



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LÄMMÖNTALTEENOTTO

TEKIJÄ: Jukka Rynnänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jukka Ryyänen	
Työn nimi Lämmöntalteenotto	
Päiväys 1.6.2016	Sivumäärä/Liitteet 22/2
Ohjaaja(t) Heikki Salkinoja ja Ritva Käyhkö	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Alufer Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä insinöörityö tehtiin Joroisissa toimivalle Alufer Oy:lle, joka valmistaa alihankintana siirrettäviä höyrynkehittämiä ristiinalaiselle Steamrator Oy:lle. Työn tavoitteena oli selvittää, miten höyrynkehittimien testauksessa syntyvästä savukaasusta talteenotettavaa lämpöä voisi hyödyntää sähkövastuksella lämmitettävän jauhemaalasuunin esilämmityksessä sekä parantaa yrityksen energiatehokkuutta ja siten synnyttää kustannussäästöjä. Energiaintensiivisessä teollisuudessa helpoin tapa tuottaa kustannussäästöjä on energiatehokkuuden parantaminen. Yksi vaihtoehto on lämmön talteenotto.</p> <p>Ensisijaisesti työssä oli tarkoitus selvittää, kuinka paljon rahallista säästöä uunin esilämmitys toisi ja kannattaako lämmön talteenottojärjestelmän rakentaminen. Työ aloitettiin tutustumalla yrityksen tuotantotiloihin, höyrynkehittämiin, niiden testausympäristöön sekä jauhemaalasuuniin. Talteenotettavalla lämmöllä oli tarkoitus esilämmittää jauhemaalasuunia, minkä jälkeen uuni lämmitettäisiin lopulliseen lämpötilaansa sähkövastuksen avulla. Aikaisemmin tehdyt mittaukset osoittivat, että tehokkaan lämmön talteenottojärjestelmän rakentaminen voisi olla mahdollista.</p> <p>Perusideana lämmön talteenottoon oli yksinkertainen lämmönsiirrin, jossa savukaasu luovutti lämpöä savukaasuputken ja sen ympärillä olevan vaipan välissä virtaavaan tuotantohallin sisäilmaan. Lisäksi luonnosteltiin myös monipuolisempi talteenottojärjestelmä, joka olisi tehokkaampi mutta samalla kustannuksiltaan kalliimpi kuin alkuperäinen malli.</p> <p>Työssä kävi ilmi, että savukaasusta talteenotettavan lämmön käyttö jauhemaalasuunin esilämmityksessä ei ole taloudellisesti kannattavaa. Siksi työssä on pohdittu myös vaihtoehtoisia höyrynkehittimien testauksesta saatavan energian hyödyntämistapoja.</p>	
Avainsanat Energiatehokkuus, lämmön talteenotto, höyrynkehitin	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Jukka Ryyänen			
Title of Thesis Heat Recovery			
Date	1.6.2016	Pages/Appendices	22/2
Supervisor(s) Heikki Salkinoja and Ritva Käyhkö			
Client Organisation /Partners Alufer Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was carried out for Alufer Oy in Joroinen, which manufactures portable steam generators as a subcontractor to Steamrator Oy, which is located in Ristiina. The aim of the study was to find out how the heat recovered from flue gas formed testing steam generators could be utilized in preheating a powder coating oven. That would improve the company's energy efficiency and thereby generate cost savings. In energy intensive industries the easiest way to produce cost savings is to improve energy efficiency. One option is heat recovery.</p> <p>The main objective of the study was to find out how much cost savings preheating the oven would bring to the company and would it be profitable to build a heat recovery system. It was started by getting familiar with the company's production facilities, steam generators, the test environment and the powder coating oven. The heat recovered was meant for preheating the powder coating oven, after which the oven would be heated to the final temperature with an electrical resistor. The measurements made beforehand showed that the construction of an efficient heat recovery system could be possible.</p> <p>The basic idea of recovering heat was a simple heat exchanger, in which the heat of the flowing flue gas was transferred into the space between the exhaust pipe and the jacket around it, where the indoor air of the production hall flows. In addition, also a more versatile heat recovery system was designed which would be more efficient but also more expensive than the original model.</p> <p>The thesis revealed that the use of the heat recovered from the flue gas for preheating the powder coating oven wouldn't be profitable. Therefore also alternative ways to use the heat recovered from testing the steam generators are considered in the study.</p>			
Keywords Energy efficiency, heat recovery, steam generator			

