA

Bella Veneiden tuotantolaitoksilla on koneellinen ilmastointi ja kohdepoistoja. Pölynpoistojärjestelmä sijaitsee ulkona, ja keskuuspölynmurijärjestelmän käyttöalueet ovat ruiskulaminointitilat, leikkaus- ja hiontatilat, loppukasaustilat sekä pienosien käsittelytilat. Laitoksella on käytössä jatkuvasti styreeniä sisältäviä kemikaaleja, ja työntekijöiden altistuminen niille on väistämätöntä.

6.1 Styreenipäästöjen muodostuminen

Styreenipäästöjä syntyy muotin maalaus ja ruiskulaminointi vaiheessa. Suurin osa (noin 95 %) tuotannon styreenipäästöistä syntyy siis tuotantoprosessin alkupäässä laminoinnille varatussa tilassa. Ilmastoinnin tilavuusvirtaukset ovat laitoksesta riippuen suurimmillaan 50 000 - 90 000 m³/h. Tilavuusvirtaus suurenee, kun styreenipitoisuus nousee. Tällöin poistoilmakoneeseen lisätään kierroksia isommassa suhteessa kuin tuloilmakoneeseen. Ilmastointi on päällä päivittäin klo 5.00 – 19.00. Ilmastointi toimii jatkuvana, kun ovet ja ikkunat pysyvät suljettuina. Hetkellinen nopea oven avaus tuskin vaikuttaa ilmastoinnin toimivuuteen, mutta oven/ikkunan auki pitäminen aiheuttaa katkoksia ilmastointiin ja vaikuttaa sen tehokkuuteen.

Koska styreeni on haihtuva yhdiste, tulisi kemikaalien käsittelyyn kiinnittää erityistä huomiota. Styreenin tasapainotilakonsentraatio (suljetussa astiassa nestepinnan yläpuolelle muodostuvan kylläisen höyryn pitoisuus) on 6 000 ppm 20 °C:ssa eli 25,8 g/m³. (Työterveyslaitos, 2011.) Jos avoimia säiliöitä on paljon, voidaan olettaa niistä haihtuvan styreenin vaikuttavan kokonaispäästöihin.

6.2 Päästöt ilmaan

Ilmanpoistokanavia tehtaassa 8B ja 8A on molemmissa yksi, poistopiipun korkeus 22,5 m, ja tehtaassa 10 kaksi poistopiippua korkeudeltaan 22,5 m (kuva 8). Työpäiviä laitoksella on keskimäärin 223 kpl/vuosi ja päivittäistä tuotantoa klo 05.00 - 20.00. Kaikkien kolmen tehtaan ilmanvaihto kytkeytyy pois päältä klo 20.30. Symon vuonna 2004 tekemän Bella Veneet Oy:n hiilivetypäästöjen leviämismallilaskelman mukaan tehtaan aiheuttamat hiilivetyjen tuntipitoisuudet lähialueen ulkoilmassa olivat korkeimmillaan noin 250 µgC/m³. Korkeimmat pitoisuudet oli havaittu tehtaan länsipuolelta.

lolla, jossa maasto on korkeimmillaan. Lähimmillä asuinalueilla tuntipitoisuudet korkeimmillaan olivat noin $100 \mu\text{gC}/\text{m}^3$. Terveydelle haitallinen kokonaishiilivetyypitoisuus ilmassa on $5 \text{ mgC}/\text{m}^3$. Mittausten perusteella arvot olivat huomattavasti alle kyseisen raja-arvon. (Kärtevä, Nuutinen & Tiitta 2004.)



Kuva 8 Vasemmalla laitoksen 8B:n poistopiippu ja oikealla laitoksen 10 poistopiiput. Kuvat Sanna Hyvönen.

Ilmatieteen laitos teki vuonna 2010 ilmanlaadun seurantaan Kuopion alueella. Styreenipäästöjä löytyi keskusta-alueelta ja pitoisuuksien on todettu olleen turhankin korkeita.

6.3 Päästöjen hallintakeinoja

Tuotantolaitosten päästöjen hallintaan tulisi löytää erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Laitoksessa 8B on käytössä ilman kosteutta säätelevä laitteisto. Vesihöyryä johdetaan halliin ylhäältä päin tasaisin väliajoin. Vesi sitoo hallissa muodostuneita pölypäästöjä. Vaikka styreeni on heikosti veteen liukenevaa, voi se huuhtoutua veden mukana maahan. Voidaan siis olettaa laitteistolla olevan päästöjä vähentävä vaikutus.

