



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURI SAVOLAINEN
TEOLLISUUDEN LIKAISTEN POISTOILMAVIRTOJEN LÄMMÖN-
TALTEENOTTO
Diplomityö

Tarkastaja: Professori Hannu Ahlstedt
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 5.2.2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

SAVOLAINEN, LAURI: Teollisuuden likaisten poistoilmavirtojen lämmön talteenotto

Diplomityö, 63 sivua, 0 liitesivua

Toukokuu 2014

Pääaine: Talotekniikka

Tarkastaja: Professori Hannu Ahlstedt

Avainsanat: Likaisten poistoilmavirtojen lämmöntalteenotto, savukaasu, rasvainen poistoilma

Poistoilmavirtojen lämmöntalteenottolaitteet ovat jo vuosikymmeniä olleet osa ilmanvaihdon suunnittelua. Laitteiden käytön rajoittava tekijä on järjestelmien hinta ja haastavat toimintaolosuhteet. Vaikeimmin toteutettavissa olevat kohteet eivät ole olleet taloudellisesti kannattavia toteuttaa tai markkinoilla ei ole ollut tekniikkaa, jota voitaisi käyttää erittäin likaisessa tai korrosoivassa ympäristössä.

Tähän diplomityöhön on koottu tietoutta, jota tarvitaan toimivan laitteiston valinnassa ja suunnittelussa. Työssä on käsitelty yleisesti käytössä olevat lämmönsiirtotekniikat sekä niiden suunnitteluun ja kunnossapitoon vaikuttavia tekijöitä. Työhön on lisäksi kerätty toteutettujen laitteistojen toimintakokemuksia.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

SAVOLAINEN, LAURI: Industrial heat recovery from dirty exhaust gases

Master of Science Thesis, 63 pages, 0 Appendix pages

May 2014

Major: Building Services Engineering

Examiner: Professor Hannu Ahlstedt

Keywords: Heat recovery from dirty exhaust gases, flue gas heat recovery, greasy air

Heat recovery from exhaust gases have been part of traditional air conditioning design for decades. Limiting factor is price and challenging operating conditions. With difficulty feasible projects have not been economically profitable or the problem has been the lack of technology for very dirty or harsh corrosive environments.

Knowledge which is necessary in the choice and design of the functional heat recovery equipment has been gathered to this master of science thesis. Work covers commonly used heat transfer technologies and factors that affect their design and maintenance. Practical knowledge from working systems has been collected by means of case studies.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Insinööritoimisto AX LVI Oylle. Työni ohjaajina toimivat TkL Jarmo Keski-Opas ja DI Börje Hagner. Työni valvojana on toiminut Tampereen teknillisen yliopiston professori Hannu Ahlstedt.

Haluan kiittää Jarmo Keski-Opasta ja Börje Hagneria neuvoista ja työni ohjauksesta. Kiitän myös Hannu Ahlstedtia työn valvonnasta ja opetuksesta opiskeluvuosiini varrella.

Kiitän myös Tapio Rimpeläistä ja Paavo Salosta case tutkimuksissa avustamisesta ja AX-LVI Oy henkilökuntaa tuesta ja opastuksesta.

Tampereella 23.4.2014

Lauri Savolainen
Laureenintie 28 D12
36110 Ruutana
SISÄLLYS

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Alkusanat	iv
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	1
2 Likaiset poistoilmavirrat ja LTO-potentiaali	3
2.1 Metallintyöstö	5
2.2 Leipomot	5
2.3 Ravintolat	6
2.4 Tuotantotilat ja tehdasalueet	7
3 Käytössä olevat tekniikat ja niiden toiminnalliset ongelmat.....	8
3.1 Lämmönsiirrintekniikat.....	8
3.2 Lämmönsiirrinten merkittävimmät ongelmat	11
3.2.1 Lämmönsiirrinten likaantumien.....	11
3.2.2 Lämmönsiirrinten likaantumismekanismit	11
3.2.3 Lämmönsiirrinten puhdistusmenetelmät.....	13
3.2.4 Lämmöntalteenotto kastepisteen alapuolella	16
4 Savukaasut	20
4.1 Savukaasujen koostumus	20
4.2 Savukaasun koostumuksen vaikutus suunnitteluun	20
4.3 Savukaasupesurit (scrubber)	20
4.3.1 Ilmastonäkökohdat.....	21
4.3.2 Jätevesien käsittely	21
5 Rasvaiset ilmavirrat.....	22
5.1 Rasvan hajotus	22
5.1.1 Otsonointi.....	22
5.1.2 UV ja TiO ₂	22
5.2 Rasvan erotus	22
6 Muiden poistoilman epäpuhtaksien hallinta.....	23
6.1 Kaasumaiset aineet.....	23
6.2 Pölyt ja partikkelit	25
6.3 Kiinteä tarttuva lika.....	31
6.4 Härmistynvä lika	31
6.5 Erilaisten epäpuhtauksien yhteisvaikutus	31
7 Uusi teknologia	32
7.1 Transport membrane condenser	32
7.2 TMC-menetelmän energiansäästöpotentiaali.....	33
8 Case 1 Leivon Leipomon lämmöntalteenotto	35
8.1 Alkutilanne.....	35
8.2 Toimenpiteet	36

8.3	Toteutus.....	36
9	Case 2 Liuotinhöyryjen jälkipolton LTO.....	49
9.1	Alkutilanne.....	49
9.2	Toimenpiteet	49
9.3	Toteutus.....	50
10	Kannattavuuslaskelmat	56
10.1	Laskentamenetelmät.....	56
10.2	Takaisinmaksuajan menetelmä	56
10.3	Nykyarvomenetelmä	57
11	Yhteenvedo ja johtopäätökset	59
12	Lähdeluettelo.....	61

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

c_p	ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
g	putoamiskiihtyvyys, 9,81 m/s ²
h	nestepatsaan korkeus, m
P	teho, kW
p	nestepatsaan hydrostaattinen paine, Pa
Q	tilavuusvirta, m ³ /s
Δh	tilapisteiden välinen entalpiaero, kJ/kg
ΔT	lämpötilaero, K
ρ	tiheys, kg/m ³

1 JOHDANTO

Teollisuuden prosesseissa ja tuotantorakennuksissa on olemassa suuri energiansäästöpotentiaali. Työn tarkoituksena on tehdä katsaus tämän hetken tilanteeseen lämmön talteenottolaitteistojen kehityksessä sekä kartoittaa olemassa olevia laitteita ja syitä laitteistojen mahdolliseen toimimattomuuteen. Lisäksi tutkitaan edellytyksiä onnistuneelle lämmöntalteenoton suunnittelulle ja toiminnalle.

Lämmöntalteenottolaitteita on tehty vuosikymmeniä, mutta energian hinnan noustessa yhä vaikeammin hyödynnettävissä olevat lämmönlähteet ovat mahdollisia toteuttaa taloudellisesti kannattavasti. Lisäksi ympäristötietoisuus on lisääntynyt huomattavasti ja se voidaan nähdä yrityksissä lisäarvoa tuovana tekijänä eikä ainoastaan kuluna. Yrityksissä on voitu toteuttaa pienessä mittakaavassa jopa energiamielessä kannattamattomia lämmöntalteenottoja markkinoitaessa ympäristöystävällistä brändiä tai imagoa. Omalta osaltaan tämä kehitys on tuonut yleisesti avoimemman ilmapiirin lämmöntalteenottolaitteiden rakentamiselle, eikä sitä nähdä enää kuluna tai riskitekijänä prosessin toiminnalle.

Suuri tekijä 2000-luvulla lämmöntalteenottojen kehityksessä ovat olleet tiukentuvat rakennusmääräykset sekä Euroopan Unionin ja Suomen hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteet ja niitä seuranneet määräykset. Tämä on johtanut omalta osaltaan lämmöntalteenottolaitteiden kehitykseen ja yleistymiseen. Tämän hetken laadukas suunnittelu työ ottaa jo alkuvaiheessa huomioon koko järjestelmän energiatehokkuuden ja elinkaarikustannukset.

Työssä käydään läpi lämmönsiirrinten suunnitteluun vaikuttavia asioita ja erilaisten poistoilman epäpuhtauksien erityispiirteitä ja epäpuhtauksien likaantumismekanismeja. Hiukkasten ominaisuudet ja tarttumismekanismit täytyy ymmärtää, jotta suunnittelussa voidaan arvioida laitteiden toimivuutta. Tavoitteena on oppia ja jakaa tietoa olemassa olevista laitteistoista. Tärkeimpiä asioita on valita materiaalit sellaiseksi, että ne kestävät laitteiden toimintaolosuhteet. Tämä johtaa optimointitilanteeseen, jossa valinta tehdään kalliimman patterin ja pidemmän elinkaaren tai halvemman patterin ja lyhyemmän elinkaaren välillä. Mitoitusolosuhteet ja kaasun sisältämät epäpuhtaudet vaikuttavat osaltaan patterin puhdistustarpeeseen ja sitä kautta laitteen geometriaan ja sijoitteluun. Tarkemmin työssä tutkitaan kahden olemassa olevan lämmöntalteenottolaitteiston toimivuutta.

Suunnitteluosaaminen on alalla pitkälti erikoistuneiden suunnittelutoimistojen sisällä sekä laitetoimittajilla. Kirjallisuudessa esitellään perustyyppit ja nostetaan esille suunnitteluun vaikuttavia asioita, mutta tarkempi näkemys laitteiden toimivuudesta vaihtelevissa olosuhteissa on syntynyt pitkälti kokemuksesta. Öljykriisin jälkimainingeissa 1980-luvulla Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston tuella tutkittiin runsaasti energiänsäästövaihtoehtoja teollisuudessa. Tällöin alan osaaminen otti suuria harppauksia eteenpäin. Tällöin muun muassa Börje Hagner tutki aihealuetta kirjassa: *Lämmöntalteenotto likaisesta teollisuuspoistoilmasta*. Myös muiden suomalaisten järjestöjen tuella tutkittiin erilaisia lämmöntalteenoton mahdollisuuksia. INSKO julkaisu, jota kokoamassa on ollut useita myöhemminkin alan asiantuntijoina toimineita, kuten professori Pertti Sarkomaa ja professori Mauri Soininen: *Lämmön talteenotto teollisuusprosessien vaikeasti hyväksikäytettävistä jätelämpövirroista*. Samaan aikaan syntyi myös savukaasun lämmöntalteenottolaitteita tutkivia diplomitöitä kuten Harri Leppimaan: *Teollisuuden savukaasujen lämmöntalteenotto*. Suuri osa suomenkielisestä alan tutkimuksesta on kirjoitettu tuohon aikaan. Tekniikat eivät ole perustoiminnaltaan muuttuneet tähän päivään mennessä muuten kuin materiaalien parempien ominaisuuksien ja monipuolisemman käytön osalta.

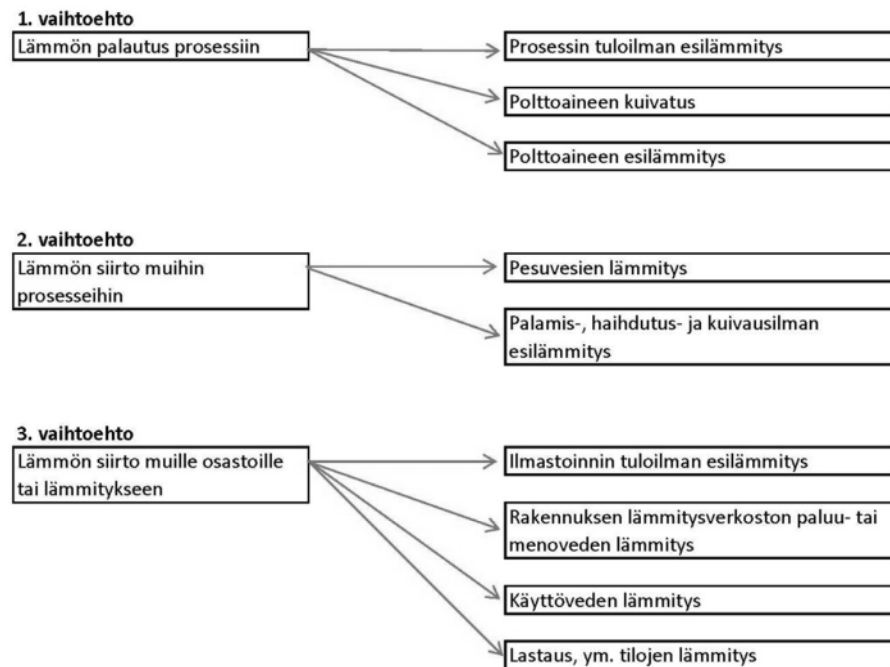
Englanniksi kirjoitettua alan käsikirjaluokan materiaalia edustaa American Conference of Governmental Industrial Hygienists järjestön *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice* sekä erittäin kattavat American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers -järjestön vuosittain päivittyvät käsikirjat.

2 LIKAISET POISTOILMAVIRRAT JA LTO-POTENTIAALI

Energiansäästöpotentiaalia tutkittaessa täytyy selvittää poistettavan ilmavirran ominaisuudet ja siitä saatava lämpöteho ja -energia. Yhtä tärkeää on tutkia energian sijoituskohteita ja sinne sijoitettava lämpöteho ja -energia. Useissa teollisuuden sovelluksissa prosessi toimii jatkuvatoimisena tai esimerkiksi yöksi keskeytyvällä syklillä. Laskelmissa täytyy ottaa huomioon energianlähteen ja energian syöttökohteen käytön samanaikaisuus. Varaajien käyttö tulee usein kysymykseen vain suhteellisen pienessä mittakaavassa, jolloin käyttökohteena voi olla esimerkiksi lämmin käyttövesi. Likaisen poistoilman ollessa kyseessä, kannattaa ensimmäisenä tarkastella mahdollisuudet palautusilman käytölle. Ilman suodatus ja puhdistus on usein merkittävästi halvempi ratkaisu kuin lämmöntalteenoton rakentaminen. Mikäli ulkoilmaa täytyy käyttää, niin perinteiset lämmöntalteenottoratkaisut tulevat kysymykseen.

Lämmön talteenottopotentiaali on yksinkertaista arvioida poistettavan ilmavirran määrän, lämpötilatason ja kosteuden perusteella. Ilmavirran likaisuus aiheuttaa haasteita lämmöntalteenoton rakentamiselle. Yleisesti lika ja likaantumismekanismit ovat samanaikaisia ja tehostavat toisiaan. Tästä syystä puhdistustarve ja puhdistustekniikka on aina arvioitava erikseen.

Lämmön käyttökohte tulisi aina pyrkiä löytämään mahdollisimman läheltä prosessia. Kuvassa 1 on esitetty kaavio lämmön käyttökohteen valinnasta.



Kuva 1. Lämmön käyttökohteen valinta. [1]

Virtauksesta saatava lämpöteho lasketaan kaavalla (1). Mikäli kaasun lämpötilan muutoksen aikana tapahtuu kondenssia, niin täytyy latenttilämpö ottaa laskuissa huomioon. Ilmavirran entalpiamuutokset voidaan arvioida ilman hx-piirroksesta tai Mollier-käyrästä. Tällöin saatava lämpöteho saadaan kaavalla (2).

$$P = Q * c_p * \Delta T * \rho \quad (1)$$

$$P = Q * \Delta h * \rho \quad (2)$$

jossa

- Q on tilavuusvirta, m^3/s
 c_p on ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
 ΔT on tilapisteiden välinen lämpötilaero, K
 ρ on virtausaineen tiheys, kg/m^3
 Δh on tilapisteiden välinen entalpiaero, kJ/kg

2.1 Metallintyöstö

Metallien mekaanisen käsittelyn yhteydessä työskentelytilan ilmaan syntyy pieniä määriä öljysumua tai pieniä metallipartikkeleita, joihin on tarttunut öljyä. Likaisesta ilmasta tulisi aina mitata likaavien aineiden määrä ja arvioida puhdistustarve. Ilma poistetaan yleensä kohdepoistoilla työpisteeltä. Jotta likainen ilma olisi mahdollista johtaa lämmöntalteenottolaitteiston läpi, täytyy ilma puhdistaa riittävässä määrin. Suodatuslaitteisto on valittava ilman likaisuuden ja lian ominaisuuksien perusteella. Mikäli kohdepoistoja käytetään vain ajoittain tai ilmamäärät ovat vähäisiä, on mahdollista johtaa likainen ilma yleisilmanvaihdon kautta LTO-laitteelle. Tällöin täytyy huolehtia LTO-laitteen pesumahdollisuudesta. Tässä tulee huomioida lämmöntalteenottolaitteen tyyppi. Jotkin metallintyöstössä aiheutuvista ilman epäpuhtauksista ovat terveydelle haitallisia, jolloin pyörivän lämmöntalteenottolaitteen käyttö ei välttämättä sovi.

Hitsauskaasut

Hitsauksessa syntyvien epäpuhtauksien määrä riippuu voimakkaasti hitsaustavasta. Jatkuvatoiniset hitsausmenetelmät synnyttävät runsaasti epäpuhtauksia, kun taas esimerkiksi pistehitsauksessa ei synny merkittäviä epäpuhtauksia. Hitsauskaasujen partikkeli-koko on pieni (0,01-0,1 μm), jolloin hienosuodattimet ja sähkösuodattimet tulevat kysymykseen. [1]

Hiontapöly

Hiomisesta syntyy runsaasti pölymäistä likaa, joka usein leviää ympäristöön. Pölymäinen lika voi sisältää myös maalipölyä tai muita erilaisia kiinteitä ja kuivia aineita. Runsaan pölymäisen lian poistoon sopii esimerkiksi syklonierottimet, joiden kanssa yhdessä voidaan käyttää esimerkiksi suodattimia tai pesureita hienompijakoiselle pölylle, joka erottuu heikosti syklonissa. Mikäli hiontapölyn seassa on erilaisia höyryjä (kondenssiriiski) tai öljyä, kasvaa likaantumisriski merkittävästi.

2.2 Leipomot

Leipomotilojen ilman epäpuhtauksista merkittävin on jauhopöly. Jauhöpölyn pitoisuudella on suuria työterveydellisiä vaikutuksia, mutta se on myös merkittävä ilmanvaihtolaitteiden ja kanavistojen likaaja. Jauhöpölyn hiukkaskoko on 0,5-5 μm [1]. Tällöin ilma olisi tarkoituksenmukaista suodattaa ennen lämmöntalteenottolaitteistoa, tai suunnitella lämmöntalteenotto automaattisella pesulaitteella. Pesulaitteeksi soveltuu kuivissa oloissa paineilmapuhdistus. Jos ilmanvaihdossa on riski kondenssin muodostumisesta LTO-laitteessa, niin täytyy lämmöntalteenotto silloin suunnitella automaattisella pesulaitteella.

Uunien lämpökuorma

Leipomouunit aiheuttavat tiloihin suuren lämpökuorman, joka täytyy jäähdytyskaudella poistaa tehokkaasti. Eräessä kohteessa leivonnaisten kypsentämiseen käytetyn uunin poistopään huuvan LTO järjestelmän mitoituslämpötilana käytettiin 60 C°. Mitoituslämpötilat riippuvat tietenkin tilanteesta ja lämpötila tulisi tarkastaa mittauksin.