SISÄLTÖ

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 YRITYS.....	7
2.1 Tuotteet, tilat ja laitteet.....	7
3 HÖYRYNKEHITIN.....	8
4 LÄMMÖN TALTEENOTTO.....	10
4.1 Lämpöenergian talteenotto	10
4.2 Talteenotetun lämpöenergian hyödyntäminen	10
4.3 Talteenottolaitteisto	11
5 MITTAUKSET	14
5.1 Mittalaitteisto ja -järjestelyt.....	14
5.2 Tulokset.....	15
5.3 Esilämmityksellä saatavat säästöt	17
6 TESTAUKSESTA SAATAVAN ENERGIAN VAIHTOEHTOISIA HYÖDYNTÄMISTAPOJA.....	18
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	20
8 YHTEENVETO.....	21
LÄHTEET	22
LIITE 1: ESITE SIIRRETTÄVISTÄ HÖYRYNKEHITTIMISTÄ	
LIITE 2: MITTAUSPÖYTÄKIRJA HÖYRYNKEHITTIMEN TESTAUKSESTA	

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

Φ	Lämpömäärä
q_v	Tilavuusvirta
ρ	Tiheys
ΔT	Lämpötilan muutos
c_p	Ominaislämpökapasiteetti

1 JOHDANTO

Viime vuosina energiansäästöön ja energiatehokkuuteen on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota, koska energiansäästö- ja tehokkuustoimet ovat yleensä taloudellisesti kannattavin ratkaisu päästöjen vähentämiseksi. Energiankäytön tehostamisella on mahdollista saada aikaan 50 % globaalia kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteesta. Energiansäästöä voidaan tehostaa lähes jokaisella yhteiskunnan alalla – niin teollisuudessa kuin kotitalouksissakin.

Energiansäästöprojektit ovat jopa kymmenen kertaa kannattavampia kuin energiantuotannon lisärakentaminen. Myös energiatehokkuustoimet maksavat itsensä nopeasti takaisin. Ne myös edistävät työllisyyttä, parantavat energiaturvallisuutta ja alentavat energiakuluja. Investoiminen energiatehokkuuteen edistää teknologian kehittymistä, millä on myös työllistäviä vaikutuksia. Samalla tulevaisuuden päästövähennyskustannukset alenevat. (Ilmasto-opas.)

Tämä työ on tehty Alufer Oy:lle Joroisiin. Työn aihe liittyy öljykäyttöisten höyrykehittimien lämmön talteenottoon, sen hyödyntämiseen yrityksen tiloissa ja siitä mahdollisesti saataviin kustannussäästöihin. Höyrykehittimien testauksessa syntyy sekä savukaasua, että vesihöyryä, jotka nykyisillä järjestelyillä johdetaan ulkoilmaan ja niiden sisältämä lämpöenergia menee hyödyntämättömänä hukkalämmöksi.

Työn tavoitteena oli löytää toteuttamiskelpoinen ratkaisu, jolla höyrykehittimien testauksessa syntyvästä savukaasusta talteenotettavaa lämpöä voidaan hyödyntää yrityksen jauhemaalasuunin esilämmityksessä. Samalla tuli pohtia myös muita savukaasusta tai vesihöyrystä talteenotettavan lämmön hyödyntämisvaihtoehtoja.

2 YRITYS

Alufer Oy on Joroisissa sijaitseva ohutlevypohjaisten tuotteiden valmistukseen erikoistunut konepaja, jonka liiketoiminta-alueeseen kuuluu sopimusvalmistus, alihankinta sekä omat tuotteet. Yritys on perustettu vuonna 1986 ja sen liikevaihto on noin 1,6 miljoonaa euroa. Yrityksen asiakkaina ovat vientimarkkinoilla toimivat kone- ja laitevalmistajat.

2.1 Tuotteet, tilat ja laitteet

Alufer Oy toimittaa asiakkailleen ohutlevypohjaisia tuotteita, osakokonaisuuksia sekä komponentteja. Lisäksi yrityksen palveluihin kuuluu tuotteiden kehittämistä ja suunnittelua. Yrityksellä on Joroisissa vuonna 2007 valmistunut 2000 m²:n tuotantohalli. Laitekantaan kuuluu lävistys- ja laserleikkauskone, kaksi särmäyskonetta, hitsausrobotti, sorvi, työstökeskus, levyn pyöristyskone sekä jauhe- ja märkämaalauslaitteet. Jauhemaalaamossa on kuivausuuni, jonka tilavuus on 12,9 m³. Uunia lämmitetään 50 kW:n sähkövastuksella. Suunniteluohjelmassa Alufer Oy käyttää Solid Works -suunnitteluohjelmaa. Lisäksi Alufer Oy on kehittänyt AluShake-täryhiomakoneen ohutlevyosien pintakäsittelyyn. Laitteen toiminta perustuu arkkurakenteeseen, jolloin myös pitkien ja taivutettujen kappaleiden hionta onnistuu vaivattomasti. (Alufer Oy.)