Laitostekniikoita ajatellen haasteena ovat suuret ilmavirtaukset ja pienet päästöjen pitoisuudet. Polttolaitos olisi mahdollinen ratkaisu, mutta niidenkin hinta nousee lai-

toksen kokoon nähden, eikä suurille ilmavirtauksille sovellu pienet polttolaitokset. Jos laitoksen kaasujen käsittelymitoitus olisi 40 000 - 60 000 Nm³/h, pelkkä laitostoimitus maksaisi noin 320 000 - 600 000 €. Hintaan tulisi huomioida myös tehtaiden rakenteellisten muutosten kustannukset, jolloin hintaa voisi kertoa kertoimella 1,5 - 2. (Antson ym. 2008,103.) Tarkka hinta-arvio 50 000 Nm³/h kokoiselle laitokselle olisi 520 000 € ja vuotuinen käyttökustannus 150 000 € (Anttila, 21.11.2011). Tarkemmat kustannuslaskelmat on nähtävissä liitteessä 2. Jos ratkaisuksi ajattelisi biosuodatusta, kustannus olisi yli 300 000 € ja laitoksen toiminta hyvin epävarmaa.

7 LUJITEMUOVIJÄTE

Bella Veneet Oy:n veneiden valmistusprosessissa syntyy lujitemuovijätettä, joka on suurelta osin leikattua ylijäämää kovettuneesta lujitemuovista. Kyseiselle kovettuneelle lujitemuovijätteelle on tehty kaatopaikkakelpoisuustesti ja se soveltuu toimitettavaksi tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sekajätteen mukana. Tehtailla syntyy myös jonkin verran kovettumatonta lujitemuovijätettä, joka luokitellaan ongelmajätteeksi.

Vuonna 2006 Bella Veneet Oy osallistui valtakunnalliseen KIERRÄ-projektiin, jossa selvitettiin lujitemuovin hyötykäyttövaihtoehtoja. Projektin tuloksena lujitemuovi kävisi esimerkiksi hyötykäyttäväksi täyte- ja lujiteaineena kestumuovimatriisissa, nestemäisessä keraamimatriisissa ja puumuovikomposiiteissa. Kierrättäminen olisi siis periaatteessa mahdollista, mutta esteeksi nousee kustannukset. Projektissa ei löydetty sellaista kierrätysmenetelmää, joka olisi taloudellisesti toteuttamiskelpoinen.

Vuonna 2011 Bella Veneet Oy osallistui Ketekin tekemään HYÖTY-projektiin, jossa selvitettiin myös jätteen hyötykäyttöä. Projektissa todettiin nykyään vain 2 % valtakunnallisesta lujitemuovijätteestä päätyvän hyötykäyttöön. Yleensä jäte päättyy siis kaatopaikalle tai polttoon. Tämä johtuu edelleen kierrätyksen korkeista kustannuksista. Kuvassa 9 on teollisuuden laminointiprosessissa syntynyttä lujitemuovijätettä.



KUVA 9 Veneteollisuuden laminaattijätettä (Torssonen, Parjanen, Andersson, Rainosalo 2011, 49.)

7.1 Lujitemuovijätteen kierrätys Suomessa

Lujitemuovijätettä on tuotannossa syntyvä jäte ja käytöstä poistettu tuotejäte. Karkea arvio Suomessa syntyvästä vuosittaisesta lujitemuovijätteestä on noin 4 000 - 10 000 tonnia, josta noin puolet on prosessihukkaa ja loput käytöstä poistettavia tuotteita. Määrä vaihtelee vuosittain, ja sen vaihteluväli johtuu yleensä yritysten jätteen varastoinnista tuotantoiloihin tai omille jätealueille. (Torssonen ym. 2011, 6.)

Lujitemuovi koostuu monesta eri komponentista ja sen materiaalikoostumus voi vaihdella hyvin paljon. Lujitemuovituotteella on usein myös hyvin pitkä käyttöikä. Verrattuna kuitulujittamattomiin valtamuoveihin, lasiin, paperiin ja metalleihin lujitemuovin määrä on huomattavasti pienempi, mistä johtuen lujitemuovin keräys, lajittelu ja käsittely hyötykäyttöön on hankalaa ja kallista. (Saarela ym. 2007, 427 - 428.)