Uunihöngkä

Uunihöngällä tarkoitetaan tässä tapauksessa uunin sisältä vuotavaa kuumaa ilmaa. Uunit ovat aina sisältä lievästi alipaineisina, jotta käryt, lämpö ja vesihöyry eivät pääse leipomotilaan. Kuitenkin jatkuvatoimisen uunilinjan suuaukolta ilmaa vuotaa aina jonkin verran. Uunihöngkä voi olla lämmintä ja kosteuspitoista. Tyypillinen vesihöyrypitoisuus paistotilan höyryissä on 50-70 g/kg. Kosteus lauhduttamalla voidaan saada suuria energiamääriä talteen. Samalla ilma voi olla hyvinkin likaista ja likaisen kaasun lauhduttaminen tuo lisähaasteita lämmöntalteenottolaitteiden suunnittelulle puhdistusmielessä. Leivonnaisten kypsytyksessä syntyvät päästöt voivat olla esimerkiksi hyvin korrodoivia kondensoituessaan lämmönsiirtimen pinnalle. Tällöin tulee käyttää haponkestäviä materiaaleja. Uunihöngän lämmöntalteenotto on todennäköisesti kannattava investointi. [1]

Savukaasut

Savukaasun lämmöntalteenottolaitteen toteutus riippuu paljon käytetystä polttoaineesta. Mikäli savukaasut halutaan jäädyttää kastepisteen alapuolelle, täytyy ottaa huomioon savukaasun sisältämien happojen korroosiovaikutus. Savukaasujen lämmöntalteenottolaitteista lisää kappaleessa 4.

2.3 Ravintolat

Keittiöt

Keittiön huuviin kautta poistettava ilma on monesti rasvaista. Lämmöntalteenoton rakentaminen keittiön ilmanvaihtojärjestelmään edellyttää melko suurta poistoilmavirtaa keittiöstä ja pitkiä käyttöaikoja. Järjestelmän hyötysuhdetta voidaan mahdollisesti parantaa, jos pystytään yhdistämään muita likaisia ilmavirtoja samaan järjestelmään. Rasvaisuusaste riippuu voimakkaasti myös keittiöstä ja ruuanvalmistustasoista. Parilagrillitasot ja muut paistotasot kehittävät ilmaan huomattavasti enemmän aerosoleja kuin rasvakeittimet. [2]

Rasvan vähentämiseen kanavistossa voidaan käyttää UV-valon ja titaanioksidin (TiO₂) yhdistelmää tai otsonia tuottavia järjestelmiä. Rasvanerotukseen Jeven on kehittänyt pieniä sykloniteknikkaan perustuvia erottimia, joiden yhteisvaikutuksesta päästään melko hyviin lopputuloksiin. Lämmön talteenottojärjestelmä täytyy kaikesta huolimatta suunnitella sellaiseksi että vesipesu on mahdollista suorittaa esimerkiksi laitteiden rikkoutumisen tai huollon laiminlyönnin takia. Rasvakanavien nuohouksen tarpeen vähentämiseksi rasvansuodatusjärjestelmät ovat perusteltavissa.

2.4 Tuotantotilat ja tehdasalueet

Erilaiset tuotantotilat ja niiden prosessit saattavat sisältää runsaasti suuria energiavirtoja, joiden hyödyntäminen niiden käyttöönoton aikaan ei ole ollut taloudellista halvan energian johdosta tai tekniikka on ollut vielä kallista toteuttaa. Raskaamman teollisuuden kohteissa kustannustehokkaan energian sijoituskohteen löytäminen on voinut asettua haastavataksi. Teollisuusalueilla toimittaessa täytyy suunnittelijan olla merkittävästi kriittisempi ja pystyä kyseenalaistamaan perinteiset ratkaisut sekä perinteiset olosuhteet. Esimerkiksi ulkoilman olosuhteet ovat voineet olla normaalia ulkoilmaa huomattavasti haastavammat tehdasalueen päästöjen takia. Suomessa Raahen ja Harjavallan tehdasalueella ilmanvaihtojärjestelmien laiteosat täytyy suunnitella tulopuolella haponkestävistä materiaaleista ilmanvaihdon lämmityspatteriin saakka, jotta laitteet kestävät paikalliset olosuhteet. Ilmastotietoa löytyy parhaiten kyseisen tehdasalueella toimivilta osapuolilta. Mikäli on kyse uudisrakentamisesta, niin täytyy tietoa etsiä jo toteutetuista vastaavista kohteista.

Teollisuuden tuotannossa löytyy runsaasti tilanteita, joissa laadukkaan toiminnan edellytyksenä ovat tasaiset olosuhteet lämpötilan ja kosteuden osalta. Näiden laitosten ilmanvaihdon energiankulutus voi olla merkittävästi suurempi kuin ihmislähtöisen ilmanvaihdon, koska Suomen ilmasto-olosuhteissa kesä- ja talviajan ilmasto vaihtelee runsaasti lämpötilan ja kosteuspitoisuuden osalta. Erityisesti talviajan lisäkostutustarve voi olla suuri, jos sisäilmaston kosteuspitoisuudelle asetetaan vaatimuksia.

3 KÄYTÖSSÄ OLEVAT TEKNIIKAT JA NIIDEN TOIMINNALLISET ONGELMAT

3.1 Lämmönsiirrintekniikat

Levysiirrin

Levysiirtimessä ainevirrat virtaavat lämpöä johtavien levyjen välissä. Lämpötila-hyötysuhde levysiirtimissä on luokkaa 50-70 %.

Edut

- Ei liikkuvia osia, vähäinen huollon tarve.
- Ilmavirrat erotettu toisistaan.
- Puhdistus helppoa.
- Voidaan valmistaa erilaisista materiaaleista tai pinnoittaa.
- Kuljetus ja käsittely helppoa.

Haitat

- Tulo- ja poistohormisto täytyy yhdistää.
- Huurtumisenestojärjestelmä tarvitaan.
- Ei suuria ilmavirtoja.
- Ei korkeita lämpötiloja tiivistesilikonien kestävyuden vuoksi.

Lämpöputkipatteri

Lämpöputkipatterissa tavallisen putki/ripayhdistelmän nesteputket on korvattu suljetuilla lämpöputkilla, joissa lämmönsiirtoneste höyrystyy ja lauhtuu putkessa siirtäen energiaa ilmavirrasta toiseen. Lämpöputkipatterin tehoa säädetään kallistamalla lämmönsiirrintä, jolloin höyrystyvä ja lauhtuva neste liikkuu putkissa tehokkaammin. Lämpötila-hyötysuhde lämpöputkipatterissa on luokkaa 55-65%.

Edut

- Irroitettavissa puhdistuksen ajaksi.
- Ei vaadi putkikytkentöjä.

Haitat

- Suuri painehäviö.
- Tulo ja poistohormisto täytyy yhdistää.

Nestekiertoinen järjestelmä

Nestekiertoisessa järjestelmässä väliaine kiertää putkistossa ja siirtää energiaa ilmavirrasta toiseen. Kiertoaineena käytetään 30-40 % vesi-etyleeniglykoliseosta, jos järjestelmän toiminnassa havaitaan jäätymisriski toimintapisteiden tai putkien sijainnin takia. Muulloin siirtoaineena käytetään vettä. Järjestelmää voidaan käyttää, kun ilmavirrat eivät saa sekoittua tai jos kanavistoa ei pystytä yhdistämään esimerkiksi saneerauskohteissa tai hygienia- tai paloturvallisuussyistä. Patterin rakennevaihtoehtoja on tällä hetkellä useita, jotka eroavat toisistaan painehäviön ja puhdistettavuuden osalta. Patterina voidaan käyttää tavallista lamellipatteria, joka on yleisin perinteisissä ilmanvaihtojärjestelmissä. Tavallista likaavammassa olosuhteissa patterin puhdistus on olennainen valintakriteeri. Vaihtoehtoina on harvalamellinen lamellipatteri, neulaputkipatteri, ripaputkipatteri tai harjalämmönsiirrin. Kaikissa toimintaperiaate on sama, mutta rakenteella on pyritty lisäämään lämmönsiirtopinta-alaa puhdistettavuuden kärsimättä ja painehäviön kasvamatta. Erityisen likaantumisherkissä tapauksissa on päädytty sileäputkipatteriin. Yleensä patterin lämmönsiirtopinnan pienentyessä kokoa joudutaan kasvattamaan, jotta haluttuihin tehoihin päästään. Patterin hinta ja fyysinen koko voi kasvaa ongelmalliseksi.

Nestekiertoisia levylämmönsiirtimiäkin on markkinoilla. Toimintaperiaate on kuitenkin sama kuin nestekiertoisissa lämmöntalteenottolaitteissa. Näissä kaksi metallilevyä on pistehitsattu kiinni toisiinsa ja pullistettu paineella, jolloin rakenteesta tulee kennomainen. Siirrin koostuu useista levyistä joiden sisällä virtaa lämmönsiirtoneste ja levyjen väleissä ilma.

Lämpötilahyötysuhde nestekiertoisessa järjestelmässä on luokkaa 40-55 %.

Edut

- Kanavistoja ei tarvitse yhdistää.
- Ei ilmavirtojen sekoittumisvaaraa.
- Yksinkertainen säädettävyys (hyötysuhde ja huurtumisenesto).
- Pieni tilantarve.

Haitat

- Melko huono lämpötilasuhde 40-60 %.
- Kuluvia liikkuvia osia kuten pumput, moottorit, venttiilit.
- Tarvitaan jäätymissuoja.
- Patterit melko suuria.

Regeneraattori

Regeneratiivinen eli lämpöä varaava lämmönsiirrin. Yleisimpiä malleja ovat pyöreät lämmönsiirtimet, joissa pyörivän lämpöä varaavan kiekon läpi virtaa ilma. Malleja on myös ilmavirran suuntaa vaihtavia, joissa lämmönsiirtimen läpi virtaa vuorotellen kyl-

mä ja lämmin ilma. Regeneraattoreita on myös mahdollista pinnoittaa materiaaleilla, jotka siirtävän vesihöyryä adsorptiota hyväksi käyttäen. Tällä on mahdollisia sovelluksia kuumemman ja kosteamman ilmaston maissa sekä kylmävarastoissa. Tällöin ilmaa ei tarvitse kuivattaa niin paljoa jäähdytyspatterilla, jotta päästään haluttuihin tuloilman lämpötiloihin.

Edut

- Korkea lämpötilasuhde 80 %.
- Siirtää myös kosteutta.
- Hyvä säädettävyys.
- Pieni jäätymisvaara.

Haitat

- Ilmavirrat sekoittuvat aina jonkin verran, jolloin niitä ei voi käyttää kohteissa, joissa sitä ei voida sallia.
- Tulo- ja poistokanavisto täytyy yhdistää.
- Paljon liikkuvia ja kuluvia osia.

Pesurit ja pisaralämmönsiirtimet

Pisaralämmönsiirtimissä lämmönsiirtopintoja ja väliaineena käytetään kaasuun suihkutettavaa nestettä. Useimmiten tämä suihkutettava aine on vettä. Tällöin kaasun lämpö siirtyy nesteeseen ja nesteestä voidaan lämpöä ottaa talteen tavanomaisin keinoin. Tavoitteena on usein myös puhdistaa ulos puhallettavaa ilmaa, jolloin voidaan puhua pesureista (eng. scrubber). Pisaralämmönsiirtimiä on käsitelty tarkemmin savukaasujen lämmöntalteenoton yhteydessä.

Edut

- Poistoilmaa puhdistava vaikutus edullista ympäristölle.
- Pystytään turvallisesti alittamaan kaasujen happokastepiste.
- Mahdollisuus suuriin energiansäästöihin.
- Mahdollista ottaa lämpöä talteen likaisesta ilmasta joka tukkisi tavallisen lämmönsiirtimen sekä aiheuttaisi suuria korroosio-ongelmia.

Haitat

- Suurehko rakenne, joka edellyttää usein asennusta ulkoilmaan.
- Kallis.
- Jäteveden puhdistus mahdollinen ongelma sekä kuluerä ellei pesuvettä voida laskea normaaliin viemäriin.
- Jos ei ole pesutarvetta, sopii vain hyvin kostean poistoilman tapauksiin, muuten ilma jäähtyy liian paljon. [1] [3] [4]

3.2 Lämmönsiirrinten merkittävimmät ongelmat

3.2.1 Lämmönsiirrinten likaantumien

Lämmönsiirrinten likaantumien on lähtökohtaisesti suurin ongelma, joka johtaa lämmöntalteenoton toiminnan epäonnistumiseen. Likaantuminen voi johtua suunnittelun tai toteutuksen virheistä, huollon puutteesta tai toiminnan muutoksista, jotka ovat merkittävästi muuttaneet prosessin suunnittelutietoja.

Lämmönsiirrinten likaantuminen pitäisi ottaa jo suunnitteluvaiheessa huomioon. Perusongelma on, että poistoilma sisältää lähes aina jonkin verran epäpuhtauksia. Lopputuloksena lämmönsiirrin likaantuu varmasti jollakin aikavälillä. On tärkeää osata arvioida, kuinka nopeasti likaantuminen tulee tapahtumaan ja mitä seurauksia likaantumisella on, jotta siihen voidaan varautua järjestelmää suunniteltaessa. Suunnittelijan ja laitetoimittajan täytyy ymmärtää lämmönsiirtimen puhdistusjärjestelmän ja poistoilman puhdistuksen vaikutus lämmönsiirtimen elinikään.

3.2.2 Lämmönsiirrinten likaantumismekanismit

Lämmönsiirrinten likaantuminen on hyvin monimutkainen prosessi, joka sisältää monimutkaisia kemiallisia prosesseja ja fysikaalisten ominaisuuksien yhteisvaikutuksia. Tässä kappaleessa on kerrottu lämmönsiirrinten likaantumisen perusmekanismeista. Lämmönsiirrinten likaantumiseen vaikuttavat muun muassa fluidin virtausnopeus ja viskositeetti, pinnan karheus, materiaalien väliset adheesiovoimat. Ville Väre käsittelee työssään lämmönsiirrinten likaantumista monipuolisesti. [5]

Kiteytyminen

Saostuminen on tapahtuma, jossa fluidiin prosessissa liuenneet suolat muuttuvat kiinteiksi aineiksi lämmönsiirtopinnoille. Tapahtuma voi seurata esimerkiksi seuraavia tapahtumia:

- Liuottimen haihtuminen, mistä seuraa konsentraation kasvu.
- Liuottimen lämpötilan lasku liukoisuusrajan alapuolelle.
- Liuottimen lämpötilan nousu tilanteissa, joissa liennut aine kiteytyy, kun lämpötila nousee liukoisuusrajan yläpuolelle. Tämän kaltaisia aineita ovat esimerkiksi CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaSiO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, MgSiO_3 , Na_2SO_4 , Li_2SO_4 ja Li_2CO_3 veteen liuenneena.
- Kahden erilaisen ainesekoksen sekoittaminen.
- pH:n vaihtelut jotka vaikuttavat hiilidioksidin CO_2 liukoisuuteen veteen.
- Jähmettyminen, jossa aine muuttuu nesteestä kiinteäksi aineeksi. Esimerkiksi seoksessa, jossa seoksen yksi komponentti jähmettyy lämmönsiirtopinnoille.

Sedimentaatio / Hiukkasten kerääntymien

Sedimentaatioissa hiukkaset tarttuvat tai kerääntyvät lämmönsiirtopinnoille. Esimerkiksi savi, liete tai metallioksidit, jotka kerääntyvät pintoihin.

Biologinen likaantuminen

Biologinen likaantuminen tarkoittaa mikro-organismien ja niiden sivutuotteiden, kuten bakteerien kiinnittymistä lämmönsiirtopinnoille ohuena filminä. Mikro-organismeja seuraa yleensä makro-organismit, kuten simpukat ja isommat levät jotka käyttävät mikro-organismeja ravintonaan. Mikrobiologinen likaantuminen voi olla ongelma myös tilanteissa, joissa kierto on pääsee ulkoilmaa.

Lämpötilataso 15-50 °C on ideaalinen mikrobien kasvualustaksi. Tämän kaltaisia lämpötilatasoja voidaan löytää esimerkiksi jäädytystorneista ja mahdollisesti savukaasupesureissa. Bakteerien ja mikro-organismien aiheuttama lima lämmönsiirtopinnoilla toimii myös suodattavana kerroksena, johon kertyy enemmän erilaista likaa. Mikäli halutaan toimia alle näiden lämpötilatasojen, täytyy laitteisto desinfioida puhdistuksen yhteydessä. [6]

Kemiallinen reaktio

Kemiallisen reaktion kautta kasautuvalla lialla tarkoitetaan tapahtumia, joihin lämmönsiirtopinnat eivät osallistu, kuten polymerisaatio.

Korroosiolikaantuminen

Lämmönsiirtopintojen korroosiossa muodostuvien metallien oksidien lämmönjohtavuus on melko hyvä, joten oksidikerroksen lämmönvastus jää pieneksi. Oksidikerroksen pinta voi kuitenkin olla karhea, mikä voi edistää muita likaantumismekanismeja. On mahdollista, että oksidikerros kasvaa ja mahdollisesti tukkii lämmönsiirtimen tai putkiston. [7]

Lämmönsiirrinten korrosio

Lämmönsiirtopinnoille kondensoituvat höyryt voivat vaurioittaa lämmönsiirtopintoja. Erityisesti jos lähestytään vettä tai muiden aineiden kastepistettä. Komponenttien ja kanavistojen pintalämpötilat täytyy pitää 11-17 K kastepisteen yläpuolella, jotta vältetään venttiilien ja kanavistojen korrosio. [8]

Lämmönsiirtopinnat voidaan valmistaa erilaisia happeja kestäviä materiaaleista tai pinnoittaa. Mikäli aineiden kondenssi hyväksytään, täytyy kondenssinpoistosta huolehtia ja kondenssin kanssa tekemisissä olevien putkistojen materiaalivalinnat varmistaa. Materiaalivalinnat tulee aina tehdä tilannekohtaisesti esimerkiksi laitevalmistajan kanssa. Korrosio-ongelmat ovat useasti kierrettävissä materiaalivalinnoilla, mutta tällöin kustannukset voivat nousta merkittävästi kun käsitellään hankalampia aineita. Erilaisia pinnoitettuja, ruostumattomia ja haponkestäviä metalleja on käytettävissä runsaasti. Li-

säksi erilaisia lasista, kerameista tai muoveista valmistettuja lämmönsiirtimiä alkaa markkinoilla olla paljon. Myös näiden yhdistelmiä on alettu hyödyntää paremmin. Esimerkiksi Taniplan suomessa myy teflonpinnoitettuja lasisiirtimiä, jotka kestävät jopa fluoria sisältäviä happoja. Lasisiirtimiä on käytetty jo pidempään prosessi-ilman lämmöntalteenottolaitteissa. Täysin ongelmattomia eivät lasiset siirtimet kuitenkaan ole olleet. Siirrinputkien rikkoutuminen on merkittävä riski. Kokonaan teflonputkista tehtyjä lämmönsiirtimiä on myös käytetty fluoria sisältävien polttoaineiden lämmöntalteenotoissa esimerkiksi Saksassa. Teflon asettaa käytölle merkittävät lämpötilarajoitteet huonon kuumankestävyyden takia verrattuna metalleihin. Tästä syystä lämmönsiirtimien vuodot ovat olleet kokemusten mukaan ongelma. Teflonputkilämmönsiirtimissä koko lämmönsiirtopatterin sisäpinnat runkoa myöten täytyy olla teflonpinnoituksella. Jukka Vettenranta kirjoittaa lamellipattereiden korroosiosta ja materiaalivalinnoista eri käyttöolosuhteissa. [9]

Lämmönsiirrinten tukkeutuminen

Lämmönsiirrinten likaantuminen tulisi pystyä havaitsemaan ennen koko laitteen tukkeutumista. Järjestelmään tulisi suunnitella mahdollisuus siirtimen ohitukselle ongelmatilanteissa ja puhdistusjaksoja varten. Erittäin ongelmallisissa tilanteissa järjestely on johtanut siihen, että ohitusta käytetään jatkuvasti. Tähän johtaneita syitä voi olla esimerkiksi huollon tai puhdistuksen laiminlyönti. Ohitus voi johtaa siihen, että investoinnin kannattavuus heikkenee.

