

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN  
VÄHENTÄMISMAHDOLISUUDET  
KONEPAJATEOLLISUUDESSA**

**Possibilities to reduce greenhouse gas emissions in engineering  
industry**

Työn tarkastaja: Professori, KTT, DI Lassi Linnanen

Työn ohjaaja: Tutkijakoulutettava, DI Juha Kortelainen

Lappeenrannassa 16.1.2010

Elina Salmela

# SISÄLLYSLUETTELO

<a href="#">1 JOHDANTO.....</a>	<a href="#">2</a>
<a href="#">2 KASVIHUONEKAASUT JA ILMASTON LÄMPENEMINEN.....</a>	<a href="#">3</a>
<a href="#">3 KONEPAJATEOLLISUUS.....</a>	<a href="#">5</a>
<a href="#">3.1 Metallien työstö.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">3.2 Lämpökäsittely.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">3.3 Liittämismenetelmät.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">3.4 Pintakäsittely.....</a>	<a href="#">10</a>
<a href="#">3.4.1 Maalaus.....</a>	<a href="#">10</a>
<a href="#">3.4.2 Terminen ruiskutus.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">3.4.3 Happopeittaus.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">3.5 Pintakäsittelyä edeltävät valmistelut: kappaleiden pesu ja puhdistus.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">3.6 Muut toiminnot.....</a>	<a href="#">13</a>
<a href="#">3.7 Tehtävien hankintojen kasvihuonekaasupäästöjen huomioiminen.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">3.7.1 Käytettävä materiaali.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">3.7.2 Käytettävät kemikaalit.....</a>	<a href="#">15</a>
<a href="#">3.8 Esimerkki kasvihuonekaasupäästöistä tuotantoprosessissa.....</a>	<a href="#">16</a>
.....	<a href="#">17</a>
<a href="#">4 ENERGIAN KULUTUS JA POTENTIAALISET SÄÄSTÖKOHTEET.....</a>	<a href="#">18</a>
<a href="#">4.1 Energiansäästömahdollisuudet työprosesseissa.....</a>	<a href="#">19</a>
<a href="#">4.1.1 Lämpökäsittelyuunien energiatehokkuus.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">4.1.2 Metallien työstö.....</a>	<a href="#">22</a>
<a href="#">4.1.3 Pintakäsittelyaltaiden energiatehokkuuden parantaminen.....</a>	<a href="#">22</a>
<a href="#">4.2 Kiinteistön energiasäästökohteet.....</a>	<a href="#">23</a>
<a href="#">4.2.1 Sähkömoottoreiden energiankäytön tehostaminen.....</a>	<a href="#">23</a>
<a href="#">4.2.2 Paineilmajärjestelmän optimointi ja lämmön talteenotto.....</a>	<a href="#">24</a>

<u>4.2.3 Lämmityksen ja ilmanvaihtojärjestelmän optimoiminen.....</u>	<u>25</u>
<u>4.2.4 Veden kulutuksen pienentäminen.....</u>	<u>26</u>
<u>4.2.5 Valaistuksen optimointi.....</u>	<u>26</u>
<u>5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....</u>	<u>28</u>
<u>6 YHTEENVETO .....</u>	<u>30</u>
<u>LÄHTEET.....</u>	<u>32</u>

## 1 JOHDANTO

Kasvihuoneilmiö on edellytys nykyisen kaltaiselle elämälle maapallolla. Kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on kuitenkin kasvanut ihmiskunnan toiminnan seurauksena. Tämä aiheuttaa ilmaston lämpenemisen, mikä on hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC: n mukaan tieteelliseen näyttöön perustuva ja kiistaton tosiasia. Valtaosan, jopa 80 %, kasvihuonekaasupäästöistä aiheuttaa energiantuotanto. Koska teollisuus kuluttaa n. 51 % tuotetusta energiasta, kasvavat sen paineet säästää energiaa ja siten myös vähentää syntyvien kasvihuonekaasujen määrää.

Konepajateollisuus pitää sisällään useita erilaisia prosesseja. Sitä ei pidetä ympäristön kannalta pahimpana kuormittajana etenkin sen energiankulutuksen ollessa useisiin muihin teollisuuden aloihin verrattuna alhainen. Monet konepajateollisuuden työprosesseista sisältävät kuitenkin energiaintensiivisiä toimintoja kuten metallien työstöä sekä lämpö- ja pintakäsittelyä. Päästökaupan aktivoituminen lisää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen merkitystä myös yrityksen kilpailukyvyn kannalta. Myös energiatehokkuuden parantamisella on pitkällä aikavälillä miltei poikkeuksetta positiivisia taloudellisia vaikutuksia.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää potentiaalisimmat kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet konepajateollisuudessa. Työssä on perehdytty konepajateollisuuden perusprosesseihin ja niiden yleisimpiin ympäristövaikutuksiin. Työssä on tarkasteltu suoria, työprosesseissa syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä ja välillisiä, energian tuotannosta aiheutuvia päästöjä. Työssä on myös tutkittu energiansäästökohteita energiatehokkuuden parantamiseksi ja siten myös kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. Tässä työssä on keskitytty perinteiseen konepajateollisuuteen jättäen valimoiden toiminta työn ulkopuolelle.

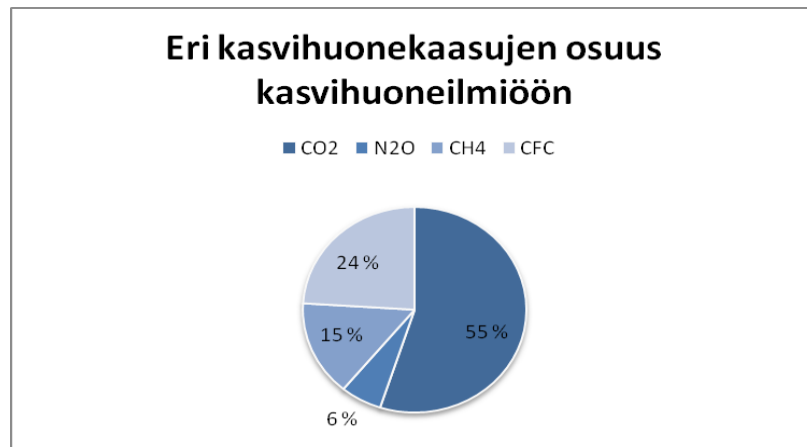
## 2 KASVIHUONEKAASUT JA ILMASTON LÄMPENEMINEN

Kasvihuoneilmiö on maapallon elämälle elintärkeä, sillä ilman sen vaikutusta nykyisen keskilämpötilamme (+ 15 °C) sijaan planeetan keskilämpötila olisi vain – 18 °C. Kasvihuonekaasut vaikuttavat planeettaamme kuin kasvihuoneen lasiseinät: ne päästävät lävitseen lyhytaaltoista auringonvaloa, mutta pidättävät sisällä tai maanpinnasta säteilevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Kasvihuoneilmiö on voimistunut teollistuneena aikakautena ihmiskunnan toimien takia. Kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on lisääntynyt ja joukossa on nyt myös ihmisen toiminnan luomia yhdisteitä. Lisäksi ihminen muuttaa luonnon omia nieluja, kuten soita ja metsiä, jotka sitovat kaasuja. Kasvihuonekaasut aiheuttavat ilmaston lämpenemisen. Ilmaston muutoksella voi olla arvaamattomat vaikutukset ja joka tapauksessa se tulee muuttamaan ihmisen elinympäristöä merkittävästi. (Axelsson 1998, 1-3; Suomen ympäristökeskus 2007)

Kasvihuonekaasujen molekyyli rakenne imee itseensä pitkäaaltoista lämpösäteilyä, mutta päästää lävitseen lyhytaaltoista auringonvaloa. Tällainen ominaisuus on ilmassa luonnostaan esiintyvistä kaasuista vesihöyryllä (H<sub>2</sub>O), hiilidioksidilla (CO<sub>2</sub>), metaanilla (CH<sub>4</sub>), dityppioksidilla (N<sub>2</sub>O) ja otsonilla (O<sub>3</sub>). Näistä vesihöyry on kasvihuoneilmiön voimistumisen kannalta tärkein, mutta koska ihmistoiminta ei suoranaisesti vaikuta sen määrään ilmakehässä, sitä ei tässä työssä tarkastella. Jotkut ihmisen kehittämät keinotekoiset kemikaalit, kuten halogenoidut hiilivedyt, ovat kasvihuonekaasuja. Lisäksi eräät kaasut, kuten häkä (CO), typen oksidit (NO<sub>x</sub>) ja VOC-yhdisteet, vaikuttavat kasvihuoneilmiöön epäsuorasti, vaikka ne eivät itsessään olekaan kasvihuonekaasuja. Kuvassa 1 on esitetty tärkeimpien kasvihuonekaasujen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen. (Axelsson 1998, 23-24; Suomen ympäristökeskus 2007)

Hiilidioksidin lämmityspotentiaali on pieni, mutta se on silti yleisyytensä takia merkittävin kasvihuonekaasu. Sitä syntyy erityisesti palamisprosesseissa. Sillä on myös erityisasema kasvihuonekaasujen laskennassa. Koska eri kaasujen tehokkuudessa pidättää lämpösäteilyä on suuria eroja ja niiden elinikä vaihtelee, lasketaan kunkin aineen lämmitysvaikutus tietynä aikana suhteessa hiilidioksidiin. Tässä työssä on tarkasteltu

pääasiassa hiilidioksidia sen yleisyyden takia. (Axelsson 1998, 23; Suomen ympäristökeskus 2007)