Lujitemuovijätteen kierrätyksen hankaluudesta johtuen jätteen sijoittaminen kaatopaikalle on ollut tavanomainen toimintatapa. Nykyään kuitenkin kaatopaikkojen käyttöä pyritään rajoittamaan ja lainsäädäntö muuttuu koko ajan enemmän kierrätystä kannattavammaksi. Näillä näkymin lainsäädäntöä tiukennetaan vuonna 2016 niin, että polttoon kelpaavaa lujitemuovijätettä ei saisi enää sijoittaa kaatopaikalle (Nikkola, 16.11.2011).

Kestävän kehityksen periaatteen mukaan jätteiden käsittely tulisi tapahtua seuraavasti:

1. Ehkäisy: Syntyvän jätteen määrä minimoidaan sen tuotannossa ja valmistuksessa.
2. Uusiokäyttö: Käytetyt tuotteet kerätään ja puhdistetaan sekä käytetään uudelleen joko samaan tai uuteen tarkoitukseen.
3. Kierrätys: Jäte kerätään, kierrätetään ja valmistetaan uusia tuotteita.
4. Poltto: Jätteen polttaminen energiasisällön talteenottamiseksi.
5. Kaatopaikkasijoitus: Jos jätettä ei voida hyödyntää millään edellä mainituista tavoista, voidaan se sijoittaa kaatopaikalle.

(Saarela ym. 2007, 425.)

Myös uuden jätelain mukaan yleinen velvollisuus noudattaa etusijajärjestystä on vastaava edellä olevaan.

7.2 Kierrätysmenetelmät

Jätteen kierrätys tarkoittaa sen hyödyntämistä energiana, raaka-aineena tai materiaalina. Kierrätysmenetelmiä on neljä:

- Primäärinen kierrätys: Jättemateriaalin uusiokäyttö sellaisenaan tai muuntaminen materiaaliksi, jota voi verrata alkuperäisen materiaalin ominaisuuksiin.
- Sekundäärinen kierrätys: Jätteen kierrätys arvoltaan heikompana alkuperäismateriaaliin verrattuna.
- Tertiäärinen kierrätys: Jättemateriaalin hajottaminen kemiallisesti lähtöaineksi, joka on käytettävissä uuden tuotteen raaka-aineena.
- Kvarternäärinen kierrätys: Jätteen muuntaminen suoraan energiaksi polttamalla. (Siik, Kuronen, Hakala, Aalto, Vuorinen 2006, 10.)

Yksinkertaisempi jako kierrätysmenetelmille on mekaaninen ja kemiallinen kierrätys sekä polttaminen. Primäärinen ja sekundäärinen kierrätys on mekaanista kierrätystä, siinä jäte hyödynnetään materiaalina. Kemiallisessa kierrätyksessä jäte hajotetaan uusioraaka-aineksi jollain kemiallisella käsittelyllä. Lujitemuovijäte olisi periaatteessa kemiallisesti kierrätettävissä, mutta prosessi olisi todella kallista ja vaatisi suuria jättemääriä ja kalliita laiteinvestointeja. Mekaaninen kierrätys olisi kustannuksiltaan kohtuullinen, mutta usein kierrätteen sisältämää teknillistä potentiaalia ei saada kokonaan hyödynnettyä. Lisäksi polyesteri- ja vinyyliesterilujitemuovijätteet tarvitsisivat yleensä jälkikovettamista niiden styreenisisällön vuoksi. Jätteen polttaminen olisi varteenotettava menetelmä, joskin hyötysuhde olisi korkeintaan välttävä. Noin kaksi kolmasosaa lujitemuovijätteestä on palamatonta materiaalia. (Saarela ym. 2007, 425.)

7.3 Esimerkkejä lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdollisuuksista

HYÖTY-projektissa arvioitiin lujitemuovijätteen keskimääräiseksi kierrätyskustannukseksi 300 - 400 €/t. Hintaan vaikuttaa mm. jätteen alkuperäinen koko, kuljetusmatka, murskaustapa ja sovelluskohde.

7.3.1 Jätteen hyödyntäminen energiana

HYÖTY-projektissa todettiin lujitemuovin ruiskujätteen lasikuitupitoisuuden olevan yleensä noin 46 % ja leikkuujätteen 20 - 40 %. Leikkuujätteen styreenipitoisuudeksi

määriteltiin 3,95 %. Poltettaessa lujitemuovijätettä lämpöarvo jää pieneksi (14 - 20 MJ/kg) sen sisältämän palamattoman lasikuidun vuoksi. (Torssonen ym. 2011, 43 - 46.) Jätteen poltto ei siis ole kovinkaan hyvä ratkaisu. Jätehuoltoyritykset veloittavat energijakeen vastaanottomaksua noin 60 €/t ja Ekokemilta saatujen tietojen mukaan jäte tarvitsee jonkinlaisen esikäsittelyn ennen polttoa. Tästä tulee myös kustannuksia kuljetuskustannusten lisäksi. Jätekuon ympäristövastaavan mielestä lasikuitulujitettu lujitemuovijäte ei kelpaa ollenkaan polttoon.

