



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ENERGIATEHOKKUUS JA TEOLLISUUSUUNIN POIS- TOILMAN HYÖDYNTÄMI- NEN

TEKIJÄ:

Mirja Silvennoinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Mirja Silvennoinen	
Työn nimi Energiatehokkuus ja teollisuusuunin poistoilman hyödyntäminen	
Päiväys 2.1.2021	Sivumäärä/Liitteet 31
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Fiskars Finland Oy Ab:n Sorsakosken astiatehdas	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin teollisuusuunin poistoilman määrät sekä sen hyödyntämismahdollisuuksia. Poistoilman hyödyntämisen tavoitteena on pienentää energiankäyttöä sekä siitä aiheutuvia kustannuksia, jolloin voidaan saavuttaa hyötyjä sekä taloudellisesta että kestävästä kehityksen näkökulmasta. Opinnäytetyön teoriaosio käsittelee energiatehokkuuden perusteita, sekä energiatehokkuutta teollisuusuneissa ja teollisuuskiinteistöissä.</p> <p>Lähtötilanteen selvittämiseksi polttouunin poistoilman määrät ja lämpötehot määriteltiin mittauksin ja laskelmin. Uunin toimintaperiaatteet selvitettiin tutustumalla uuniin ja sen toimintaan tehtaalla sekä uuniin ja sen toimintaan liittyviin valmiisiin materiaaleihin. Mittaukset suoritettiin Testo 440dP -monitoimimittarilla poistoilmakanaviin poratuista rei'istä. Poistoilman hyödyntämistä arvioitiin erikseen määriteltyjen poistopisteiden osalta ja erikseen määritellyissä käyttökohteissa. Poistoilman soveltuvuutta hyödynnettäväksi arvioitiin oletuksella, että poistoilma sisältää vain ilmaa eikä ilmassa mahdollisesti olevia epäpuhtauksia tai kosteutta ole laskelmissa huomioitu.</p> <p>Mittausten ja laskelmien perustella näyttäisi siltä, että uunilta poistuvan poistoilman hyödyntäminen olisi järkevintä välikuivausvaiheissa, mikäli hyödyntäminen voitaisiin tehdä ilman lämmönsiirratkaisua. Lämmönsiirtimellisen ratkaisun kustannukset olisivat suuremmat ja mikäli tämmöiseen ratkaisuun päädyttäisiin, tulisi poistoilman hyödyntämistä arvioida kaiken poistoilman osalta kokonaisuutena, ei pelkästään pistekohtaisista poistoista. Välikuivauksien ja hajunpoiston poistoilma on arvioin mukaan vähiten epäpuhtauksia sisältävää, ja tästä syystä helpoiten hyödynnettävää. Ennen tarkempien selvitysten sekä jatkotoimien suunnittelua tulisi poistoilman koostumus ja epäpuhtaudet selvittää, että voidaan tarkemmin arvioida mahdollisuudet poistoilman hyödyntämiseen, puhdistustarpeeseen sekä tehdä oikeanlaiset laitteistovalinnat.</p>	
Avainsanat energiatehokkuus, teollisuusuuni, lämmön talteenotto, poistoilman hyödyntäminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Mirja Silvennoinen	
Title of Thesis Energy efficiency and utilization of industrial furnace exhaust air	
Date 2. january 2021	Pages/Appendices 31
Client Organisation /Partners Fiskars Finland Oy Ab:n Sorsakoski cookware factory	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was resolving the volumes of industrial furnace exhaust air and its utilization possibilities. The aim of utilizing exhaust air is to reduce the use of energy and the costs involved, so that benefits can be achieved from both an economic and sustainable development perspective. The theoretical part of the thesis consists of the basics of energy efficiency, as well as energy efficiency in industrial furnaces and industrial properties.</p> <p>To determine the initial situation, the combustion furnace exhaust air volumes and heat contents were determined by measurements and calculations. The operating principles of the furnace were clarified by getting acquainted with the furnace and its operation at the factory, as well as the materials related to the furnace and its operation. Measurements were performed with a Testo 440dP meter from holes drilled in the exhaust air ducts. Exhaust air utilization was assessed for defined exhaust points and in defined applications. The suitability of the exhaust air for utilization was assessed on the assumption that exhaust air contains only air and that possible pollutants in the air have not been taken into account in the calculations.</p> <p>Based on the measurements and calculations, it seems that the utilization of the exhaust air leaving the oven would be most profitable in the drying stages, if the utilization could be done without a heat exchanger. The cost of a heat exchanger would be higher, and if this kind of a solution is going to be considered, the utilization of exhaust air should be assessed for all exhaust air together, not just point-by-point exhaust. It is estimated that exhaust air from drying and smoke removal contains least impurities and is therefore easiest to utilize. Prior to more detailed clarification and planning, the composition and impurities of the exhaust air should be determined so that the possibilities of utilizing it, the need for filtration and making the right equipment choices can be assessed in more detail.</p>	
<p>Keywords energy efficiency, industrial furnace, heat recovery, utilization of exhaust air</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Toimeksiantajan esittely ja työn tausta.....	6
1.2	Käytetyt lyhenteen	7
2	ENERGIATEHOKKUUS	9
2.1	Energiatehokkuus osana yrityksen toimintaa.....	9
2.2	Perusteet energiatehokkuuden parantamiselle ja energiatehokkuuteen ohjaaminen	10
2.2.1	Energianeuvonta	11
2.2.2	Energiatehokkuussopimukset	11
2.2.3	Energiakatselmukset	12
2.3	Teollisuusuunien energiatehokkuus	12
2.4	Energiatehokkuus teollisuuskiinteistöissä	13
3	LÄMMÖNTALTEENOTTO JA LÄMMÖNSIIRTO.....	16
3.1	Epäpuhtauksien poisto	16
3.2	Lämmönsiirrin.....	16
3.2.1	Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet	17
3.2.2	Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet	17
3.2.3	Regeneratiivinen eli lämpöä varaava lämmönsiirrin.....	19
3.2.4	Lämpöpumput	20
4	POLTTOUUNIN POISTOILMAN HYÖDYNTÄMINEN SORSAKOSKEN TEHTAALLA	21
4.1	Uunin kuvaus ja lähtötiedot	21
4.2	Välikuivaus 1 ja 2, kuvaus ja lähtötiedot.....	22
4.3	Mittaustulokset uunilta	22
4.4	Mittaustulokset välikuivaus 1 ja 2.....	25
5	TULOKSET	26
5.1	Uunin poistoilman lämpötehon tarkastelu mittaustulosten pohjalta.....	26
5.2	Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen.....	27
5.2.1	Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen esilämmityksen tuloilmana (G)	27

5.2.2 Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen välikuivauksen 1 ja 2 tuloilman lämmittämiseen.....	28
5.2.3 Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen LTO:hon tai energiavaraajalle	28
5.3 Jäähdytyksen poisto (D) lämpötilan hyödyntäminen haaralla kokoonpanoon, pinnoitukseen, toimistoon.....	28
5.4 Esilämmityksen lämmön (A) hyödyntäminen takaisin esilämmitykseen tai välikuivaus 1:seen	28
5.5 Hajunpoiston lämmön hyödyntäminen esilämmitykseen	29
5.6 Välikuivaus 1 lämpötilan hyödynnys välikuivaus 2:ssa.....	29
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
LÄHTEET	32

KUVALUETTELO

KUVA 1. Yrityksen energiatehokkuustoiminta (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 8)	9
KUVA 2. Ilmanvaihdon tarkastuslista (Motiva 2020, 21)	15
KUVA 3. Ristivirtauslämmönsiirtimen toimintaperiaate (Systemair 2021)	17
KUVA 4. Nestekiertoinen epäsuora lämmöntalteenottojärjestelmä Seppäsen (2008, 287) mukaan.....	18
KUVA 5. Lämpöputkipatteri (Swegon 2021)	18
KUVA 6. Pyörivä regeneratiivinen lämmönsiirrin (Systemair 2021)	19
KUVA 7. Virtausta vaihtavan lämmönsiirtimen toimintaperiaate Seppäsen (2008, 289) mukaan.....	20
Kuva 8. Lämpöpumpppu-prosessi Seppäsen (2008, 290) mukaan.	20
KUVA 9. Kuva polttouunista (Silvennoinen 2020).....	21
KUVA 10. Polttouunin alueet sekä tulo- ja poistoilmapisteen A-G (Fiskars 2020).....	22
KUVA 11. Mittauslaite Testo 440dP (Silvennoinen 2020)	23
KUVA 12. Sähkönkulutuksen mittaustulos uunista (Fiskars 2020)	24

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui energiatehokkuus sekä teollisuusyrityksen polttouunin poistoilman hyödyntämisen keinot eräässä teollisuusyrityksessä. Energiatehokkuuden parantaminen on yksi EU:n energiapolitiikan painopistealueita, ja energian kulutuksen pienentämiselle on asetettu EU-tasoiset tavoitteet, jotka ohjaavat toimia myös Suomessa. Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään energiatehokkuustavoitteiden taustoja ja perusteita, yritysten energiatehokkuustoimia sekä erilaisia ohjaavia toimintamalleja toimia energiatehokkuuden parantamiseksi ja sen edistämiseksi, sekä rakennusten ja teollisuusuunien energiatehokkuutta. Teoriaosiossa käydään myös läpi lämmönsiirron perusperiaatteet sekä esitellään lyhyesti erilaiset lämmönsiirrintyytit. Opinnäytetyön tutkimusosiossa ei selvitetä eikä käsitellä rakennusten energiatehokkuutta tai siihen liittyviä toimia, teoriaosiossa aihepiiri on kuitenkin mukana, koska rakennusten ja toimitilojen energiakulut ovat merkittävä osa yritysten kokonaisenergiankulutusta.

Yritysten on kohtuullisen helppo omaksua energiatehokkuusajattelu osaksi yritystoiminnan kehittämistä, koska tehostaminen yleisesti ottaenkin on olennainen osa taloudellista ajattelua. Fossiilisten polttoaineiden riittävyyden rajallisuus on ymmärretty, eikä uusiutuvilla energiamuodoilla ole mahdollista korvata kaikkea fossiilisten polttoaineiden käyttöä, joten on välttämätöntä alkaa vähentämään käytetyn energian määrää. Energiatehokkuus käsitteenä tarkoittaa samaa asiaa kuin energian säästäminen, mutta energiatehokkuuteen liittyy jokin tekninen ratkaisu tai innovaatio, minkä avulla energiaa voidaan käyttää vähemmän tai hyödyntää sitä tehokkaammin. Aikaisempina vuosikymmeninä energian kulutus ei ole ollut niin merkittävässä roolissa, eikä tätä ole huomioitu esimerkiksi tuotteiden tai koneiden suunnittelussa niin, että niiden käyttäminen kuluttaisi mahdollisimman vähän energiaa. Tästä syystä energiatehokkuusajattelulle on iso tarve ja tilaus, ja tehtävillä energiatehokkuustoimilla voidaan yleensä saavuttaa isojakin vaikutuksia. (Laitinen 2012, 92-94.)

EU:n asettama säästötavoite energiankulutukselle on 32,5% vuoteen 2030 mennessä. EU:n jäsenvaltioille säädettiin myös kumulatiivinen vuosittainen energiansäästövelvoite, joka on 0,8% vuosille 2021-2030. Energiansäästötavoitteeseen pääsemistä ohjataan erilaisilla keinoilla, mm. vapaaehtoisilla energiasopimuksilla, neuvonnalla sekä tukemalla energiaselvityksiä ja energiatehokkuusinvestointeja. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 11.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää toimeksiantajayritykselle heidän polttouunin poistoilman käyttömahdollisuuksia ja -käyttökohteita yrityksen omassa toiminnassa joko samassa prosessissa tai toisaalla yrityksen toiminnassa. Lämpimän poistoilman hyödyntämisellä toivotaan saavutettavan säästöjä energiankulutuksessa ja tätä kautta mahdollistetaan kestävään kehitykseen liittyvien tavoitteiden saavuttaminen.

1.1 Toimeksiantajan esittely ja työn tausta

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Fiskars Oy Ab:n Sorsakosken astiatehdas. Opinnäytetyössä pohditaan ratkaisua yrityksessä käytössä olevan, sähkölämmitteisen polttouunin esilämmityksen, polttoalueen, haihdutusalueen ja/tai jäähdytysalueen poistoilman hyödyntämiseksi. Tällä hetkellä kuuma ilma poistuu suoraan ulkoilmaan ja mahdollisia hyödyntämiskohteita on ennen selvityksen

aloittamista ajateltu olevan kiinteistön tuloilman lämmittämisessä ja/tai uunin tuloilman esilämmittämisessä.