**Kuva 1.** Kasvihuonekaasujen vaikutus kasvihuoneilmiöön prosentiosuuksina (mukailten Axelsson 1998)

### 3 KONEPAJATEOLLISUUS

Konepajateollisuus on osa metalliteollisuutta. Siihen luetaan kuuluviksi mekaaninen konepajateollisuus sekä sähkötekniinen ja instrumenttiteollisuus. Sähkötekniinen ja instrumenttiteollisuus käsittää esimerkiksi kodinkoneiden, kulutuselektroniikan ja tietokoneiteollisuuden osia valmistavaa teollisuutta. Mekaaninen konepajateollisuus kattaa esimerkiksi metallituotteiden, koneiden, kulkuneuvojen sekä niiden osien suunnitteluun, valmistukseen ja korjaukseen liittyvät toimialat. Konepajateollisuuden tuotevalikoimaan kuuluvat niin naulat ja ruuvit, ruokailuvälineet, pumput, paperikoneet kuin autot ja lentokoneetkin. Tyypillisesti alan yritykset kuuluvat pienen ja keskisuuren teollisuuden ryhmään ja yli 50 % toimipaikoista on alle 20 työntekijän yrityksiä. (Tonteri, Mroueh, Nykänen, Liimatainen & Mäkelä. 1993, 10 - 11; Forsell 2000, 30)

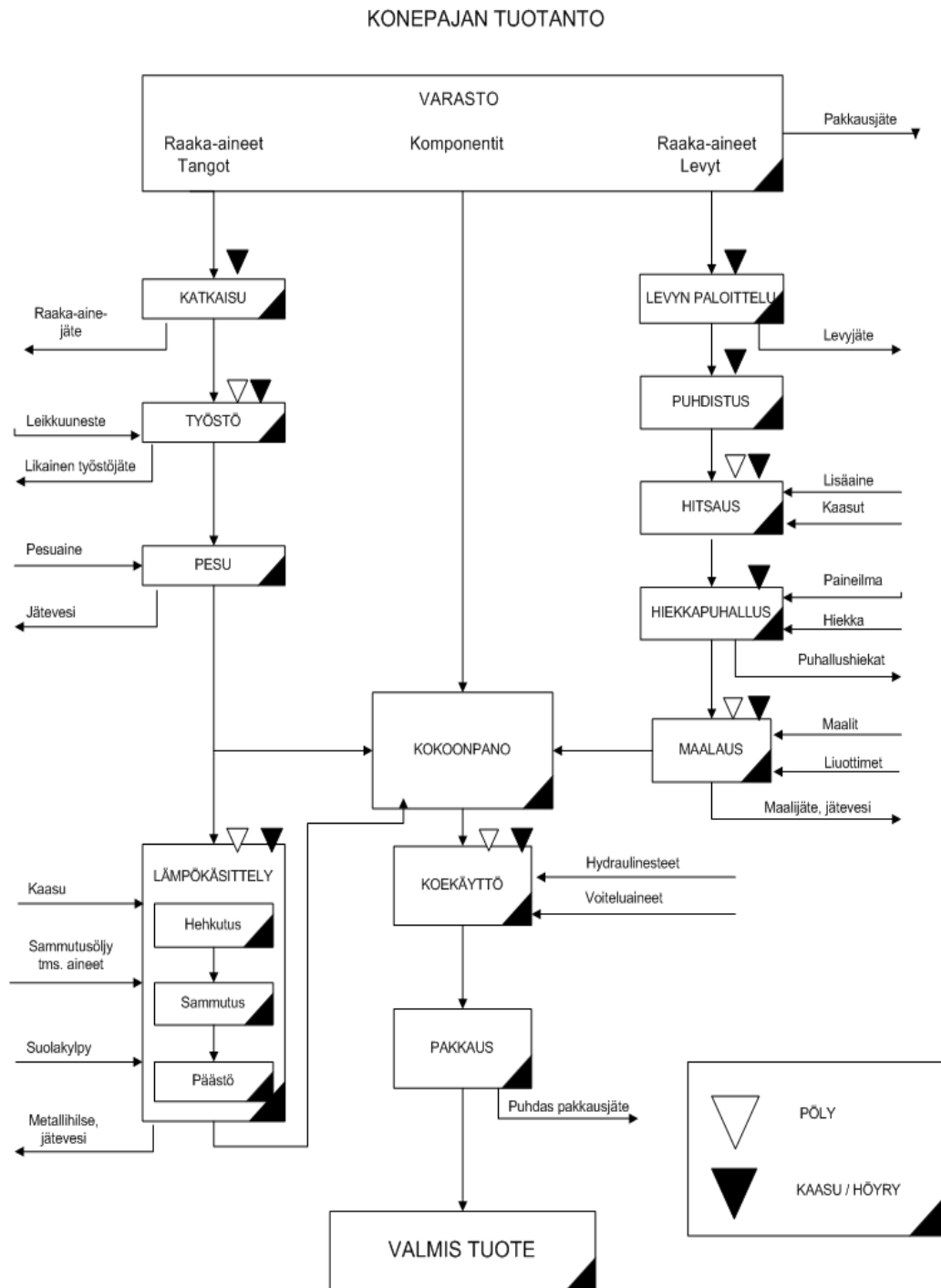
Yhteistä erilaisille tuotteille ja prosesseille on käytetty materiaali. Rautametallit ovat ylivoimaisesti konepajateollisuuden tärkeimpiä materiaaleja. Esimerkiksi hiiliteräkset täyttävät hyvin monenlaisen käytön materiaalivaatimukset, sillä niiden ominaisuudet vaihtelevat laajasti hiilipitoisuuden mukaan. Ne ovat myös helposti muokattavissa erilaisilla käsittelymenetelmillä ja seostamalla. Puhdasta alumiinia käytetään koneenrakennuksessa harvoin, mutta erilaiset alumiiniseokset ovat keveytensä ja monipuolisuutensa ansiosta erinomaisia materiaaleja. Kuparia käytetään korvaamaan korroosioherkkää terästä esimerkiksi putkien valmistuksessa. Lisäksi sitä käytetään yhdessä sinkin kanssa messingin raaka-aineena. Messinkiä käytetään LVI-alan tuotteissa sekä rakennusteollisuudessa. Sinkkiä, kuten myös nikkeliä, kromia, tinaa, kadmiumia sekä elektroniikkateollisuudessa myös kultaa ja hopeaa, käytetään pinnoitteina. (Tonteri et al. 1993, 10)

Konepajateollisuus ei ole ympäristövaikutuksiltaan ongelmallinen teollisuudenala eikä edes erityisen energiantensiivinen muutamia työvaiheita lukuun ottamatta. Tyypillisesti valtaosa konepajan aiheuttamista ympäristöhaitoista keskittyy verrattain pienelle alueelle tehtaan ympärille. Tällöin sidosryhmät kiinnittävät sen ympäristöasioihin korostetun voimakkaasti huomiota, vaikka tuotettujen saasteiden ja jätteiden absoluuttinen määrä

yhdessä konepajassa ei olekaan suuri. Myönteistä ympäristökuvaa rakennettaessa konepajoille omaa valmistusprosessia tärkeämpi kehitysalue saattaa olla valmistettavien laitteiden ja koneiden energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden nostaminen, koska nämä ovat muun teollisuuden ja kuluttajien käytössä. Tällainen ympäristöosaaminen konkretisoituu myös helpommin taloudelliseksi hyödyksi esimerkiksi energiatehokkuuden noustessa valmistettavien tuotteiden myyntivaltiksi. (Huhta, Sjöblom & Kauppinen. 1999, 7)

Konepajateollisuuden tuotteiden valmistusmenetelmät vaihtelevat suuresti eri konepajojen välillä. Perusmenetelmiä ovat valaminen, työstö, liittäminen sekä pintakäsittely, kuten pinnoitus ja sitä edeltävät esikäsitteilyt, lähinnä kappaleiden puhdistus. Lähes kaikilla menetelmillä on useita vaihtoehtoisia tapoja, joiden käyttö määräytyy mm. raaka-aineiden ja tuotteiden ominaisuuksien perusteella. Tuotanto alkaa yleensä kappaleiden valamisella, joka kuitenkin ostetaan yhtä useammin yrityksen ulkopuolisilta tai omana tuotantoyksikkönään toimivilta valimoilta. Vaihtoehtoisesti tuotanto aloitetaan katkaisemalla tai leikkaamalla raaka-ainetta, joka on esimerkiksi tankoina tai levyinä. Seuraavaksi kappaletta työstetään, osat liitetään toisiinsa ja tuote tai sen osat pinnoitetaan esi- ja jälkikäsitteilyineen. Loppukokoonpano tehdään usein vasta pinnoituksen jälkeen. Kuvassa 1 on esitetty konepajateollisuuden pelkistetty tuotantokaavio. (Tonteri et al. 1993, 11 -12)





**Kuva 2.** Konepajateollisuuden tuotantokaavio. (mukaillen Tonteri et al. 1993, 14)

### 3.1 Metallien työstö

Metallien työstöllä tarkoitetaan ainetta ja sen ominaisuuksia muokkaavia menetelmiä. Näitä ovat esimerkiksi leikkaaminen ja lastuaminen. Lastuaminen, jolla tarkoitetaan mm. sorvaamista, jyrsimistä, poraamista, höyläämistä ja hiomista, on työstömenetelmistä tärkein. Leikkaamalla pyritään muokkaamaan materiaalia pienemmiksi osiksi jatkokäsittelyä varten. Yleisimmin konepajoissa käytetty leikkausmenetelmä on polttoleikkaus, jossa polttokaasuna käytetään yleensä propaania. Plasmaleikkausmenetelmässä kaasuina käytetään argonia, vetyä, typpeä, happea ja paineilmaa. Laserleikkaus sopii hyvin pienten ja monimutkaisten kappaleiden leikkaamiseen. (Tonteri et al. 1993, 18 - 19)

Konepajateollisuuden suurimpana ekologisena haasteena pidetään metallien työstössä käytettäviä lastuamisnesteitä niiden aiheuttaman ympäristöhaitan sekä yleisyyden vuoksi. Lastuamisnesteet voitelevat terän ja työstökappaleen kosketusta sekä jäähdyttävät terää ja työkalua. Monet lastuamisnesteet on suunniteltu olettamalla, että lastuamisnesteitä käytetään ja sitä usein käytetäänkin varmuuden vuoksi, vaikka niitä ei edes tarvittaisi. Työstönesteiden käytön minimointi paitsi vähentäisi ympäristöhaittoja, myös toisi merkittäviä taloudellisia säästöjä sekä parantaisi työhygieenisiä olosuhteita. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen. 1997, 76 - 78)