7.3.2 Bitumistabilointi ja maarakennuskäyttö

Yksi HYÖTY-projektin tutkituista hyötykäyttömahdollisuuksista oli jätteen käyttö bitumistabiloinnissa ja maarakennuskäytössä. Bitumistabilointi tarkoittaa pilaantuneen maa-aineksen sekoitusta bitumiin, jolloin saadaan haitta-aineet sidottua niin, että niiden kulkeutuminen ympäristöön estyy. Bitumistabilointi soveltuu PAH-yhdisteillä, mineraaliöljyillä ja raskasmetalleilla pilaantuneiden maiden käsittelyyn. Lujitemuovijätettä voisi murskata ja sekoittaa pilaantuneeseen maahan. Yhdessä kokeessa lasikuitumurskaa sekoitettiin PAH-yhdisteillä pilaantuneeseen maahan, johon lisättiin bitumia 5 % ja lasikuitumurskaa suhteessa 1:10. Näytteet pidättivät riittävästi vettä käytettäessä kaatopaikan pintarakenteissa. Suomessa pilaantuneen maan bitumistabilointia tekee Ekokem Oy, joka käyttää massaa mm. tie- ja kaatopaikkarakentamisessa. Kuvassa 10 on nähtävissä lujitemuovikoekappale.



KUVA 10. Ekokem Oy:n bitumikokeissa tehty koekappale. (Torssonen ym. 2011, 90.)

Tehtyjen kokeiden perusteella materiaali ei olennaisesti heikentynyt lisäämällä siihen lasikuitulujitettua lujitemuovimurskettä. Näin ollen materiaali soveltuisi bitumistabiloitujen massojen hyötykäyttökohteisiin. (Torssonen ym. 2011, 88 - 96.) Kuvasta on kuitenkin nähtävissä, että lujitemuovijäte tulisi murskata hyvin pieneen kokoon, mistä aiheutuu paljon kustannuksia.

7.3.3 Keraamimatriisi

Yksi KIERRÄ –raportissa tutkituista hyötykäyttökohteista oli lujitemuovijätteen käyttö nestemäisessä Vubonite keraamimatriisissa. Vubonite koostuu kahdesta komponentista ja on keraamiseksi kovettuva materiaali. Sitä käytetään yleensä rakennusteollisuudessa ja kuvanveistossa. Vubonite on jauhemaisesta ja nestemäisestä komponenteista sekoitettava massa, jonka voi muotoilla esimerkiksi valamalla haluttuun muotoon. Siihen voi lisätä erilaisia täyteaineita ja lisäaineita parantamaan sen tiettyjä ominaisuuksia, kuten kulutuskestävyyttä. (Siik ym. 2006, 202 - 206.)

Testissä sekoitettiin veneiden valmistuksesta tulevaa prosessijätettä, joka murskattiin käyttäen 30 mm:n seulaa. Jätettä sekoitettiin Vubonite massaan noin 50 tilavuus-%. Massa valettiin muottiin ja annettiin kovettua, jonka jälkeen se leikattiin koesauvoiksi,

joille määriteltiin taivutus- ja iskulujuus. Verrattaessa puhtaaseen Vuboniteen lujitemuovijätettä sisältävillä sauvoilla oli suurempi taivutuslujuus, mutta pienempi taivutusmoduli. Puhtaat näytteet napsahtivat helpommin poikki kuin seostetut. Lisäksi havaittiin seostettujen koekappaleiden irtoavan muotista paremmin. (Siik ym. 2006, 202 - 206.)

Lujitemuovijätteellä seostettaessa Vubonite keraamimatriisia saadaan sen ominaisuuksia parannettua. Tämä olisi siis hyvä käyttökohde lujitemuovijätteelle, joskin kallos murskauksen vuoksi.