Projektin edetessä kiinnostuttiin selvittämään uunilta poistuvan lämpimän ilman käyttämistä suoraan uunin tuloilmana tai välillisesti uunin tuloilman lämmittämiseen tai vaihtoehtoisesti prosessin aikaisemmassa vaiheessa, välikuivauksessa tuloilman lämmittämiseen, mutta kuitenkin lähellä lämmönlähdettä. Yksi valittu tarkastelukohde poistoilman hyödyntämiseen on polttouunin lähellä sijaitsevien tilojen sisäilman lämmittäminen.

Tehdaskiinteistössä on tehty kesällä 2020 koko kiinteistöä koskeva selvitys lämmitystehon tarpeesta, nykyisestä lämmitysjärjestelmästä, tulevista sekä poistuvista ilmamääristä sekä ilmanvaihtokoneiden toiminnasta. Polttouunin kuumen poistoilman talteenotto on siis osa laajempaa tehtaan ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän selvitystä ja mahdollista uudistamista. Tehdyssä selvityksessä käsitellään laajasti kiinteistön ilmanvaihdon ja siihen liittyvän laitteiston tilaa, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain polttouunin poistoilman hyödyntämiseen joko prosessissa itsessään tai muussa käyttökohteessa lähellä lämmönlähdettä.

Fiskars Groupin itsellensä asettamissa omaan toimintaan kohdistuvissa tavoitteissa on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 50 prosentilla vuoteen 2027 mennessä vuoden 2017 tasoon verrattuna. Energiatohokkuustavoitteena on tuotannon energian kulutuksen pienentäminen 30 prosentilla vuoteen 2027 mennessä. Yhtiön Suomen, Slovenian ja Irlannin toiminnot käyttävät 100 prosenttisesti uusiutuvaa energiaa. Päästöjen vähentämiseen sekä energiatohokkuuteen tähtäävien tavoitteiden saavuttamiseksi yhtiö työskentelee yhdessä toimittajiensa ja kumppaneidensa kanssa sekä investoi uusiutuvaan energiaan. (Fiskars 2020.)

1.2 Käytetyt lyhenteen

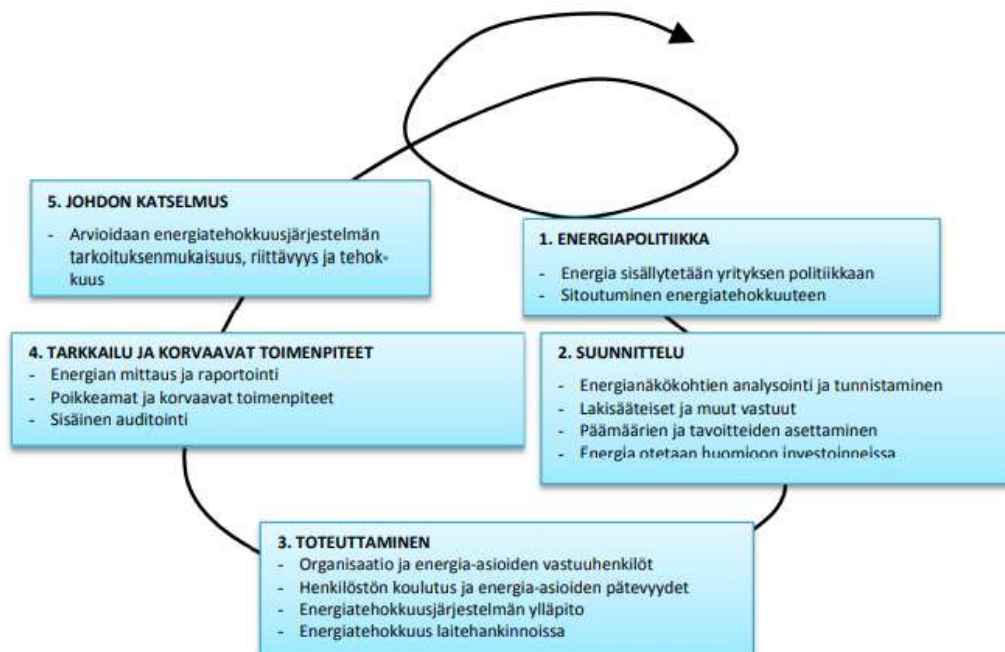
°C	celsius
$C_{p,i}$	ilman ominaislämpökapasiteetti
$q_{v,i}$	ilman tilavuusvirta
K	kelvin
kg	kilogramma
kJ	kilojoule
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
m^3	kuutiometri
MW	megawatti
MWh	megawattitunti
s	sekunti

ρ	tiheys
Δt	tulo- ja poistoilman lämpötilaero

2 ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Energiatehokkuus osana yrityksen toimintaa

Energiatehokkuuden tulisi olla tärkeä osa yritysten laatu-, ympäristö- ja muita järjestelmiä ja energian kulutusta ja toiminnasta aiheutuvia päästöjä ja energian kustannusvaikutuksia tulisi arvioida kaikissa toiminnoissa osana kokonaisuutta (kuva 1). Usein yrityksen energiatehokkuushankkeiden ensisijainen tavoite on parempi kustannustehokkuus, mutta yrityksen tekemät energiatehokkuustoimet ja niiden ympäristövaikutukset ovat usein myös kilpailuetu yritykselle. Energiatehokkuustoimia tehdään teknisten laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä, ympäristölupamenettelyn tai ympäristöjärjestelmien laatimisen yhteydessä tai erillishankkeina, joissa pääasiallinen tarkoitus on energiakustannusten pienentäminen. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 7,24.)



KUVA 1. Yrityksen energiatehokkuustoiminta (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 8)

Energiansäästötoimia voidaan yritystoiminnassa tehdä monella toiminnan osa-alueella. Tuotantoprosessit kuluttavat tyypillisesti paljon energiaa ja näiden energian säästötoimien suunnittelussa tärkeää on ensin määrittellä prosessien ja osaprosessien energiataseet. Rakennusten suurin energiankulutuskohte on lämmitys, ilmastointi, käyttöveden lämmitys, valaistus sekä koneet ja laitteet. Rakennusten ja toimitilojen energiatehokkuuteen voidaan parhaiten vaikuttaa niiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. Tuotteiden valmistamisen sekä niiden elinkaaren aikaiseen energiantarpeeseen voidaan vaikuttaa tuotteita suunniteltaessa esimerkiksi materiaali-, valmistustapa- sekä pakkausvalinnoilla. Suunnitteluvaihe määrittää myös tuotteen käyttämiseen tarvittavan energiankulutuksen sekä elinkaaren jälkeisen hyödyntämismahdollisuuden. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 9.)

Energiatehokkuuden parantaminen on helppoa ja yleensä myös kannattavinta silloin, kun muutoinkin ollaan investoimassa uuteen rakennukseen, prosessiin tai koneeseen. Suunnitteluvaiheessa energianäkökulma on mahdollista ottaa huomioon kaikissa hankinnoissa koko investoinnin kohteen elinkaaren ajalle ja suunnittelu kannattaa tehdä huolella. Valinnoissa tulisi kiinnittää huomiota hankintojen energiatehokkuuden lisäksi myös käytönaikaisen energian kulutuksen ja energiatehokkuuden mittaamisen ja seurannan mahdollisuuksiin. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 9-10.)

Myös normaalin toiminnan ja käytönaikaista energiatehokkuuden parantamista kannattaa tehdä. Koko toiminnan ja toimitilojen energiankulutuksen jakaumien tunteminen osaprosesseittain tai laiteryhmittäin ja käyttökohteittain helpottaa kiinnittämään huomiota oikeisiin energiankulutuskohteisiin, kun lähdetään suunnittelemaan energiatehokkuustoimia. Lähtötilanteen kartoitus on tärkeää kulutuksen ja kustannusten muodostumisen tuntemiseksi. Lähtötilanteessa tehdyn selvityksen tarkkuuteen vaikuttaa käytettävissä olevat mittausmahdollisuudet ja -resurssit. Käytönaikaisen energiankulutuksen selvittämisen yhteydessä tulisi myös selvittää energian hankintakustannukset ja tariffit sekä kulutuksen vaihtelu eri vuorokauden ja vuoden aikoina. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 12.)

Energiatehokkuustoimilla on kustannussäästöjen lisäksi vaikutuksia yleensä tuotantomäärään ja -laatuun, tuotannon tehokkuuteen, käytönaikaisiin kustannuksiin, huollon tarpeeseen sekä myös muuhun energian tai veden käyttöön. Näillä muilla vaikutuksilla voi olla merkittävä rooli investoinnin toteutettavuudessa. Ennen energiatehokkuustoimen toteuttamispäätöstä olisi hyvä selvittää hankkeen kokonaisvaikutus, kokonaiskustannukset ja investoinnin takaisinmaksuaika. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 24.)

2.2 Perusteet energiatehokkuuden parantamiselle ja energiatehokkuuteen ohjaaminen

Energiatehokkuudella tarkoitetaan toimia, joilla pyritään tuottamaan palveluita ja tuotteita mahdollisimman vähäisellä energiamäärällä. Säästämällä energiaa voidaan pienentää toiminnasta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä sekä parantaa kilpailukykyisyyttä, kun energiakustannukset pienenevät. Energiatehokkuutta edistetään yhteiskunnan toimesta EU:n ja kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan keinoilla. (Energiavirasto 2020.)

Euroopan parlamentin rooli on merkittävä sen asettamien energian säästämiseen liittyvien tavoitteiden ja säädösten vuoksi myös Suomelle. EU ohjaa jäsenmaidensa toimintaa kohti energiatehokkaampaa toimintaa lainsäädännöllisin keinoin sekä myös ohjeistamalla sekä tukemalla energiahankkeita erilaisilla rahoitusratkaisuilla. (Euroopan parlamentti 2020, 5.)

Energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien säädösten keskeisin tavoite on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää energiatehokkuustoimia kaikilla sektoreilla. Energian säästäminen on tärkeää ilmastonmuutoksen hillitsemisen ja ympäristön- ja ilmansuojelun lisäksi energian riittävyden turvaamiseksi, tuontienergiatarpeen pienentämiseksi sekä energian hinnan alentamiseksi. Teollisuusyrityksen näkökulmasta energiatehokkuustoimien tavoitteena on myös toiminnan kustannusten aleneminen pienempien energiakulujen myötä, ja tätä kautta kannattavuuden paraneminen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 20-22.)

EU-tasoisista, jäsenmaita sitovista energiatehokkuustavoitteista vuodelle 2030 ja velvoitekaudelle 2021-2030, sekä energiatehokkuuden edistämiseksi muutoin on säädetty energiatehokkuusdirektiivissä (EU)2018/2002, joka tuli tarkastettuna voimaan 24.12.2018. Energiatehokkuusdirektiivissä määritellään tavoitteet ja suuntaviivat energiatehokkuustyölle tuleville vuosille. Aikaisemmin tavoitteeksi on asetettu 20% energiatehokkuustavoite vuoteen 2020 mennessä. Jatkotavoite vuodelle 2030 on vähintään 32,5%. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 11-12.)

Energiatehokkuusdirektiivi on tärkein osa EU:n energiatehokkuuspolitiikkaa. Energiatehokkuusdirektiivi on annettu alun perin vuonna 2012 ja tätä on tarkistettu ja uudistettu vuosien kuluessa siten, että se ohjaa paremmin EU:n energiatehokkuuspolitiikan mukaisiin tavoitteisiin tavoitekaupana. (Euroopan komissio 2020, 3.)

Uusi energiatehokkuusdirektiivi on osa Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille -säästöpakettia ja se on asetettu vuonna 2018. EU:n jäsenvaltioiden oli saatava se osaksi kansallista lainsäädäntöään kesään 2020 mennessä. Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille -säästöpaketin tavoitteena on saada EU:n energialainsäädäntö sellaiseksi, että vuodelle 2030 asetetut energiansäästötavoitteet voidaan saavuttaa. Yksi EU:n energiaunionin keskeisistä perusperiaatteista on Energiatehokkuus etusijalle. Tällä halutaan varmistaa turvattu, kestävä, kilpailukykyinen ja kohtuuhintainen energiahuolto EU:ssa. (Euroopan parlamentti 2020, 1-2.)