Nesteiden perusainesosana on joko mineraaliöljy, synteettinen öljy tai vesi-öljyseos emulsiona tai liuoksena. Lisäksi niissä on käyttötarkoituksen mukaisia lisäaineita, joiden yhteispitoisuus työstönesteessä voi nousta jopa 30 %:in asti. Työstönesteiden käyttöolot, kuten korkea lämpötila tai katalyyttisesti vaikuttavien metallien läsnäolo, edistävät reaktiotuotteiden syntyä. Nesteistä syntyy usein höyrymäisiä päästöjä ilmaan, kun helposti haihtuvat ainesosat höyrystyvät kuumilla metallipinnoilla. Nesteiden käytöstä ei kuitenkaan synny suoranaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Lastuamisnesteiden käyttöänsä pidentäminen sekä korvaaminen ns. sumuvoitelulla tai kuivalastuamisella, jossa nesteitä ei käytetä ollenkaan, ovat ympäristön kannalta mielekkäitä ratkaisuja. (Tonteri et al. 1993, 19)

### **3.2 Lämpökäsittely**

Lämpökäsittelyllä pyritään muokkaamaan terästä niin, että se saa käyttötarkoitustaan parhaiten vastaavat ominaisuudet. Lämpökäsittely on yhdistelmä eri kuumennus-, pito- ja jäähdytysprosesseja, joilla muutetaan metallin sisäistä rakennetta. Erilaisia lämpökäsittelyprosesseja ovat esimerkiksi normalisointi, pehmeäksi hehkutus, perlitointi ja nuorutus. (Niskanen 2002, 16 - 18)

Lämpökäsittely, kuten myös esimerkiksi valaminen, tilataan usein niihin erikoistuneilta alihankkijoilta, mutta huomattavien ympäristövaikutusten sekä suuren energiankulutuksen takia niitä on kuitenkin tarkasteltava konepajateollisuuden kokonaispäästömäärää käsiteltäessä. Lämpökäsittelyuunit ovat useimmiten sähkölämmitteisiä. Sähkölämmitteisen uunin etuja kaasulämmitteisiin uuneihin verrattuna ovat erityisesti helppo säädeltävyys sekä mahdollisuus käynnistää uuni energiategokkaasti, nopeasti ja kontrolloidusti, sillä lämpökäsittelyn tarve on usein pieni ja satunnainen. Lämpökäsittelyuuneja voidaan kuumentaa myös polttoaineilla, joista suosituimpia ovat maakaasu ja nestekaasu. Muihin polttoaineisiin verrattuna kaasupolton etuja ovat puhtaus, helppo valvonta sekä hyvä palamishyötysuhde. (Huhta et al. 1999, 47 -48)

### **3.3 Liittämismenetelmät**

Liittämisellä tarkoitetaan työstettyjen, käsiteltyjen osien kiinnittämistä toisiinsa. Käytettäviä menetelmiä ovat hitsaus, juottaminen, liimaus, niittaus ja ruuviliitos. Ruuviliitos ja niittaus ovat mekaanisia liittämistapoja ja tarkoittavat kappaleiden kiinnittämistä toiseensa pienellä erillisellä osalla, yleensä siis niitillä, pultilla tai ruuvilla. Mekaaniset liitokset ovat yleistymässä etenkin ohutlevysovelluksissa. (Tonteri et al. 1993, 19)

Hitsaus on liittämismenetelmistä ehdottomasti eniten käytetty ja sillä voidaan liittämisen lisäksi myös käsitellä kappaleen pintaa. Hitsauksessa käytetään hyväksi lämpöä ja/tai puristusta niin, että hitsattavat osat liittyvät toisiinsa jähmettyvän hitsisulan avulla.

Prosessissa voidaan lisäksi käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin hitsattavien osien. Lisäaine on useimmiten puikon tai langan muodossa. Tavallisin hitsausprosessien lämmönlähde on valokaari, jolla tarkoitetaan kaasussa tapahtuvaa sähköpurkausta. Hitsaustapahtuma on suojattava ympäröivän ilman typeltä ja hapelta, jotka haurastavat hitsin ominaisuuksia. Tämä tapahtuu esimerkiksi suojakaasun tai kuonan avulla. (Esab 2009; Tonteri et al. 1993, 19)

Perinteisten liitosmenetelmien ja hitsaamisen rinnalla liimaamisen ja juottamisen osuus on kasvamassa uudempia materiaaleja, esimerkiksi keraamia, käytettäessä. Juottaessa vain kappaleiden välinen lisäaine sulaa ja liittää kappaleet yhteen. Liimaus on hiljalleen yleistynyt menetelmä ja sitä käytetään etenkin keveiden kappaleiden liittämiseen. Metallien rakenneliimaukseen käytetään lähinnä kemiallisen reaktion tuloksena kovettuvia liimoja. Yleisimpiä ovat epoksi- ja polyuretaanipohjaiset liimat. Liimojen käyttöön liittyy merkittäviä työhygieenisiiä ongelmia. (Tonteri et al. 1993, 54 – 55; Lukkari & Pekkari 2004)

### **3.4 Pintakäsittely**

Pintakäsittelyllä pyritään muuttamaan kappaleen pinnan ominaisuuksia tai suojata varsinaista runkomateriaalia. Pintakäsittelynä kappale voidaan päällystää toisella materiaalilla. Näitä pinnoitusmenetelmiä ovat esimerkiksi maalaus ja terminen ruiskutus. Myös sisuskappaleen omaa pintaa voidaan muokata esimerkiksi hionnalla tai happokäsittelyllä. Seuraavassa on esitelty muutama yleisin pintakäsittelymenetelmä.

#### **3.4.1 Maalaus**

Maalaus on osa konepajateollisuuden tuotteiden viimeistelyä ja sitä käytetään yleisesti kaikilla päätuotealueilla. Sen tarkoituksena on kohteen pinnoitus suojaus- ja ulkonäkösyistä. Teknisten vaatimusten ja helppokäyttöisyyden vuoksi yleisimmin teollisuudessa käytetään liuotepohjaisia maaleja, joskin vesiohenteisten maalien käyttö on lisääntymässä. Liuotemaalit voidaan korvata myös jauhemaaleilla, jotka eivät sisällä liuotteita ja ovat usein myös kierrätettäviä. Maalien ohenteena on perinteisesti käytetty

haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, koska näin maalin säilyvyys- ja levitysominaisuudet sekä kuivuminen on saatu optimaalisiksi. Yleisin maalausmenetelmä on ruiskumaalaus, jonka ongelmana ovat suuret liuotinpäästöt, jotka kasvavat ohi ruiskutetun maalin osuuden kasvaessa. Kastomaalauksella, jossa kappale upotetaan maaliin, sopii lähinnä suurtuotantoon jossa maalauskertoja on vähän. Muita menetelmiä ovat telaus, jota käytetään etenkin suurten pintojen maalaukseen, sekä valssimaalaus eli koneellinen telaus. Sivellinmaalausta käytetään lähinnä huolto- ja paikkausmaalauksissa sekä pienissä kohteissa. (Tonteri et al. 1993, 22 – 23, 67; Suomen ympäristö 2008; KAMAT- tietokortti 2006a)

Perinteisessä liuotinhenteisiä maaleja käyttävässä maalauksessa suurin osa käytetyistä liuottimista haihtuu aiheuttaen VOC -päästöjä ilmaan, ellei niitä polteta tai oteta talteen. Tähän on kuitenkin vain harvoin resursseja pienissä laitoksissa. Merkittävin osa haihtumisesta tapahtuu itse pinnoitusprosessin ja sitä seuraavan kuivauksen aikana, mutta pieni osa haihtuu ilmaan myös prosessin muissa osissa. Höyrystynyt liuotin on suuri terveysriski työntekijöille, mutta varsinaista ympäristöhaittaa niistä ei synny, etenkin määrien ollessa pieniä. (Tonteri et al. 1993, 23; Suomen ympäristö 2008)

### **3.4.2 Terminen ruiskutus**

Terminen ruiskutus on pinnoitusprosessi jossa pinnoitukseen käytettävä lisäaine kuumennetaan sulaan tilaan ja sumutetaan käsiteltävälle pinnalle. Termistä ruiskutusta käytetään mm. korroosionestoon, lämpösuojaksi, lämmönjohtokyvyn ja kulumiskestävyyden parantamiseen sekä esineiden koristeluun. Käytettävä pinnoitusaine, joka on usein esimerkiksi alumiini-, kromi- tai nikkelseosta, voi olla puikon, jauheen tai langan muodossa. Prosessista päätyy ilmaan paljon pölyä ja savua, joka voi sisältää haitallisia raskasmetalleja. Prosessista ei kuitenkaan synny suoria kasvihuonekaasupäästöjä. (KAMAT- tietokortti 2006b)

### 3.4.3 Happopeittaus

Happopeittaamalla poistetaan metallien pinnalle syntyvä oksidikerros. Peittaukseen käytetään happoja, yleisimmin rikki-, suola- tai fosforihappoa. Sekahappomenetelmässä, jota käytetään erikois- tai hiiliteräksien peittämiseen, voidaan käyttää edellisten lisäksi myös typpi- ja fluorivetyhappoja. Muita happokäsittelymenetelmiä ovat anodisointi ja kiillotus. Happokäsittelymenetelmistä syntyy happopäästöjä etenkin silloin, kun liuosta joudutaan lämmittämään, mutta ne eivät ole kasvihuonekaasuja. Happokäsittelyt ovat yleisiä metalliteollisuudessa, mutta niiden osuus muussa konepajateollisuudessa on pieni. (Tonteri et al. 1993, 33)

### 3.5 Pintakäsittelyä edeltävät valmistelut: kappaleiden pesu ja puhdistus

Käsiteltävien kappaleiden pinnat on puhdistettava ennen pintakäsittelyä. Metallikappaleita joudutaan suojaamaan ja öljymään eri valmistusvaiheissa sekä esimerkiksi varastointia ja kuljetusta varten, joten puhdistettavana voi olla öljyä, likaa, ruostetta, maalia jne. Pinnat voidaan puhdistaa joko mekaanisesti tai kemiallisesti. (Huhta et al. 1999, 39 - 40; Tonteri et al. 1993, 20)

Mekaanisia puhdistuskeinoja ovat esimerkiksi suihkupuhdistus, sinkopuhdistus sekä kuulapommitus. Suihkupuhdistus on tehokas ruosteen- ja valssihilseen poistomenetelmä, jossa voimakas raesuihku irrottaa kappaleen pinnassa olevat epäpuhtaudet. Raesuihkun rakeet ovat yleensä kvartsihiekkää, valurauta- tai teräsrakeita, joita vauhditetaan paineilmalla, painevedellä tai keskipakoisvoimalla. Sinkopuhdistuksessa rakeet vauhditetaan siipi- eli sinkopyörien avulla, joiden synnyttämien suihkujen läpi puhdistettava kappale kulkee. Kuulapommituksella pyritään parantamaan materiaalien lujuutta. Se muistuttaa hiekkapuhallusta, mutta siinä käytettävien rakeiden tulee olla pyöreämpiä ja samankokoisia ja materiaalin tasalaatuisempaa. (Tonteri et al. 1993, 21)

Kemiallisesti kappaleet voidaan puhdistaa useita erilaisia aineita ja menetelmiä käyttäen. Yleensä epäpuhtauksien poistoon käytetään vettä, vesihöyryä tai liuottimia erilaisten apuaineiden kanssa. Liuoterastianpoistossa syntyy aina haihtumapäästöjä ilmaan.