7.3.4 Lujitemuovijätteen poltto sementin valmistuksessa

Yksi hyvin potentiaalinen hyötykäyttömenetelmä olisi lujitemuovijätteen poltto sementin valmistuksessa. Sementinpolttoprosessissa pystyttäisiin hyödyntämään lujitemuovin energiapitoisuus sekä mineraalipitoinen osa eli lasikuidut, jotka molemmat ovat tarpeellisia sementin valmistuksessa. Varsinkin lasikuitulujitettu polyesteri soveltuisi hyvin prosessiin. Jätteen ei tarvitsisi olla täysin puhdasta, se voisi sisältää jonkin verran muitakin materiaaleja. Ranskassa on tehty koepolttoja tästä menetelmästä ja todettu, että lujitemuovijäte soveltuu hyvin sementin valmistukseen. (Siik ym. 2006, 28 - 29.)

Suomessa on yksi sementinvalmistaja, Finnsementti Oy, jolla on tuotantolaitokset Paraisilla ja Lappeenrannassa. Sementin valmistuksessa syntyy paljon CO₂ päästöjä. Lujitemuovijätteen poltolla sementtiuunissa pystyttäisiin korvaamaan huomattavia määriä fossiilisia polttoaineita. Lujitemuovijaosto on keskustellut Finnsementti Oy:n kanssa yhteistyön aloittamisesta. Finnsementti alkaisi yhteistyöhön, jos heille voitaisiin taata toimitettavaksi 1000 t lujitemuovijätettä vuosittain. Hankkeen onnistuminen edellyttäisi koko lujitemuovialan yhteistyötä ja sitoutumista. (Silén 2011.)

7.4 Lujitemuovijätteen hyötykäytön tulevaisuuden näkymät

Jätepuitedirektiivin 75/442/ETY mukaan EU:ssa vuoteen 2020 mennessä 50 % lujitemuovijätteestä on kierrätettävä, mikä on huima nousu nykyiseen 2 %:n verrattuna. Lainsäädäntökin tulee tiukkenemaan lähivuosina niin, ettei polttoon kelpaavaa lujitemuovijätettä saa enää viedä kaatopaikalle. Tästä johtuen kierrätystä on syytä ruveta edistämään ja nopeasti.

Tällä hetkellä paras vaihtoehto olisi alkaa yhteistyöhön Finnsementti Oy:n kanssa. Heidän suhtautuminen asiaan on positiivinen ja heillä olisi mielenkiintoa ottaa jätettä poltettavaksi. Yrityksilläkin on kiinnostusta hankkeeseen, mutta myös epäilyksiä. Jätteen käsittelykustannukset eivät saisi nousta liian korkeiksi, jotta mahdollisimman paljon yrityksiä saataisiin mukaan. (Silén 2011.)

Tutkimushankkeen suunnittelutyö on jo liikkeellä. Jos hanke onnistuisi, jäte ongelma saataisiin lähes kokonaan ratkaistua. Näin lujitemuoviteollisuus saisi vihreämmän imagon kun lujitemuovi lähtisi todella kierrätykseen. (Silén 2011.)

7.5 Lujitemuovin hyötykäyttömahdollisuudet Bella Veneiden tuotantolaitoksilla

Kuopion tehtailla syntyy lujitemuovijätettä noin 200 t/a. Väliköntiellä on kuusi jätepuuristinta, joista jäte toimitetaan Kuopion kaatopaikalle tarpeen mukaan. Tällä hetkellä jätteestä syntyy kustannuksia noin 70 €/t.

Jos jäte kuljetettaisiin Lappeenrantaan Finnsementti Oy:n tuotantolaitokselle, matkaa tulisi noin 270 km/suunta. Taulukosta 3 voidaan havainnoida kuljetuskustannukset murskaamattomalle puristetulle jätteelle, joka kuljetettaisiin 30 m³:n lavalla tai puristimessa 600 km. Laskelmissa on oletettu kuljetuskaluston palaavan tyhjänä. Kannattavinta olisi kuljettaa kolme lavaa tai puristinta kerralla. (Torssonen ym. 2011, 25.)

Taulukko 3 Lujitemuovijätteen kuljetuskustannuksia 30 m³:n lavalla tai puristimessa. (Torssonen ym. 2011, 25.)