Suunnitteluvaiheessa ei pystytä ennakoimaan kaikkea, jolloin olisi järkevää huolehtia mahdollisimman hyvistä huoltomahdollisuuksista tai mahdollisesta lämmönsiirtimen vaihtamisesta.

3.2.3 Lämmönsiirrinten puhdistusmenetelmät

Tukkeutumisen ja likaantumisen ennalta ehkäiseminen on optimaalisin vaihtoehto voimakkaasti likaantuvissa sovelluksissa. Tässä kappaleessa esitellään erilaisia periaatteellisia puhdistustekniikoita. [5] [7]

Itse puhdistuva lämmönsiirrin

Tässä tapauksessa itse puhdistuvalla lämmönsiirtimellä tarkoitetaan putkilämmönsiirrintä jonka putkien sisäpuolelle on viritetty jousi, joka virtaavan aineen vaikutuksesta värähtelee. Jousi hieroo putken sisäpintoja värähdellessään ja estää likaa kiinnittymästä siihen.

Kuulanuohous

Kuulanuohouksessa lämmönsiirtimen läpi ohjataan kuulia tai pellettejä, jotka irrottavat lian lämmönsiirtopinnoista. Tämän tyyppinen nuohous vaatii lämmönsiirtimeltä erikoissuunnittelua. Kuulanuohousta käytetään ilmapintojen puhdistamiseen, mutta on myös

kehitetty nesteeseen seassa kulkeutuvia kuulia, jotka nuohoavat putkisiirtimen sisäpintoja. Kuulien ominaisuudet vaikuttavat täten myös virtausnopeuksiin sekä materiaalivalintoihin.

Paine puhallus

Paineilmapuhallusta käytetään runsaasti sen helppouden takia. Ilmaa voidaan käyttää suodattimien lämmönsiirrinten puhtaaksi puhaltamiseen. Järjestelmän toiminta perustuu nopeaan ilmavirtaan, joka irrottaa kasaantuneen, kuiva ja pölymäisen lian lämmönsiirrinpinnoilta, muiden puhdistuslaitteiden pinnoilta tai kanavistojen pinnoilta.

Paineilmapuhdistusjärjestelmä on mahdollista suunnitella kiinteäksi osaksi järjestelmää, jolloin järjestelmän eduksi voidaan laskea helppokäyttöisyys ja mahdollisuus prosessin aikaiseen puhdistukseen. Tällöin pitää kuitenkin huolehtia, että puhdistusvaikutus on riittävä. Tämä voidaan havaita säännöllisillä tarkastuksilla. Järjestelmä on myös edullista järjestää kiinteäksi osaksi huoltotoimenpiteitä, jolloin käytetään liikuteltavia puhdistuslaitteita. Tällöin pitää huolehtia riittävästä määrästä paineilmaliihtäntöjä, riittävästä huoltilasta ja tarpeeksi suurista huoltoluukuista.

Paineilmapuhdistus asettaa tarpeita myös paineilman laadulle. Hygroskooppiset materiaalit tarvitsevat kuivattua ja öljytöntä paineilmaa. Lisäksi kostean tai öljypitoisen paineilman puhallus lämmönsiirtopinnalle voi tehostaa kuivan pölyn tarttumista pinnoille.

Puhallettu ilma törmää helposti lämmönsiirtimen ensimmäisiin putkiriveihin, jolloin puhdistusteho voi rajoittua siirtimen pintaosiin. Lämmönsiirrin tulisi tällöin suunnitella mahdollisimman ohueksi. [1]

Paineilmapuhdistuksen tehoa voidaan lisätä yhdistämällä paineilmalaitteiden virtaan nestemäistä tyyppiä tai kuivajää-pellettejä. Nämä normaalissa ilmanpaineessa höyrystyvät aineet suihkutetaan paineilamalla pintaan, jossa kiinteä aine höyrystyy ja laajenee nopeasti. Suihkutettava aine jäädyttää likakerroksen ja lämmönsiirtopinnan aiheuttaen nopean lämpötilan muutoksen, jolloin likakerrokseen syntyy mikrohalkeamia, joihin aine tunkeutuu räjäyttäen lian irti metallipinnasta. Menetelmän eduksi voidaan laskea vähäinen pinnan mekaaninen rasitus, kemikaalittomuus sekä vedettömyys.

Painevesipesu

Painevesipesu on yksi yleisimpiä puhdistusmenetelmiä sen yksinkertaisuuden takia. Puhdistuslaitteet ovat yksinkertaisia ja tunnettuja sekä niiden käytöstä on runsaasti kokemusta.

Painepesua suunniteltaessa on LTO-patteri suunniteltava riittävän väljäksi, jotta puhdistava vaikutus saadaan aikaiseksi. Patteri voidaan tarpeen mukaan jakaa useampaan osaan. Pesuveden suihkutussuunta voidaan valita ylhäältä alas tai sivusta.

Pesu voidaan suorittaa lämpimällä tai kylmällä vedellä. Liuotusominaisuuksien parantamiseksi pesuveteen voidaan lisätä pesuainetta. Pesuainetta käytettäessä tulee varmistua patterin materiaalivalinnoista, jotta pesuaineet eivät vahingoita pinnoitteita ja edistä korroosiota.

Kaikki tilanteet eivät vaadi painepesua, vaan esimerkiksi patterin yläpuolelta ruiskutettava huuhtelu riittää saamaan haluttu puhdistusvaikutus.

Ultraäänipesu ja liuotus

Ultraäänipesussa likainen lämmönsiirrin upotetaan liuottavaan nesteeseen, johon johdetaan voimakasta ultraääntä. Ultraääni saa nesteeseen aikaan paineenvaihteluita, jotka aiheuttavat kiinteän kappaleen pintaan mikroskooppisen pieniä kavitaatiokuplia. Kavitaatiokuplat luhistuvat ja synnyttävät pieniä paineiskuja pintaan, mikä mekaanisesti irrottaa lian pinnasta sekä sekoittaa nesteen kylläistä rajakerrosta likakerroksen lähellä tehostaen liuottimen vaikutusta.

Ultraäänipesu soveltuu tilanteisiin, joissa lämmönsiirrin on mahdollista irrottaa ja upottaa pesualtaaseen. Tämä rajoittaa usein käyttömahdollisuuksia suurien lämmönsiirtimien kanssa, koska fyysinen koko tekee irrotus- ja asennustyön hankalaksi.

Ultraäänipesulla on päästy kuitenkin hyviin lopputuloksiin erittäin vaikeasti likaantuneiden lämmönsiirrinten puhdistamisessa. Laitteistolla voidaan irrottaa lähes kaikenlaisia kiinni tarttunutta tai palanutta ja mahdollisesti kovettunutta tahmeaa likaa kuten tervaa tai bitumia. [10] [11]

Kanadassa öljyhiekan jalostuksessa käytettävien suurten putkilämmönsiirrinten puhdistaminen vaippapuolelta olisi erittäin hankalaa painepesulla, koska lika on päässyt putkiväleistä putkipaketin sisälle. Näiden jalostuslaitosten lämmönsiirtimet ovat suuria, joten puhdistusta varten jouduttiin valmistamaan 9 m * 2,7 m kokoinen allas, jonka vesitilavuus oli 28 m³. Laitteistolla päästiin erittäin hyviin lopputuloksiin. Ultraäänipuhdistuksella pystyttiin puhdistamaan lämmönsiirtimiä, joita ei muilla keinoilla oltu saatu puhtaaksi. Puhdistusaika laitteistolla on 4-12 h hauteessa. [10] [11]

Ravistus

Ravistusta käytetään lähinnä savukaasujen lämmön talteenottolaitoksissa irrottamaan kuivaa pölyä. Vaihtoehtona ravistukselle voidaan nähdä ääninuohous ja puhallus.

Höyrypesu

Höyry soveltuu rasvaisen ja tahmean lian poistoon. Erityisesti jos lika on vesiliukoista ja sen viskositeetti muuttuu voimakkaasti lämpötilan noustessa 150 °C:een. Höyry on järkevä vaihtoehto, jos höyryä on saatavilla runsaasti. Vaihtoehtona höyrylle voidaan nähdä vesipesu.

Ääninuohous

Ääninuohouksen periaatteena on saada aikaan ääniaaltoja jotka estävät ongelmallisten kerrostumien muodostumisen jo alkuvaiheessa. Ääniaallot luovat paineaaltoja ilmavirtaan, mikä tärisyttää pienet partikkelikasan irti toisistaan ja näin estää pölymäisten partikkelien kerääntymisen pinnoille. Ääninuohous on tehokkainta kuivalle pölymäiselle lialle kuten tuhkalle. Ääninuohousta voidaan käyttää tukemaan erilaisia muita puhdistustekniikoita, esimerkiksi sähkösuodattimen, kanavistojen, puhaltimien yms. puhtaana pitämiseen. Ääninuohous vähentää merkittävästi pölyn kerääntymistä järjestelmään. Etuina ääninuohoukselle voidaan nähdä edullisuus ja suhteellisen yksinkertaiset laitteistot. [12]

3.2.4 Lämmöntalteenotto kastepisteen alapuolella

Energian hinnan nousu, materiaalien kehitys ja lisääntynyt ympäristötietoisuus on johtanut tilanteeseen, että yhä useammassa prosessissa halutaan kaasut jäähdyttää siinä olevien höyryjen kastepisteen alapuolelle höyrystyslämmön talteen ottamiseksi. Ympäristömääräykset ovat lisäksi tiukentuneet, mikä on kiihdyttänyt savukaasujen puhdistuslaitteiden kehitystä. Samalla käytännön kokemus ja suunnittelutieto esimerkiksi happoja sisältävien höyryjen kondenssista on lisääntynyt.

Teollisuudessa löytyy runsaasti prosesseja, joissa käytetään lämmintä vettä tai höyryä suoraan työskentelytilassa. Tämä johtaa korkeisiin työskentelylämpötiloihin ja suureen ilmankosteuteen. Ongelmaa on yritetty ratkaista lisäämällä ilmanvaihtoa ja jäähdytystä, mikä johtaa vain suurempaan energiankulutukseen. Kosteaa ilmaa tulisi poistaa sen synty-paikasta kohdepoistolla, jolloin työskentely-ympäristön sisäilman olosuhteet pysyvät hyvinä ja lämmöntalteenotto tehostuu.

Nesteen kondensoituessa lämmönsiirtimen pinnoille saadaan myös latenttilämpö talteen. Jäähdytystarkoituksessa kondenssilla on hyvin päinvastainen vaikutus haluttuun lopputulokseen. Prosessiolosuhteiden vaihdellessa pitää mitoitusarvot valita harkiten ja arvioida, mikä vaikutus laitteiston toiminnalle on, jos poistoilma muuttuu merkittävästi kuivemmaksi kuin mitoitusolosuhteissa. Myös suuren kosteuden tilanne tulisi simuloida yksinkertaisin menetelmin, jotta voidaan varmistua, ettei suuri vesimäärä tuki lämmönsiirtintä ja heikennä laitteiston toimintaa tukkimalla ahtaavat ilmavälit. Veden kondensoituminen voi moninkertaistaa lämmönsiirtimen tehon, koska vedellä on merkittävästi pa-

remmat lämmönsiirto-ominaisuudet kuin ilmalla ja poistoilman kosteuden höyrystymislämpö saadaan hyödynnettyä. Suhteellisen puhtaassa ilmapirrassa olevan kosteuden kondensoituminen ei aiheuta suuria ongelmia. Mikäli prosessi sisältää rikin palamistuotteita tai muita aineita, jotka veden kanssa reagoidessaan muodostavat happoja, pitää materiaalivalinnat harkita tarkasti. [13]

Kosteiden ilmavirtojen lämmöntalteenoton suunnittelussa pitää suunnitteluvaiheessa pystyä arvioimaan syntyvän kosteuden määrä. Nestevirta voi talviaikana olla merkittävä ja se asettaa haasteita kondenssin viemäroinneille. Tavalliset comfort-ilmanvaihtokoneiden viemärointiratkaisut eivät ole aina riittäviä. Tämän kaltaisissa koneiden suunnittelussa ei ole ajateltu jatkuvaa nestevirtaa vaan ajoittaista kostumista. Mikäli lämmönsiirrin on jatkuvasti märkä, pitää koneen rungon ja osien olla korroosiota kestävästä materiaaleista rakennettu. Lisäksi tyypillisten koneiden viemärointiyhteet ovat koneen sivuilla, jolloin rungon pohjalla on jatkuvasti ohut vesikerros. Kaatojen pitää olla riittävän suuret, jotta nestekerroksen korkeuden aiheuttama hydrostaattinen paine on suurempi kuin puhaltimen aiheuttama alipaine märässä lohkossa. Lohkon alipaineen vaikutusta nestepatsaan korkeuteen on havainnollistettu kaavalla (3).

$$p = h * g * \rho \quad (3)$$

jossa

p on nestepatsaan hydrostaattinen paine, Pa

g on putoamiskiihtyvyyys, $9,81 \text{ m/s}^2$

ρ on nesteen tiheys, kg/m^3

h on nestepatsaan korkeus, m

Lohkossa oleva 100 pascalin alipaine vastaa 10,1 mm nestepatsaan hydrostaattista painetta. Tällöin esimerkiksi 500 pascalin alipaine synnyttää noin 5 cm nestepatsaan. Kammiossa täytyy tällöin olla kaato, jonka toiminta ei häiriinny ilmapirran aiheuttamasta kitkasta ja paine-ero tulee olla huomioitu vesilukon korkeudessa.

Kuvassa 2 on kostean ilman kohdepoistosta tulevan lämmöntalteenottolaitteen jättöpuoli. Laite poistaa ilmaa lämpimän vesialtaan yläpuolelta. Poistoilma voi olla jatkuvasti arviolta $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ja RH 70 %. Laite on tällöin käytännössä aina toimiessaan märkä. Vesimäärä tässä tapauksessa voi olla useita litroja minuutissa. Tavallisten ilmanvaihtokoneiden viemärointiratkaisut eivät ole tällöin riittäviä. Materiaalivalintojen tulee olla myös kosteutta kestäviä. Kun lämmöntalteenotossa kondensoituu suuria määriä vettä, olisi lämmöntalteenottopatterin jälkeinen kammio hyvä varustaa pisaran erottimella, jolloin neste ei pääsisi kulkeutumaan ilmapirran mukana puhaltimeen, vaan jäisi viemäroityyn kammioon.



Kuva 2. Ilmanvaihtokoneen ristivirtalämmöntalteenoton jättöpuoli.

Kuvassa 3 näkyy saman kohdepoiston kammiopuhaltimen kammio. Jatkuva veden läsnäolo on johtanut tilanteeseen, jossa kammiossa on aina koneen käynnissä ollessa vettä. Kammiossa ei ole viemärointiä, joten kammioon ilmavirran mukana päässyt vesi valuu koneen raoista konehuoneen lattialle. Koneessa on tavalliset koneen kyljessä olevat viemärointiyhteet, jotka sijaitsevat lämmöntalteenoton molemmin puolin.



Kuva 3. Ilmanvaihtokoneen poistopuhaltimen kammio.

4 SAVUKAASUT

4.1 Savukaasujen koostumus

Polttoaineella on olennainen vaikutus savukaasun koostumukseen. Polttoaineessa olevan rikin, kloorin ja fluorin yhdisteistä syntyvät hapot ovat vaarallisia järjestelmälle. Yleisempiä näistä ovat rikki ja kloori. Näistä syntyviä rikin happoja ja suolahappoa kestäviä lämmönsiirrinmateriaaleja on tällä hetkellä valittavissa useita. Fluorivetyhappo on harvinaisempi ja sitä sisältävät usein vain jätteenpolttolaitoksissa poltettavat jätteet ja tietyiltä alueilta tulevat kivihiilet. Fluoria sisältäviä happoja voidaan käsitellä vain fluorilla päällystetyillä esineillä. Fluorivetyhappo syövyttää muun muassa lasia, kuparia ja lyijyä. Tämä tarkoittaa sitä, että käytännössä lämmönsiirtimet täytyy suunnitella teflonputkilla tai teflonpäällysteillä. [14]

4.2 Savukaasun koostumuksen vaikutus suunnitteluun

Käytetyn polttoaineen koostumus täytyy selvittää. Tuhkan muodostus ja savukaasun vesipitoisuus vaikuttavat lämmönsiirtimien suunnitteluun ja puhtaana pysymiseen. Alakangas käsittelee kattavasti Suomessa käytettäviä polttoaineita sekä niiden koostumuksia VTT:n tutkimusraportissa numero 2045. [15]

4.3 Savukaasupesurit (scrubber)

Pesureissa tarkoitus on vähentää typen oksideja ja ilmakehään pääseviä happamia yhdisteitä. Teknisiä sovelluksia on lukemattomia erilaisia mutta idea on sama. Nestevirta, joka yleensä on prosessivesi, saatetaan kosketuksiin kaasuvirran kanssa, jolloin kaasut ja partikkelit sekoittuvat veteen. Vesivirran ja kaasuvirran kosketuspinta-ala pyritään aina maksimoimaan. Tällöin vesivirta sumutetaan tai ruiskutetaan kaasuvirtaan tai vesi ruiskutetaan täyteainepakan läpi, jolloin märät täyteainekappaleet toimivat lämmönsiirtopintana. Tästä prosessivedestä voidaan ottaa lämpöä talteen.

Mikäli savukaasu on riittävän puhdasta eikä sisällä tuhkaa, voidaan lämpöä ottaa talteen tavallisilla lämmönsiirtotekniikoilla kuten sileäputkilämmönsiirtimillä. Lämmönsiirtimen puhdistusmahdollisuudesta täytyy tällöin varmistua. Voidaan käyttää automaattisia puhdistuslaitteita tai mahdollistaa manuaalinen puhdistettavuus sopivalla rakenteella.

4.3.1 Ilmastonäkökohdat

Savukaasun puhdistus ja lämmön talteenotto ovat usein toisistaan riippuvia asioita jotka saavutetaan samassa prosessissa. Puhdistus on pakollinen toimenpide, jota säätelee lainsäädäntö ja lämmöntalteenotolla tästä investoinnista on mahdollista saada kannattavampi.

Savukaasupesulla on mahdollista saavuttaa merkittävä pienhiukkapäästöjen pienentyminen. Kaasumaisia polttoaineita kuten maakaasua poltettaessa pienhiukkasia ei synny juuri lainkaan polttoaineen puhtauden takia.