2.2.1 Energianeuvonta

Energiatehokkuustietoa pyritään lisäämään alueellisella, puolueettomalla ja Energiaviraston rahoittamalla energianeuvonnalla, jota annetaan kunnille, kuluttajille ja pk-yrityksille. Neuvonnalla edistetään päästövähennystavoitteisiin pääsemistä ja myös välillisesti energiatehokkuusdirektiivin toteuttamista. Energiavirasto hallinnoi ja ohjaa niitä energiatehokkuustoimia, jotka kuuluvat työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalaan ja energianeuvonta on yksi näistä. Neuvontaa toteutetaan monilla tavoilla, esimerkiksi kampanjoilla, seminaareilla ja henkilökohtaisella neuvonnalla. Energiavirasto myös rahoittaa neuvontaa ja neuvontamateriaalien laatimista. (Energiavirasto, 2020.)

2.2.2 Energiatehokkuussopimukset

Energiatehokkuussopimukset ovat valtion ja eri toimialojen yhdessä sopimia tapoja päästä Suomelle asetettuihin energiatehokkuustavoitteisiin. Näillä sopimuksilla ohjataan yrityksiä parantamaan omaa energiatehokkuuttaan vapaaehtoisesti niin, ettei uutta, pakottavaa sääntelyä tarvittaisi. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020.)

Uusi energiatehokkuussopimuskausi käynnistyi vuoden 2017 alussa ja sopimuskausi kattaa vuodet 2017-2025. Edellinen sopimuskausi koski vuosia 2008-2016. Edellisellä, vuonna 2016 päättyneellä sopimuskaudella, energiatehokkuustoimien ansioista syntyneet säästöt energiankäytössä vuositasolla olivat lähes 16TWh. Säästetty määrä on suurempi, kun kaikkien yli 1,9 miljoonan suomalaisen kerrostaloasujan vuoden aikana käyttämä lämpöenergian määrä. Hiilidioksidipäästöihin edellisen sopimuskauden vaikutukset olivat 4,7 miljoonaa tonnia ja euromääräisiä energiakuluja 560 miljoonaa euroa. (Motiva, 2020.)

Energiatehokkuussopimusten tarkoituksena on parantaa yritysten energiatehokkuutta sekä edistää uuden ja innovatiivisen tekniikan käyttöönottoa. Sopimuksiin liittyneitä yrityksiä kannustetaan tehostamaan omaa energiankäyttöään ja tätä kautta parantamaan kilpailukykyään. Toimintaa varten yritykset saavat tukea sekä tehostamistoimiin suunnattuja kannustimia. Esimerkiksi yritysten tekemiä energiakatselmuksia ja -analyyssejä tuetaan valtion toimesta. Joissakin tapauksissa tukea on saatavilla myös energiatehokkuusinvestointeihin ja energiatehokkaan teknologian käyttöönottoon. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 30.)

Vapaaehtoisilla energiatehokkuussopimustoimilla on vuoden 2016 loppuun mennessä saavutettu noin 2/3-osaa toimeenpanokauden 2004-2020 sitovasta energiansäästöavoitteesta. Energiatehokkuussopimukset jatkuvat vuoteen 2025 saakka, joten näillä on merkittävä vaikutus myös tulevilla velvoitekaudella. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 21-22.)

Energiatehokkuussopimuksia on tehty Suomessa jo vuodesta 1997 alkaen. Teollinen toiminta ja energia-ala kuuluvat Elinkeinoelämän sopimusalan piiriin. Halukkaat yritykset voivat liittyä energiatehokkuussopimukseen ja sitoutua toimenpideohjelmaan kirjattuihin toimenpiteisiin allekirjoittamalla liittymisasiakirjan. Kun toimialaliitto on hyväksynyt liittymisasiakirjan, merkitään yritys liittymisasiakirjarekisteriin. Toimenpideohjelmien mukaisesti yritys sitoutuu myös raportoimaan energiatehokkuussopimuksen seurantajärjestelmään vuosittain energian käytöstään, energiankäytön tehostamistoimistaan sekä muista toimenpideohjelman mukaisista toimista ja niiden toteutumisesta. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 27-30.)

2.2.3 Energiakatselmukset

Vapaaehtoisia, pk-yritysten tekemiä energiakatselmuksia tuetaan Työ- ja elinkeinoministeriöstä. Suuryrityksille energiakatselmointi on pakollista vuonna 2015 voimaantulleen energiatehokkuuslain perusteella. Energiakatselmusten tarkoituksena on selvittää katselmuksen kohteen kokonaisenergian käyttö sekä selvittää energiansäästöpotentiaalia. Katselmuksessa esitetään myös mahdolliset säästötoimenpiteet kannattavuuslaskelmineen. Työ- ja elinkeinoministeriön tukemasta energiakatselmoinnista vastaa Motiva Oy, joka edistää katselmustoimintaa sekä vastaa katselmoijien koulutuksesta ja katselmustyön laadusta sekä ylläpitää energiakatselmustoiminnan seurantajärjestelmää johon kerätään tiedot kaikista energiakatselmuksista. Katselmustoiminta on käynnistynyt Suomessa jo vuonna 1992. (Motiva, 2020.)

2.3 Teollisuusunien energiatehokkuus

Usein kappaletavaran kuivatukseen käytetään sähköllä lämmitettäviä uuneja. Uunin lämmitysmenetelmä voi olla suora tai epäsuora. Suorassa menetelmässä sähkö johdetaan suoraan kappaleeseen sen lämmittämiseksi esimerkiksi induktiolla. Epäsuorassa menetelmässä lämmitetään esimerkiksi vastusta ja lämpö siirtyy kappaleeseen johtumalla. (Motiva 2015, 15.)

Teollisuusunien energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa parantamalla lämmityksen hyötysuhdetta, uunin tehokkaalla täyttämällä, lämpövoutojen minimoimisella, prosessien hallinnalla sekä ylijäämälämmön hyödyntämisellä. Uunin energiankäytön tehostaminen pienentää energiakustannuksia ja tätä kautta parantaa uunin tuotantotehokkuutta sekä vähentää toiminnasta aiheutuvia CO₂-päästöjä.

Uunin lämmityksen hyötysuhdetta voi parantaa esilämmittämällä tuloilmaa ja pitämällä uunin sähkövastukset kunnossa. Sähkövastuksen vastusmateriaalin ominaisvastus kasvaa vastuksen vanhetessa ja tämä pienentää uunin tehoa. Uunin rakenteita tarkkailemalla voidaan havaita mahdolliset halkeamat ym. viat uunissa, jotka voivat aiheuttaa lämpövuotoja. Lämpövuotoja voidaan havainnoida esimerkiksi lämpökameran avulla. Myös uunin eristeiden kunto tulisi tarkastaa säännöllisesti. Uunin energiankäyttöön voidaan vaikuttaa optimoimalla uunin käyttöä; lämmitetään vain tarpeeseen, mitoitetaan prosessi ja täytetään uuni oikein sekä vähennetään huipputehon tarvetta välttämällä kuormituspiikkejä. (Motiva 2020, 2- 16.)

Uunin energiankäytön tehostamiseen voidaan vaikuttaa myös uunin apujärjestelmien toimintaa sekä prosessia ja mittaamista tehostamalla. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi ilmajärjestelmien ohjauksen toimivuutta sekä lämmöntalteenottoa poistoilmasta, lämpöpintojen puhtaudesta huolehtimista sekä jäädytyksen ohjausta sekä toteuttamistapaa. Prosessin seurantaan tulisi valita parhaiten tilanteeseen soveltuvat mittaustavat sekä tunnusluvut, ja mittauksen ja seurannan tulisi olla suunnitelmallista. Mittalaitteiston toimivuuden sekä niiden käyttäjien osaamisen varmistaminen on myös tärkeää. (Motiva 2020, 17-20.)

Kun uunin ylijäämälämmön hyödyntämistä ja käyttökohteita aletaan miettimään, tulisi alkuun selvittää missä ja minkä verran ylijäämälämpöä syntyy. Ylijäämälämpöä on yleensä uunin poistoilmassa ja tämän lisäksi usein myös tuotantotilassa, jossa uuni sijaitsee. Uunin ylijäämälämpöä voidaan hyödyntämällä lämmönsiirtimillä, lämpöpumppuratkaisuilla tai uunin omilla lämmöntalteenottoratkaisuilla esim. tuloilman esilämmittämiseksi. Tuotantotilassa syntyvä ylijäämälämpö, joka on lämpötilaltaan yleensä alle 50 °C, voidaan usein hyödyntää kannattavasti tarkoitukseen sopivalla lämpöpumppuratkaisulla. (Motiva 2020, 11-13.)

Yksi yleisesti käytetty tapa hyödyntää uunilta talteen otettua lämpöä, on esilämmittää sillä prosessiin syötettävää tuloilmaa (Motiva 2015, 50).

Lämmöntalteenottoratkaisu tulisi suunnitella siten, että talteenotettu lämpö voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti prosessissa, tällöin talteenoton investoinnista saadaan mahdollisimman kannattava. Suunnittelussa tulisi huomioida lämmönsiirtomatka lämmön käyttöpaikalle sekä myös lämmön tarpeen ja ylijäämälämmön tuotannon samanaikaisuus. Yleisesti ottaen teollisuusuneissa lämmöntalteenotto on merkittävä energiatehokkuuden osa-alue. Lämmönsiirron suunnittelussa tulisi myös huomioida lämmöntalteenoton vaikutus ilmavirtauksiin uunissa. Esimerkiksi lämmönsiirtimen lämpöpintojen likaantuminen voi vaikuttaa virtauksiin ja tätä kautta ilmajärjestelmän painesuhteiden muuttumiseen. (Motiva 2015, 20-22.)

2.4 Energiategokkuus teollisuuskiinteistöissä

Rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen tähdätään EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivillä 2010/31/EU, jonka muutos tuli voimaan 9.7.2018. Direktiivin muutoksen tarkoituksena on ollut nopeuttaa rakennusten peruskorjauksia sekä lisätä rakennuksissa käytettävien älykkäiden teknologioiden määrää. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 17-18.)

Teollisuuskiinteistöjen ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantamisella voidaan vaikuttaa kiinteistöjen kokonaisenergian käyttöön. Merkittävä osa teollisuuskiinteistöjen energiankäytöstä ja keskimäärin 31% teollisuuskiinteistön lämpöenergiasta kuluu ilmanvaihtoon. Vanhan teollisuuskiinteistön ilmanvaihto ei välttämättä vastaa tämän päivän mukaisiin vaatimuksiin eikä myöskään toiminnan usein vaatimiin normaalista poikkeaviin ilmanvaihtotarpeisiin, ja huonosti toimiva ilmanvaihto vaikuttaa myös työntekijöiden työskentelyolosuhteisiin heikentävästi. (Motiva, 2019.)

Kiinteistöjen ilmanvaihdon ja ilmastoinnin kokonaisenergiakulutus koostuu tuloilman lämmittämiseen, rakennuksen vuotoilman lämmittämiseen, ilmaa siirtävien puhaltimien toimintaan sekä ilmanvaihtokoneen toimintaan tarvittavasta energiasta. (Seppänen 2004, 100).

Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa ilmavirtojen, tuloilman lämpötilan, puhaltimien säätötavan ja käyntiajan sekä lämmöntalteenoton tehokkuuden kautta. Ilmavirtojen, lämpötilojen sekä käyntiaikojen säätö-, mittaus- ja ohjaustapaan sekä säätöjen oikeellisuuteen ja tilanteeseen sopivuuteen tulisi kiinnittää huomiota. Puutteellinen ilmanvaihdon hallinta voi johtaa heikkoon tai epätasalaatuiseen ilmanlaatuun, vääränlaisiin paine-eroihin eri tilojen välillä sekä liikaisen ilman liikumiseen ei-toivotuille alueille. Vääränlaiset tai sopimattomat laite- ja suodatinvalinnat heikentävät ilmanlaatua ja kasvattavat huoltokustannuksia. Myös laitteiden huoltoon ja kunnossapitoon tulisi kiinnittää huomiota, että niiden toiminta säilyisi mahdollisimman energiatehokkaana. (Motiva 2020, 7-9.)

Energiansäästökeinoja mietittäessä tulisi ensin selvittää ilmankäsittelyprosessi, säätö- ja ohjaustapa, ilmavirran mitoitus ja toteutuneet ilmavirrat, tulo- ja poistoilman määrät, tuloilman lämpötila, ilmanvaihdon käyntiaika, lämmöntalteenoton toiminta sekä eri palvelualueet ja niiden tarpeet (kuva 2). Tulo- ja poistoilmakoneista tulisi tarkastaa silmämääräisesti laitteiden kunto, ikä, puhtaus ja kytkennät. Lisäksi tarkastetaan koneen ohjaukset, käyntiajat, säätöperiaatteiden tarkoituksenmukaisuus sekä toimintalämpötilat ja verrataan niitä säädettyihin asetusarvoihin. Lämmityspatterin säätöventtiiliin toimivuus sekä sulkupeltien tiivis sulkeutuminen tulisi myös tarkastaa. Lämmöntalteenotosta tarkastetaan oikeanlainen toimivuus ja hyötysuhde, ja puhaltimista tarkastetaan säätötapa ja sen toiminnan tarkoituksenmukaisuus. Puhaltimesta selvitetään myös toimintapiste, hyötysuhde sekä SFP-luku. (Motiva 2020, 10-13.)