3 HÖYRYNKEHITIN

Alufer Oy valmistaa alihankintana öljytoimisia siirrettäviä höyrykehittämiä Mikkelin Ristiinassa toimivalle Steamrator Oy:lle. Steamratorin höyrykehittimet soveltuvat roudan, jään ja lumen sulatukseen, tierumpujen aukaisuun, kaivojen sulatukseen, höyrypesuihin ja sterilointiin. Höyrykehittimien lämpöteho on 200 kW, rakennepaine 16 bar ja suurin käyttöpaine 13 bar. Höyryn maksimituottomäärä on kostea höyryä 480 kg/h ja kuivaa höyryä n. 250 kg/h.

Höyrykehittimien toiminnan ohjauksesta ja valvonnasta vastaa sähkökeskus. Muita varusteita ovat painekeytkin, varoventtiili, virtausvahti, höyrytermostaatti, käsikahva, sulatussuutin, hiekkakeihäs, nostosilmukat ja trukkisolat. Lisäksi höyrykehittimissä on lämpövastukset laitetilassa ja vesitilassa. (Steamrator Oy.)



Kuva 1. Siirrettävä höyrykehitin MHC-700. (Steamrator Oy.)

Alufer Oy valmistaa vuodessa noin 150 höyrykehittintä, joista jokaista testataan 1,5 tuntia. Testauskäytön yhteydessä syntyvät savukaasu ja vesihöyry sekä niihin sitoutunut lämpö ohjataan nykyisellä järjestelmällä ulos tuotantotiloista. Testauksen aikana yksi höyrykehitin kuluttaa kevyttä polttoöljyä 31,5 litraa eli 21 litraa tunnissa. Vastaavasti vettä kuluu yhden testikerran aikana 420 litraa eli 280 litraa tunnissa. (Steamrator Oy.)

Taulukko 1. Siirrettävän höyrykehittimen tekniset tiedot. (Steamrator Oy.)

Tekniset tiedot

MHC-700	
Pituus	2050 mm
Leveys	1650 mm
Korkeus	1650 mm
Paino	kuiva/säiliöt täynnä 1100/3340 kg
Höyrymäätä	max. 480 kg/h kosteaa, "kuivaa" n. 250 kg/h
Lämpöteho	200 kW
Rakennepaine	16 bar, käyttöpaine max. 13
Sähköliitäntä	230/50 V/Hz
Vesisäiliö	1880 L
Öljysäiliö	167 L
Öljypoltin	Oilon KP 26
Syöttövesipumppu	3-mäntä Cat
Höyryletku	19 mm
Vesiletku	10 m

4 LÄMMÖN TALTEENOTTO

Lämmön talteenotto on yksi keino parantaa esimerkiksi prosessin, tuotantolinjan tai kokonaisen laitoksen energiatehokkuutta. Energiatehokkuuteen tullaan tulevaisuudessa kiinnittämään entistä enemmän huomiota, koska se on tehokas ja ympäristöystävällinen keino saada aikaan kustannussäästöjä. Tässä työssä keskitytään höyrykehittimien savukaasuista talteenotettavaan lämpöön ja sen hyödyntämiseen jauhemaalauusuunin esilämmityksessä ja tuotantotilojen lämmityksessä. Lisäksi vaihtoehtoisena ratkaisuna on pohdittu talteenottaa höyrykehittimien testauksessa syntyvän vesihöyryn lämpö esimerkiksi veteen ja hyödyntää sitä tuotantotilojen lämmitykseen esimerkiksi lattialämmityksen tai patteriverkoston kautta. Nykyisin tuotantotiloja lämmitetään maakaasulla. Näin ollen höyrykehittimien testauksessa syntyvän lämmön talteenotto ja hyödyntäminen säästäisi kustannuksissa, pienentäisi kasvihuonepäästöjä ja vähentäisi fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Vuodessa testataan noin 150 höyrykehittintä, jokaista 1,5 tuntia. Höyrykehittimien testauspäiviä on vuodessa arviolta 50–100 ja jauhemaalauusuunia käytetään noin 200 päivänä vuodessa.