Yksinkertaisin höyryrasvanpoistomenetelmä on kuumaa liuotinta sisältävä avoin allas, jonne kappale upotetaan. Liuottimien haihtumista voidaan osittain rajoittaa altaan yläosaan sijoitetulla jäähdytyskierukalla. Suljetuissa laitteissa haihtuminen on vähäisempää, mutta ne ovat avoimia altaita monimutkaisempia ja huomattavasti kalliimpia. Muita pesumenetelmiä ovat esimerkiksi ruiskutus, pyyhintä ja ultraäänipesu. (KAMAT - tietokortti 2005; Tonteri et al. 1993, 59)

Höyryrasvanpoistossa puhdistusaineina käytetään kloorattuja hiilivetyjä, jotka ovat palamattomia ja ne poistavat tehokkaasti vaikeitakin orgaanisia epäpuhtauksia. Klooratut hiilivedyt ovat terveydelle vaarallisia ja esimerkiksi aiemmin paljon käytetyn 1,1,1-trikloorietaanin käyttö on lopetettu kokonaan. Ympäristöön päästyään hiilivedyt hajoavat vasta auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta stratosfäärissä, jolloin vapautunut kloori estää otsonin muodostumista ja nopeuttaa sen hajoamista. Vaihtoehtoisina liuottimina voidaan käyttää vesipohjaisia puhdistusaineita, hiilivetyliuottimia sekä emulsiopesuaineita, mutta kloorattuja hiilivetyjä ei ole voitu korvata täysin. Ympäristöystävällisin menetelmä olisi pelkkä kuuma vesi kylpynä, höyrynä tai suihkuna. Menetelmä ei kuitenkaan ole kovinkaan yleinen, sillä se toimii vain tiettyjen epäpuhtauksien poistoon. Vesipohjaiset liukset ovat kuitenkin yleistymässä. (Huhta et al. 1999, 39 – 40; KAMAT - tietokortti 2005; Tonteri et al. 1993, 59)

### **3.6 Muut toiminnot**

Konepajojen toimintaan kuuluvat myös muita, pienempiä tehtäviä, joiden rooli on tukea valmistustoimintaa ja – prosesseja. Tällaisia ovat esimerkiksi pakkaus sekä kunnossapito. Konepajojen pakkaustoiminnoiksi luetaan kuuluviksi sekä prosessien välillä tapahtuva pakkaaminen sekä lopullisen tuotteen pakkaus. Tärkeimpiä pakkausmateriaaleja ovat puu, pahvi, kartonki, paperi ja muovi ja ne muodostavat suuren osan konepajojen jätemääristä. (Huhta et al. 42 – 47)

Hyvä kunnossapito on olennainen osa tehokasta energiatehokkuutta. Laitteiden ja tilojen säännöllinen tarkastus ja löytyneiden puutteiden tai poikkeamien korjaaminen estävät pienten hukkaenergiavirtojen kasvamisen. (Huhta et al. 42 – 47)

### **3.7 Tehtävien hankintojen kasvihuonekaasupäästöjen huomioiminen**

Yritys voi hankintoja tehdessään kohdistaa erilaisia vaatimuksia ja valintakriteerejä toimittajilleen ja alihankkijoilleen, joiden toiminta tai tuotteet vaikuttavat yrityksen tuotteisiin ja palveluihin. Myös tehtävien hankintojen valmistuksen aikana syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ja prosessissa kulutettu energia voivat olla hankintojen valintaperusteita. Energiatehokkuus ja kasvihuonekaasupäästöt tulisi huomioida myös ostettavissa energiaintensiivisissä toiminnoissa, kuten valaminen tai esimerkiksi tuotteiden kuljetus. Kaikissa hankinnoissa oleellista on tehdä yhteistyötä vastuullisen toimittajan kanssa. (Gaia Group Oy & AX-Suunnittelu Oy 2000)

#### **3.7.1 Käytettävä materiaali**

Metallien valmistuksesta ja niiden käytöstä syntyy romuvirtoja, joita voidaan käyttää uudelleen metallien valmistuksen raaka-aineena. Periaatteessa metalliromun kierrättäminen sulattamalla se uudelleen metalliksi voi jatkua loputtomasti. Kierrätetty metalliromu voi olla tehtaan pääasiallinen raaka-aine tai sitä voidaan käyttää lisä- tai osittain korvaavana raaka-aineena. Malmi- ja romupohjaista teräksen valmistusta ei voida pitää toistensa suoranaيسina vaihtoehtoina ja vastakohtina. Materiaalin alkuperän valintaan vaikuttavat mm. valmistettavan tuotteen laatuvaatimukset sekä käytettävät prosessit. (Suomen Ympäristökeskus 2000)

Terästeollisuuden hiilidioksidipäästöistä valtaosa syntyy malmipohjaisen raudan valmistamisessa koksien ja muiden pelkistysaineiden käytöstä. Malmipohjaisen terästuotanto pohjautuu masuuni-teräskonvertteri-teknologiaan. Energiankulutus on siinä romupohjaista suurempi, koska raudan pelkistäminen malmista hiiltä käyttäen vaatii kemiallista energiaa. Romupohjainen terästuotanto käyttää raaka-aineenaan kierrätysterästä, jota ei enää tarvitse pelkistää. Paitsi kustannustehokasta, teräksen valmistaminen kierrätysmetalleista sähköenergiaa käyttävillä valokaariuuneilla on siis myös CO<sub>2</sub>-ominaispäästöiltään malmipohjaista teräksentuotantoa vähäisempää. Romua lukuun ottamatta muiden uusiorautaraaka-aineiden käyttö ei vähennä energiantarvetta ja kasvihuonekaasuja, vaikka niitä käyttämällä säästetään neitseellisiä raaka-aineita,



vähennetään materiaali-jätteen loppusijoitustarvetta sekä kaivostoiminnasta aiheutuvia ympäristöhaittoja. Toisaalta romupohjaisen teräksen hiilidioksidipäästöjä arvioitaessa tulee myös ottaa huomioon materiaalien keräyksestä, kuljetuksesta ja puhdistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt, jotka voivat varsinkin kuljetuksen osalta nousta erittäin korkeiksi. (Suomen Ympäristökeskus 2000; Koljonen, Kekkonen, Lehtilä, Hongisto & Savolainen. 2004, 60- 61)

Alumiiniromua voidaan käyttää vain sekundäärialumiinin valmistukseen ja muihin suoriin käyttötapoihin romuna, mutta ei malmipohjaisen alumiinin valmistuksen yhteydessä. Alumiinin valmistus bauksiitista kuluttaa runsaasti energiaa (n. 13000kWh / tuotettu alumiinitonni), jolloin sen lajittelu ja hyötykäyttö metalliromusta on kannattavaa. Alumiiniteollisuudessa syntyy myös rikkiheksafluoridia, joka on kasvihuonekaasu. Materiaalin kierrätys on siten myös kasvihuonekaasujen kannalta mielekäästä. Alumiinin uudelleen sulattaminen vaatii vain 5 % primäärialumiinin valmistamiseen tarvittavasta energiasta. (Suomen Ympäristökeskus 2000, Suomen Ympäristökeskus 2008)

### **3.7.2 Käytettävät kemikaalit**

Konepajateollisuudessa käytetään useita eri kemikaaleja, joista yleisimpiä ovat metallien työstössä käytettävät lastuamismesteet sekä hitsauksen suoja- ja lisäaineet. Lastuamismesteet ovat pääasiassa mineraaliöljyjä tai niiden jatkojalosteita. Hitsauksessa käytettävät suojakaasut ovat yleensä niukkaseosteisille tai seostamattomille teräksille erilaisia argon-hiilidioksidi-seoskaasuja, esimerkiksi Ar+8%CO<sub>2</sub>. Samankaltaisia seoskaasuja käytetään myös ruostumattomalle teräkselle. Kemianteollisuuden prosessit vaihtelevat suuresti tuotettavasta kemikaalista riippuen. Esimerkiksi argon erotetaan ilmakehästä tislamalla eikä tästä prosessista juurikaan aiheudu suoria kasvihuonekaasupäästöjä. Ilman puristaminen nestemäiseen muotoon vaatii kuitenkin energiaa. (Esab 2009)

Kemianteollisuuden kaikkien kasvihuonekaasupäästöjen osuus koko Suomen kasvihuonekaasujen päästöistä on alle 6 %. Kemianteollisuus on huomattavasti energiaa kuluttavaa, pääosin öljynjalostuksessa tarvittavasta energiasta johtuen. Myös

elektrolyttiset prosessit kuten kloorikaasun tuotanto, erilaiset erotusprosessit, kemialliset synteesit ja prosessien lämmittäminen kuluttavat paljon sähköenergiaa. Kemianteollisuuden kasvihuonekaasupäästöistä yli puolet on peräisin energiantuotannosta. (Savolainen, Similä, Syri, Ohlström. 2008, 106 - 109)

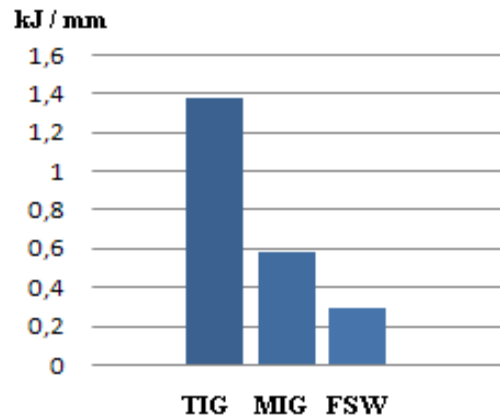
### **3.8 Esimerkki kasvihuonekaasupäästöistä tuotantoprosessissa**

Käytetään suorien kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin kuvitteellista esimerkkikappaletta. Kappale on kooltaan noin 0,5m x 0,5m x 0,004m. Siihen halutaan tehdä kaksi ympyrän muotoista reikää ja hitsaussauma mahdollisimman vähäisin kasvihuonekaasupäästöin. Kappaleen materiaaliksi valitaan kierrätysmateriaalista valmistettu alumiini. Sen sulattaminen, kuten jo edellä mainittu, vaatii vain 5 % primäärialumiinin vaatimasta energiasta.