<p>1) ILMANVAIHDON OHJAUS Tarkista toiminnan tarpeen- mukaisuus tuotannon aikana ja tuotantotuntien ulko- puolella.</p>	<p>2) ASETUSARVOT JA TOTEUMA Vertaa ilmanvaihdon asetus- arvoja, mittausarvoja ja tilojen todellisia lämpötiloja.</p>	<p>3) LÄMMITYS/JÄÄHDYTYS- PIIRIT Tarkista ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspiirien meno-lämpötilan säätötavat ja niiden toimivuus.</p>	<p>4) LTON:n KIERTOPIIRIT Tarkista lämmöntalteenoton kiertopiirien paluulämpötilat, glykolipitoisuus, paine ja virtaussäätötavat.</p>
<p>5) ILMATASE Tarkastele ilmatasetta kokonaisuutena ja eri tilojen välillä. Vertaa havaintoja mahdollisiin ilmanlaatu- tai alipaineongelmiin. Katso samassa yhteydessä rakenteiden ilmapuodot/ tiiveys.</p>	<p>6) ILMAJAKO JA PAINETASOT Tutki ilmanjakoa eri alueilla ja sen toimivuutta ilman- laadun ja lämmönjaon näkökulmasta.</p>	<p>7) LÄMPÖVUODOT Etsi mahdolliset rakenteiden lämpövuotokohdat lämpökameralla.</p>	<p>8) POISTOILMAN LÄMPÖVIRrat Tarkasta prosessi- ja yleisilmanvaihdon poistoilmojen lämpövirrat ja laske lämmön talteenoton potentiaali.</p>
<p>9) ILMANLAATU JA SUODATUS Tarkastele poistoilman laatua ja suodatuksen toimivuutta. Voiko poistoilman palauttaa alipaineiseen tilaan?</p>	<p>10) LÄMMÖNTALTEENOTTO JA SUODATUSTARPEET Selvitä mahdolliset lämmöntalteenoton hyödyntämiskohteet ja toteutusmahdollisuudet ja suodatustarpeet.</p>	<p>11) KUNNOSSAPITO- HAVAINNOT Listaa ilmanvaihdon kunnossapitohavainnot ja toimimattomat laitteet ja tarkastele niiden vaikutuksia energiatehokkuuteen.</p>	<p>12) SEURANNAN KEHITTÄMINEN Mieti, miten järjestelmän toiminnan ja energia- tehokkuuden seuranta on mahdollista kehittää niin, että sen toiminnan tilaa olisi helppo seurata.</p>

KUVA 2. Ilmanvaihdon tarkastuslista (Motiva 2020, 21)

3 LÄMMÖNTALTEENOTTO JA LÄMMÖNSIIRTO

Lämmönsiirtimen hyötysuhteen määrittelyyn tarvitaan tieto ilman lämpötilasta, kosteudesta tai entalpiasta. Hyötysuhde kuvaa lämmitetyn ilman lämpötilan suhdetta korkeimpaan laitteella saavutettavaan lämpötilaan. (Seppänen 2008, 285.)

Lämpöä voidaan siirtää suorilla ainevirroilla, jolloin aineet osuvat toisiinsa, tai epäsuorasti erilaisten lämmönsiirtopintojen välityksellä. (Motiva 2020)

Lämmöntalteenoton käyttöönottoa pohdittaessa tulisi kiinnittää huomiota myös investoinnin kannattavuuteen. Kannattavuuteen vaikuttavat poistoilman lämpötila, kosteus sekä ilmassa olevat epäpuhtaudet ja lämmöntalteenoton käyttöaika, käytettävän energian hinta sekä lämmöntalteenotolla säästettävä energian määrä, tulo- ja poistoilman keskinäinen etäisyys, laitteiston koko sekä lämmön käyttökohteen soveltuvuus eli energian kulutuksen ja lämmöntalteenoton samanaikaisuus. Saavutettavaan energiatehokkuustasoon vaikuttaa investointikustannusten lisäksi myös laitteistojen käytönaikeiset kustannukset. (Motiva 2020, 13.)

3.1 Epäpuhtauksien poisto

Lämmöntalteenottoa suunniteltaessa tulisi selvittää, minkälaisia epäpuhtauksia poistoilma sisältää. Tietoa tarvitaan, että voidaan valita oikeanlaiset puhdistuslaitteet sekä oikeat materiaalit lämmöntalteenottolaitteistoon. (Motiva 2015, 60.)

Lämmönsiirtopintojen likaantuminen pienentää lämmönsiirron energiatehokkuutta. Lämmönsiirtopintojen likaantumiseen aiheuttaa ilman mukana liikkuvat pienhiukkaset tai korroosiota edistävät aineet ja likaantumisen määrään vaikuttaa mm. virtaavan ilman lämpötila ja virtausnopeus. Lämmönsiirron energiatehokkuutta voidaan parantaa hyvällä suunnittelulla, ilmavirran käytönaikeisella puhdistamisella sekä laitteiston huoltopuhdistuksilla. Lämmönsiirron suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota ilman ominaisuuksien, kuten lämpötilan, paineen ja virtausmäärään lisäksi myös likaantumisen ja korroositaipumuksiin ja likaantumisen ennaltaehkäisemiseen. (Motiva 2020, 5-6.)

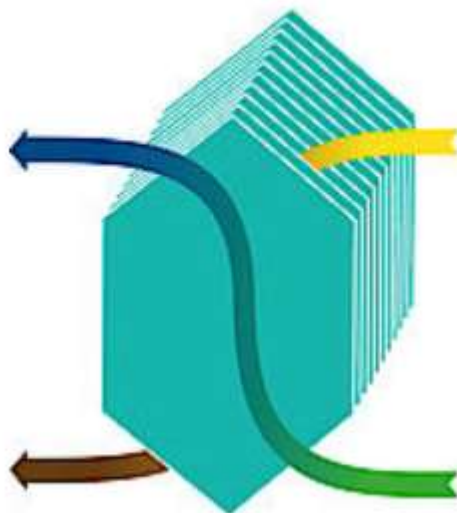
3.2 Lämmönsiirrin

Lämpösisällön talteen ottaminen ilmasta voidaan tehdä lämmönsiirrintä käyttäen. Lämmönsiirtimien tyyppisiä ovat regeneratiiviset eli lämpöä varastoivat lämmönsiirtimet, suorat tai epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet sekä märkälämmönsiirtimet. Lämmönsiirto on tehokkainta silloin, kun lämpötilaero lämpöä luovuttavan ja vastaanottavan virran välillä on mahdollisimman suuri. (Seppänen 2008, 285.)

Laittevalintoja tehtäessä on muiden seikkojen ohella kiinnitettävä huomiota materiaalivalintoihin niin, että laitteiston lämmön- ja korroosion kestävyys tulevat huomioiduksi. Poistoilmassa olevien epäpuhtauksien määrä ja laatu sekä eri epäpuhtauksien mahdolliset reaktiotuotteet ja niiden aiheuttamat vaikutukset lämmönsiirtopinnoille tulisi tunnistaa, että laitevalinta kyettäisiin tekemään olosuhteisiin mahdollisimman hyvin sopivaksi. Myös järjestelmässä liikkuvan ilman lämpötila tulee huomioida laitteistoa valittaessa. (Pienen ja keskisuuren teollisuuden oppaat B2 1987, 298.)

3.2.1 Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

Tässä lämmönsiirintyyppissä (kuva 3.) lämpö siirtyy poistoilmasta tuloilmaan suoraan ilmavirtoja erottavan levyn läpi. Suorat lämmönsiirtimet luokitellaan virtausgeometrian, lämmönsiirtopinnan muodon tai lämmönsiirtopinnan mukaan. Koska lämmönsiirtopinta-ala määrittää lämmönsiirtimen tehon, pyritään laitteisiin aikaansaamaan mahdollisimman suuri lämmönsiirtopinta-ala pieneen tilavuuteen. Vastavirtaus olisi lämpöteknisesti paras virtausgeometria, koska tällöin tulevan ja lähtevän ilman lämpötilaero on keskimäärin kaikkein suurin. Yleisimmin suorissa rekuperatiivisissä lämmönsiirtimissä käytetään ristivirtausta käytännön syistä. Lämmönsiirtopinnan muotoina käytetään yleisimmin levy- tai putkirakenteita ja lämpötilahyötysuhde vaihtelee välillä 50-70 %. Hyötysuhdetta voidaan parantaa mahdollisimman suurella lämmönsiirtopinta-alalla. Lämmönsiirtimen valinnassa tulisi kiinnittää huomiota mm. lämmönsiirtopintojen materiaaleihin. Materiaalivalinnassa huomioon tulisi ottaa korroosion kestävyys sekä puhdistettavuus. Lämmönsiirtopinnan materiaalilla ei juurikaan ole vaikutusta laitteen kykyyn siirtää lämpöä. (Seppänen 2008, 286-287.)



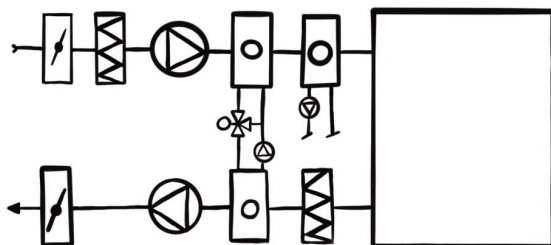
KUVA 3. Ristivirtauslämmönsiirtimen toimintaperiaate (Systemair 2021)

3.2.2 Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet voivat olla nestekiertoisia järjestelmiä tai lämpöputkipattereita (Seppänen 2008, 287). Epäsuorassa järjestelmässä poistuva ja tuleva ilmavirta eivät sekoitu keskenään eikä ilmavirtauskanavia tarvitse yhdistää. Järjestelmän hyötysuhteen säätäminen on yksinkertaista ja yleensä järjestelmä tarvitsee vain vähän tilaa. Epäsuorien lämmönsiirtimien huonoja puolia ovat alhaisempi hyötysuhde sekä vaativampi huolettavuus. (Pienen ja keskisuuren teollisuuden oppaat B2 1987, 293.)

Nestekiertoinen järjestelmä

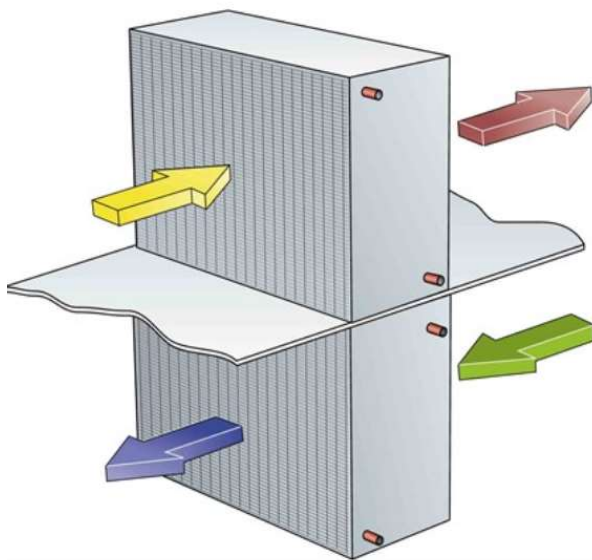
Nestekiertoisessa järjestelmässä lämmönsiirrin on lamellipatteri (kuva 4.), jossa kiertää vesi-etyleeni-glykoliseos. Tämän tyyppisen järjestelmän lämpötilahyötysuhde on yleensä 45-60 %. Nestekiertoisen järjestelmän etuna on se, ettei tulo- ja poistoilmakanavia tarvitse johtaa samaan paikkaan. (Seppänen 2008, 287.)



KUVA 4. Nestekiertoinen epäsuora lämmöntalteenottojärjestelmä Seppäsen (2008, 287) mukaan.