4.3.2 Jätevesien käsittely

Märkäpesureissa jätevesien käsittely on otettava huomioon kannattavuuslaskelmia tehtäessä. Mikäli jätevedet pyritään laskemaan kunnalliseen viemäriin, täytyy ne puhdistaa tarvittavalle tasolle. [16] Epäpuhtaudet voidaan myös puhdistaa kaasuihin puolikuivalla tai kuivalla tekniikalla. Tällöin pesuri mitoitetaan niin, että savukaasuvirtaan suihkutettava vesi höyrystyy kokonaan kaasuvirtaan. Pesuvedessä olevat aineet suodatetaan pesurin jälkeen muilla tekniikoilla pois ulospuhallettavasta kaasusta. Näin voidaan säästää jätevesien käsittelyssä, mutta puhdistuksessa käytettäviä aineita kuluu enemmän. [17]

Lauhdevesien käsittelyprosessi pohjautuu muutamaa vaiheeseen. Ensin pH-arvo säädetään sopivalle tasolle. Usein tähän käytetään natriumhydroksidia, joka arkikielessä tunnetaan paremmin lipeänä. Tämän jälkeen aine saostetaan sopivalla aineella. Usein tähän käytetään kalkkiyhdisteitä, joiden kalkki reagoi happojen kanssa. Liuos johdetaan saostusaltaisiin joista kiintoaineet kerätään muiden poltossa syntyneiden kiintojätteiden sekaan. Käsitelty vesi voidaan johtaa viemäriin, jos se täyttää viranomaisen määräykset. [18]

5 RASVAISET ILMAVIRRAT

5.1 Rasvan hajotus

Erilaiset rasvat voidaan hajottaa rasvakanavassa, jolloin nuohouksen ja mahdollisen lämmöntalteenoton puhdistuksen tarve vähenee.

5.1.1 Otsonointi

Otsoni on tehokas hapetin, joka hapettaa poistoilman hajuja aiheuttavat kaasut ja rasvamolekyylit hajottaen ne vedeksi ja hiilidioksidiksi. Otsonointilaitteistot tuottavat pieniä määriä otsonia poistokanavaan ja reagoivat siellä vähentäen rasvakanavan seinämiin ja laitteisiin tarttuvan rasvan määrää. Tämä vähentää kanavien nuohoustarvetta ja lämmön talteenottopatterin puhdistustarvetta, jolloin lämmönsiirtopinnat pysyvät pidempään puhtaina.

5.1.2 UV ja TiO₂

Ultravioletin ja titaanioksidin yhteisvaikutukseen perustuvat suodatusjärjestelmät hajottavat rasvamolekyylejä pienemmiksi molekyyleiksi ja ideaalisessa tilanteessa jäljelle jää vettä ja hiilidioksidia. Tämän tyyppiset järjestelmät ovat usein integroituna esimerkiksi ravintolan keittiön huuvaan. Näissä titaanioksidilla pinnoitetut rasvasuodattimet toimivat katalyytteinä ja ultravioletin valo on reaktiossa merkittävämmässä asemassa. Etuina otsonin tuotantoon perustuviin laitteistoihin nähden voidaan ajatella, että nämä ovat usein osa huuvatoimitusta eivätkä erillisenä järjestelmänä. [2]

5.2 Rasvan erotus

Rasvaa hajottavien järjestelmien tukena tulee käyttää erilaisia suodattavia tekniikoita. Rasvasuodattimet ja syklonitekniikalla toimivat pienet erottimet erottavat pienet rasvapisarot ilmapirrasta, jolloin hajotustekniikka voi toimia tehokkaammin. Syklonitekniikalla saadaan poistoilmasta kerättyä ja mahdollisesti kierrätettyä suurimmat rasvapartikkelit. Syklonien jälkeen ilma voidaan johtaa rasvasuodattimen läpi, jolloin rasvapartikkelit törmäävät rasvasuodattimeen. Tämän jälkeen ilmassa on jäljellä hyvin pieniä rasvapartikkeleita, joita on vaikea suodatustekniikalla poistaa ilmapirrasta hyvin pienen partikkelikoon vuoksi.

6 MUIDEN POISTOILMAN EPÄPUHTAKSIEN HALLINTA

6.1 Kaasumaiset aineet

Kuivapesu

Kuivapesua käytetään absorboimaan ja neutraloimaan happamia kaasuja. Järjestelmässä kaasuvirtaan suihkutetaan alkaliliuosta, joka muodostaa kaasun happojen kanssa suoloja ja höyrystää suihkutettavan nesteen. Tällöin kuiva-aine voidaan kerätä järjestelmästä erillisillä tekniikoilla, jolloin jäljelle jää puhdasta kaasua. Tyypillisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi jätteenpolttolaitokset, runsasrikkistä kivihiiltä käyttävät laitokset sekä lasin sulatusuunit. [8]

Reaktiot happojen ja alkalien välillä tapahtuvat tehokkaimmin vesiliuoksessa. Tällöin reaktiosta saadaan paras tulos kun optimoidaan järjestelmään ruiskutettavan veden määrä siten, että kaikki vesi saadaan höyrystettyä ja nestepisarat säilyvät järjestelmässä mahdollisimman pitkään mahdollistaen reaktiot. Suihkutettava aine ei välttämättä toiminta-olosuhteissa pysy liuoksena vaan nesteen seassa saattaa olla kiintoaineita. Suunniteltaessa tämä asettaa erikoisvaatimuksia esimerkiksi suuttimille ja pumpuille. [8]

Pesu täytekappaleetornissa

Täytekappaleetorneja käytetään likaisen partikkeleita ja kaasumaisia epäpuhtauksia sisältävän ilmvirran puhdistukseen. Puhdistus tapahtuu kun partikkelit tarttuvat märkään täytekappaleen pintaan tai kaasumaiset aineet absorboituvat pesunesteeseen. Kaasumaisten aineiden puhdistus on merkittävästi monimutkaisempi ilmiö ja lisäksi osa partikkelien puhdistusta tehostavista ominaisuuksista heikentää absorptioon perustuvan puhdistuksen tehoa. Partikkelien puhdistukseen vaikuttavat esimerkiksi nesteen määrä ja virtausnopeus tehostavasti, koska törmäysnopeus kasvaa. Kaasun puhdistuksessa taas kaasun virtauksen otsapintanopeuden kasvaessa puhdistusteho heikkenee, sillä kaasu viipyy pesurissa lyhyemmän aikaa, jolloin absorptiolle jää vähemmän aikaa. Vesivirran kasvattamisella ei ole merkittävää vaikutusta kaasun absorboitumiseen, koska nesteen pinta-ala ei kasva merkittävästi. Lisäksi suuri otsapintanopeus saattaa heikentää nesteen virtausta täytekappaleiden läpi, jolloin nestepinta-ala pienenee tornin alaosissa. Usein suurin pesuteho saavutetaan silloin, kun kaasun nopeus on suurin mahdollinen, jolloin pesuneste ei vielä tempaudu kaasuvirran mukaan ja kuivata täytekappaleita. [8] [19]

Täytekappaleiden tarkoitus on lisätä absorptiopinta-alaa sekä sekoittaa ilmavirta, kuitenkin samalla pitäen paine-häviö pienenä. Täytekappaleita valmistetaan keraameista, metalleista ja muovimateriaaleista. Yleisimmin käytössä on muovimateriaalit niiden hyvän kemiallisen kestävyuden vuoksi. Lisäksi tuotanto ja materiaalikustannukset ovat edulliset. Näiden haittapuolena on heikko kestävyys kuumille lämpötiloille, jolloin ne voivat sulaa tai menettää muotonsa. [8]

Täytekappaleetornien tehokkuutta on vaikea arvioida tapahtuman monimutkaisuuden takia. Tästä syystä täytekappaleetornin tehokkuuksia arvioidaan vertaamalla niitä hiilidioksidin ja ilman seoksen absorboitumiseen natriumhydroksidi-vesi-liuokseen. Tämän jälkeen on eri aineille laskettu filmiteorian avulla vertailukertoimia, joiden avulla pystyy arvioimaan tornin tehokkuutta ja kokoa. [8]

Kaasujen adsorptio

Adsorptiossa kiinteän aineen pintaan tarttuu kaasu tai nestefaasista yhdestä kolmeen molekyylin paksuinen kerros van der Waalsin (London dispersio) voimilla. Kaupallisia adsorbentteina käytetään aineita joiden pinta-ala/tilavuus suhde on mahdollisimman suuri. Tämän kaltainen aine on esimerkiksi aktiivihiili, joka on erityisen huokoinen aine. Yksi gramma aktiivihiiltä voi sisältää 1000 m² sisäistä pinta-alaa. Adsorptioaineita käytetään poistamaan kaasuista orgaanisia kaasuja, vesihöyryä, hajuja ja muita kaasumaisia epäpuhtauksia. [8]

Yksi käyttöalue on ilman puhdistukseen tarkoitetut laitteet. Näiden tarkoituksena on puhdistaa ilmasta halutut epäpuhtaudet pois. Yleensä nämä laitteet myös kuivattavat ilmaa. Adsorptioaine likaantuu käytön myötä. Käyttöaikaa riippuu täysin ilman likaisuudesta. Adsorptio on reversiibeli prosessi, jolloin puhdistava aine on mahdollista puhdistaa eli regeneroida. Tähän käytetään puhdasta matalapaineakaasua tai muuta huuhtelua. Myös korkealämpötilaista lämpökäsittelyä voidaan käyttää, joskin järjestelmä on usein niin kallis, että lämpökäsittely kannattaa tilata ulkoiselta toimijalta, joka yleensä on adsorptioaineen toimittaja. [8]

Adsorptio on eksoterminen prosessi, jossa lämpöä sitoutuu 90-140 J/mol sitoutuvasta aineesta riippuen. Lisääntynyt lämpö voi aiheuttaa puhdistusmateriaalin syttymisen tietyissä järjestelmissä. Lisäksi adsorptiomateriaalin ominaisuudet ovat paremmat matalammassa lämpötiloissa. [8]

On myös kehitetty materiaaleja, jotka adsorboivat vettä, mutta suuremmat molekyylit eivät tartu materiaalin pinnoille. Tämän kaltaisia materiaaleja voidaan käyttää esimerkiksi ilman kuivattamiseen. Esimerkiksi lämmön talteenotto-roottori voidaan päällystää materiaalilla, joka adsorboi tuloilmasta vettä ja siirtäen sitä poistoilmaan vähentäen jäädytystarvetta. Suomessa adsorptioroottoreille on vähän käyttökohteita melko kylmän ja kuiva ilmaston takia. Jäädytetyissä varastoissa sekä kuumen ja kostean ilmaston

maissa voidaan tämän kaltaisilla laitteilla saavuttaa merkittävä jäähdytystehon ja jäähdytysenergian pieneneminen. [20]

Jälkipoltt

Mikäli likainen poistoilma sisältää palavia aineita, niin ne voidaan ohjata jälkipolttouuniin, josta on mahdollista saada lämpöä talteen tavanomaisemmin menetelmin. Tämän kaltaisia laitteita voidaan käyttää mikäli poistoilma sisältää esimerkiksi VOC (Volatile organic compound) kaasuja, joita ei voida sellaisenaan puhaltaa ulkoilmaan.

6.2 Pölyt ja partikkelit

Partikkelimaisten epäpuhtauksien poistoon on kehitetty lukuisia erilaisia tekniikoita, joissa jokaisella on etunsa investoinnin, tehon, toiminta-alueen, fyysisen koon, käyttökustannusten ja huoltokustannusten kannalta. Seuraavassa on esitelty ilmavirran partikkelien hallintaan käytettyjen tekniikoiden päätyypit.

Painovoimaan ja liikemäärään perustuvat tekniikat

- Laskeutumiskammiot.
- Säleohjaimet ja kammiot.

Tämän tyyppiset keräimet soveltuvat suhteellisen suuripartikkelisen kaasun esipuhdistukseen. Säleohjaimilla voidaan saada hyvä esipuhdistusaste todella likaisella ilmalla. Laskeutumiskammioissa kammion koko kasvaa erittäin suureksi, mikäli halutaan erottaa alle 40 µm kokoisia partikkeleita. Kuvassa 4 on esitelty partikkelien laskeutumisnopeuksia. Otsapintanopeus tulee olla alle 0,3 m/s, jotta päästään tyydyttävään lopputulokseen. [8]

Particle Density, kg/m ³	Particle or Aggregate Diameter, µm									
	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
50	1.8 E-6	7.0 E-6	4.0 E-5	1.6 E-4	7.0 E-4	4.0 E-3	1.6 E-2	0.055	0.23	0.51
100	3.7 E-6	1.4 E-5	8.0 E-5	3.2 E-4	1.4 E-3	8.0 E-3	3.0 E-2	0.11	0.39	0.83
200	7.4 E-6	2.8 E-5	1.6 E-4	6.4 E-4	2.8 E-3	1.6 E-2	5.9 E-2	0.19	0.65	1.30
500	1.8 E-5	7.0 E-5	4.0 E-4	1.6 E-3	7.0 E-3	3.9 E-2	0.14	0.42	1.21	2.50
1000	3.7 E-5	1.4 E-4	8.0 E-4	3.2 E-3	1.2 E-2	7.6 E-2	0.25	0.70	1.95	3.90
2000	7.4 E-5	2.8 E-4	1.6 E-3	6.4 E-3	2.5 E-2	0.14	0.45	1.14	3.10	6.25
5000	1.8 E-4	7.0 E-4	4.0 E-3	1.5 E-2	6.4 E-2	0.35	0.97	2.23	5.75	11.0
10 000	3.7 E-4	1.4 E-3	8.0 E-3	3.1 E-2	0.12	0.60	1.66	3.52	8.90	17.3

Note: E-6 = $\times 10^{-6}$, etc.

Source: Billings and Wilder (1970).

Kuva 4. Partikkelien laskeutumisnopeuksia ilmassa, [m/s][8].

Keskipakovoimaan perustuvat keräimet

- Syklonit ja multisyklonit.
- Pyörivät sentrifugit.

Syklonissa kaasuvirta saatetaan pyörivään liikkeeseen, jolloin ilmaa painavimmat partikkelit ajautuvat syklonin ulkokehälle ja siellä vajoavat syklonin pohjalle. Syklonien painehäviöt vaihtelevat eri lähteiden mukaan 175-1400 Pa välillä. Syklonien erotuskyky on heikko pienillä partikkeleilla, koska ne kulkeutuvat helpommin ilmavirran mukana. Tahmeat ja suuriviskoosiset aineet eivät sovellu syklonitekniikalla erotettavaksi. Yhdessä pölymäisen lian kanssa ne voivat tukkia syklonin tai heikentää sen toimintaa merkittävästi.

Syklonien etuina ovat melko pienet valmistuskustannukset ja kompakti koko. Sykloneita on mahdollista yhdistellä rinnakkain tai sarjaan erotusasteen nostamiseksi. Syklonien erotusaste riippuu ilman virtausnopeudesta ja syklonin halkaisijasta. Sykloneita on teollisuudessa käytössä yleisesti esimerkiksi purunerottimissa. Syklonitekniikka on otettu käyttöön kotitalouksissa pölynimureissa viime vuosina. [8] [21] [22]

Elektrostaattiset erottimet

- Putki- tai levytyyppiset, märkä tai kuiva, korkeajännitteiset erottimet (Yksivaiheiset).
- Levy, märkä tai kuiva, matalajännitteiset sumu- ja savuerottimet (Kaksivaiheiset).

Sähkösuodattimia on teollisuudessa käytössä yleisesti pölynpoistolaitteistona voimalaitoksissa. Sähkösuodattimen emissioelektrodien välille johdetaan negatiivinen tasavirtajännite, joka rakenteesta ja kohteesta riippuen on 50-80 kV. Sähkökentän koronapurkaukset varaavat kaasun hiukkaset ja negatiivisesti varattuina ne kulkeutuvat kerääjälevyille. Levyjen pinnalta partikkelit ravistellaan tai pestään pois. [22]

Emissioelektrodit voivat sijaita ennen erotusosaa tai erotusosien välissä. Suodattimia, joissa emissioelektrodit sijaitsevat ennen keräinlevyjä, sanotaan kaksivaiheiseksi. Emissioelektrodien sijainti vaikuttaa keräinlevyjen likaantumisnopeuteen. Mikäli emissioelektrodit sijaitsevat ennen suodatinta, niin suodattimen alkuosa likaantuu nopeammin, jolloin puhdistusjaksojen tulisi olla eripituiset keräinlevyjen alku- ja loppuosalla. [19]

Sähkösuodattimien taloudellisen käytön edellytyksenä on hiukkasten varaus- ja sähköjohtokyky. Yksi toiminnan kannalta oleellisimpia asioita on elektrodeille kertyvän pölyn määrä ja sen vastus, mikä saattaa aiheuttaa niin suuria jännitepudotuksia, että laitteen erotusaste heikkenee. Tästä syystä laitteisto on mahdollista osastoida ja hallita paikallisten olosuhteiden mukaan. Kaasua on mahdollista myös kostuttaa ja näin parantaa partikkelin sähköisiä ominaisuuksia. [19]

Usein pienimpiä hiukkasia sisältävät pölyt joudutaan pesemään pois laitteistosta, kun ravistuksella ei saavuteta haluttua lopputulosta. Mahdollista on myös kerätä neste-

pisaroita, jolloin keräinlevyt ovat jatkuvasti märkänä. Sähkösuodattimella voidaan puhdistaa myös räjähdysvaarallisia seoksia. [19] [23]

Kangassuodattimet

- Letkusuodattimet.
- Kasettisuodattimet.
- Kertakäyttöiset pussisuodattimet.

Kuitusuodattimia käytetään silloin, kun päästörajoitukset sitä vaativat tai sähkösuodatin ei sovellu kohteeseen pölyn ominaisuuksista johtuen. Kuitusuodattimilla päästään hyvään lopputulokseen kuivilla pölyillä yksinkertaisen rakenteen ja edullisten käyttökustannusten takia.

Kuitusuodattimien toiminta perustuu useaan eri mekanismiin, joita kutsutaan depositiomekanismeiksi. Depositioimekanismeja ovat impaktio, interseptio, diffuusio, sedimentaatio ja sähköstaattinen vuorovaikutus. Impaktio tapahtuu kun partikkeli ei massan hitauden takia kykene seuraamaan esteen kiertävää ilmavirtaa vaan törmää esteen pintaan. Interseptio tapahtuu, kun partikkeli kulkee riittävän läheltä suodatinkuitua, jolloin se tarttuu kuituun kiinni. Sedimentaatio on harvinaisempi ilmiö suodattimissa, yleisimmin tätä ilmiötä käytetään hyödyksi laskeutumiskammioissa. Elektrostaattinen erottuminen voi tapahtua, jos partikkelilla tai suodatinkankaalla on pieni sähkövaraus, joka vetää partikkelin kuidun pintaan. [8] [24]

Kuitusuodattimia on kolmea päätyyppiä paineilmapuhdistuksella varustettu letkusuodatin, paineilmapuhdistuksella varustettu kasettisuodatin ja kertakäyttösuodatin. Ravistusta, tärinää, äänipuhdistusta tai siilotytkiä voidaan myös käyttää tehostamaan suodattimen puhdistusjaksoja. [8]

Kuitusuodattimien etuja ovat suhteellisen edulliset investointkustannukset verrattuna muihin korkean suodatusasteen erottimiin kuten märkäpesureihin ja sähkösuodattimiin. Epäpuhtaudet kerätään samassa muodossa eikä niitä jouduta sekoittamaan veden tai pesunesteen kanssa, jolloin mahdollinen uusiokäyttö on mahdollista. Prosessin toiminnan vaihtelu ei myöskään haittaa suodattimen optimaalista käyttöä. Esimerkiksi jos suodattimeen tulee hetkellisesti runsaasti partikkeleita, niin suodattimen erotusaste ei hetkellisesti heikkene. [8]

Haittapuolina kuitusuodattimille on neste aerosolit sekä kosteat ja tarttuvat partikkelit, jotka voivat tukkia suodattimen. Kankaan elinikä voi huomattavasti lyhentyä mikäli kaasu sisältää happoja tai emäksiä. Materiaaliteknisistä syistä poistokaasun lämpötilat voivat olla maksimissaan 260 °C. Jos epäpuhtaudet ovat palavia aineita, on syytä myös huomioida palo- ja räjähdysvaara. Lisäksi suurissa laitoksissa suodattimien vikati-

lanteet kuten suodattimien repeytymiset ja kulumiset on vaikea havaita ja paikantaa. Automaattisia valvontalaitteita tulee käyttää vikatilanteiden tarkkailuun. [8]

Granulaariset suodattimet

- Kiinteä peti.
- Liikkuva peti.