Halutut reiät suhteellisen ohueen levyyn voidaan tässä tapauksessa tehdä poraamalla ja se voi onnistua jopa ilman lastuamismestien käyttöä eli kuivatyöstömenetelmin. Lastuamismestien käyttöä voidaan myös pyrkiä vähentämään käyttämällä esimerkiksi sumuvoitelutekniikkaa. Nesteen roolia kappaleen ja terän jäähdyttämisessä voidaan vähentää käyttämällä korvaavana jäähdyttimenä kaasujäähdytystä, esimerkiksi paineilmasuihkua. Kasvihuonekaasuja voidaan vähentää minimoimalla kemikaalien käyttö ja suosimalla energiatehokkaita työkaluja, tässä tapauksessa poraa, sekä työtapoja.

FSW-hitsaus (Friction Stir Welding) on patentoitu 1992. Siinä pyörivällä työkalulla kehitetään kitkan avulla lämpöä, joka pehmentää hitsattavaa materiaalia niin, että työkalun liikkuessa saumaa pitkin tiiviisti vastakkain puristetut, pehmenneet materiaalit sulautuvat yhteen. Hitsin pinta on sileä ja perusaineen tasossa. Menetelmä sopii erityisen hyvin juuri alumiinille, koska se on ominaisuuksiltaan kevyttä ja pehmeämpää kuin teräs. Hitsausprosessissa ei tapahdu siis sulamista ja se ei siten tarvitse suurta lämmöntuontia, mikä tekee siitä erityisen energiatehokkaan hitsausmenetelmän. Kuvassa 2 on esitetty 4mm paksuisen alumiinilevyn hitsaukseen kuluvat energiamäärät eri hitsausmenetelmillä. Näistä MIG (Metal Inert Gas)- hitsauksella tarkoitetaan kaasukaarimenetelmähitsausta, jossa suojaakaasu ei reagoi hitsauksen aikana. TIG-hitsaus (Tungsten Inert Gas Arc

Welding) on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä. FSW-prosessissa ei tarvita myöskään lisäaineita tai suojakaasua. (Lukkari & Pekkari 2004)



**Kuva 3.** Eri hitsausmenetelmien energiankulutus 4mm alumiinilevyllä (mukaiillen Lukkari & Pekkari 2004)

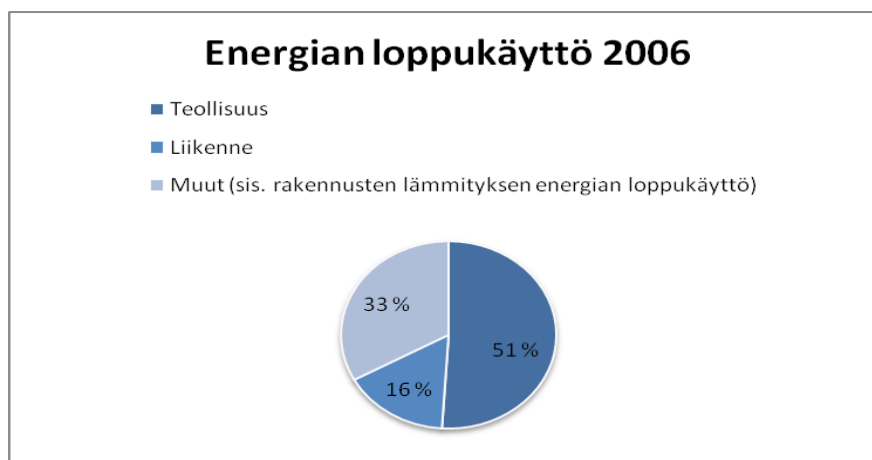
Kuvan 2 mukaisesti 0,5m reunan hitsaaminen FSW-hitsauksella kuluttaa noin 160 kJ, kun TIG-hitsauksella saman työn energiankulutus olisi n. 690 kJ. Lisäksi kasvihuonekaasupäästöjä arvioitaessa tulisi huomioida myös TIG:n käyttämä suojakaasu, kun taas FSW:ssä kaasua ei käytetä.

## 4 ENERGIAN KULUTUS JA POTENTIAALISET SÄÄSTÖKOHTEET

Energian tuotanto aiheuttaa noin 80 % kaikista maailman hiilidioksidipäästöistä ilmakehään. Myös metaani- ja di-typpioksidipäästöissä energian osuus on merkittävä. Päästöt ovat pääasiassa peräisin fossiilisten polttoaineiden poltosta. Esimerkiksi ydinvoimasta tai vesivoimasta ei lasketa syntyvän ollenkaan kasvihuonekaasupäästöjä. Myöskään puupolttoaineet luetaan päästöttömiksi, sillä vaikka sen poltosta syntyykin hiilidioksidipäästöjä, lasketaan puun sitovan kasvaessaan hiilidioksidia saman verran. (Kara 1999, 137)

Tärkeimmät tekniset keinot vähentää fossiilisperäisiä CO<sub>2</sub> - päästöjä ovat energiatehokkuuden parantaminen, energian tuotannon hyötysuhteen parantaminen (esimerkiksi yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto), siirtyminen vähemmän hiiltä sisältävien polttoaineiden (esimerkiksi maakaasun) käyttöön sekä uusiutuvien energianlähteiden ja ydinvoiman käytön lisääminen. Lisäksi tulevaisuudessa CO<sub>2</sub> - päästöjä voitaneen erottaa ja loppusijoittaa. Tämä ei kuitenkaan vielä ole taloudellisesti kannattavaa eikä sopivista loppusijoituspaikoistakaan ole päästy yksimielisyyteen. (Kara 1999, 139)

Kuvassa 3 on esitetty energian loppukäyttö sektoreittain vuonna 2006. Teollisuuden osuus on 51 %. Koska teollisuus kuluttaa valtaosan tuotetusta energiasta, on kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksia tarkasteltaessa oleellista huomioida myös kulutetun energian tuotannosta aiheutuvat päästöt.



**Kuva 4.** Energian loppukäyttö sektoreittain vuonna 2006 (mukaiillen Tilastokeskus 2007)

Yksittäisillä konepajoilla, jotka käyttävät useimmiten suurtuottajilta ostettua energiaa, ei juuri ole mahdollisuuksia vaikuttaa käyttämänsä energian tuotannonaikaisiin päästöihin. Siksi näitä välillisiä, eli käytettävän sähkön ja lämmön tuotannossa syntyviä, kasvihuonekaasupäästöjä tulisi pyrkiä vähentämään parantamalla energiatehokkuutta. Energian korkean hinnan myötä energian käytön tehostamisesta on myös taloudellista hyötyä. Seuraavassa on esitelty potentiaalisia energiansäästökohteita paitsi energiantensiivisimmissä työprosesseissa myös työtiloihin ja – välineisiin liittyen.

#### **4.1 Energiansäästömahdollisuudet työprosesseissa**

Energiansäästötoimenpiteet voidaan yleensä jakaa neljään perustyyppiin. Suuria investointeja vaativat kohteet vaativat kokonaisten järjestelmien uusimista. Tällaisia ovat esimerkiksi suljetun jäähdytysjärjestelmän rakentaminen tai rakennuksen lämpöeristyksen uusiminen. Suurille investoinneille tyypillistä ovat suuret kustannukset ja pitkät takaisinmaksuajat, mutta toisaalta myös huomattavasti pienentynyt energiankulutus ja tehostunut tuotantoprosessi. Pieniä investointeja vaativat toimenpiteet, kuten lämmityksen

termostaattien uusiminen ja ilmastoinnin kello-ohjaukset, usein täydentävät jo toimivaa järjestelmää. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 23 - 24)

Usein energiasäästökohteita löytyy myös kunnossapidon optimoimisella. Laitteiden säännöllinen huolto voi pienentää oleellisesti energiakustannuksia. Suuria säästömahdollisuuksia löytyy usein esimerkiksi paineilmaverkostosta ja vesijohtoverkostoista. Myös työntekijöiden käyttötottumukset voivat kuluttaa energiaa turhaan. Esimerkiksi laitteiden tarkka käyttö sekä yleinen huolellisuus esimerkiksi hanojen ja venttiilien sulkeminen ovat tyypillisiä, pieniä ja tehokkaita energiansäästötapoja. Virheellisiin käyttötottumuksiin liittyy usein joko työskentelyn sujumattomuus, esimerkiksi kun katkaisijat eivät sijaitse kätevillä paikoilla, tai huono työnohjaus. Käyttötottumuksiin voidaan siis vaikuttaa tiedottamalla ja tarkemmalla ohjeistuksella. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 23)