Lämpöputkipatteri eli ripaputkipatteri

Lämpöputkipatterissa (kuva 5.) nesteputket on korvattu lämpöputkilla, joissa vuorotellen jäähtyvä ja höyrystyvä kylmäaine toimii väliaineena. Patterissa lauhde imeytyy takaisin höyrystymisosaan esim. putkien uria pitkin kapillaarivoiman vaikutuksesta. Lämpöputkipatterin normaali lämpötilahyötysuhde on 50-80 %. Hyötysuhdetta on mahdollista parantaa patteria kallistamalla, jolloin painovoima auttaa nesteen virtaamista takaisin höyrystymisosaan. (Seppänen 2008, 288.)



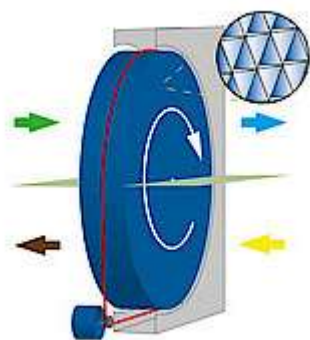
KUVA 5. Lämpöputkipatteri (Swegon 2021)

Patterilämmönsiirrintä käytettäessä saadaan erilliset, toisistaan erotetut ilmareitit tulo- ja poistoil-malle (Swegon 2021).

3.2.3 Regeneratiivinen eli lämpöä varaava lämmönsiirrin

Regeneratiivisessa lämmönsiirtimessä lämpöä siirtävä aine varastoi lämpöä ja vuoroin lämpenee ja jäähtyy tulo- ja poistoilmavirrassa ja se voi siirtää lämmön lisäksi myös kosteutta ja muita aineita ilmavirrasta toiseen. Varaavan lämmönsiirtimen hyötysuhde on suoraa lämmönsiirintä korkeampi ollen suurimmillaan 80 %. Tämän tyyppinen lämmönsiirrin voi olla pyörivä tai virtausta vaihtava järjestelmä. (Seppänen 2008, 285-290.)

Pyörivässä (kuva 6) lämmönsiirtimessä pyörivä massa siirtää lämmön sen läpi virtaavasta poistoilmasta saman kiekon läpi virtaavaan tuloilmaan. Pyörivän massan materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa laitteen ominaisuuksiin ja pyörivän kiekon pyörimisnopeudella hyötysuhteeseen. (Seppänen 2008, 288-289).

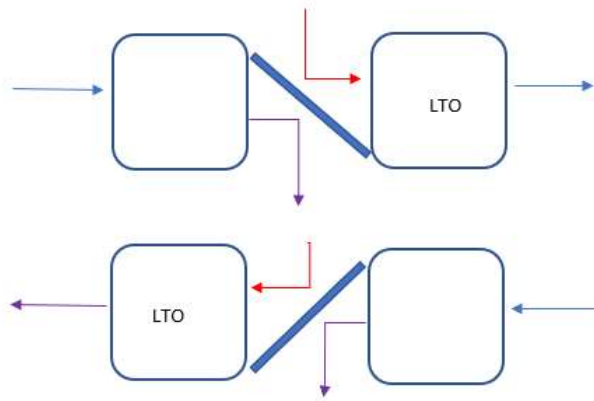


KUVA 6. Pyörivä regeneratiivinen lämmönsiirrin (Systemair 2021)

Pyörivä lämmöntalteenottolaitteisto mahdollistaa likaisen poistoilman sekoittumisen tuloilmaan, mikä tulisi huomioida laitteistoa valittaessa. Poistoilman sekoittumista tuloilmaan voidaan pienentää säättämällä laitteen painesuhteet oikeanlaisiksi. (Ripatti, Pentikäinen, Saaristo, Vasara & Liljeström 2002, 43.)

Pyörivän lämmönsiirtimen hyviä puolia ovat korkea lämpötilahyötysuhde, jopa 85 %. Laite ottaa talteen myös osan poistoilman kosteudesta ja siirtää sen tuloilmaan. (Systemair 2021.)

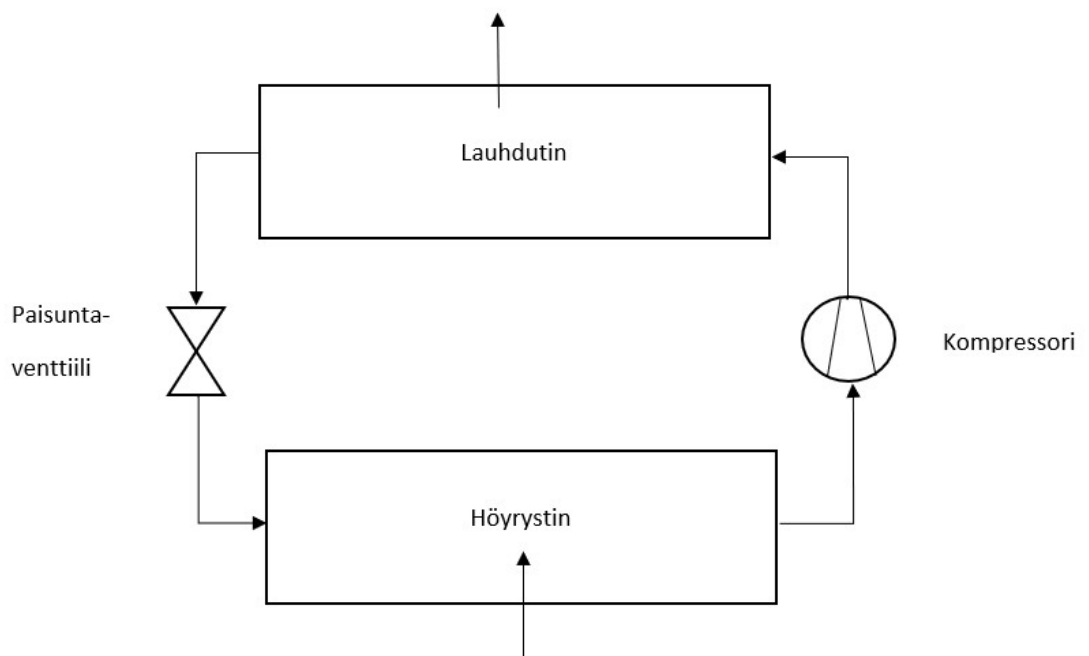
Virtausta vaihtavassa järjestelmässä (kuva 7.) vuoroin lämmitetään ja jäähdytetään kiinteää massaa tai kiinteitä massoja ilmanvirtauksen suuntaa vaihtamalla. Massat voivat olla samassa tai kokonaan erillisissä paketeissa. Poistoilman lämpö varastoituu lämpöä varaavaan massaan ja kun ilmavirtaus muutetaan kulkemaan päinvastaiseen suuntaan, tuloilma lämpenee massaan varatulla lämpöenergialla. Jaksoväliä muuttamalla voidaan vaikuttaa järjestelmän hyötysuhteeseen, eli lyhyemmällä jaksovälillä voidaan saavuttaa korkeampi hyötysuhde. (Seppänen 2008, 289-290.)



KUVA 7. Virtausta vaihtavan lämmönsiirtimen toimintaperiaate Seppäsen (2008, 289) mukaan.

3.2.4 Lämpöpumput

Lämpöpumpun (kuva 8.) höyrystimen avulla poistoilmasta saadaan lämpöenergiaa muita lämmöntalteenottokeinoja enemmän. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämpöä voidaan siirtää suoraan tai välittäjäaineen avulla esimerkiksi lämmitys- tai käyttövesipiiriin. Lämpöpumppua voidaan käyttää poistoilman hyödyntämiseen myös muussa käyttökohteessa kuin tuloilman lämmityksessä, koska järjestelmän avulla lämpötilan nosto lauhduttimella voi olla yli 40 °C. Lämpöpumpulla poistoilma voidaan jäähdyttää ulkoilmaan viileämmäksi. Lämpöpumppujärjestelmän osat ovat höyrystin, kompressorin sekä lauhdutin. (Seppänen 2008, 290).



Kuva 8. Lämpöpumppuprosessi Seppäsen (2008, 290) mukaan.

4 POLTTOUUNIN POISTOILMAN HYÖDYNTÄMINEN SORSAKOSKEN TEHTAALLA

Tässä luvussa esitetyt tausta- ja lähtötiedot sekä mittaustulokset perustuvat toimeksiantajalta saatuun materiaaleihin sekä tehtaalla aikaisemmin sekä opinnäytetyötä varten tehtyihin mittauksiin. Opinnäytetyössä tarkastellaan karkealla tasolla polttouunin poistuvan ilman erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia.

4.1 Uunin kuvaus ja lähtötiedot

Uuni, jonka poistoilman hyödyntämistä opinnäytetyö käsittelee, toimii tehtaan tuotteiden valmistusprosessissa metallisten kappaletavaran pinnoitteiden kuivaamiseen. Tällä hetkellä kuuma uunin poistoilma poistuu vapaasti ja suodattamattomana suoraan ulkoilmaan katon kautta tehtyjen läpivientien kautta. Vapaa tulo- ja poistoilman liikkuminen uunissa on tärkeää uunin kuivausprosessin toimivuuden kannalta.

Uuni (kuva 9 ja 10) on tyypiltään hihnakuljetinuuni ja 17,5 metriä pitkä. Sen toiminta jakaantuu 4 eri vyöhykkeeseen. Alkupäässä on kappaleiden esilämmitysvaihe, tämän jälkeen polttoalue (alueet 1-3) jonka jälkeen on haihdutusalue ja viimeiseksi kappaleiden jäähdytysalue. Uunin toimintaperiaate on epäsuora, uunin läpi kuljetettavat kappaleet lämpenevät sähkövastuksilla lämmitetystä ilmasta johdettamalla.



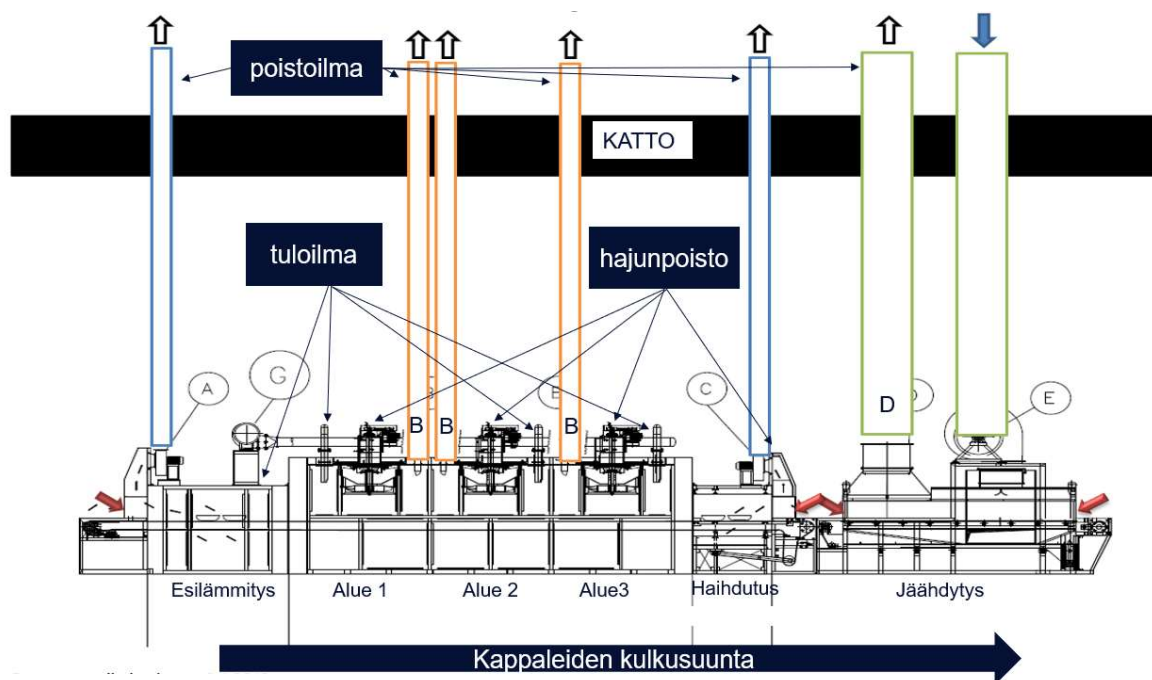
KUVA 9. Kuva polttouunista (Silvennoinen 2020)

Uunin ilmapoistoja on 1 kpl esilämmitys- (A), 1 kpl haihdutus- (C) ja 1 kpl jäähdytysalueilla (D) ja 3 kpl polttoalueella (B). Ilma poistetaan poistopuhaltimella esilämmitysalueelta, haihdutusalueelta sekä jäähdytysalueelta. Polttoalueen poistokanavissa ei ole omia puhaltimia, vaan ilman liikkumista ja sekoittumista uunin sisällä ohjataan uunin sisäkatossa olevilla propelleilla.