Granulaarisissa eli rakeisissa suodattimissa likainen kaasu johdetaan kiinteän rakeisen väliaineen läpi, johon epäpuhtaudet adsorboituvat. Kiinteäpetisessä väliaine pysyy paikallaan, jolloin likaantunut materiaali täytyy ajoittain vaihtaa. Liikkuvapetisessä järjestelmässä adsorptioaine kiertää järjestelmässä, jossa erillinen vaihe regeneroi eli puhdistaa tai viilentää tätä ainetta. Tällöin likaantunutta ainetta ei tarvitse vaihtaa niin usein. Kaikkia epäpuhtauksia ei pysty puhdistamaan pelkällä höyryhuuhtelulla. Jotkin aineet vaativat korkealämpötilaista regenerointia, mihin tarkoitettut laitteet ovat kalliita. Tällöin kannattaa usein ulkoistaa tämä prosessi adsorptioaineen toimittajalle.

Pesurit

- Suihkupesurit (Spray).
- Suihkutorni (Impingement).
- Suutinpesuri (Orifice).
- Venturipesuri.
- Täytekappaletorni.
 - Liikkumaton peti.
 - Liikkuva peti.

[8] [19] [21]

Keräimen tehokkuus

Keräinten tehokkuus määritellään suodattimeen jääneen epäpuhtauden massavirran prosenttiosuutena suodattimeen tulleesta kokonais epäpuhtaudesta. Usein eri laitteistot ovat tehokkaampia tietyllä partikkelivälillä ja tämän tyyppiset hyötysuhteet ilmoitetaan osatehokkuutena (fractional efficiency). Puhdistuslaitteistoilla on omat tehokkaat toiminta-alueensa, jolloin laitteistoja voidaan ketjuttaa ja päästä hyödyntämään eri laitteiden hyviä ominaisuuksia. Esimerkiksi erittäin pölyistä ilmaa voidaan esipuhdistaa syklonilla tai laskeutumiskammiossa ennen pesuria tai suodatusta. Tämä vähentää loppusuodatuksen tarvetta, jolloin mitoitus voidaan tehdä pienemmäksi sekä huolto ja käyttökulut pienenevät.

Kuvassa 5 ja kuvassa 6 on esitelty eri puhdistuslaitteiden tehokkuuksia.

Table 3 Measures of Performance for Gas-Cleaning Equipment

Particle Collector	Particle Diameter, ^a μm	Max. Loading, g/m^3	Collection Efficiency, % by mass	Pressure Loss		Utilities per m^3/s (gas)	Comparative Energy Requirement	Superficial Velocity, ^b m/s	Capacity Limits, m^3/s (Relative)
				Gas, Pa	Liquid, kPa				
Dry inertial collectors									
Settling chamber	>40	>10	50	25 to 125	—	—	1	1.5 to 3.0	None
Baffle chamber	>20	>10	50	12.5 to 62.5	—	—	1.5	5.0 to 10	None
Skimming chamber	>20	>2	70	<2.50	—	—	3.0	10 to 20	25
Louver	>10	>2	80	75 to 500	—	—	1.5 to 6.0	10 to 20	15
Cyclone	>15	>2	85	125 to 750	—	—	1.5 to 9.0	10 to 20	25
Multicyclone	>5	>2	95	500 to 2500	—	—	6.0 to 20	10 to 20	95
Impingement	>10	>2	90	250 to 500	—	—	3.0 to 6.0	10 to 20	None
Dynamic	>10	>2	90	Provides pressure	—	0.75 to 1.5 kW	10 to 20	—	25
Electrostatic precipitators									
High-voltage	>0.01	>0.2	99	50 to 250	—	0.1 to 0.6 kW	0.8 to 2.0	0.3 to 2.0	5 to 940
Low-voltage	>0.001	1	90 to 99	50 to 125	—	0.03 to 0.06 kW	0.5 to 1.0	1.0 to 3.5	0.5 to 50
Fabric filters									
Baghouses	>0.08	>1	99	500 to 1500	—	—	6.0 to 20	0.005 to 0.10	95
Cartridge filters	>0.05	>0.2	99+	500 to 2000	—	—	—	0.0025 to 0.025	20 to 25
Wet scrubbers									
Gravity spray	>10	>2	70	25 to 250	140 to 690	70 to 270 L/s	5.0	0.5 to 1	50
Centrifugal	>5	>2	90	500 to 2000	140 to 690	0.14 to 1.4 L/s	12 to 26	10 to 20	50
Impingement	>5	>2	95	500 to 2000	140 to 690	0.14 to 0.7 L/s	9.0 to 31	1.5 to 30	50
Packed bed	>5	>0.2	90	125 to 2500	35 to 210	0.7 to 70 L/s	4.0 to 34	0.5 to 1.5	25
Dynamic	>2	>2	95	Provides pressure	35 to 210	0.14 to 0.7 L/s, 2.25 to 15 kW	30 to 200	1.5 to 20	25
Submerged orifice	>2	>0.2	90	500 to 1500	None	No pumping	9.0 to 21	15	25
Jet	>2	>0.2	90	Provides pressure	345 to 610	7 to 14 L/s	15 to 30	10 to 100	50
Venturi	>0.1	>0.2	95 to 99	2500 to 15 000	70 to 210	0.4 to 1.4 L/s	30 to 300	60 to 210	50

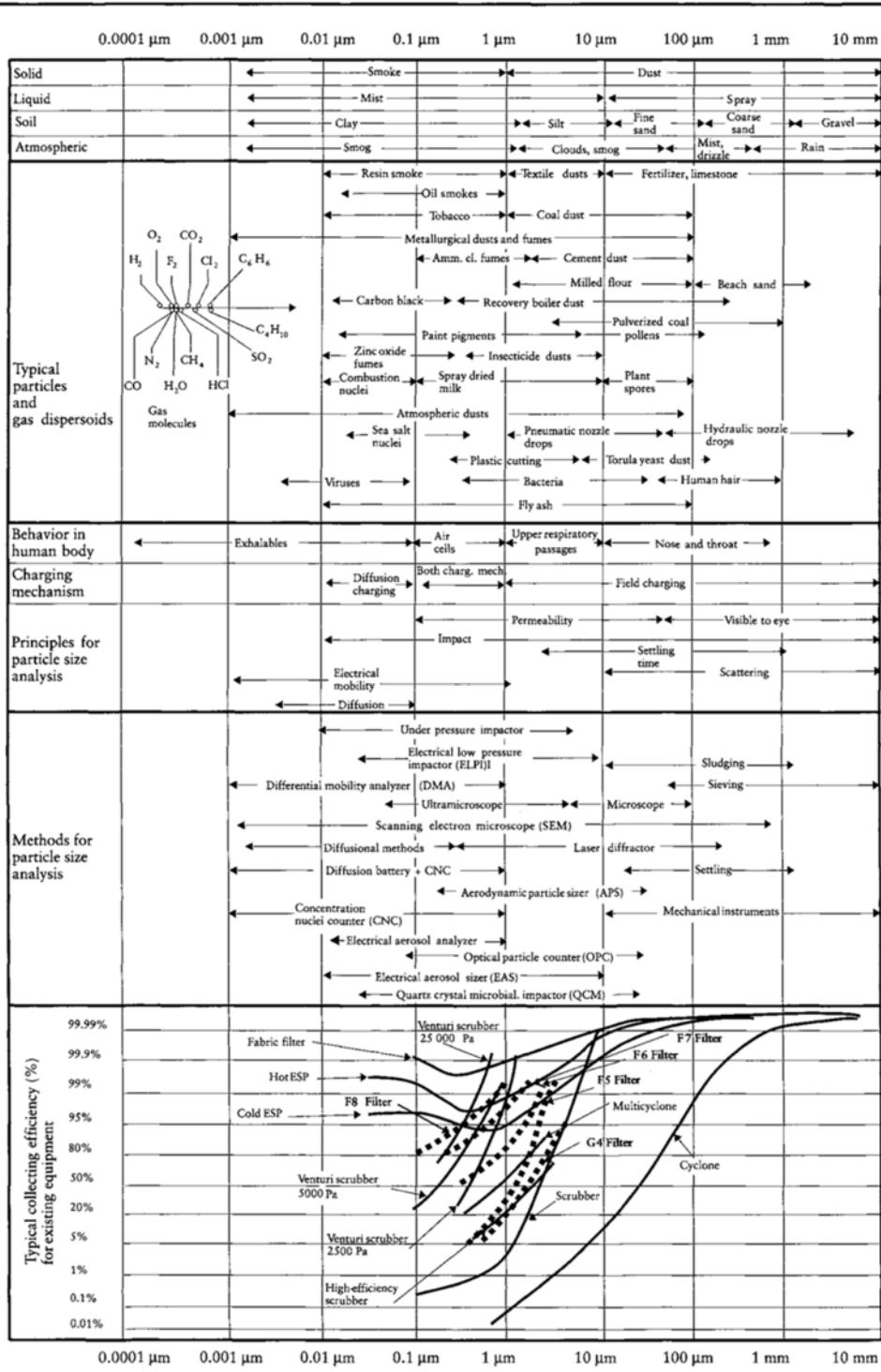
Source: IGCI (1964). Information updated by ASHRAE Technical Committee 5.4.

^aMinimum particle diameter for which the device is effective.

^bAverage speed of gases flowing through the equipment's collection region.

Kuva 5. Kaasun puhdistuslaitteistojen tehokkuuksia. [8]

TABLE 13.1 The Physical and Chemical Nature of Particles, from Molecular Level to 10 mm Size



Kuva 6. Erikokoisten partikkeleiden ominaisuuksia. [21]

6.3 Kiinteä tarttuva lika

Kumit, muovit ja terva ovat aineita, joita saattaa ilmetä kuumissa poistoilmavirroissa pieninä pisaroina tai partikkeleina mutta tarttuvina. Ne ovat usein hyvin kestäviä erilaisia liuottimia vastaan, jolloin niiden pesu lämmöntalteenottolaitteistosta on erittäin hankalaa niiden jäähtyessä. Tämän kaltaisia laitteistoja on kokeiltu esimerkiksi rengasteollisuudessa, mutta niiden toiminta on ollut heikkoa ja ylläpito kallista, joten ne on päätetty usein ohittaa.

6.4 Härmistyvä lika

Tietyissä kalsiumyhdisteitä sisältävissä prosesseissa kalsiumyhdisteitä saattaa kertyä lämmöntalteenottopattereille heikentäen lämmönsiirtoa, kasvattaen painehäviötä ja pahimmassa tapauksessa tukkien lamellit. Lisäksi kaivovesi voi sisältää kalsiumyhdisteitä siinä määrin, että pesuvesi voi aiheuttaa lämmönsiirrinten likaantumista pitkällä aikavälillä.

6.5 Erilaisten epäpuhtauksien yhteisvaikutus

Ilmankosteudella on merkittävä vaikutus pölymäisten epäpuhtauksien tarttuvuuteen. Tällöin liian suuri kosteus voi johtaa siihen, että muuten toimivaan laitteistoon kertyy pölyä. Tai lämmönsiirtopinnat kylmenevät niin, että poistoilman kosteus kondensoituu pinnoille ja märkä pinta kerää pölymäisen lian, jolloin tämä seos tukkii ja likaa lämmönsiirtimen. Sähkösuodattimissa kosteuspitäisyys halutaan pitää riittävän korkeana, jolloin se parantaa sähkösuodattimien erotuskykyä.

Teollisuudessa on käytetty myös kaasupoltinta savukaasukanavien pudistamiseen. Joissain tilanteissa lika on hyvin vaikeaa tai työlästä poistaa perinteisin puhdistustavoin. Tällöin on voitu päätyä polttamaan kanavistoon tai lämmönsiirtimeen tarttunut lika määrävälein. Kanaviston täytyy olla suunniteltu savukaasukanavaksi riittävin palonsuojauksin ja materiaalein. Määrävälein tehtävällä poltolla voidaan myös välttää ennakkoimattomat palotilanteet, joissa kanaviston lika on syttynyt hallitsemattomasti. [25]

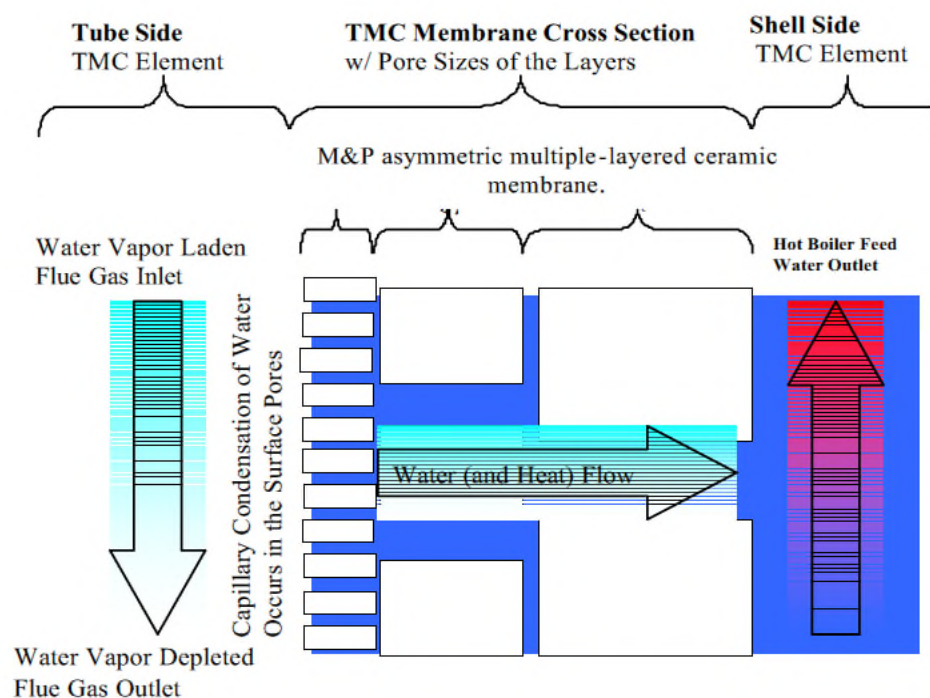
7 UUSI TEKNOLOGIA

7.1 Transport membrane condenser

TMC (Transport membrane condenser) on kehitteillä olevaa tekniikkaa lämmön ja veden talteenottoon poistokaasusta kapillaarisen kondenssin avulla. Kuumaa kaasua ei jäädytetä kastepisteen alapuolelle, vaan kaasu ohjataan kosketuksiin keraamisen kalvon kanssa. Ilmavirran vesi tarttuu kapillaariputken sisäpinnoille adheesivoimilla. Koska veden koheesivoimat ovat pienemmät kuin adheesivoimat veden ja keraamimateriaalin välillä, aiheuttaa se veden liikkeen kapillaariputkiin, joista vesi imetään pienellä alipaineella siirtimien vaippapuolelle. Tällöin vesipitoisen kaasun vesihöyry kondensoituu kapillaariputkiin ja lämmittää lämmönsiirtimen ja kapillaariputkissa olevan veden. Tällöin lämpö siirtyy johtamalla lämmönsiirrinmateriaalin läpi ja lisäksi vesi kuljettaa konvektiolla energiaa lämmönsiirtimen lämpöpinnan läpi. Teknologialla voidaan saada merkittäviä säästöjä vedenkulutukseen sekä matalalämpöistä energiaa. Etuna voidaan myös nähdä, että laitteesta poistuva kaasu on lähes aina kastepisteen alapuolella, jolloin korroosio-ongelmat ovat huomattavasti vähäisempiä, eikä esimerkiksi sumua synny laitteessa. Lisäksi talteen otettu vesi on suhteellisen puhdasta, koska se on suodatettu keraamimateriaalin läpi. Tätä vettä voidaan käyttää hyödyksi laitoksissa prosessivetenä. [26] [27]

Taloudellisuus

Laitteita on demonstroitu puhtailla kaasuilla, kuitenkin teknologian kaupallinen käyttö vaatii vielä kehitystä erityisesti likaisempien poistokaasujen veden- ja lämmöntalteenotossa. Yhdysvalloissa teknologian on laskettu tehostavan kattiloiden hyötysuhdetta uusissa kattiloissa noin 5 % (89 % -> 94 %) ja vanhemmissa kattiloissa enemmän. Kuva 7 havainnollistaa TMC laitteen toimintaa. [26] [27]



Kuva 7. TMC toimintaperiaate [27].

7.2 TMC-menetelmän energiansäästöpotentiaali

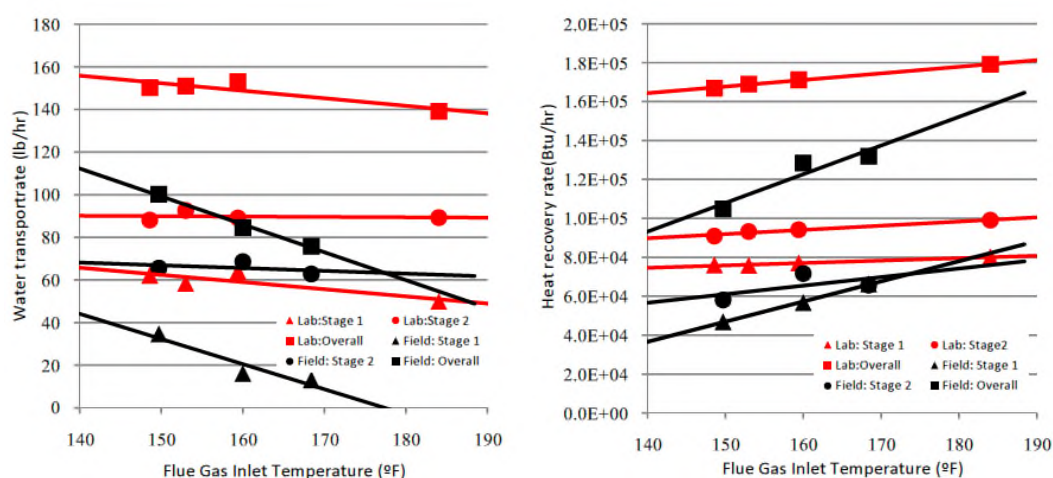
Laboratoriokokeet

Laitteilla on suoritettu laboratoriokokeita Yhdysvalloissa kaasuteknologian instituutissa (Gas Technology Institute). Pilottilaitteistolla tutkittiin laitteen veden ja energiansiirtokykyä eri lämpötila- ja kosteusalueilla. Wang tutki lisäksi kapillaariputken halkaisijan vaikutusta lämmön ja veden siirtymiseen ja nokeutumisen vaikutusta laitteen toimintaan. [28]

Tutkimuksessa testilaitteistossa poltettiin maakaasua, jonka savukaasut ohjattiin testilaitteiston läpi. Testilaitteisto koostui kaksiosaisesta lauhduttimesta. Testilaitteistosta mitattiin vesipuolelta ja kaasupuolelta lämpötilat ja massavirrat kolmessa pisteessä (meno, välitila ja jättöpuoli). Mittausten mukaan laitteella poistettiin $63,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ savukaasusta, RH100 % 67,3 % savukaasun vesimäärästä, jolloin savukaasun poistumislämpötila oli $34\text{ }^{\circ}\text{C}$., RH100. Vesipuolen ensimmäisen vaiheen menolämpötila oli $28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja poistumislämpötila $40,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toisen vaiheen menolämpötila oli $23,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja poistumislämpötila $34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ajoja tehtiin useampia ja luvut olivat hyvin samansuuntaisia kaikissa ajoissa. Mitattavien suureiden mittatarkkuudesta tai mittausmenetelmästä ei loppuraportissa ollut tietoa. [28]

Kenttätestaukset

Laitetta kokeiltiin 5 viikon testijakso kivihiilivoimalaitoksella. Voimalaitoksen savukaasuja ohjattiin laitteen läpi 65,6- 82,2 °C lämpötilassa. Prosessiolosuhteet vaihtelivat testijakson aikana runsaasti, koska laitoksen käyntiaikataulu ja teho vaihteli tarpeen mukaan. Laitteiston tuloksia verrattiin laboratoriokokeiden tuloksiin, jotka olivat samansuuntaiset. Kenttälaitteiston toiminta oli heikompaa. Suurimmaksi syyksi tähän Wang näkee, että kenttäkokeissa savukaasu oli kuivempaa. Sen menolämpötila oli pääasiassa korkeampi ja kastepiste alhaisempi kuin laboratoriokokeissa. Tästä syystä kondensoitunut vesivirta oli pienempi. Kuvasta 8 voidaan nähdä karkeasti erot laitteiden suorituskyvyssä. [28]



Kuva 8. laboratoriokokeiden ja kenttäkokeiden vertailu [28].