Kuljetusmatka	Jäte	30 m ³	Kuljetuskustannus €/tn		
			1 lava	2 lavaa	3 lavaa
2 x 50 km = 100 km	Murskattu	Lava/kontti	10	6	4
	Murskaamaton	Puristin	17	10	7
	Murskaamaton	Lava/kontti	30	18	12
2 x 150 km = 300 km	Murskattu	Lava/kontti	30	18	12
	Murskaamaton	Puristin	50	30	20
	Murskaamaton	Lava/kontti	91	55	36
2 x 300 km = 600 km	Murskattu	Lava/kontti	61	36	24
	Murskaamaton	Puristin	100	60	40
	Murskaamaton	Lava/kontti	182	109	73

Jos jätteen murskaisi ennen kuljetusta, kustannukset olisivat huomattavasti halvemmat. Lujitemuovijätteelle soveltuva keskikokoinen murskain maksaisi kuitenkin kes-

kimäärin >40 000 € (Torssonen ym. 2011, 26). Jos jäte hyödynnetään sementin poltossa, se olisi joka tapauksessa murskattava alle 20 mm:n raekokoon. Jos vastaanottaja murskaisi itse jätteen kohtuullisin korvauksin niin, ettei kokonaiskustannukset nousisi liikaa, voisi jätteen hyödyntäminen sementinpoltossa olla mahdollinen ratkaisu.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tarkasteltiin styreenipäästöjen vähentämismahdollisuuksia sekä lujitemuovijätteen hyötykäyttöä Bella Veneet Oy:n Kuopion tehtailla. Työn tavoitteena oli selvittää kustannuksia mahdollisille päästöjen vähentämiskäytännöille sekä lujitemuovijätteen hyötykäyttömahdollisuuksille. Tämä tavoite toteutui. Kustannukset kuitenkin osoittautuivat hyvin korkeiksi, joten mitään toteuttamiskelpoista ratkaisua ei löytynyt.

8.1 Styreenipäästöjen vähentämismahdollisuudet

Yleisesti ottaen styreenipäästöjen vähentämismahdollisuudet ovat hyvin rajalliset ja vaatisivat kalliita investointeja. Päästöjen hallintalaitteita ajatellessa haasteena on styreenin haitallisuus jo pieninä pitoisuuksina, minkä vuoksi poistoilmamäärät ovat suuret ja liuotinpitoisuudet pienet. Siksi laiteinvestointi- ja käyttökustannukset olisivat erittäin suuret. Päästöjen hallintalaitteet ovat siis pois suljettuja ratkaisuja.

Suljettuun muottitekniikkaan siirtyminen päästöjen vähentämiseksi Bella-Veneet Oy:llä olisi periaatteessa mahdollista, mutta käytännössä mahdotonta. Esimerkiksi RTM-menetelmä ei juuri eroa veneiden tuotantoteknisistä vaatimuksista. Ongelmana on kuitenkin muotin muoto ja prosessin herkkyyks. Bellalla käytetyt muotit ovat hyvin monimuotoisia, joista varsinkin veneiden pohja- ja kansimuotit ovat isoja ja erikoisia. Muotit eivät siis ole sileitä ja tasaisia vaan niissä on paljon muotoja. Tästä johtuen muotin valmistus hankaloituisi ja investointikustannukset nousisivat kohtuuttoman suuriksi.

LSE ja LSC –hartsien käyttöönotto ei ole tässä vaiheessa mahdollista, sillä ominaisuuksiltaan kemikaalit soveltuvat vain käsinlaminointiin. Jos kemikaalien ominaisuudet kehittyvät tulevaisuudessa, niiden käyttöönottoa voidaan uudelleen harkita.

Koska tuotanto on tällä hetkellä hyvin vähäistä, ei mihinkään suuria investointeja vaativiin toimenpiteisiin ole syytä ryhtyä. Päästöjen määrää pystytään pitämään kurissa huolellisuudella; kemikaaliastioiden sulkemisella ja ovien ja ikkunoiden kiinni pitämisellä.

8.2 Lujitemuovijätteen hyötykäyttö

Viime vuosina Bella Veneet Oy:llä on pyritty kehittämään jätehuoltoa. Lajitteluun kiinnitetään huomiota sekä tuotannon ”jämäsatsuja” on pyritty minimoimaan. Lujitemuovijätteelle on keksitty monenlaisia toteuttamiskelpoisia hyötykäyttöratkaisuja, mutta kaikki ratkaisut ovat hyvin kalliita. Kiinnostavin ja potentiaalisin ratkaisu olisi jätteen hyötykäyttö sementin poltossa. Asiaa ajetaan koko ajan eteenpäin, mutta tällä hetkellä kustannusrakenne on vielä auki. Kun asiaa tarkastelee vastaanottajan, Finnsementin, kannalta, jäte olisi sementin raaka-ainetta ja jätteen tuottaja voisi jopa saada siitä rahaa. Tämä edellyttäisi kuitenkin sitä, että jäte tulisi olla varmasti tasalaatuista ja polttoon sopivan kokoista. Tästä aiheutuisi varmasti suurimmat kustannukset, sillä murskaus on kallista. TTY tulee pitämään lähitulevaisuudessa tilaisuuden, jossa he esittelevät suunnitelman poltto- ja keräysprosessin pilotoinnista sekä jatkotoimista rahoitusmalleineen.