Konepajateollisuuden piiristä löytyy vain harvoin suuria energiansäästökohteita, jolloin parantunut tehokkuus koostuu lukuisista pienistä toimenpiteistä. Tämän takia jokainen pieni säästömahdollisuus on huomioitava potentiaalisena energiansäästökohteena. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 24)

#### **4.1.1 Lämpökäsittelyuunien energiatehokkuus**

Lämpökäsittelyuunit ovat kenties eniten energiaa kuluttava konepajateollisuuden toiminto. Lämpökäsittelyuunista lämpö voi hävitä eri teitä, esimerkiksi johtumalla seinämien läpi tai kaasun- ja ilmavuotoina eli uunin ilmanvaihtona. Siten uunin rakenteella ja materiaaleilla on merkitystä energiatehokkuutta tarkasteltaessa. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 115)

Jaksottaisessa käytössä olevien tiilieristisen sähköuunien lämpöhäviöistä n. 30 % aiheutuu suoranaista lämmön johtumisesta rakenteiden läpi ja noin 60 % lämmöstä menee uunirakenteen lämmittämiseen. Mitä raskaampi uuni on, sitä suuremmat häviötkin ovat. Tällöin rakenteiden lämpökapasiteettien tulisi olla mahdollisimman pienet. Esimerkiksi villaeristetyillä uuneilla rakenteiden lämmitys kuluttaa vain 10 – 30 %

lämmöstä. Myös apulaitteet, uunit ja korit tulisi tehdä lämpökapasiteetiltaan mahdollisimman pieniksi. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 116 - 119)

Ilmavuodot aiheuttavat kasvavan energiankulutuksen lisäksi uuniin epätasaisen lämpötilakentän, mikä tuottaa ongelmia tarkoissa lämpökäsittelyuuneissa. Ne voidaan havaita helposti maalin palamisena uunin yläosassa. Uuni voidaan tiivistää ilmavuotojen estämiseksi sisäpuolelta esimerkiksi lämpöliikkeet kestäväillä levyillä tai ns. tapetoinnilla. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 120)

Kohtuullisena uunin ulkopintalämpötilana pidetään 40 – 60 °C, jota korkeammat lämpötilat viittaavat puutteelliseen uunin eristykseen. Tällöin uunien lisäeristäminen on usein aiheellista. Ulkopuolinen eristäminen on halpa ratkaisu, mutta tällöin riskinä on vanhojen eristeiden ja tukirakenteiden lämpötilojen liiallinen nousu. Sisäpuolen eristäminen tai ns. tapetointi voivat pienentää uunin tilavuutta, mutta lämpöhäviöiden pienenemisen myötä uusilla eristysaineilla voidaan jopa pienentää sisäpinnan eristyspaksuutta. Eristysmateriaaleina käytetään useita erilaisia tiili- ja massalaatuja sekä keraamisia ja mineraalikulitumateriaaleja. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 116)

Uunin käyttöajan oikealla valinnalla säästöjä voidaan saavuttaa kahdella tavalla. Lämpökäsittelytöiden ajankohdan tarkalla suunnittelulla työt voidaan keskittää yhtenäiselle käyttöjaksolle, jolloin loppuaika uunia voidaan pitää lämmittämättömänä. Toisaalta, jos uunien käyttöaste ei ole kovin korkea, käyttöaika voidaan keskittää siten, ettei sähkötehon tarve ole suurimmillaan muun sähkönkulutuksen huipun kanssa. Tehomaksun säästämisen lisäksi huipun leikkaus pienentää laitoksen oman verkoston kuormitusta. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 116)

Joissakin uuneissa rakenteita pyritään suojaamaan korkeilta lämpötiloilta vesijäähdytyksellä. Jäähdytysveden mukana viemäriin voi valua suuriakin energiamääriä. Tämä vesi voidaan kuitenkin käyttää lämmitystarkoituksiin esimerkiksi sosiaalituloissa tai varastoissa tai huuhtelualtaiden syöttövesinä pintakäsittelyprosesseissa. Joissakin tapauksissa korkeita lämpötiloja kestävämmät materiaalit voidaan yrittää korvata

kuumalujilla seosmetalleilla, jolloin vesijäähdytyksestä voidaan luopua ainakin osittain. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 119)

#### **4.1.2 Metallien työstö**

Metallien työstössä energiatehokkuus voidaan huomioida esimerkiksi hitsaustavan valinnassa. Vaikka hitsaustavan valinnan ensisijaisia valintaperusteita ovat käytettävät materiaalit ja haluttu lopputulos, on uudistunut tekniikka tuonut vaihtoehtoiksi energiatehokkaita menetelmiä. Hitsauksessa käytetään suuria lämpötiloja, kun hitsattavien materiaalien halutaan sulavan liitosta varten. FSW-hitsauksen energiantarve on vähäinen, sillä menetelmässä hitsattavia kappaleita ei sulateta, vaan ne pehmenetään ja puristetaan yhteen. Sen sijaan MIG / MAG- hitsaus vaatii suuren lämmöntuonnin, vaikka sen energian hyötysuhde onkin hyvä. Esimerkiksi laserhitsaukselle riittää pieni lämmöntuonti, mutta sen energialähteen hyötysuhde on huono ja energianlähde kallis. MIG / MAG- hitsauksen ja laserhitsauksen yhdistelmä, hybridihitsaus, jossa lasersäde ja valokaari toimivat yhdessä, mahdollistaa hitsauksen korkealla hyötysuhteella. (Lukkari & Pekkari 2004)

#### **4.1.3 Pintakäsittelyaltaiden energiatehokkuuden parantaminen**

Pintakäsittelyprosesseissa käytettävien pintakäsittelyaltaiden käyttö on iso energiankuluttaja. Potentiaalisia säästökohteita löytyy etenkin altaiden lämmitysenergian kulutusta tarkasteltaessa. Suuria energiankäyttäjiä ovat myös nesteiden sekoitus- ja kierrätyslaitteistot, huuhtelualtaiden vesihuuhtelut sekä kohdepoisto- ja korvausilmapuhaltimet. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 142)

Suurimman osan altaiden lämpöhäviöistä muodostaa haihtuminen. Haihtumista voidaan yrittää estää asettamalla altaiden päälle tiivis kansi. Kyseessä on kuitenkin suuri investointi, joka on varsinkin vanhoihin laitoksiin usein vaikeaa tai jopa mahdotonta tilan puutteen takia. Altaissa voidaan myös käyttää vaahdotusaineita, jotka muodostavat elektrolyysin tapahtuessa altaan pinnalle vaahdoteroksen, joka vähentää lämmönsiirtymistä. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 145)



Altaiden kyljistä häviävän lämmön määrää voidaan vähentää altaiden eristämällä. Eristeinä käytetään polyuretaania, polystyreeniä ja mineraalivillaa. Eristyksen ongelma on eristeiden kastuminen mahdollisten valuvien nesteiden takia. Myös käytettävät kemikaalit saattavat syövyttää eristeitä ja siksi ne on suojattava päällystysaineella, esimerkiksi muovilla. Eristys parantaa myös työskentelyolosuhteita etenkin kesäaikaan. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 145)

## **4.2 Kiinteistön energiasäästökohteet**

Toimitiloissa ja rakennuksissa energiantarpeet ovat hyvin samankaltaiset toimialasta riippumatta. Energiaa tarvitaan tilojen lämmittämiseen, ilmastointiin, käyttöveden lämmitykseen, sähkölaitteisiin kuten LVI-järjestelmien moottoreihin, valaistukseen, toimistokoneisiin ja kylmälaitteisiin. Toimitilojen ja rakennusten osalta energiansäästömahdollisuuksia löytyy niiden koko elinkaaren ajalta, jolloin vaaditaan energiatehokkuuden huomioimista suunnittelussa, rakentamisessa, käyttöönnotossa, käytössä, kunnossapidossa sekä lopulta myös purkamisessa. Suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut määräävät pitkälti toimitilojen ja rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen. Usein energiansäästötoimenpiteet voivat myös parantaa työskentelyolosuhteita. (Gaia Group Oy & AX-Suunnittelu Oy 2000)

### **4.2.1 Sähkömoottoreiden energiankäytön tehostaminen**

Valtaosa teollisuuden sähköstä käytetään sähkömoottoreissa. Suurien sähkömoottoreiden hankinnoissa kiinnitetään yleensä huomiota kustannuksiin ja siten myös hyötysuhteeseen ja sen optimointiin. Tehtaissa voi kuitenkin olla satoja tai tuhansia pieniä sähkömoottoreita, joiden hyötysuhteeseen ei kiinnitetä riittävästi huomiota. Sähkönsäästöpotentialiaali alle 15 kW koneissa on yleensä n. 8 %. (Heikkilä, Huomo, Siitonen, Seitsalo & Hyytiä. 2008, 58 - 60)

Sähkömoottorijärjestelmät koostuvat useista laitteista, jotka peräkkäin kytkettyinä muodostavat toimivat kokonaisuuden. Tärkeimpiä komponentteja ovat virtalähde, säätölaite (esimerkiksi kytkin), sähkömoottori, voimansiirtokytkentä ja varsinainen

käytettävä laite, esimerkiksi keskipakopumppu. Järjestelmien sähkönkulutukseen vaikuttavat mm. oikea mitoitus, hyötysuhde, ajotavat, virtalähteen laatu, mekaaninen voimansiirto sekä huolto. Hyvän kokonaisyötysuhteen ja energiatehokkuuden parantumisen saavuttamiseksi tulee tarkastella koko järjestelmää, eikä pelkkää sähkömoottoria. Ideaalitulanteessa sähkömoottorijärjestelmä optimoidaan kunkin kohteen tarpeiden mukaisesti. (Heikkilä et al. 2008, 58 - 60)