Wangin kenttäkokeet osoittavat, että TMC-laitteiston on mahdollista toimia kivihiililaitoksessa ja ottaa talteen merkittäviä määriä vettä ja energiaa. Laitteiston tehokkuus riippuu kuitenkin voimakkaasti TMC-laitteistolle tulevan kaasun kosteuspitoisuudesta. Tähän Wang näkee ratkaisuna paremman jäähdytysveden määrän ja lämpötilan optimoinnin sekä lämmön- ja kosteudensiirtomateriaalin pinta-alan paremman optimoinnin. [28]

8 CASE 1 LEIVON LEIPOMON LÄMMÖNTALTEENOTTO

8.1 Alkutilanne

Liiketoiminta

Kohde on Tampereella toimiva Leivon Leipomo Oy. Leipomossa valmistetaan ruokaleipiä, kahvileipiä ja korppujauhoja. Tuotteita myydään Etelä-Suomen alueella. Vuonna 2005 markkinaosuus oli 23 % Pirkanmaalla.

Prosessi ja järjestelmien kuvaus

Valmistusprosessi kuluttaa runsaasti lämpöä, jota tuotetaan tällä hetkellä maakaasukattilassa ja maakaasulla toimivissa uuneissa. Valmistusprosessin lisäksi tukiprosessit kuten pesulaitteet ja kuivauslaitteet kuluttavat merkittäviä määriä energiaa vuodessa. Uunien savukaasut ja uunien paistotilan poistokaasut eli paistokaasut ovat kuumia ja vesipitoisia kaasuja ja ne on puhallettu ulkoilmaan. Näistä on mahdollista saada lämpöä talteen suuria määriä vähentäen polttoaineen kulutusta. Uunien lämmitys muodostaa noin 70 % leipomon energiankulutuksesta ja energiakustannuksista 60 %.

Pääosa tuotteista valmistetaan jatkuvatoimisissa kiertoarinauuneissa. Uuneja on yhteensä 6 kpl. Uuneissa paistettavat tuotteet liikkuvat jatkuvasti liikkuvaa arinaa pitkin uunin läpi. Uunin lämpötila on noin 250 °C. Viipymisaikaa uunissa on noin 0,5 h riippuen tuotteesta. Lämpö uuniin tuotetaan maakaasupolttimilla. Polttimien savukaasu kiertää uunin sisällä olevissa kiertoputkissa luovuttaen lämmön uunin sisälle. Savukaasu ohjataan näistä putkista savukaasukanavaan. Leivon kiertoarinauuneissa paistokaasut ohjataan savukaasukanavaan. Tässä kaasussa on runsaasti kosteutta ja leivonnaisista irronneita mahdollisesti nokeentuneita jauhopartikkeleita, mikä lisää lämmönsiirtimen likaantumiseriskää.

Osa tuotteista valmistetaan pinnavaunu-uuneissa. Näissä tuotteet työnnetään paistoalustoilla uuniin. Uuneja lämmitetään maakaasulla, jonka palamisen savukaasut ohjataan lämmönsiirtimen kautta ulos. Savukaasujen lämpötila on noin 300-330 °C. Uunissa tuotteista haihtuva ylimääräinen kosteus poistetaan uunikaasuhormin kautta ulos. Uunien käyttöaika on vuodessa noin 1500-2000 h, mikä vähentää lämmön talteenoton rakentamisen kannattavuutta. Pinnavaunu-uuneja on yhteensä neljä kappaletta. Tähän järjes-

telmään ehdotettiin vuonna 2005 lämmöntalteenoton rakentamista, sitä ei kuitenkaan toteutettu.

Korppujauhoja valmistetaan jauhetuista korpuista, jolloin sen valmistusprosessin alkuosa on samanlainen kuin muillakin leipomotuotteilla. Tämän jälkeen tuote murskaataan ja varastoidaan. Kuivaus tapahtuu 120-130 °C ilmalla, jota lämmitetään maakaasulla. Poistoilman lämpötila on noin 45-50 °C ja absoluuttinen kosteus 26-30 g/kg kuivaa ilmaa. Nimellinen tuloilmavirta on 3,3 m³/s ja nimellinen poistoilmavirta 3,88 m³/s. Kuivauksen käyttöaika vuorokaudessa on noin 8-9 h.

Lämmöntalteenoton ongelmana ovat kaasussa olevat jauhopölyt ja kosteus. Kosteaa jauhopöly rajoittaa lämmönsiirtimen suunnittelua merkittävästi tukkeutumisriskin takia. Savukaasujen lämmöntalteenottolaitteissa savukaasun sisältämät korrodoivat epäpuhtaudet aiheuttavat lisäongelmia.

8.2 Toimenpiteet

Tutkimus ja katselmus

Kiinteistöön tehtiin vuonna 2005 teollisuuden energia-analyysi, jonka loppuraportissa suositeltiin lämmöntalteenottojen rakentamista uunien, pesulan ja pesukoneen likaisiin ja korkean kosteuspitoisuuden poistoilmavirtoihin. Vuoden 2005 laajennuksen yhteydessä rakennettuun uunilinjaan rakennettiin savukaasujen lämmöntalteenotto ja uunihöngän huuvan lämmöntalteenotto. Samalla rakennettiin lämmöntalteenotto pesukoneen poistoilmavirtaan. Vanhojen uunilinjojen savukaasujen ja uunikaasujen lämmöntalteenottoja ei toteutettu. Energiataloudellisesti investointi on houkutteleva, investointikustannukset ovat kuitenkin merkittävät.

8.3 Toteutus

Savukaasut

Vuonna 2005 rakennetun uuden uunilinjan savukaasut ohjataan katolla sijaitsevaan lämmöntalteenottolaitteeseen. Lämmöntalteenottopatterille saapuvan savukaasun mitoitus tulolämpötila on 170 °C ja poistolämpötila 40 °C. Patteri on mitoitettu siten, että savukaasun vesi ei kondensoidu patterissa. Kondenssia patterin lämmönsiirtopinnoille tulee kuitenkin tapahtumaan nestepuolen matalien lämpötilojen takia. Putkipuolella kiertää 30 % vesi/monoetyleeniglykoliliuos. Veden tulolämpötila on mitoitustilanteessa 0 °C ja lähtölämpötila 25 °C. Patteri on vähärikkisen savukaasun lämmöntalteenottoon suunniteltu HFe sileäputkipatteri. Patterin tyyppin valintaan vaikutti uunien poistokaasujen ohjaus samaan lämmöntalteenottoon. Savukaasut pysyvät hyvin samantyyppisinä kun poltetaan samaa polttoainetta, joten sen koostumus ja ominaisuudet ovat hyvin en-

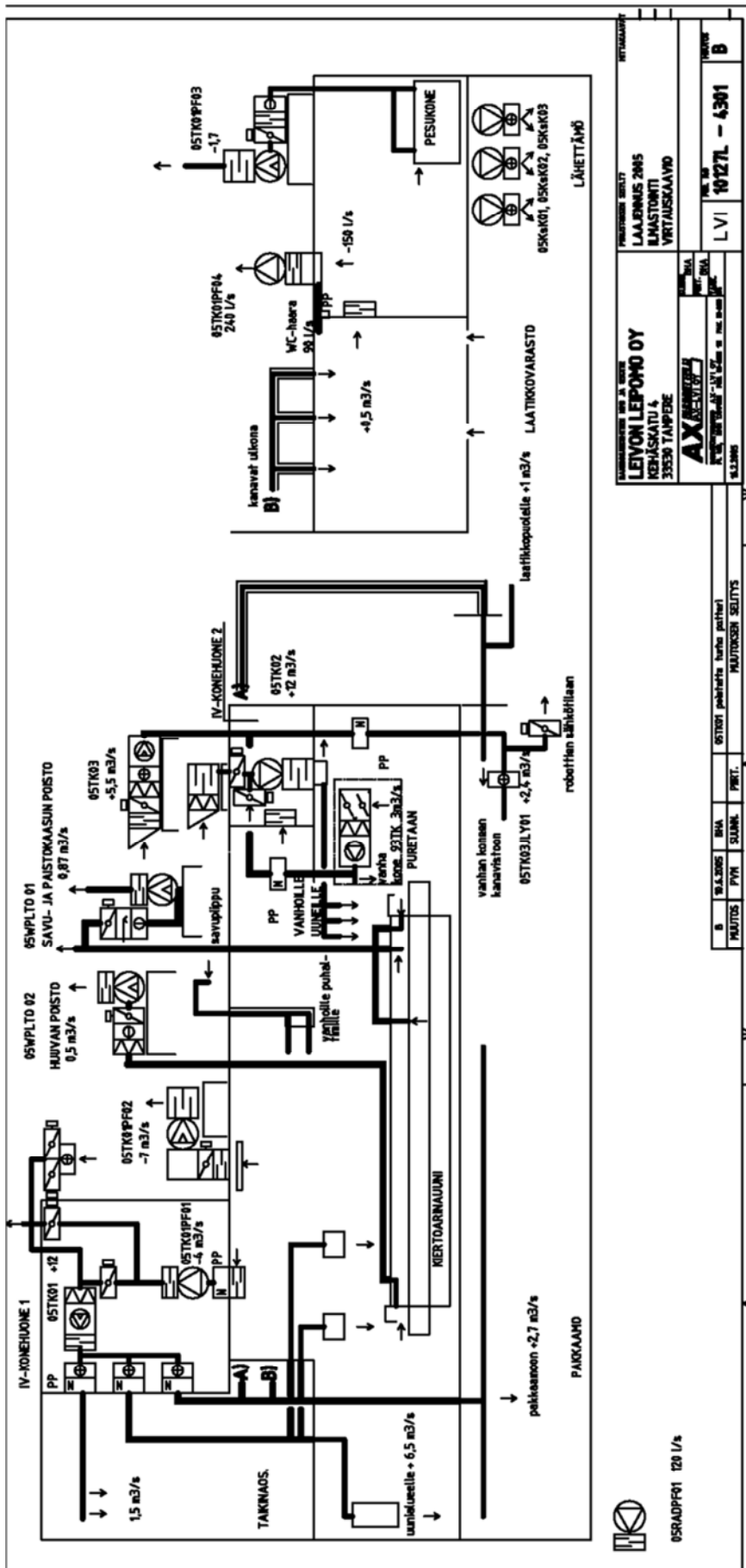
nustettavissa pidemmällä aikavälillä. Tätä ei voida sanoa uunien poistokaasuista, jotka vaihtelevat kypsennettävien tuotteiden ja kypsennysolosuhteiden mukaan. Olosuhteet vaihtelevat siis eri tuotteilla, mikä hankaloittaa suunnittelua. Tällöin joudutaan usein lisäämään varmuustekijöitä, jotta lopputulos saadaan toimintavarmaksi. Tässä tapauksessa päädyttiin sileäputkipatteriin likaantuvuuden vähentämiseksi. Riskiä että jauhopölyn ja veden yhdistelmä tukkii ja mahdollisesti sopivissa olosuhteissa ”kypsy” patterin pinnoille, ei haluttu ottaa. Lisäksi patteri suunniteltiin automaattisella pesulaitteella, minkä takia patterin syvyys piti valita melko ohueksi hyvän pesutuloksen takaamiseksi. Näistä syistä patterin lämmönsiirtopinta-ala jäi hyvin vaatimattomaksi, mikä vähentää patterin tehoa. Järjestelmän osat ovat haponkestävää terästä. Laitteistoon viitataan työssä positiolla 05WPLTO01.

Uunihöngän lämmöntalteenotto

Huuva imee ilmaa kiertoarinuunin suuaukolta. Poistoilma sisältää tuoreita ruisleivän jauhopölyjä ja uunista vuotavia kuumia kaasuja sekä hiiltyneitä partikkeleita. Lämmöntalteenottolaitteelle tulevan kaasun mitoitustilämpötila on 60 °C ja poistolämpötila 10 °C. Nestepuolen mitoitustilämpötila on 0 °C ja poistolämpötila 25 °C. Lämmönsiirtoneste on 30 % vesi/monoetyleeniglykoliliuos. Patteri on vähärikkisen savukaasun lämmöntalteenottoon suunniteltu sileäputkipatteri. Vaikka järjestelmään ei ohjata savukaasuja, ovat poistoilman epäpuhtauden luonteeltaan samantyyppisiä kuin saman järjestelmän savukaasuissa. Ruisjauhojen on todettu olevan hieman happamia, mikä vahingoittavat lämmönsiirtopintoja tavallisissa järjestelmissä. Järjestelmään suunniteltiin metallisuodatin ennen lämmöntalteenottopatteria. Suodatin oli tyyppiltään irroitettava ja pestävä HFe metallisuodatin. Tätä suodatinta ei järjestelmässä kuitenkaan ole. Järjestelmiin suunniteltiin avattavat huolto ja puhdistusluukut lämmöntalteenottopatterin molemmin puolin. Näistä luukuista osa kuitenkin oli käyttökelvottomia tai niitä ei järjestelmissä ollut. Laitteistoon viitataan työssä positiolla 05WPLTO02.

Tuloilman esilämmitys

Poistokaasujen lämpö siirretään kiinteistön tuloilman esilämmitykseen laitteistoilla 05TK03 ja 05TK01. Lisäksi lämpöä siirretään pakkaamon, taikinaosaston ja uuniosaston tuloilman jälkilämmitykseen. Järjestelmässä kaikki poistopatterit ovat samassa lämmöntalteenottoverkossa. Tämä mahdollistaa sen, että tulevaisuudessa muista poistoilman lämmönlähteistä pystytään siirtämään lämpöä samaan verkkoon. Mitoitustilämpötilat ovat suhteellisen matalat vesipuolella, näin on saatu suurin mahdollinen energiamäärä poistoilmasta talteen. Lisäksi nämä prosessit toimivat lähes samanaikaisesti leipomom toiminta-aikoina. Kuvassa 9 on esitetty poistoilman virtauskaavio.



LEIVON LEPOMO OY
 KEMÄSKATU 4
 33530 TAMPERE

AX
 Puh. 010 272 411 - 412, faksi 010 272 4100
 03.2006

PROJEKTIN SUORITTAJA
 LAARINKIUS 2005
 KIMASTONNI
 VIRTAAUSKAAVIO

PROJEKTIN SUORITTAJA
 LVI 10127L - 4301
 MAASTO B

RAJAT	MAUTOS	SAJAJOKI	RYHMÄ	SIUNNITTELU	PIIRIT.	05TK01 pehmeä huone pehmeä	MAUTOKSEN SELITYS
B							

Kuva 9. Ilmapuolen virtauskaavio lämmöntalteenottolaitteista.

Ylläpito, huolto ja kokemukset

Laitteiden lämmönsiirtopinnoille tehtiin silmämääräinen tarkastus, jossa arvioitiin laitteiden nykytilaa. Tarkastuksissa selvisi puutteita huoltoluukkujen osalta sekä laitteiston kondenssiveden poistossa. Uunihöngän LTO-laitteessa ei ollut suodatusosaa, joka siihen oli suunniteltu. Näillä kaikilla asioilla oli osavaikutusta lämmönsiirtimen nykytilaan. Mikään niistä ei kuitenkaan ollut estänyt laitteiden toimintaa kuluneena seitsemänä vuotena.

Huoltohenkilökunta ei ollut huomannut merkittävää lämmöntalteenoton tehon alentumista eikä rakennusautomaatiosta käsin näin voitu todeta. Pidemmän ajan tutkimuksia tai mittauksia ei laitteistosta ole tehty. Kuvia laitteiden nykytilasta on esitetty seuraavalla sivulla.

Savukaasun lämmöntalteenottolaitte 05WPLTO01

Kuvassa 10 näkyy sileäputkipatterin jättöpuoli. Patteri on sijoitettu ylösalaisin ja patterin päälle on asennettu automaattinen huuhtelulaitteisto. Laitteisto päästää vettä patterin läpi tietyn aikajakson välein. Patterissa voidaan selkeästi nähdä puhtaampi osuus, jossa huuhtelu on toiminut paremmin. Huuhtelulaitteen toiminta olisi syytä tarkastaa huollon yhteydessä. Kuvassa patteri näyttää hieman kuparin väriseltä, tämä aine on kuitenkin hiilimäistä kuivaa hapertuvaa ainetta, joka irtoaa helposti patterin pinnasta esimerkiksi sormella pyyhkäisemällä. Vihertävät värisävyt johtuvat kameran automaattisista asetuksista ja heikosta valaistuksesta.



Kuva 10. 05WPLTO01 LTO-patterin puhtaalta puolelta.

Kuvassa 11 näkyy käsin puhdistettu kohta vertailuksi. Patterin liannut aine muistutti lähinnä huokoista puuhiiltä tai karstaa. Lämmönsiirtopinta puhdistui myös helposti käsin pyyhkien. Suositeltava puhdistusmekanismi voisi olla esimerkiksi harjaus muovisilla harjaksilla tai painevesipesu yhdistettynä sopivaan liuottimeen. Pesu tulisi kuitenkin suorittaa patterin päältä, jotta karsta tippuisi pesuvesialtaaseen patterin alapuolella. Puhdistusluukku oli niin pieni, ettei perinteisen painepesurin suutinosaa mahdu luukusta sisään. Puhdistuksessa täytyy käyttää mahdollisesti jonkinlaista pienempää tai erikoismuotoiltua painepesurin suutinosaa. Altaasta karsta on mahdollista imuroida tai pyyhkiä pois. LTO-patterin yläosan kuntoa ei päästy yläpuolisesta puhdistusluukusta tarkastamaan, koska laitetta eristettäessä puhdistusluukku on peitetty yhtenäisellä pellillä ja eristeellä. LTO-patterin putket olivat fyysisesti erinomaisessa kunnossa eikä patterin alapuolelta voitu havaita merkkejä korroosiosta. Kuvassa 12 näkyvä pesuvesikammio oli puhdas eikä sinne ollut kertynyt epäpuhtauksia.