LÄHTEET

Antson H., Hakala I., Karjalainen A., Koivula K., Gyllenberg P., Hirvikallio H., Lahti J., Soljamo K., Silvo K., Silander S., Tikkanen S. & Villikka J. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus.

Anttila, K. RE: Polttolaitos styreenipäästöjen hallintaan [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Sanna Hyvönen. Lähetetty 21.11.2011 [viitattu 25.11.2011].

Huttunen, L. RE: Lujitemuovijäte [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Sanna Hyvönen. Lähetetty 7.11.2011 [viitattu 10.11.2011].

Kiema, Marko 2011. ENW Management Oy. Kuopio 7.12.2011. Haastattelu.

Kong E., Bahner A. & Turner S. 2003. Assessment of Styrene Emission Controls for FRP/C and Boat Building Industries. United States: National Risk Management Research Laboratory.

Kärtevä J., Nuutinen J. & Tiitta P. 2004. Bella-Veneet Oy:n hiilivetypäästöjen leviämismallilaskelma.

Lappi, Erkki 2011. Ekin Muovi. Lujitemuovipäivät. Lahti 16.11.2011. Luento.

Lehti, J. RE: Lujitemuovijäte [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Sanna Hyvönen. Lähetetty 7.11.2011 [viitattu 10.11.2011].

Leinonen, Jukka 2011. KG Enterprise Oy. Lujitemuovipäivät. Lahti 16.11.2011. Luento.

Luukkonen, Asta 2011. Exel Composites Oy. Lujitemuovipäivät. Lahti 16.11.2011. Luento.

Pohjois-Savon Ympäristökeskus. Ympäristölupa 2005.

Saarela O., Airasmaa I., Kokko J., Skrifvars M., Komppa V. 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

Siik K., Kuronen H., Hakala S., Aalto T. & Vuorinen J. 2005. Lujitemuovin kierrätys ja uusiokäyttö KIERRÄ. TTY.

Silén, J. RE: Lujitemuovijätteen poltto sementtiuunissa [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Sanna Hyvönen. Lähetetty 24.1.2012 [viitattu 27.1.2012].

Silén, Jukka 2011. Projektipäällikkö, TTY. Lujitemuovipäivät. Lahti 16.11.2011. Luento.

The European UP/VE Resin Association. Unsaturated Polyester Resin and Vinylester Resin Safe Handling Guide 2011.

Torsson S., Parjanen J-P., Anderson M. & Rainosalu E. 2011. Teollisuuden komposiittijätteen hyötykäyttö ja kierrätys (HYÖTY)- loppuraportti. KETEK Oy.

Työterveyslaitos 2011. OVA-ohjeet [verkkójulkaisu]. Työterveyslaitos [viitattu 20.12.2011]. Saatavissa:

<http://www.ttl.fi/ova/styreeni.html>

LIITE 1 Styreenipäästöjen laskenta ja ilmastointikapasiteetin arviointi

Päästöt styreenipäästöinä ja orgaanista hiiltä kohden:

Styreenimolekyylin molekyylimassa on 104,2 kg/mol ja styreenissä on 8 hiiliatomiä/molekyyli (hiiliatomin molekyylimassa on 12,01 kg/mol), jolloin hiiliosuus on

$$\frac{(8 * 12,01)}{104,2} = 0,92.$$

Jos hartsin kulutus on 100 000 kg/a ja sen styreenin massaosuus seoksessa on 45%, josta ilmaan haihtuva osuus on 5%, styreenipäästö kg/a on

$$100000kg/a * 0,45 * 0,05 = 2250kg/a,$$

jolloin päästö orgaanisen hiilen kokonaismääränä Ckg/a on

$$2250kg/a * 0,92 = 2070Ckg/a.$$

Eri seokset haihtuvat ilmaan eri tavalla. Esimerkiksi gelcoatissa styreenin massaosuus seoksessa voi olla 30% ja ilmaan haihtuva osuus 20%, jolloin styreenipäästö laskettaisi näitä kertoimia käyttäen. Päästöt tulee siis laskea jokaista seosta kohden omilla kertoimillaan.