Korvausilma uuniin johdetaan osittain puhaltimella tuloilmakanavia (G) pitkin ja osittain ilma tulee avoimista päädyistä (punaiset nuolet). Kanavien kautta tuleva tuloilma otetaan tuotantolaitoksen

sisäpuolelta toisaalla olevan kompressorin yläpuolelta ja on siksi hieman normaalia huoneilmaa lämpimämpää. Samasta tuloilmaputkesta ohjataan ilmaa esilämmitysalueelle lämmitysvastuksen kautta.

Uuni lämpenee sähkövastuksilla, jotka sijaitsevat uunin alaosassa. Esilämmitysalueen tuloilman lämmitysvastus on teholtaan 60 kW. Polttoalueella sijaitsee 6 kpl vastuksia, joista kunkin lämmitysteho on 60 kW, eli yhteensä polttoalueen vastusten lämmitysteho on 360kW ja koko uunin vastusten lämmitysteho 420kW. Mittausten mukaan vastusten käyttöteho on noin 44%, eli noin 200kW.



KUVA 10. Polttouunin alueet sekä tulo- ja poistoilmapisteen A-G (Fiskars 2020)

4.2 Välikuivaus 1 ja 2, kuvaus ja lähtötiedot

Välikuivausvaiheet sijaitsevat prosessissa ennen polttouunia. Välikuivaustila 1 on tilavuudeltaan 45 m³. Sähkövastukset sijaitsevat katossa ja vastuksen ja kappaleen välimatka on noin 40 cm. Välikuivaustila 2 on tilavuudeltaan noin 20m³. Prosessissa kappaleet kulkevat kuljetuslinjaa pitkin tilan läpi. Välikuivaustiloja lämmitetään sähkövastuksilla ja tuloilma tulee huoneilmasta välikuivaustilojen avonaisista päädyistä. Välikuivauksessa olevien sähkövastusten teho on välikuivaus 1:ssä 4 kpl á 40kW, yhteensä 160 kW ja välikuivaus 2:ssa 2 kpl á 40 kW, eli yhteensä 80 kW vastustehoa.

4.3 Mittaustulokset uunilta

Lämpötilat ja ilmamäärät on mitattu 13.9.2020 ja 15.9.2020. Mittaukset on tehty kanaviin poratusta rei'istä Testo 440dP -monitoimimittarilla (kuva 11). Kanavat A, B, C ja D on mitattu vesikaton yläpuolelta, eli noin 3,5 metriä uunin kattopinnan yläpuolelta. Kanavan G ilmavirrat ja lämpötilat on mitattu uunin läheisyydestä.

Mittarin tarkkuus lämpötilan mittauksessa mittarin valmistajan mukaan on +- (0,30C + 0,1 % lukemasta) ja resoluutio 0,1 °C. Tarkkuus virtausmittauksessa on +- (0,03 + 4 % lukemasta) ja resoluutio 0,01 m/s. (Sensorcell 2021.)



KUVA 11. Mittauslaite Testo 440dP (Silvennoinen 2020)

Kaikkien mitattujen poistojen poistoilman määrä yhteensä on 7,4 m³/s. Poistuvan ilman määrät on esitetty poistopistekohtaisesti taulukossa 1. Poistuvan ilman lämpöteho voidaan määrittää kaavalla

$$\phi = q_{v,i} * C_{p,i} * \rho * \Delta t \quad (1)$$

jossa

$q_{v,i}$ = ilman tilavuusvirta

$C_{p,i}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti

ρ = ilman tiheys

Δt = tulo- ja poistoilman lämpötilaero

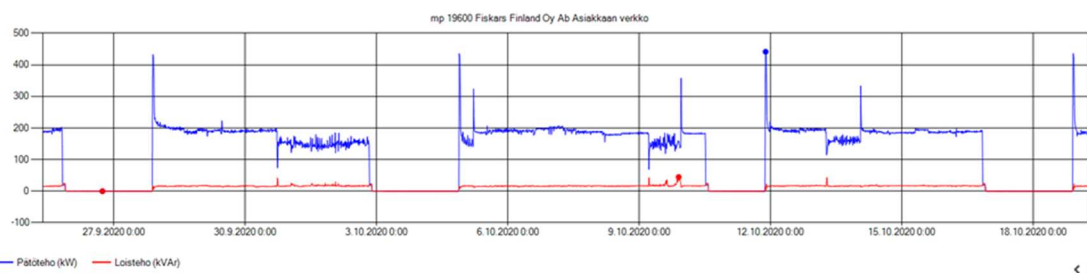
Laskenta pohjautuu saatuihin lähtötietoihin eikä laskennassa ole huomioitu mm. sähköuunin lämpöhäviöitä tai muita prosessista johtuvia häviöitä. Huoneilmasta otettavan tuloilman lämpötilana laskennassa on käytetty mittaukseen perustuvaa 20 °C ja esilämmitysalueen tuloilman lämpötilana on käytetty mitattua 22,2 °C. Laskelmissa on oletuksena, että poistoilma ei sisällä prosessista aiheutuvia

epäpuhtauksia eikä kosteutta. Näistä ei saatu toimeksiantajalta riittävää tietoa. Tällöin teoreettisesti tarkasteltuna poistuvalla ilmalla saadaan määriteltyä lämpötehoksi noin 240kW. Taulukossa 1. on esitetty teoreettinen lämpötehon laskenta poistoilmapisteittäin.

TAULUKKO 1. Mittaustulokset ilmamääristä sekä lämpötiloista

			poistuvan ilman lämpötila °C	poistuvan ilman ilmamäärä m ³ /h	poistuvan ilman ilmamäärä m ³ /s	ilman ominaislä- mpökapasi- teetti (kJ/(K*kg) vakiopaine- essa	ilman tiheys kg/m ³	poistuvan virtauksen lämpöteho kW, (ilma m ³ /s*ominaislämp- ökapasiteetti*tulo- ja poistoilman lämpötilaero astetta*tiheys)	tulevan ilman lämpötila °C	ilman tiheys kg/m ³	Tulevan ilman ilmamäärä m ³ /h	Tulevan ilman ilmamäärä m ³ /s
UUNI	poistopi- ste	tavoitelä- mpötila °C	poistoilma					tuloilma				
esilämmitys	A	150	73,00	3 500,00	0,97	1,01	1,00	49,98	22,20	1,10	1 700,00	0,47
polttoalue zone 1	B	420	351,00	250,00	0,07	1,01	0,50	11,55	22,20	1,10	135,00	0,04
polttoalue zone 2	B	445	11,60	15,00	0,00	1,01		0,00	22,20	1,10	65,00	0,02
polttoalue zone 3	B	445	11,70	5,00	0,00	1,01		0,00	22,20	1,10	75,00	0,02
haihdutus	C		153,00	4 750,00	1,32	1,01	0,80	142,07	20,00	1,10	x	x
jäähdytys 100%	D	10	23,60	13 500,00	3,75	1,01	1,00	13,66	20,00	1,10	13 500,00	3,75
hajunpoisto (4kpl uunin päällä), mitattu sisältä			36,80	4 600,00	1,28	1,01	1,00	21,72	20,00	1,10	x	x
yhteensä				26 620	7,39			239 kW				
VÄLIKUIVAUS												
Välikuivaus 1		150	80	2450	0,68	1,01	0,90	37,12	20	1,10	2450,00	0,68
Välikuivaus 2		95	94,5	1050	0,29	1,01	1,00	21,95	20	1,1	1050	0,29
				3500	0,97			59 kW				

Uunin käyttämä sähköteho vaihtelee riippuen eri tuotteiden vaatimasta lämpökäyrästä, ja on 160 – 200 kW (kuva 12). Uunin sähkön kulutus on mitattu erillisellä mittauslaitteella, tarkempi mittaustapa tai käytetty laitteisto ei kuitenkaan ole opinnäytetyön tekijän tiedossa. Uuni on pääsääntöisesti yhtä-jaksoisesti käynnissä sunnuntai-illasta perjantai-iltaan. Toimeksiantajalta saadun arvion mukaan uuni on käytössä noin 216 vuorokautta vuodessa. Näiden tietojen pohjalta uunille voidaan määrittää vuosittaiseksi sähköenergiankulutusarvioksi noin 930 MWh.



2019 Netcontrol Group

KUVA 12. Sähkönkulutuksen mittaustulos uunista (Fiskars 2020)

Sähkönkulutukseen suurimmat vaihtelut aiheuttaa uunin käynnistys- ja sammutusvaihe. Myös erilais-
ten tuotteiden tarvitsema lämpötila aiheuttaa pienempiä muutoksia sähkönkulutukseen. Kokonais-
sähkönkulutukseen vaikuttaa tuotantolinjalla ajettavien tuotteiden tyyppi ja määrä, eikä sitä voida
käytössä olevilla tiedoilla tarkasti laskea.

4.4 Mittaustulokset välikuivaus 1 ja 2

Välikuivausten ilmamäärät ja poistoilman lämpötilat on mitattu kanavista välikuivaustilojen läheltä kanaviin poratusta rei'istä Testo 440dP -monitoimimittarilla 10.11.2020. Välikuivauksen mittaustulokset ja laskennassa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 1.

Välikuivauksen tuloilman määränä on käytetty poistoilman määrää, koska välikuivaustilaan ei ole erillistä tuloilmakanavaa tai tuloilman syöttöä, vaan kaikki tilan kautta poistuva ilma otetaan huonetilasta välikuivaustilan päissä olevista aukoista ja ilma pääsee virtaamaan vapaasti. Välikuivauksista poistuvan ilman määrä yhteensä on $0,98\text{m}^3/\text{s}$ ja poistuvan ilman lämpötila on välikuivaus 1:ssä 95°C ja välikuivaus 2:ssa 75°C . Poistuvan ilman lämpöteho yhteensä kummastakin välikuivaustilasta on noin 60 kW. Välikuivausten sähkövastusten teho ja arvio käyttötehosta on välikuivaus 1:ssä 160 kW josta käyttöteho 100% ja välikuivaus 2:ssa 80 kW josta käyttöteho 50%. Välikuivausten vastustehoa tai sähköenergian kulutusta ei ole mitattu ja tässä opinnäytetyössä välikuivausten sähköenergian kulutuksen laskennassa käytetään edellä mainittuja, arvioon perustuvia lukemia. Välikuivaus 1:n vastuksen käyttämä teho on 160 kW ja välikuivaus 2:n käyttämä vastuksen teho on 40 kW ja toimeksiantajalta saadun käyttöajan, 216 vrk/vuosi, mukaisesti arvioituna välikuivausten sähköenergiankulutus on noin 1 037 MWh vuodessa.

5 TULOKSET

Tässä kappaleessa esitetään lähtötietojen perusteella tehtyjen arviolaskelmien tulokset vaihtoehtoisille lämmön hyödyntämiskohteille. Toimeksiantajan esittämän toiveen mukaisesti opinnäytetyössä tarkastellaan kahdeksaa erilaista vaihtoehtoa. Jokaisesta tarkasteltavasta käyttökohteesta on tässä luvussa oma alaotsikkonsa, jossa esitellään poistoilman sisältämän lämpötehon käyttövaihtoehto sekä tarkastellaan vaihtoehdon tuoma hyöty hyvin karkealla tasolla arvioiden säästöä sähköenergian kulutuksessa, kun osa lämmöntarpeesta otetaan poistoilman lämmöstä. Tarkastelussa ei ole huomioitu eri vaihtoehtojen edellyttämiä laite- tai muita investointikustannuksia eikä käsitellä laitteisiin tai teknisiin ratkaisuihin liittyviä valintoja.

Tarkastelu on tehty opinnäytetyötä tehtäessä käytössä olleiden tietojen ja mittaustulosten pohjalta ja laskelmat ja tulokset ovat vain suuntaa antavia. Kaikissa laskelmissa on oletettu, että poistoilma ei sisällä kosteutta tai epäpuhtauksia. Ilman koostumus ja epäpuhtaudet tulisi selvittää ennen mahdollista asiassa etenemistä, koska ilman koostumuksella on vaikutus poistoilman lämpötehoon, käytettävyyteen ja laitevalintoihin. Putkisto- tai muita laitteistohäviöitä ei ole huomioitu, ellei näitä ole erikseen ilmoitettu. Opinnäytetyössä ei myöskään arvioida käytetyn mittauslaitteen soveltuvuutta mittaustulosten mittaamiseen. Käyttämällä yleismittarin sijaan ilmamäärän ja lämpötilan mittaamiseen varsinaisesti tarkoitettua mittaria olisi saatettu saada tarkempia mittaustuloksia.

Mittaustulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että uunin poistoilmaan sitoutuu lämpöenergiaa enemmän, kun uunin lämmittämiseen käytetään sähköenergiaa. Tulosten analysoinnissa tehdyt laskelmat on tarkastettu useamman eri asiantuntijan toimesta ja lisäksi mittaustulokset on tarkastettu lämmönsiirrin mitoitusohjelmassa. Tarkastusten perustella laskelmat vaikuttaisivat oikein tehdyiltä. Mittaamalla saatujen mittaustulosten oikeellisuudesta ei puolestaan ole voitu varmistua ja on mahdollista, että niissä on sellaisia virheitä, jotka vaikuttavat esitettyihin tuloksiin. Mittaukset on tehty vain yhden kerran, ja käyttämällä laskelmissa useamman mittauskerran keskiarvolukemia, olisi saatettu saada tarkempia tuloksia laskelmia varten.

Virheen mahdollisuus tuloksissa tulee ottaa huomioon ja ennen esitettyjen vaihtoehtojen toteuttamisen suunnittelua tulisi mahdollisesti toteutettavaksi valittujen vaihtoehtojen osalta tehdä uudet mittaukset, tarkempi lähtötilanteen selvitys ja toteutettavien toimenpiteiden ja niiden toteuttamistavan ja vaikutusten määrittely.

Kaikkiin tämän luvun alakohtiin liittyvät laskelmat ovat opinnäytetyön liitteenä. Kirjaimilla A – G viitataan kuvassa 10. merkittyihin poisto- tai tuloilmapisteesiin.

5.1 Uunin poistoilman lämpötehon tarkastelu mittaustulosten pohjalta

Uunin kaikkien poistojen kautta poistuvan ilman määrä on yhteensä noin $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, ja poistoilmassa oleva lämpöteho on noin 240 kW (Taulukko 1). Uunin haihdutusalueen poistopisteen (poistopiste C) poistoilman määrä on noin $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilman sisältämän lämpöenergian määrä on noin 142 kW . Suurin osa uunin sisäosista poistuvasta ilmasta poistuu tämän poistopisteen kautta ja ilma sisäl-

tää käytännössä suurimman osan uunin tuottamasta sekä kappaleisiin uunissa sitoutuneesta ja niiden luovuttamasta lämpötehosta. Haihdutusalueen poistoilma on luultavasti kaikkein soveltuvin hyödynnettäväksi sen ilmamäärän ja lämpötilan vuoksi.

Esilämmitysalueen poistoilma on toinen mahdollinen hyödynnettävä kohde. Tässä poistossa (poistopiste A) poistoilman määrä on noin $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ja ilman sisältämä lämpöenergia noin 50 kW.

Uunin polttoalueelta, alueet 1-3, ei käytännössä poistua ilmaa ollenkaan. Jäähdytysalueen poistoilmamäärä on puolestaan suuri ja sen lämpötila on alhainen, joten hyödyntämispotentiaalia siinä ei ole.

5.2 Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen

Alue 1 ja haihdutusalueelta poistuvan ilman määrä yhteensä on $1,39 \text{ m}^3/\text{s}$ ja toisiinsa sekoittuneen ilman lämpötila on $163 \text{ }^\circ\text{C}$. Poistoilman lämpöteho kaavan 1 mukaisesti laskettuna on 150 kW, kun lämpötilaero lasketaan oletetun huoneilman lämpötilan eli 20 asteen mukaan.

5.2.1 Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen esilämmityksen tuloilmana (G)

Nykytilanteessa esilämmityksen tuloilman määrä on $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$. Esilämmitysalueen sähkövastuksella voidaan tuloilmaa lämmittää vain 150 asteen lämpötilaan. B ja C -poistojen keskimääräinen ilman lämpötila on korkeampi, joten tässä kohteessa hyödynnettäessä saataisiin myös tuloilma nykyistä korkeampaan lämpötilaan.

Mikäli poistoilmaa hyödynnetään polttouunin tuloilman lämmittämiseen, kannattaa tässä käyttää lämmönsiirintä. Poistoilman epäpuhtaudet voivat prosessissa kiertäessään lämpötilavaihteluiden vuoksi muuttua koostumukseltaan ja aiheuttaa vahinkoa polttouunille tai uunissa kulkeville kappaleille. Lämmönsiirrin voisi olla tyypiltään esimerkiksi ristivirtauslämmönsiirrin, joissa hyötysuhde on yleensä 50-70%:n luokkaa. Poistoilman koostumus ja epäpuhtaudet tulisi kuitenkin selvittää ennen laitevalintoja ja ilma olisi puhdistettava ennen lämmönsiirtimeen johtamista. B ja C poistojen poistoilman määrä on suurempi kuin esilämmityksen tuloilman määrä ja jos tätä poistoilmaa halutaan hyödyntää esilämmityksessä, tulee ilmamäärää pystyä säätämään käyttökohteeseen sopivan suuriseksi esimerkiksi ohjauspellillä.

B ja C poistojen ilmamäärästä, yhteensä $1,39 \text{ m}^3/\text{s}$, saataisiin hyödynnettävää lämpötehoa noin 96kW, jos lämmönsiirtimeen hyötysuhteena huomioidaan 60% (Seppänen 2008, 286-287). Ilmamäärästä voidaan ohjata esilämmitykseen $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$, eli karkeasti arvioituna lämpötehoa olisi hyödynnettävissä esilämmitykseen noin 33 kW verran. Vuositasolla tämä tarkoittaa esilämmityksen osalta karkeasti laskien noin 170 MWh potentiaalista energiasäästöä

Mikäli tätä vaihtoehtoa harkitaan toteutettavaksi, kannattaisi arvioida koko poistoilman määrän hyödyntämisen mahdollisuutta esilämmitysalueen sekä uunin tuloilman lämmittämiseen. Uuniin johdettava tuloilma tulee samasta tuloilmaputkistosta kuin esilämmityksen tuloilma ja olisi helposti johdettavissa esilämmityksen lisäksi uunin tuloilmaksi. Tällöin koko B ja C poistojen poistoilman lämpöenergia saataisiin käyttöön ja ratkaisusta saatava hyöty hieman suuremmaksi.

Tässä vaihtoehdossa on huomioitava, että hyödynnettävän ilman lämpötila on korkea ja tämän asettaa omat vaatimuksensa lämmönsiirtolaitteistolle ja ilman puhdistuslaitteistolle.

5.2.2 Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen välikuivauksen 1 ja 2 tuloilman lämmittämiseen

Poistopisteiden B ja C poistoilman määrä ja lämpötila olisi riittävä molempien välikuivausten lämmöntarpeen kattamiseen. Tässä käyttökohteessa etuna muihin käyttökohteisiin verrattuna saattaisi olla mahdollisuus hyödyntää poistoilma ilman lämmönsiirrin ratkaisua niin, että poistoilma puhdistuksen jälkeen puhalletaan suoraan välikuivaustiloihin ja sieltä ulos.

Välikuivausten yhteenlaskettu sähköenergian kulutus on vuositasolla karkeasti laskettuna noin 1.000 MWh, mikä olisi myös tämän hyödyntämisvaihtoehdon arvioitu energiansäästöpotentiaali.

Mikäli tätä vaihtoehtoa harkitaan toteutettavaksi, tulee tehdä tarkemmat mitoituslaskennat sekä virtaustekninen tarkastelu ja vaikutusten arviointi itse välikuivausprosessiin. B ja C poistopisteiden poistoilman määrä on suurempi, kuin välikuivausten tuloilman määrä. Tämä tulisi huomioida, mikäli tätä vaihtoehtoa harkittaisi toteutettavaksi. Myös siirtoputkiston siirtohäviöt tulisi huomioida.

5.2.3 Alue 1 ja haihdutusalueen (B ja C) poistoilman hyödyntäminen LTO:hon tai energiavaraajalle

Poistoilma voidaan hyödyntää myös lämmöntalteenottoon tai polttouuni läheisyydessä olevaan energiavaraajaan. Yleisesti ottaen lämmön varastointi vesivaraajaan on tehokasta, koska vesi sitoo paljon lämpöenergiaa. B ja C -poistopisteiden lämpöenergiasta voitaisiin laitteistosta riippuen saada talteen noin puolet, eli noin 80 kW. Vuositasolla tämä tarkoittaisi noin 400 MWh:n potentiaalista energian säästöä. Talteen saatavan lämpöenergian määrä on riippuvainen lämmönsiirtimeen hyötysuhteesta. Tässäkin vaihtoehdossa tulisi selvittää lämmönsiirtimeen ja poistoilman yhteensopivuus sekä tarvittava poistoilman siirtomatka.

5.3 Jäähdytyksen poisto (D) lämpötilan hyödyntäminen haaralla kokoonpanoon, pinnoitukseen, toimistoon

Tässä vaihtoehdossa lämpö tulisi hyödyntää ainoastaan lämmönsiirtimeen kautta. Poistoilma sisältää hyvin todennäköisesti kemikaaleja puhdistuksen jälkeenkin, eikä sitä siitä syystä tulisi käyttää suoraan ilmanvaihdossa. Poistoilman määrä on 3,75 m³/s ja lämpötila noin 24 astetta. Suuren ilmamäärän ja matalan lämpötilan vuoksi tämän poistoilman hyödyntäminen ei todennäköisesti ole kannattavaa.

5.4 Esilämmityksen lämmön (A) hyödyntäminen takaisin esilämmitykseen tai välikuivaus 1:seen

Esilämmityksen poistoilman määrä on 0,97 m³/s, lämpötila 73 astetta ja saatavissa oleva lämpöteho noin 50 kW. Poistoilman lämpötila on selvästi matalampi, kuin esilämmityksessä tarvittava lämpötila, joten ilman kierrättämisellä voitaisiin täyttää vain osa lämmityksen tarpeesta. Myös tässä vaihtoehdossa lämmönsiirtimeen käyttö olisi suositeltavaa poistoilman epäpuhtauksien vuoksi. Lämmönsiirtimeen hyötysuhteen huomioimisen jälkeen hyödynnettävää lämpötehoa jää noin 30 kW, joka tarkoittaisi vuositasolla noin 150 MWh:n energiansäästöpotentiaalia. Tämän perustella investointi tämän tyyppiseen ratkaisuun ei ole kannattavaa.

Välikuivaus 1:een esilämmityksen poistoilmasta voitaisi hyödyntää lämpösisältöä noin 30 kW:n verran. Välikuivaus 1:ssä tarvitaan korkeampi lämpötila (tavoitelämpötila 150 °C, kun esilämmityksen poistoilmalla on, joten välikuivausta jouduttaisi lämmittämään myös sähkövastuksilla, että lämpötila saataisi nostettua halutulle tasolle.

5.5 Hajunpoiston lämmön hyödyntäminen esilämmitykseen

Hajunpoistoista poistuva ilmamäärä on 1,28 m³/s, poistoilman lämpötila noin 37 astetta ja lämpösisältö noin 22 kW. Poistuva ilma olisi mahdollista hyödyntää kokonaisuudessaan esilämmityksessä. Poistoilma kerätään uunin ulkopuolelta, uunin päältä neljästä eri kohdasta, ja keräyskohdista johdettua poistoilma ei luultavasti sisällä juurikaan epäpuhtauksia ja voisi tästä syystä olla hyödynnettävissä ilman lämmönsiirintä, suoraan käyttökohteessaan. Ilmamäärä on kuitenkin melko pieni ja lämpötila alhainen, joten kokonaisuuteen suhteutettuna tämän hyödyntämisvaihtoehdon tuoma hyöty ei ole merkittävä. Hyödyntämispotentiaali vuositasolla olisi noin 110 MWh.

5.6 Välikuivaus 1 lämpötilan hyödynnys välikuivaus 2:ssa

Välikuivaus 1:n poistoilman määrä on 0,68 m³/s, lämpötila noin 80 astetta ja lämpösisältö noin 37 kW. Tämän poistoilman hyödyntäminen kokonaisuudessaan välikuivaus 2:ssa saattaisi olla mahdollinen. Poistoilman määrä riittäisi kattamaan välikuivaus 2:n tuloilman tarpeen, mutta lämpötila jää hieman tavoitelämpötilaa alhaisemmaksi, joten myös sähkövastuksia jouduttaisi käyttämään lämmittämiseen. Hyödyntämispotentiaali vuositasolla tässä vaihtoehdossa olisi noin 190MWh.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tehtyjen laskelmien ja olemassa olevien taustatietojen perusteella voidaan arvioida, että polttouunin poistoilman hyödyntäminen olisi kannattavinta välikuivauksissa. Polttouunin poistoista kannattaisi hyödyntää haihdutuksen poistoa C ja mahdollisesti esilämmityksen poistoa A ja alue 1:n poistoa B. Muissa poistoissa ilman määrä on liian pieni tai suuri hyödynnettäväksi tai lämpötilat liian alhaiset.