Kuva 11. 05WPLTO01 LTO-patterin puhtaalta puolelta käsin puhdistettu vertailukohta.



Kuva 12. 05WPLTO01 LTO patterin alapuolella oleva pesuvesikammio.

Kuvassa 13 näkyy patterien pinnoille kertynyttä karstaa, joka oli hyvin haurasta. Käsissä aine hajosi jauhomaiseksi aineeksi. Karsta irtosi sileän putken pinnoilta käsin pyyhkimällä. Kuitenkin aine oli niin tiukassa kiinni, että automaattinen huuhtelulaitteisto ei pystynyt sitä patterin läpi irrottamaan.



Kuva 13. Patterin pinnoille kertynyttä karstaa.

Uunin huuvan lämmöntalteenottolaite 05WPLTO02

05WPLTO02 laite ottaa poistoilman kiertoarinaunin suuaukole sijoitetusta huuvesta. Kuvassa 14 näkyy huoltoluukku ja suodattimen paikka. Kammioon on kertynyt tuhka-
maista jätettä. Suodatinta laitteistossa ei ollut.



Kuva 14. 05WPLTO02 huoltotila ennen LTO-patteria.

Kuvas 15 on lähikuva patterin likaiselta puolelta. Putkien lämmönsiirtopinnat näyttävät olevan kauttaaltaan ohuen karstamaisen likakerroksen peitossa. Likakerroksella ei ole ollut huomattavaa vaikutusta lämmönsiirtimen tehoon.

Lämmönsiirrin on mitoitettu kondensoimattomaksi, mutta alhaisesta nestepuolen lämpötilasta johtuen patterit ovat käytännössä koko kylmän kauden märkiä, joten patterin kondensoidessa teho on todellisuudessa suurempi kuin mitoitusteho. Lisäksi energiaa saadaan huomattavasti enemmän talteen. Mitoituksella on haluttu varmistaa sileäputki-patterin riittävä teho. Laitteistossa on pesuvesiä varten viemärintiyyde ennen lämmön-talteenottopatteria, tämä alue ilmanvaihtokoneesta on kuitenkin lähes aina kuivana normaalin käytön aikana. Viemärinti tulisi olla lisäksi patterin jättöpuolella olevassa huolto- ja tarkistuslohkossa ja patterin kohdalla pesua ja kondenssivesiä varten. Kaikissa viemärinteissä tulisi myös olla talviajalle sähkökäyttöinen sulanapito. Huolto- ja tarkistusosaa ei patterin jättöpuolella ole. Viemärintin puute johtaa pakkaskaudella melko suureen jään muodostumiseen ja voi lyhentää laitteiston elinikää. Käytännössä ylimääräinen vesi vuotaa laitteiston lohkojen ja eri osien liitoskohdista ulos katolle. Kuvis-sa 17 ja 18 on esitetty laitteiston vuotokohtia. Osa vedestä suihkuu puhaltimen ilmavirran mukana ulos, minkä jälkeen se jäätyy katolle. Kuvassa 16 on laitteisto talviaikaan. Puutteellinen viemärinti on johtanut laitteistosta vuotavan ja poistoilman mukana roiskuvan nesteen jäätymiseen laitteiston ulkopinnoille.



Kuva 15. 05WPLTO02-LTO patteri likaiselta puolelta.



Kuva 16. 05WPLTO02 talviaikaan.



Kuva 17. 05WPLTO02 laitteistosta ulosvuotavan veden aiheuttamia vaurioita.



Kuva 18. 05WPLTO02 laitteiston vuotokohtia.

Pesutilan kohdepoistoilman lämmöntalteenottolaite 05TK01PF03LTO

05TK01PF03LTO on pesutilan huuvan kautta poistettavan ilman lämmöntalteenotto-laite. Laitteessa on kuparilamellipatteri. Patterin likaisen puolen pintaan oli kertynyt roskaa. Kuitenkin patterin sisusta näytti tarkastuksessa puhtaalta. Laite on toiminta-aikana jatkuvasti hyvin kostea ja poistoilmassa voi olla pieniä määriä pesuainejäämiä. Tästä johtuen kupariosat olivat pinnalta hieman hapettuneita. Toimintaan vaikuttavia puutteita ei kuitenkaan löytynyt. Kuvassa 19 näkyy roskaa ja pieniä määriä kuparikar-bonaattia.



Kuva 19. Laatikkopesukoneen lämmöntalteenottopatteri likaiselta puolelta.

9 CASE 2 LIUOTINHÖYRYJEN JÄLKIPOLTON LTO

9.1 Alkutilanne

Liiketoiminta

Valmet Automotive on autoteollisuuden palveluntuottaja. Tutkimus koskee Uudenkaupungin autotehtaalla sijaitsevia lämmöntalteenottolaitteita. Uudenkaupungin autotehtaalla on tuotekehitysosasto, hitsaamo, maalaamo, asennuslinjat, laadunvarmistus- ja logistiikkatilat sekä kaksi koeajorataa. Kohteessa suoritettiin energiansäästökohteiden kartoitustoimintaa vuonna 2006. Työ keskittyy maalaamon liuotinhöyryjen jälkipolton lämmöntalteenoton toimintaan ja suunnitteluun.

Prosessi

Pintamaalauslinjan ja välimaalauslinjan liuotinhöyryt poltetaan jälkipolttimissa, joiden lämpöä otetaan talteen tuloilman esilämmittämiseen. Käynnistyspolttoaineena käytetään kevyttä polttoöljyä. Normaalikäytön aikana polttoprosessit toimivat liuotinhöyryillä, jotka imetään pintamaalauslinjalta ja välimaalauslinjalta. Kummallakin maalauslinjalla on oma polttimensa ja ne toimivat erillisinä prosesseina. Ainoastaan käynnistyksen aikana syntyy laitteille haitallisia rikkiyhdisteitä ja epäpuhtauksia. Liuotinsavukaasut ovat käytännössä rikittämiä. Pintamaalauslinjan jälkipolttimen lämmöntalteenotto toteutettiin 2006 ja on ollut siitä lähtien toiminnassa. Välimaalauslinjan liuotinhöyryjen jälkipolttimen lämmöntalteenotto toteutettiin vuonna 2013 samalla toimintaperiaatteella.

9.2 Toimenpiteet

Pintamaalauslinja

Jälkipolttimen savukaasuvirta johdetaan lämmöntalteenottopatterin läpi, josta lämpö johdetaan etyleeniglykoliliuospiiriä pitkin TK3 ulkosäleikköpatterille. Savukaasun massavirta on 3,4 kg(ki)/s ja keskilämpötila 261 °C. Ilmavirta sisältää palamisessa syntyvän vesihöyryn lisäksi ulkoilman kosteuden. Laitteita ei mitoiteta kondensoiviksi. Aikaisemmin tämä savukaasu puhallettiin suoraa ulos. Savukaasun lämpö siirretään TK3 tuloilmaan. Ennen lämmöntalteenoton rakentamista TK3 energiankulutus oli 1803 MWh/a.

Välimaalauslinja

Välimaalauslinjan jälkipolttimen savukaasuvirta on 7,4 kg(ki)/s ja lämpötila 278 °C. Jälkipolttimen savukaasuvirta johdetaan lämmöntalteenottopatterin läpi, josta lämpö johdetaan etyleeglykoliliuospiiriä pitkin ASU 1 ilmanvaihtokoneen ulkosäleikköpatterille. Aikaisemmin tämä savukaasu on puhallettu ulos. Lämmöntalteenottopatteria ei mitoiteta kondensoivaksi. Savukaasun lämpö siirretään ASU 1 korvausilmaan. ASU 1 laitteessa on vesikostutus, jonka asetusarvo on 23 °C ja RH 65 %. Tuloilma lämmitetään haluttuun lämpötilaan, jonka jälkeen kostutusosa viilentää tuloilman haluttuun tilapisteeseen. Kostutuksen johdosta laitteen energiantarve on suuri. Ilmaa täytyy lämmittää kesäaikanakin pitkiä aikoja.

9.3 Toteutus

Pintamaalauslinja

Savukaasun oletettiin olevan vain lievästi korrodoivaa ja lämmönsiirtimen kestävyys haluttiin varmistaa mitoittamalla patteri kondensoimattomaksi, vaikka höyryjen sisältämä rikki oli hyvin vähäistä. Kattilan apupolttoaineena käytettiin kevyttä polttoöljyä, jonka käyttö oli niin vähäistä, ettei sen uskottu aiheuttavan ongelmia. Koska lämmönlähteessä riitti energiaa, ongelma oli enemmänkin sen taloudellinen sijoituspaikka. Savukaasun keskimääräinen tulolämpötila on 261 °C. Laitteiston on kuitenkin kestävä 400 °C lämpötiloja. Savukaasun mitoittava kosteuspitoisuus oli 2,4 g/kg(ki).

Savukaasun mitoitusilanteeksi valittiin tilanne, jossa patterille tulevan veden lämpötila on korkeimmillaan ja tulevan savukaasun lämpötila keskimääräisessä arvossa ja haluttuun tehoon vielä päästään. Poistuvan kaasun mitoituslämpötila on 123 °C. Nestepuolen mitoittava tulolämpötila patterille oli 15 °C ja poistumislämpötila 65 °C. Tilanne tarkasteltiin myös TK3 esilämmityspatterin mitoitusilanteessa, joka valittiin ulkoilman lämpötilan ollessa pienimmillään eli talviolosuhteissa. Talviolosuhteiden mitoitusilanteessa poistuvan kaasun lämpötila oli 101,2 °C, saapuvan liuoksen lämpötila -1 °C ja poistuvan liuoksen 51,1 °C. Näillä arvoilla savukaasun vesi ei kondensoidu patterin putken pinnoille eikä synnytä rikkidioksidin kanssa metallipinnoille haitallisia happoja.

Savukaasukanavisto sekä runko-osat suunniteltiin haponkestävästä materiaalista ja patteri sinkitystä teräksestä. Patterin tyypiksi valittiin ripaputkipatteri sen hyvän pesunkestävyyden takia. Materiaalivalinnassa päädyttiin sinkittyyn teräkseen haponkestävän sijasta, koska patterin hinta olisi moninkertaistunut. Korroosioriski oli olemassa ajoittain lähinnä apupolttoaineen käytön aikana, eikä sen uskottu olevan merkittävä pitkällä aikavälillä. Mikäli laitteisto olisi kannattanut suunnitella kondensoivaksi, olisi patterinkin täytynyt olla haponkestävästä materiaalista valmistettu. Patteri jaettiin kahteen neljäriveriseen patteriin, jotka kytkettiin sarjaan. Pattereiden väliin tuli välitila, josta on mahdollista suorittaa vuosittainen puhdistus ja tarkastaa patterin kunto.

Välimaalauslinja

Savukaasun oletettiin olevan vain lievästi korrodoivaa ja lämmönsiirtimen kestävyys haluttiin varmistaa mitoittamalla patteri kondensoimattomaksi vaikka höyryjen sisältämä rikki oli hyvin vähäistä. Kattilan apupolttoaineena käytettiin kevyttä polttoöljyä, jonka käyttö oli niin vähäistä, ettei sen uskottu aiheuttavan ongelmia. Koska lämmönlähteessä riitti energiaa, ongelma oli enemmänkin sen taloudellinen sijoituspaikka. Savukaasun keskimääräinen tulolämpötila on 300 °C. Laitteiston on kuitenkin kestävä 350 °C lämpötiloja. Savukaasun mitoittava kosteuspitoisuus oli 2,0 g/kg(ki).

Savukaasun mitoitusilanteeksi valittiin tilanne, jossa patterille tulevan veden lämpötila on korkeimmillaan ja tulevan savukaasun lämpötila keskimääräisessä arvossa ja haluttuun tehoon vielä päästään. Poistuvan kaasun mitoituslämpötila on 73 °C. Nestepuolen mitoittava tulolämpötila patterille oli 12,8 °C ja poistumislämpötila 59,5 °C. Näillä arvoilla savukaasun vesi ei kondensoidu patterin putken pinnoille eikä synnytä rikkidioksidin kanssa metallipinnoille haitallisia happoja.

Savukaasukanavisto sekä runko-osat suunniteltiin haponkestävästä materiaalista ja patteri sinkitystä teräksestä. Patterin tyypiksi valittiin sinkitystä teräksestä valmistettu harvalamellipatteri sen pesunkestävyyden takia ja olemassa olevien kokemusten perusteella pintamaalauslinjan toiminnasta. Korroosioriski oli olemassa ajoittain lähinnä apupolttoaineen käytön aikana, eikä sen uskottu olevan merkittävä pitkällä aikavälillä. Mikäli laitteisto olisi kannattanut suunnitella kondensoivaksi, olisi patterinkin täytynyt olla haponkestävästä materiaalista valmistettu. Patteri jaettiin kahteen neljäriviseen patteriin, jotka kytkettiin sarjaan. Pattereiden väliin tuli välitila, josta on mahdollista suorittaa vuosittainen puhdistus ja tarkastaa patterin kunto.

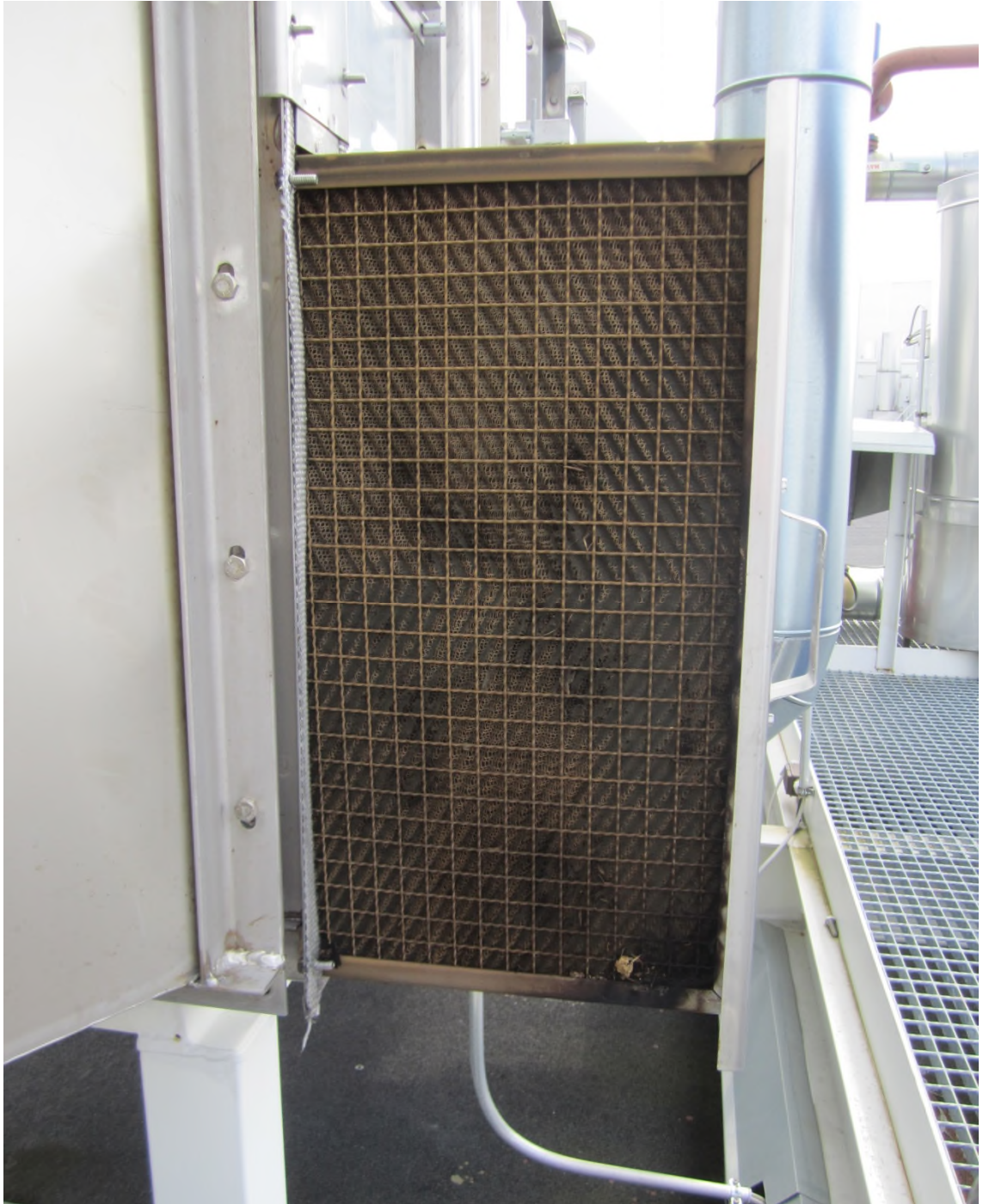
Laitteiston säätö on myös normaalia ilmanvaihtoa monimutkaisempi, koska ulkoilman suhteellinen kosteus vaihtelee, ei voida suoraa säätää esilämmityslämpötilaa ulkolämpötilan mukaan.