Tarvittava ilmastointikapasiteetti tulee määrittää niin, että työpaikan styreenipitoisuus alittaa 20 ppm eli 86 mg/m³. Esimerkiksi jos styreenipäästö on 2 kg/h, tarvittava ilmastointikapasiteetti on silloin

$$\frac{2000000mg/h}{86mg/m^3} = 23256m^3/h \approx 24000m^3/h.$$

LIITE 2 Polttolaituskustannuslaskelma

Ilmamäärälle (90 000 Nm³/h) laskelmaversio, jossa on kaksi reaktoria:

- ✓ puhallin teho 200 kW, josta käytössä 167 kW
- ✓ Tarvittava puhallinenergia $167\text{kW} \cdot 15,5\text{h/d} \cdot 225\text{ d/a} = \mathbf{582\text{MWh/a}}$
- ✓ Autoterminen piste on 0,67 g/Nm³ joten tarvittava lämmitysteho ajossa päästön alarajalla (0,67-0,1) g/Nm³ = 0,57 g/Nm³ * 41 kJ/g * 90 000 Nm³/h = 678 kW →
- ✓ Käyttötunneilla 15,5 h/d ja käyttöpäivillä 225 d/a energian tarve lämmitykseen on $15,5\text{h/d} \cdot 225\text{ d/a} \cdot 678\text{ kW} = \mathbf{2364\text{ MWh/a}}$

Tämän kokoluokan laitoksen hinta on karkeasti luokkaa **950.000€**

Pienemmälle (50 000 Nm³/h) ilmamäärälle laskelma laitoksesta, jossa:

- ✓ puhallin teho 110 kW, josta käytössä 93 kW
- ✓ Tarvittava puhallinenergia $93\text{kW} \cdot 15,5\text{h/d} \cdot 225\text{ d/a} = \mathbf{324\text{MWh/a}}$
- ✓ Autoterminen piste on 0,71 g/Nm³ joten tarvittava lämmitysteho ajossa päästön alarajalla (0,71-0,1) g/Nm³ = 0,61 g/Nm³ * 41 kJ/g * 50 000 Nm³/h = 347 kW →
- ✓ Käyttötunneilla 15,5 h/d ja käyttöpäivillä 225 d/a energian tarve lämmitykseen on $15,5\text{h/d} \cdot 225\text{ d/a} \cdot 347\text{ kW} = \mathbf{1210\text{ MWh/a}}$

Tämän kokoluokan laitoksen hinta on karkeasti luokkaa **520.000€**

Kuten yllä olevista laskelmista näkee, johtuen alhaisesta pitoisuudesta käyttökustannukset nousevat suuremmalla laitteella vuodessa 0,1€/kWh laskien lähes 300.000€ tasolle ja pienemmälläkin 150.000€:n.

LIITE 3 Esimerkki kyselylomakkeesta polttolaitokselle

1. Yleistä

Yritys		Päiväys	
Yhteyshenkilö		Osasto	
Osoite			
Puhelinnumero		Fax	
Sähköposti		www-sivu	

2. Tuotanto

Prosessikuvaus						
Päästölähde						
Käyttöaika		h/vrk		vrk/vko		vko/vuosi
Onko tuotannossa jaksoja jolloin ei ole päästöjä poistoilmassa?						Kyllä/ei

3. Päästöilma

		Minimi	Normaali	Maksimi
Kaasuvirta	Nm ³ /h			
VOC-pitoisuus	g/Nm ³			
VOC-päästötavoite	mgC/Nm ³			
Kaasun tulolämpötila	°C			
Kaasun kosteus	%			
Pölypitoisuus	mg/Nm ³			
VOC-päästön tyyppi	Kemiallinen kaava	Pitoisuus mg/Nm ³	Tai % kokonais-VOCista	
Haitallisten komponenttien yhdistelmä		KYLLÄ/EI	Koostumus	Pitoisuus
Pii	Si			
Halogenoidut VOCit	F, Cl, Br, I			
Raskasmetallit	Hg, Cd, As, Pb, Cr, Zn			
Fosfori	P			
Rikki	S			

4. Käytettävissä olevat energianlähteet

Jännite		V		Hz.		€/kWh
Paineilma		bar				

Lämmön talteenoton tarve/mahdollisuus: KYLLÄ EI

Toivottu järjestelmän asennusaika Date

Lisätietoja

--