Välikuivauksille hyödynnettäessä olisi saatavissa kaikkein suurin hyöty suhteessa investoinnin laajuuteen, mikäli ilmaa voidaan hyödyntää ilman lämmönsiirrintä. Mikäli poistoilmaa hyödynnetään uunilla, lämmöntalteenotossa tai energiavaraajalle, tulee lämpö ottaa talteen lämmönsiirtimen avulla, ja tämä kasvattaa investoinnin kustannuksia ja talteen saatavan lämpötehon määrä on riippuvainen lämmöntalteenottolaitteiston hyötysuhteesta.

Hajunpoiston poistoilma on luultavasti melko vähän epäpuhtauksia sisältävää, koska se kerätään talteen uunin ulkopuolelta. Tästä syystä ilman hyödyntäminen saattaisi olla melko vähäisiä investointeja vaativaa ja sen vuoksi, vaikka ilman lämpötila on melko matala, hyödyntämistä kannattaa harkita esimerkiksi esilämmityksen tai välikuivauksen tuloilmana. Tällä pienennetään uunin kokonaiskorvausilman määrää sekä vähennetään jonkin verran esilämmitysvaiheen tuloilman lämmitystarvetta.

Välikuivaus 1:n poistoilman hyödyntäminen välikuivaus 2:ssa saattaisi myös olla melko vähäisiä investointeja vaativa. Välikuivaus 1:n poistoilma on luultavasti vain vähän epäpuhtauksia sisältävää ja tästä syystä mahdollisesti suoraan hyödynnettävissä välikuivaus 2:ssa tuloilmana.

Kaikien poistoilman hyödyntäminen energiavaraajalle tai kiinteistön tuloilman lämmitykseen voisi olla myös järkevää selvittää. Tässä vaihtoehdossa kaikkien mahdollisten poistopisteiden poistoilma kerätäisiin yhteen, ja lämmöntalteenottolaitteen, esimerkiksi nestekiertoisen ripaputkipatterin kautta hyödynnettäisiin energiavaraajalle tai suoraan tuloilmakoneelle. Tämän vaihtoehdon etuna olisi se, että epäpuhdas poistoilma ja tuloilma eivät sekoittuisi keskenään. Poistoilman mahdolliset epäpuhtaudet jäisivät suodattimeen tai lämmöntalteenottolaitteistoon, joka tulisi siten valita ilman koostumukselle soveltuvaksi.

Kaikissa tarkasteluissa on huomioitu vain uunilla ja välikuivauksissa lämmitetty ilma ja siihen liittyvä energian kulutus. Uunin korvausilma otetaan tehdaskiinteistön sisäilmasta, joka on kiinteistöön sisälle tuotaessa lämmitetty ulkoilman lämpötilasta sisäilman lämpötilaan. Mikäli uunin ja välikuivausten kautta poistuvaa ilmamäärää olisi mahdollista pienentää, toisi myös se säästöjä koko kiinteistön lämmitysenergian käytössä. Tai vaihtoehtoisesti kaikki uunilta poistuva ilma, mitä ei ohjata suoraan ulos vaan tavalla tai toisella hyödynnetään uudelleen uunin tuloilmana, pienentäisi huoneilmasta otettavan korvausilman tarvetta ja tätä kautta koko kiinteistön lämmitysenergian tarvetta. Uunin ja välikuivausten kautta poistuvan ilmamäärän $8,36 \text{ m}^3/\text{s}$ lämmittäminen keskimääräisestä vuotuisesta ulkoilman lämpötilasta $3,5^\circ\text{C}$ sisäilman lämpötilaan $n 20^\circ\text{C}$ kuluttaa noin 700 MWh lämpöenergiaa vuodessa, jos poistoilman lämmitystarve lasketaan uunin käyttötuntien mukaan.

Välikuivaustilojen tilavuus on suuri tarpeeseen nähden ja tästä syystä energiaan ilman lämmittämisen joudutaan käyttämään todellista tarvetta enemmän. Yksi vaihtoehto energiakustannusten pienentämiseen olisikin välikuivaustilojen pienentäminen niin, ettei ylimääräistä tyhjää tilaa sinne jäisi.

Tilat ovat yksinkertaisia ja levyrakenteisia, joten koon pienentäminen ei olisi kustannuksiltaan kovin suuri.

Polttouunin ja välikuivausten energiankulutuksen osuus on melko merkittävä koko tuotantolaitoksen energiankulutuksesta ja tästä syystä energiatehokkuuden parantamisella olisi suuri merkitys kokonaisuutta ajatellen ja keinoja kulutuksen pienentämiseen ja hukkalämmön hyödyntämiseen kannattaa etsiä ja erilaisia vaihtoehtoja toteuttamiseen pohtia. Polttouunin lisäksi myös tehtaan muut prosessit sekä koko kiinteistön energiatehokkuuden tarkastelulla ja mahdollisilla parantavilla toimilla voitaisi aikaan saada sekä yrityksen kestäväen kehityksen tavoitteisiin liittyviä, että taloudellisia hyötyjä. Kiinteistössä kesällä 2020 tehdyn selvityksen mukaan tulo- ja poistoilmakoneiden käyttöikä alkaa olemaan saavutettu, joten tässä kohdassa olisi oikein hyvä tilaisuus ottaa isompikin loikka kohti vähähiilisempää tulevaisuutta koko kiinteistön ja toimintojen energiatehokkuutta parantamalla.

Laitinen (2012, 99-101) tuo kirjassaan esille energiatehokkuuden parantamiseen hyödyistä myös toisenlaisen näkökulman, rebound-ilmiön. Tällä tarkoitetaan tässä yhteydessä ilmiötä, jossa energiatehokkuuden paraneminen ei säästäkään energiaa ja pienennä päästöjä siinä määrin, kun on ajateltu. Yleensä yhdessä toiminnossa tai prosessissa säästetty energia kulutetaan toisaalla esimerkiksi tuotannon kasvattamisen seurauksena. Prosessissa säästettyjen energiakustannusten pienenemisen johdosta tuotteen hintaa voidaan laskea, mikä puolestaan saattaa lisätä tuotteen kysyntää markkinoilla. Tästä seuraa tarve valmistaa enemmän tuotteita ja näiden tuotteiden valmistamiseen tarvitaan enemmän energiaa. Yleensä yrityksessä aikaan saatu säästö investoidaan johonkin uuteen toimintaan, mikä puolestaan kasvattaa energian kulutusta. Joissakin tapauksissa energiatehokkuustoimilla voidaan parantaa työn tuottavuutta ja tätä kautta vaikuttaa tuotantomääriin kasvattavasti ja parantaa toiminnan kannattavuutta, mutta kuitenkin kokonaisenergian kulutus ei vähene. Kokonaisenergian kulutukseen tai päästöihin energiatehokkuustoimet eivät siis aina välttämättä vaikuta laskevasti.

Kuitenkin yksittäisen tuotteen tai tuotantolinjan tuottamaan hiilijalanjälkeen voidaan energiatehokkuuden parantamisen avulla suoraan vaikuttaa. Kestäväen kehityksen hyötyjen lisäksi toimilla on yleensä myös suora taloudellinen vaikutus.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin lähtötilanteen selvittämiseen ja tarkoituksena oli saadun tiedon perusteella arvioida parhaita mahdollisuuksia kuumen poistoilman hyödyntämiseen. Saatujen tulosten ja havaintojen perustella voidaan polttouunin poistoilman hyödyntämisen mahdollisuuksien selvittämistä jatkaa tarkemmilla selvityksillä valituista tai muutoin esille tulleista potentiaalisimmista vaihtoehdoista.

LÄHTEET

- Elinkeinoelämän keskusliitto 2012. Energiaopas keskisuurille yrityksille. Pdf-tiedosto. Julkaistu 12.9.2012. <https://ek.fi/wp-content/uploads/energiaopas.pdf>. Viitattu 9.12.2020
- Energiavirasto julkaisuaika tuntematon. Alueellinen energianeuvonta. Verkkojulkaisu. <https://energiavirasto.fi/alueellinen-energianeuvonta>. Viitattu 9.12.2020.
- Energiavirasto julkaisuaika tuntematon. Energiatehokkuus. Verkkojulkaisu. <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus/>. Viitattu 5.9.2020
- Euroopan parlamentti 2020. Energiapolitiikka: Yleiset periaatteet. Pdf-tiedosto. http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fi/FTU_2.4.7.pdf. Viitattu 8.12.2020
- Euroopan parlamentti 2020. Energiatehokkuus. Pdf-tiedosto. http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fi/FTU_2.4.8.pdf. Viitattu 8.12.2020
- Fiskars julkaisuaika tuntematon. Hiilineutraali liiketoiminta. Verkkojulkaisu. <https://www.fiskarsgroup.com/fi/vastuullisuus/hiilineutraali-liiketoiminta>. Viitattu 2.1.2021.
- Laitinen, Jussi. 2012. Valomerkki: energiapula ja makean elämän loppu. Jyväskylä: Atena.
- Motiva Oy 2020. Energiakatselmukset. Verkkojulkaisu. Päivitetty 5.8.2020. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/energiakatselmukset>. Viitattu 9.12.2020.
- Motiva Oy 2020. Energiatehokkuussopimukset. Verkkojulkaisu. Päivitetty 4.8.2020. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuussopimukset>. Viitattu 9.12.2020.
- Motiva julkaisuaika tuntematon. Lämmönsiirron energiatehokkuus-hanke, 2014-2016. Energiatehokas lämmönsiirto-opas. Pdf-tiedosto. https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf. Viitattu 5.9.2020.
- Motiva 2019. Teollisuuskiinteistöjen ilmanvaihdon energiatehokkuus. Verkkojulkaisu. Päivitetty 27.2.2019. https://www.motiva.fi/yritykset/yhteishankkeet/teollisuuskiinteistöjen_ilmanvaihdon_energiatehokkuus. Viitattu 5.9.2020
- Motiva julkaisuaika tuntematon. Teollisuuskiinteistöjen ilmanvaihdon energiatehokkuus-hanke 2016-2017. Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa. Pdf-tiedosto. <https://www.motiva.fi/files/15564/Teollisuuden-energiatehokas-ilmanvaihto-verkkomateriaali.pdf>. Viitattu 5.9.2020.
- Motiva 2015. Teollisuusunien energiatehokkuus. Pdf-tiedosto. Viitattu 7.12.2020.
- Motiva julkaisuaika tuntematon. Yhteistyöhanke teollisuusunien energiatehokkaasta käytöstä 2013-2015. Teollisuuden uunit ja energiatehokkuus. Pdf-tiedosto. http://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/teollisuus/teollisuuden_uunit_ja_energiatehokkuus.10766.shtml. Viitattu 5.9.2020.
- Sensorcell 2021. Testo 440 monitoimimittari. Verkkojulkaisu. <https://www.sensorcell.fi/testo-440db-monitoimimittari>. Viitattu 21.2.2021

Seppänen, Olli 2004. Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin energiankulutuksen laskenta. Teoksessa Olli Seppänen (toim.) Ilmastoinnin suunnittelu, Talotekniikka-Julkaisut Oy. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy, 99-107.

Seppänen, Olli 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: SORVER palvelut Oy.

Systemair 2021. Lämmönvaihdintyytit. Verkojulkaisu. <https://www.systemair.com/fi/sovellukset/asuintalojen-ilmanvaihto/laemmoentalteenotto/>. Viitattu 21.2.2021

Swegon 2021. Oppaat. Erilaiset lämmönsiirintyytit. Verkojulkaisu. <https://www.swegon.com/fi/oppaat/erilaiset-lammonsiirintyytit/>. Viitattu 21.2.2021

Työ- ja elinkeinoministeriö julkaisuaika tuntematon. Energiatehokkuussopimukset 2017-2025. Verkojulkaisu. <https://tem.fi/energiatehokkuussopimukset-ja-katselmukset>. Viitattu 7.12.2020

Työ- ja elinkeinoministeriö 2019. Energiatehokkuustyöryhmän raportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:53. Pdf-tiedosto. Julkaistu 30.9.2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-456-3>. Viitattu 7.12.2020.

Ripatti, Harri, Pentikäinen, Juha, Saaristo, Pekka, Vasara, Jukka & Liljeström, Kimmo 2002. Puhtaan ilmanvaihdon suunnitteluohje. 3. painos. Sisäilmayhdistys julkaisu 16.