Ylläpito, huolto ja kokemukset

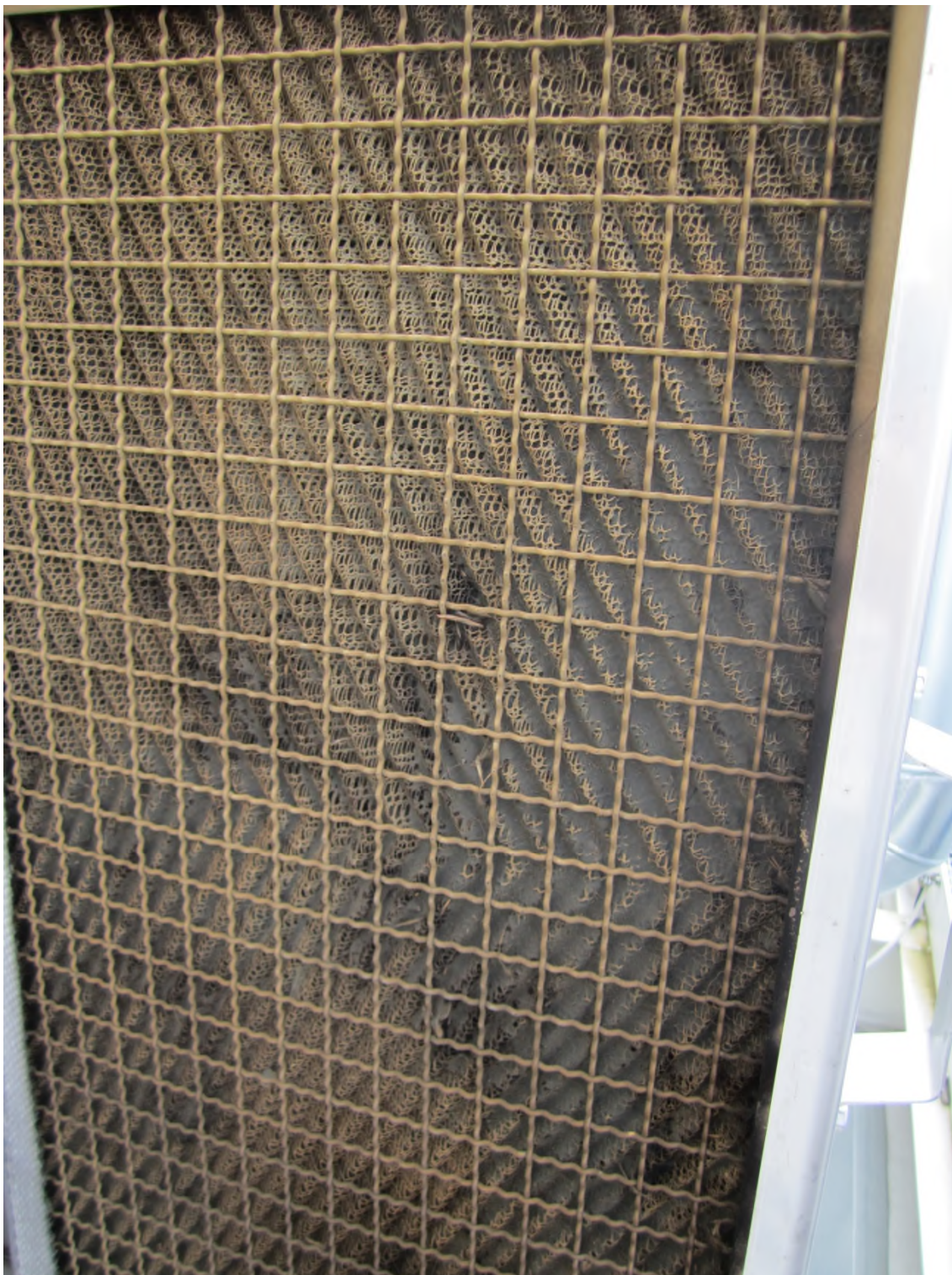
Pintamaalauslinjan savukaasusuodatin on metallisuodatin, joka muistuttaa lähinnä rasvasuodatinta. Laite on suunniteltu siten, että se voidaan tarvittaessa vetää ulos laitteistosta ja puhdistaa. Pintamaalauslinjan suodatinta ei ollut puhdistettu noin viiteen vuoteen. Laitteistosta on esitetty kuvat 20 ja 21. Kuvissa esitettyä suodatinta ei ollut pystytty puhdistamaan, koska huoltotason runko esti suodattimen poistamisen. Laitteisto oli kuitenkin suhteellisen hyvässä kunnossa tilanteeseen nähden.

Suodatin oli osittain tukossa, mikä nosti ilmavirran nopeutta suodattimessa. Tämä vähensi suodattimen tehoa ja lisäsi pistemäisiä suihkuja suodattimen läpi. Nämä kohdat oli

mahdollista nähdä likaisempina kohtina lämmöntalteenottopatterin otsapinnalla. Tämä voidaan havaita patterin likaiselta puolelta kuvista 22 ja 23.



Kuva 20. Pintamaalauslinjan lämmöntalteenottolaitteen HFe suodatin.



Kuva 21. Pintamaalauslinjan lämmöntalteenottolaitteen HFe suodatin.

Pintamaalauslinjan ripaputkipatteri oli lievästi ruostunut ja nokeentunut. Tämä heikentää osittain patterin lämmönsiirtopinnan lämmönsiirtoa. Ripavälit eivät kuitenkaan olleet tukossa edes likaiselta puolelta, joten lämmönsiirtopinta ei ollut vähentynyt merkittävästi. Lämmönsiirtimen tehossa ei oltu huomattu merkittävää heikkenemistä. Patterin jättöpuolen kunnosta ei saatu tutkimustietoa. Pintamaalauslinjan kokemuksista johtuen

välimaalauslinjan lämmöntalteenottoon päätettiin valita samat materiaalit. Laitteiston vuotuisiksi käyttötunneiksi arvioitiin 2700 tuntia. Tämän perusteella laitteisto on hyvässä kunnossa. Laitteisto tulisi kuitenkin pestä, jotta saataisiin parempi kuva patterin kunnosta. Laitteiston kunto tulisi myös tarkastaa vuosittain.



Kuva 22. Pintamaalauslinjan lämmöntalteenottopatteri likaiselta puolelta.



Kuva 23. Pintamaalauslinjan lämmöntalteenottopatteri likaiselta puolelta.

10 KANNATTAVUUSLASKELMAT

10.1 Laskentamenetelmät

Laskentamenetelmillä pyritään pukemaan investoinnin kannattavuus lukuarvoiksi, joita päätöksentekijät voivat hyödyntää. Laskentamenetelmiä on luonteeltaan kahden tyyppiä. Menetelmät, jotka ottavat rahan aika-arvon huomioon ja menetelmät, jotka eivät ota. Tässä luvussa esitellään nykyarvomenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä. Menetelmiä on useita erilaisia ja ne antavat mahdollisesti erilaisia tuloksia investoinnin kannattavuudesta. [29]

Tässä työssä on esitelty kaksi laskentamenetelmää, jotka soveltuvat parhaiten suunnitteluosapuolen työkaluiksi. Tilanne on lähes aina se, että on harkittava kattavatko tulevaisuudessa energiankäytön vähentymisestä saatavat säästöt investointikulut. Säästöt ovat siis laskennallisia energiansäästöjä. Rahamääräiseen säästöön vaikuttaa energian tyyppi ja sen hetkinen hinta. Energian hinnan nousua ja inflaatiota harvoin suunnitteluosapuolen laskelmissa otetaan huomioon, vaikka niiden osuus voi olla hyvinkin merkittävä esimerkiksi 20 vuoden aikajänteellä. Lisäksi energian hinnan epävarmuustekijät ovat hyvin suuria, laskelmien tarkkuus ei välttämättä ole kovin hyvä vaikka, energian hinnan nousi tai mahdollisesti lasku yritettäisiinkin ottaa huomioon.

Suunnittelupuolella yleisimmin käytössä on takaisinmaksuajan menetelmä sen yksinkertaisuuden vuoksi. Lisäksi kun käytetään yleisesti samaa menetelmää, on mahdollista vertailla investointeja yleisellä tasolla, vaikka ne olisi toteutettu eri yrityksissä tai eri paikkakunnilla.

10.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä on yksi yleisimmistä ja yksinkertaisimmista menetelmistä. Vuonna 2004 Liljebloom ja Vaihekoski tutkivat investointien kannattavuusmenetelmien käyttöä yrityksissä, jolloin takaisinmaksuajan menetelmää käytti pääasiallisena menetelmänä 63 % yrityksistä. [30]

Takaisinmaksuajan menetelmällä pystytään nopeasti arvioimaan koska odotetut tuotot tai säästöt ylittävät investointikustannuksen arvon. Takaisinmaksuajan menetelmän suosio perustuu sen helppokäyttöisyyteen ja ymmärrettävyyteen. Arvioitsijalla ei tarvitse olla kaupallisen alan koulutusta, jotta pystyy tämän perusteella arvioimaan esimerkiksi ilmanvaihdon parannustoimenpiteiden kannattavuutta. Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla (4).

$$TMA = \frac{H}{T} \quad (4)$$

jossa

TMA on takaisinmaksuaika

H on investoinnin hankintameno

T on vuotuiset nettotuotot

10.3 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä tulevaisuudessa syntyvät kustannukset ja tuotot diskontataan nykyhetken halutulla korkoprosentilla. Korkoprosentti kuvastaa tuotto prosenttia, joka oltaisi mahdollisesti saatu sijoittamalla raha markkinoille. Diskonttauksessa siis tulevaisuudessa saatavat ansiot siirretään nykyaikaan. Diskonttaustekijä lasketaan kaavalla (5).

$$D_1 = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5)$$

jossa

D_1 on diskonttaustekijä

i on laskentakorkokanta

n aika vuosina investoinnista

Vuosittaiset nettotuotot ja nettomenot kerrotaan kyseisen vuoden diskonttaustekijällä. Nettotuottojen ja nettomenojen nykyarvot lasketaan yhteen. Jos summa on positiivinen, niin investointi on kannattava kyseisellä korkokannalla. Mikäli yrityksellä on selkeät tavoitteet sijoitetun pääoman tuotolle, niin laskenta on suhteellisen yksinkertainen. Vaikka vastauksena saadaan selkeä kyllä tai ei investoinnin kannattavuudelle, ei laskentamenetelmä ole täysin ongelmaton. Harvoin pystytään täysin varmasti sanomaan esimerkiksi ilmastointijärjestelmän elinkaaren pituus tai energian hinnan vaihtelut. Lisäksi käytettäessä eri laskentakorkokantoja, voidaan päästä hyvinkin erilaisiin lopputuloksiin. Mikäli vuosittaiset säästöt tai menot ovat säännöllisen suuruisia, voidaan koko investoinnista saaduille tuotoille laskea yksi yhteinen kerroin kaavalla (6).

$$D_2 = \frac{(1+i)^n - 1}{i - (1+i)^n} \quad (6)$$

jossa

D_2 on diskonttaustekijä säännöllisille tuloille ja menoille

i on laskentakorkokanta

n on pitoaika vuosina

Tällöin vuosittaiset säästöt lasketaan yhteen ja summa kerrotaan diskonttaustekijällä, jolloin saadaan tulevien säästöjen nykyarvo, jota voidaan verrata investointikustannuksiin. Mikäli säästöjen nykyarvo on suurempi kuin investointi, on investointi kyseisellä korkokannalla kannattava. Tällä menetelmällä voidaan laskea nykyarvo vain jos säästöt tai kulut vuosittain ovat säännölliset.

11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Yhteenveto

Teollisuuden prosessien ilmapirrat ovat hyvin monimuotoisia ja järjestelmien mitoitus ja luotettava toiminta edellyttää runsasta kokemusta ja perehdytystä, jotta voidaan arvioida eri laitteiden toimintaedellytyksiä. Ei ole useinkaan kustannustehokasta tehdä mitavia kokeita ennen laitteiden suunnittelua, jolloin on luotettava kokemuksiin toteutuneista kohteista ja oppia erehdyksistä ja toimimattomista ja toimivista laitteistoista. Lisäksi täytyy tiedostaa laitteiston käyttöikään vaikuttavia tekijöitä, jotta voidaan arvioida kustannustehokkain ratkaisu juuri käsillä olevaan prosessiin. Tavalliset ratkaisut, jotka toimivat jossain prosessissa ja toiminta-olosuhteissa, eivät välttämättä toimi vastaavassa järjestelmässä jossain muualla. Säädot ja prosessiolosuhteet voivat olla ratkaisevassa asemassa laitteiston toimintaa ajatellen. Samat laitteet toimivat jossain muualla, mutta eivät toisessa paikassa vaikka laitteisto ja toiminta olisivat hyvinkin samanlaista. Esimerkiksi kosteuden läsnäolo tietyssä toimintapisteessä voi edellyttää erilaista ratkaisua. Laitteita suunniteltaessa ja toteutettaessa täytyy olla kriittinen ja pystyä kyseenalaistamaan omat ja muiden oletukset.

Suunnitteluvaiheen ongelmat

Epävarmuustekijät poistoilman laadussa vaikuttavat patterityypin ja materiaalien valintaan. Suunnitteluvaiheen lähtötietojen puute tai niiden epävarmuus vaikeuttaa patterin valintaan, mikä on hyvin oleellinen asia laitteiston pidemmän ajan toiminnan kannalta. Epävarmuustekijöiden kasvaessa vaaditaan patterilta parempia puhdistusominaisuuksia ja parempia materiaalivaatimuksia. Puhdistusominaisuuksien parantuessa patterin teho usein pienenee tai vaihtoehtoisesti patterin koko kasvaa. Patterin koko korreloi suoraan kustannusten kanssa. Paremmat materiaaliominaisuudet vaativat yleensä kalliimpia raaka-aineita, mikä omalta osaltaan vaikuttaa nostavasti patterin materiaalikustannuksiin ja kokonaishintaan. Suunnitteluvaiheen optimaalisen patterivalinta pitäisi pystyä tekemään näiden tekijöiden avulla. Samalla tulee arvioida laitteiston suunniteltu toimintaikä. Kalliimmista materiaaleista valmistetut laitteet todennäköisesti kestävät moninkertaisen ajan prosessissa, mutta investointikustannukset ovat myös selvästi suuremmat. Laittevalinta on suunnitteluvaiheessa myös kustannusten ja toiminta-edellytysten kompromissi.

Käytönajan ongelmat

Perusvaatimuksena lyhyen takaisinmaksuajan lisäksi on laitteiston varma toiminta. Tätä ei useinkaan pystytä takaamaan ilman laitteiston jatkuvaa huoltoa. Tämän huomioon ottaminen ja painottaminen nousevat jatkuvasti tärkeämpään asemaan, kun laitokset monimutkaistuvat. Tämä asettaa aivan uusia vaatimuksia myös kiinteistöjen huollolle. Huoltohenkilökunnan pitäisi pystyä ymmärtämään prosessin toiminta hyvinkin yksityiskohtaisesti, jotta huolto voidaan ajoittaa oikein ja ennalta ehkäistä vikatilanteet. Tämä asia on huomattu suunnittelupuolella jo vuosikymmeniä sitten. Tilanne ei ole kuitenkaan kaikkialla systemaattisesti parantunut. Huolto nähdään usein kuluna, eikä säästönä, jolloin siitä tingitään. Nykyään ainoastaan suuremmissa tehtaissa huolto on pidetty yrityksen sisällä osana liiketoimintaa. Usein huolto kuitenkin on ulkoistettu, jolloin se on ollut mahdollista kilpailuttaa, mikä osaltaan on voinut johtaa tilanteisiin, joissa järjestelmistä vastaavat henkilöt yrityksissä ovat vaihtuneet ja tieto on siirtynyt yrityksestä pois. Tällöin laitteet ovat voineet jäädä huollotta ja ongelmat ilmenevät toimimattomina laitteina.

Osaongelmana voidaan nähdä myös se, että laitteet on tehty huollon kannalta hankalaksi, jolloin asianmukainen huolto on vaatinut merkittäviä ponnisteluja henkilökunnalta. Huoltoluukut on tehty liian pieniksi, niitä ei ole ollut lainkaan tai huoltoluukut on tehty väärään paikkaan. Tämä asia voitaisiin välttää riittäväällä valvonnalla rakentamisaikana.

Laitteiston likaantumista pystyttäisiin seuraamaan esimerkiksi painehäviön perusteella tai lämmöntalteenottopatterin rekuperaatioasteen perusteella. Tämä vaatii pitkän ajan tietokonepohjaista seuranta-automatiossa.

12 LÄHDELUETTELO

- [1] Hagner, B. Lämmön talteenotto likaisesta teollisuuspoistoilmasta. Helsinki 1982, Valtion painatuskeskus. 167 s.
- [2] Holopainen, H., Rasvasuodatus UV-valon avulla. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2013, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 39 s.
- [3] Seppänen, O. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, 1988, LVI kustannus Oy. 328 s.
- [4] Högnäs, G., Järvenpää, V., Nygårdas, Y., Sarkomaa, P., Seppänen, R., Lämmön talteenotto teollisuusprosessin vaikeasti hyväksikäytettävistä jätelämpövirroista, Insinööritieto Oy, 1981 raportti 131-81. 190 s.
- [5] Väre, V., Likaantuminen lämmönvaihtimissa, Kandidaatintyö, Tampereen teknillinen yliopisto 2012. Konetekniikan koulutusohjelma. 34 s.
- [6] Nygård, K., Outbreak investigation collaborators Update: Outbreak of legionnaires disease in Norway traced to air scrubber. Euro Surveillance 2005. [Viitattu 12.4.2014]. Saatavissa:
<http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=2719>
- [7] Müller-Steinhagen, H., Heat exchanger fouling: Mitigation and Cleaning Techniques, Publico Publications, 2011.
- [8] ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment, Atlanta, 2012.
- [9] Vettenranta, J., Lamellilämmönsiirtimien materiaalit eri käyttöolosuhteissa, Kylmätekniikan koulutuspäivät 2014(2). Suomen kylmäyhdistys ry Julkaisu nro 75.

- [10] The application of industrial scale ultrasonic cleaning to heat exchangers. Proceedings of International Conference on Heat Exchanger fouling and Cleaning, Crete Island, Crece June 05-10, 2011. pp. 336-338.
- [11] Kieser, B., Phillion, R., Smith, S., McCartney, T., Ultrasonic cleaning of badly fouled combabloc exchangers, Proceedings of International Conference on Heat Exchanger fouling and Cleaning, Crete Island, Crece June 05-10, 2011. pp. 339-341.
- [12] Ääninuohous voima ja lämpölaitoksille. Kockum Sonics, [Viitattu 24.10.2013]. Saatavissa: <http://www.analyysipalvelu.fi/images/stories/Aaninuohous.pdf>.
- [13] Mills, A. F., Basic heat & mass transfer. Second Edition, Los Angeles, California, 1000 p.
- [14] Leppimaa, H. Teollisuuden savukaasujen lämmöntalteenotto, Diplomityö 1986, Tampereen teknillinen korkeakoulu. 134 s.
- [15] Alakangas, E. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia, Espoo 2000. VTT tiedotteita 2045, 172 s. + liit. 17 s.
- [16] VNa 14.2.2013/151. Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta.
- [17] Jätelaitosyhdistys. Savukaasujen puhdistus [Online]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia37.php?treeviewid=tree3&nodeid=37>. [Haettu 19.12.2013].
- [18] Ramboll Finland Oy, Alle 50 MW:n lämpölaitosten teollisuusjätevesiselvitys, Energiateollisuus ry, 4.11.2008. 26 s. + liit. 4 s
- [19] Hänninen, E., Rantanen, M., Hanni, J., Savukaasun puhdistus ja kaasun puhdistuslaitteiden lämmön talteenotto, Outokumpu Oy, 1983, 100 s. + liit. 1 s.
- [20] Perry, R. H., Green, D. W., Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition. McGraw-Hill, 2008, 2700 p.
- [21] Goodfellow, H., Tähti, E., Industrial ventilation design guidebook 2001. 1519 p.

- [22] Tähti, E., Selin, M. ja Railio, J., Teollisuusilmastoinnin opas, Suomen talotekniikan kehittämiskeskus Oy Helsinki 2000, 119 s.
- [23] Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A., Raunemaa, T. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen vaikutukset. Espoo 2005, VTT Tiedotteita 2300. 91 s. + liitt. 1 s.
- [24] Riipinen, I., Lehtipalo, K., Hiukkaskäsikirja. [Saatavissa] <http://www.hiukkastieto.fi/>. [Haettu 21.1.2014].
- [25] Hagner, B. Erikoisasiantuntija, Insinööritoimisto AX LVI Oy. Haastattelu 27.03.2014.
- [26] Johnson, I., Choate, W., Davidson, A. Waste heat recovery: Technology and opportunities in U.S. industry, U.D. BSC Incorporated, 2008. 71 p. + 26 Appendix p.
- [27] Liu, P., Gas separations using ceramic membranes. Final Project Report, University of Southern California 2006. 46 p.
- [28] Dexin, W., Transport Membrane Condenser for Water and Energy Recovery from Power Plant Flue Gas. Final Technical Report, Gas Technology Institute 2007-2012. 76 p.
- [29] Marttila, A.-K., Investoinnin kannattavuus ja takaisinmaksu, Opinnäytetyö 2011, Tampereen Ammattikorkeakoulu. 51 s. + liitt. 2 s.
- [30] Liljebloom, E., Vaihekoski, M., Investment evaluation methods and required rate of return in Finnish publicly listed companies, Finnish Academy of Science, 2004. 24 p.