#### **4.2.2 Paineilmajärjestelmän optimointi ja lämmön talteenotto**

Paineilmaa käytetään mm. prosessien ohjaamiseen ja säätämiseen, tavaroiden siirtämiseen ja ilman syöttämiseen prosessiin. Myös monet työkalut sekä esimerkiksi hitsauslaitteistot käyttävät paineilmaa. Paineilma tuotetaan konepajaympäristössä pääasiassa sähkökäyttöisellä kompressorilla. Kompressorin imuilman tulee olla kuivaa, puhdasta ja viileää. Epäpuhtaudet imuilmassa, kuten pöly, tukkivat imusuodattimia ja aiheuttavat näin painehäviöitä kasvattaen energiankulutusta. Lisäksi jokainen 3 °C lämpötilan nousu imuilmassa alentaa tuottoa 1 %. Vain pieni osa kompressorin kuluttaa energiasta saadaan hyödynnettyä, valtaosa muuttuu lämmöksi. Paineilmakompressorin akselitehosta yli 90 % poistuu jäähdytysilman tai – veden mukana. (Motiva Oy 1999)

Vuodot paineilmajärjestelmässä voivat kuluttaa jopa 30 % paineilman tuotosta ja ne vaikuttavat jatkuvasti paineilma-verkon painetasoon ja kapasiteettiin. Vuotoja aiheuttavat verkon varoventtiilit, lauhteenpoistimet, putkiliitokset, letkuliittimet, sulkuventtiilit ja työkalut. Vuodot verkossa voidaan paikallistaa helposti kuuntelemalla tuotantotiloissa, kun alueella ei työskennellä. Sähkönkulutuksen lisäksi vuodot aiheuttavat myös muita kustannuksia, sillä ne rasittavat kompressoria turhaan aiheuttaen huoltokustannuksia ja lyhentäen laitteen käyttöikä. Tarkastamalla paineilma-verkko säännöllisesti ja korjaamalla vuotokohdat voidaan vähentää hukkaan menevän energian määrää. Esimerkiksi työntekijöiden muistutus venttiilien huolellisesta sulkemisesta ja huonokuntoisten venttiilien uusiminen voisivat helposti ratkaista suuren osan paineilma-verkoston vuotokohdista. (Motiva Oy 1999)

Paineilmakompressorista saadaan usein pienellä vaivalla ja investoinnilla hyödynnettyä huomattavan suuri määrä lämpöä. Tällaista hukkalämpöä voitaisiin käyttää esimerkiksi tehdashallin, varastojen tai lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Talteenotto ei luonnollisestikaan saa häiritä paineilman tuottamista ja siinä on otettava huomioon häviölämpövirran vaihtelu sekä lämmön tarpeen vaihtelu, kuten vuoden- tai vuorokaudenaika. Ilmajäähdytteisestä kompressorista tulevan häviölämpövirran lämpötila on n. 30 – 40 °C. Vesijäähdytteisessä kompressorista poistuvan veden lämpötila on yleensä myös n. 30 – 40 °C, mutta parhaimmillaan jopa 90 °C. (Motiva Oy 1999)

#### **4.2.3 Lämmityksen ja ilmanvaihtojärjestelmän optimoiminen**

Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät muodostuvat lämmitys- ja jäähdytyslaitteista, pumpuista, tuulettimista, putkistoverkostoista, jäähdyttäjistä ja lämmönvaihtimista. Näiden laitteiden toiminnassa keskeistä on lämmön siirtäminen tai sen vastaanottaminen ympäristöstä tai prosesseista. Ilmanvaihdon tehtävänä on suojella henkilöstöä ilmaan kerääntyviltä haitallisilta aineilta sekä liialliselta kuumuudelta tuotantotiloissa. Esimerkiksi konepajoissa syntyvien liuotinpäästöjen takia tehokas ilmanvaihto on siten edellytys turvalliselle työympäristölle. Ilmanvaihtojärjestelmät voivat kuluttaa jopa 10 % yritysten sähkönkulutuksesta ja energiankulutus voi olla jopa suurempi, mikäli kohteessa on ilmanvaihdon lisäksi myös ilmastointi. Ilmanvaihdon energiankulutusta voidaan rajoittaa esimerkiksi pienentämällä tai pysäyttämällä se aina kun mahdollista sekä ilmastointikanavien järkevällä suunnittelulla. (Heikkilä et al. 2008, 69 - 71)

Jäähdytyksen ja lämmityksen energiankulutukseen voidaan vaikuttaa useilla pienillä toimilla mm. tilojen tehokkailla eristyksillä ja tiivistämisellä, energiatehokkailla lasitusratkaisuilla, automaattisilla oviensulkijoilla, lämpöpumpuilla sekä hukkalämmön ja lämmön talteenoton hyödyntämisellä. Jos laitoksella työskennellään 8 tuntia vuorokaudessa, voidaan saavuttaa jopa 40 % sähkönsäästö ilmastoinnissa rajoittamalla lämmitystä työajan ulkopuolella. Pysyvästi miehittämättömissä tiloissa voidaan käyttää

tarvittaessa paikallisia lämmittimiä ja saavuttaa siten jopa 80 % energiansäästö. (Heikkilä et al. 2008, 69 - 71)

#### **4.2.4 Veden kulutuksen pienentäminen**

Vesi on paljon käytetty väliaine jäähdytyksen yhteydessä kaikessa teollisuudessa. Jäähdytyksen tarkoitus on siirtää kohteessa syntyvä ylitämpö muualle. Ylitämpöä muodostavat mm. paineilma-asetat ja hitsauslaitteet. Perinteisimmässä järjestelmässä vesi johdetaan prosessin läpi ja lasketaan viemäriin tai palautetaan jokeen tai järveen. Vettä voidaan säästää suljetulla kiertojärjestelmällä, jossa varsinaisen laiteosan muodostaa vedenjäähdytystorni. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 87 - 89)

Joissakin konepajoissa vettä käytetään suuria määriä esimerkiksi koneiden jäähdytyksen lisäksi pintakäsittelyaltaiden huuhteluun sekä kasteluun. Kaikkiin toimintoihin puhdistetun juomaveden käyttö on tuhlausta ja niihin voidaan sen sijasta käyttää mekaanisesti puhdistettu raakavettä. Vesijäähdytystä voidaan myös korvata kokonaan tai osittain ilmajäähdytyksellä. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 93)

Yleensä suurimmat vesijohtoverkoston energiankulutuksen säästöt saavutetaan verkoston säännöllisellä huollolla ja vanhentuneiden kalusteiden uusimisella. Tällöin paljastuvat myös mahdolliset verkoston vuotokohdat. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 95)

#### **4.2.5 Valaistuksen optimointi**

Valaistus on merkittävä osa nykypäivän energian käyttöä, johon pystytään tehokkaasti vaikuttamaan eri toteutustavoilla. Työsaleissa on useita, valaistusvaatimuksiltaan erilaisia alueita, esimerkiksi tarkkuustyöpaikkoja, varastoja, huoltotiloja, kulkukäytäviä sekä suunnittelu- ja piirtämistiloja. Valaistuksessa on yleensä hyvät mahdollisuudet jopa 20 - 30 % sähkönkulutuksen säästöön. Lisäksi kohdevalaistus suunnitellaan yleensä jo aikaisessa vaiheessa, kun esimerkiksi työpisteiden tarkka sijainti ja käyttötarkoitus eivät ole vielä selvillä, jolloin jo sen tarkistaminen voi tuoda paitsi säästöjä myös paremmat työolosuhteet. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 106)

Käyttöaikoja voidaan tarkastella tutkimalla mahdollisuutta käyttää luonnonvaloa osana yleisvalaistusta. Luonnonvalon hyväksikäyttöä voidaan helpottaa kello- tai hämäräkytkimillä, jotka ohjaavat valaisimien tehoa saatavan luonnonvalon mukaan. Yleisesti luonnonvalon hyväksikäyttöä pidetään järkevänä n. 3m leveällä vyöhykkeellä ikkunan vieressä. Myös liiketunnistimien käyttö valaistuksen käynnistämässä vähentää valojen palamista silloin, kun tilassa ei työskennellä. Valaisimet tulisi asettaa niin, että käyttämättömiltä alueilta valaistusta voidaan vähentää tai sammuttaa se kokonaan. Satunnainen lisävalon tarve voidaan hoitaa siirrettävillä yleisvalaisimilla. Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 106 – 108; Heikkilä et al. 2008, 72 - 73)

Valaisimien likaisuus heikentää nopeasti niiden valaisutehoa. Puhdistamalla valaisimet säännöllisesti himmeneminen voidaan ehkäistä. Lisäksi esimerkiksi huonepintojen likaantuminen heikentää valaistusvoimakkuutta. Seinäpinnat tulisi siis ymmärtää toimiviksi valaistusjärjestelmän osiksi. Vaaleat värit ja helppo puhdistettavuus ovat pieniä, mutta tärkeitä tekijöitä säästökohteita etsittäessä. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1980, 108)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmastonmuutoksen kannalta merkittävin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi johtuen sen yleisyydestä. Sitä vapautuu erityisesti energiantuotannossa hiiltä poltettaessa sekä liikenteessä. Erityisesti tarkasteltaessa energian tuotannosta syntyviä, välillisiä kasvihuonekaasupäästöjä on hiilidioksidin tarkastelulla huomattavasti muita kaasuja enemmän merkitystä.

Konepajateollisuudessa ei juuri synny suoria kasvihuonekaasupäästöjä. Konepajateollisuuden prosesseista pääsee ilmaan maalien ja pesuaineiden liuottimia sekä muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, metalli- ja hioma-ainepölyä sekä happo- ja öljysumua. Nämä päästöt ovat lähinnä työterveydellisiä ongelmia eivätkä vaikuta kasvihuoneilmioon. Ilmaan johdettavien päästöjen kannalta vaikeimpia prosesseja ovat metallien työstö, hitsaus, rasvanpoisto ja puhdistus, happokäsittelyt ja pinnoitusprosessit. Näistä hiukkaspäästöjä voidaan rajoittaa erilaisten suotimien, pesureiden ja sykloneiden avulla. (Tonteri et al. 1993, 29 – 33, 79)

Kasvihuonekaasupäästöt tulee ottaa huomioon myös tehtävissä hankinnoissa. Lisäksi muilta ostettavat palvelut kuten valaminen tai kuljetukset voidaan valita käyttäen kasvihuonekaasupäästöjä valintaperusteina. Kuitenkin esimerkiksi kemikaalien tuotantovaiheiden kasvihuonekaasupäästöjä oleellisempaa on niiden käytön vähentäminen tai korvaaminen kokonaan vaihtoehtoisilla tuotantomenetelmillä ja aineilla. Käytettävän materiaalin hankinnassa voidaan valita kierrätetyn tai neitseellisen raaka-aineen väliltä. Etenkin alumiinin kohdalla kierrätyksestä syntyvät päästöt ovat huomattavasti pienempiä. Kierrätysmateriaalin käytössä tulee kuitenkin huomioida myös materiaalin keräyksen ja kuljetuksen aikaiset päästöt, mikäli kyse ei ole esimerkiksi yrityksen omista sivuainevirroista.

Välillisten, eli sähkön ja lämmön tuotannosta johtuvien, energialähtöisten hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on erityisen tärkeää, sillä energiantuotanto tuottaa suurimman osan kasvihuonekaasuista. Koska yrityksellä on vain rajoitetusti keinoja

vaikuttaa hankitun energian päästöihin, tulee niihin pyrkiä vaikuttamaan ensisijaisesti energiatehokkuutta parantamalla. Konepajateollisuus ei myöskään ole erityisen energiaintensiivinen muutamaa erityistä toimintoa lukuun ottamatta. Tällöin pienetkin energiansäästömahdollisuudet voivat parantaa yrityksen energiatehokkuutta huomattavasti.

## 6 YHTEENVETO

Ilmaston lämpenemisellä voi olla arvaamattomat vaikutukset ja joka tapauksessa se tulee muuttamaan elinympäristöä merkittävällä tavalla. Suurin syy ilmaston lämpenemiseen ovat kasvihuonekaasupäästöt. Kasvihuoneilmiö ja – kaasut ovat edellytys nykyisenkaltaiselle elämälle, mutta ihmiskunnan toimien takia niiden määrä on lisääntynyt. Joukossa on luontaisten kasvihuonekaasujen lisäksi ihmisen aiheuttamia yhdisteitä, jotka käyttäytyvät kasvihuonekaasujen tavoin.

Konepajateollisuus sisältää useita erilaisia prosesseja ja työvaiheita eikä alalle voida luoda yhtenäistä prosessikaaviota tai – mallia. Karkeasti jaotellen konepajateollisuuden perusprosesseja ovat metallien työstö, lämpökäsittely, liittäminen, pintakäsittely sekä pesu ja puhdistus. Raaka-aineena alan prosesseissa on yleensä hiiliteräs tai alumiini, kuitenkin lähes poikkeuksetta metalli. Alan työprosesseista syntyy paljon ilmaan johdettavia päästöjä ja käytettävien kemikaalien takia monet niistä ovat työterveydellisiä riskejä. Prosesseista ei kuitenkaan synny suoria kasvihuonepäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöt voidaan huomioida myös tehtävissä hankinnoissa, esimerkiksi materiaaleissa ja käytettävissä kemikaaleissa.

Koska konepajateollisuudessa ei synny suoria kasvihuonepäästöjä, ovat mahdollisuudet kasvihuonekaasujen vähentämiseen lähinnä välillisissä päästöissä. Välillisillä päästöillä tarkoitetaan tässä tapauksessa käytetyn energian tuotannosta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Energiantuotannossa kasvihuonekaasupäästöjen syntyä voidaan hillitä käyttämällä uusiutuvia energialähteitä sekä ydinvoimaa, energian tuotannon hyötysuhdetta parantamalla ja käyttämällä vähemmän hiiltä sisältäviä polttoaineita. Konepajoilla on harvoin mahdollisuuksia vaikuttaa näihin energian tuotannon aikaisten päästöjen syntymiseen, jolloin niiden tulee kehittää oman toimintansa energiatehokkuutta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

Konepajateollisuus ei ole erityisen energiantensiivinen. Potentiaaliset energiansäästökohteet ovat pieniä, mutta ne on kaikki huomioitava kulutetun



kokonaisenergiämäärän vähentämiseksi. Työprosessien energiansäästökohteita ovat erityisesti lämpökäsittelyuunien ja pintakäsittelyaltaiden lämpöhäviöiden minimointi sekä soveltuvien hitsaus- ja muiden työstömenetelmien valinta.

Kiinteistön ja työvälineiden energiatehokkuuden parantamisessa pätevät samat keinot kuin monella muullakin pienteollisuuden alalla. Paineilmaverkoston kehittäminen, ja energiataloudellisten sähkömoottorien käyttö ovat potentiaalisia energiansäästökohteita. Turhaa energiankulutusta voidaan karsia myös valaistuksesta, ilmastoinnista ja lämmityksestä sekä vesilaitteistosta. Pieniä säästökohteita etsittäessä oleellista on myös tarkastella työtottumuksia, ja minimoida kaikkien toimintojen turha käyttö, kuten valaistuksen käyttö luonnonvalossa.

## LÄHTEET

Axelsson, Helen. 1998. Greenhouse gas reduction in industry through process integration. Göteborg: Chalmers University of Technology. n. 100 s. useina jaksoina. ISSN 1130-2952

Esab. Hitsausmenetelmät. 2009. [Esabin www-sivuilla]. [viitattu 16.11.2009]. Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes.cfm>

Forsell, Pia. 2000. Kone- ja metalliteollisuuden ympäristöopas, ympäristöopas nro 66. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita. 81s. ISBN 978-951-37-3225-7

Gaia Group Oy, AX-Suunnittelu Oy. 2000. PK-teollisuuden energiansäästöopas. Helsinki: Motiva, 46s. ISBN 952-5304-11-6. Saatavissa: <http://www.ek.fi/arkisto/ekarchive/20001219-094137-197.pdf>

Heikkilä, Ilkka; Huomo, Mikko; Siitonen, Sari; Seitsalo, Pirkko & Hyytiä, Hille. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): Teollisuuden energiatehokkuus. Suomen Ympäristökeskus 51/2008, 88s. ISBN 978-952-11-3330-5. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96740&lan=fi>

Huhta, Pekka; Sjöblom, Göran & Kauppinen, Veijo. 1999. Konepajojen ympäristöhallinnan kehittäminen. Ekotehdas-projektin väliraportti. Espoo: Libella Oy, 86 s. ISBN 951-22-4735-6

KAMAT-tietokortti. Metallin maalaus. 2006. [www-tiedote]. Työterveyslaitos. Päivitetty 31.5.2007. [viitattu 28.9.2009]. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/50C95E55-906C-4AAA-8405-2850B47664AE/0/Metallin\\_maalaus.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/50C95E55-906C-4AAA-8405-2850B47664AE/0/Metallin_maalaus.pdf).

KAMAT-tietokortti. Metallin rasvanpoisto. 2005. [www-tiedote]. Työterveyslaitos. Päivitetty 31.5.2007. [viitattu 28.9.2009]. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/EDD1D572-63D1-4C40-AA9B-07067D04EC20/0/metallinrasvanpoisto.pdf>

KAMAT-tietokortti. Terminen ruiskutus. 2006. [www-tiedote]. Työterveyslaitos. Päivitetty 31.5.2007. [viitattu 13.10.2009]. Saatavissa:

[http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/77CCAB08-954B-4819-AC52-8DA42B5F12E8/0/Terminen\\_ruiskutus.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/77CCAB08-954B-4819-AC52-8DA42B5F12E8/0/Terminen_ruiskutus.pdf)

Kara, Mikko. 1999. Energia Suomessa: tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Helsinki: Edita, 368 s. ISBN 951-37-2745-9

Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1980. Energiankäytön tehostaminen konepajateollisuudessa. Helsinki : Kauppa- ja teollisuusministeriö. 234 s. ISBN 951-46-4791-2

Koljonen, Tiina; Kekkonen, Veikko; Lehtilä, Antti; Hongisto, Mikko & Savolainen, Ilkka. 2004. Päästökaupan merkitys energiasektorille ja terästeollisuudelle Suomessa (VTT Tiedotteita 2259). VTT Prosessit, 86s. ISSN: 1455-0865. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2259.pdf>

Lapinleimu, Ilkka; Kauppinen Veijo & Torvinen, Seppo. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo : WSOY, 398s. ISBN: 951-0-21436-1

Lukkari, Juha ja Pekkari, Bertil. 2004. Katsaus hitsauksen nykypäivään ja tulevaisuuteen. Hitsausuutiset [verkkolehti] no.2/2004. [viitattu 15.11.2009]. Saatavissa: [http://www.esab.fi/fi/news/upload/HU\\_2\\_04.pdf](http://www.esab.fi/fi/news/upload/HU_2_04.pdf)

Motiva Oy. 1999. Paineilmaa teollisuudelle. [www-tiedote]. Päivitetty 2002. [viitattu 30.9.2009]. Saatavissa: <http://www.energiansaastoviikko.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/c365c98759f77ac231ec7f232e2e09bd/Teo-paineilma-opas-net.pdf>

Niskanen, Antti. 2002. Lämpökäsittelylaitosten energiatalouden parantaminen [diplomityö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillisen yliopisto, 136s.

Savolainen, Ilkka; Similä, Lassi; Syri, Sanna & Ohlström, Mikael. (toim.) 2008. Teknologiapolut 2050: Teknologian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa. Taustaraportti kansallisen ilmasto- ja energiastrategian laatimista varten (VTT Tiedotteita 2432). Espoo: VTT, 215s. ISBN 978-951-38-7207-6

Suomen ympäristökeskus. 2000. Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa. Helsinki: Oy Edita Ab, 140s. ISBN: 952-11-0710-3. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=19513>

Suomen ympäristökeskus.2007. Kasvihuoneilmion voimistuminen. [verkkosivut]. Päivitetty 31.1.2007, [viitattu 5.8.2009] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=220934&lan=FI>

Suomen ympäristökeskus. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä (Suomen ympäristö 23/2008). Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 112s. ISBN 978-952-11-3138-7. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=86940&lan=fi>

Tonteri, Hannele; Mroueh, Ulla-Maija; Nykänen, Hannu; Liimatainen, Marko & Mäkelä, Esa. 1993. Konepajateollisuuden ympäristöhaittojen vähentäminen. Espoo: VTT, 102s. ISBN 951-38-4378-5