4.1 Lämpöenergian talteenotto

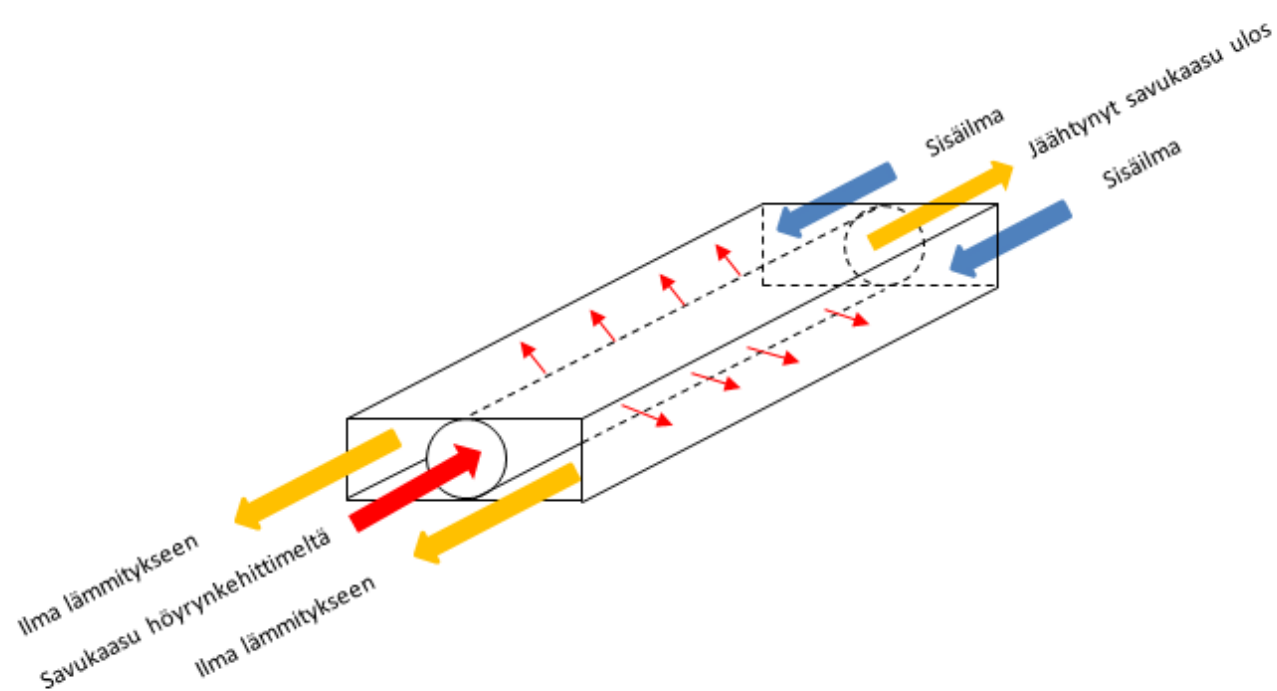
Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Siksi lämmön siirtyminen tapahtuu aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan eli lämpimästä kylmään (Napari ja Vehkamäki 2013, 31). Lämpö voi siirtyä kolmella tavalla: johtumalla, säteilyinä tai konvektion avulla. Lämmön siirtyminen johtumalla tapahtuu kiinteän aineen välityksellä. Säteilimällä lämpö siirtyy esimerkiksi auringosta maahan tai kynttilän liekistä ympäröivään ilmaan. Konvektio on lämmön siirtymistä virtaavan aineen eli fluidin mukana. (Ensto.) Tässä työssä lämpöä on tarkoitus ottaa talteen lämmönsiirtimen avulla, eli lämpö siirtyy savukaasusta lämmitettävään ilmaan johtumalla.

4.2 Talteenotetun lämpöenergian hyödyntäminen

Talteenotettua lämpöenergiaa on tarkoitus hyödyntää ensisijaisesti jauhemaalauusuunin esilämmityksessä ja tuotantotilojen lämmityksessä silloin, kun uunin esilämmitykselle ei ole tarvetta. Tavoitteeksi asetettiin jauhemaalauusuunin sisäilman lämmitys tuotantotilan sisälämpötilasta 20 °C esimerkiksi 50 °C:seen, minkä jälkeen sähkövastus hoitaisi lopun lämmityksen aina loppulämpötilaan 210 °C saakka. Koska jauhemaalauusuunin esilämmitykselle ei olisi jatkuvaa tarvetta, muuna aikana savukaasuista saatavan lämpöenergian voisi käyttää tuotantotilan sisäilman lämmitykseen.

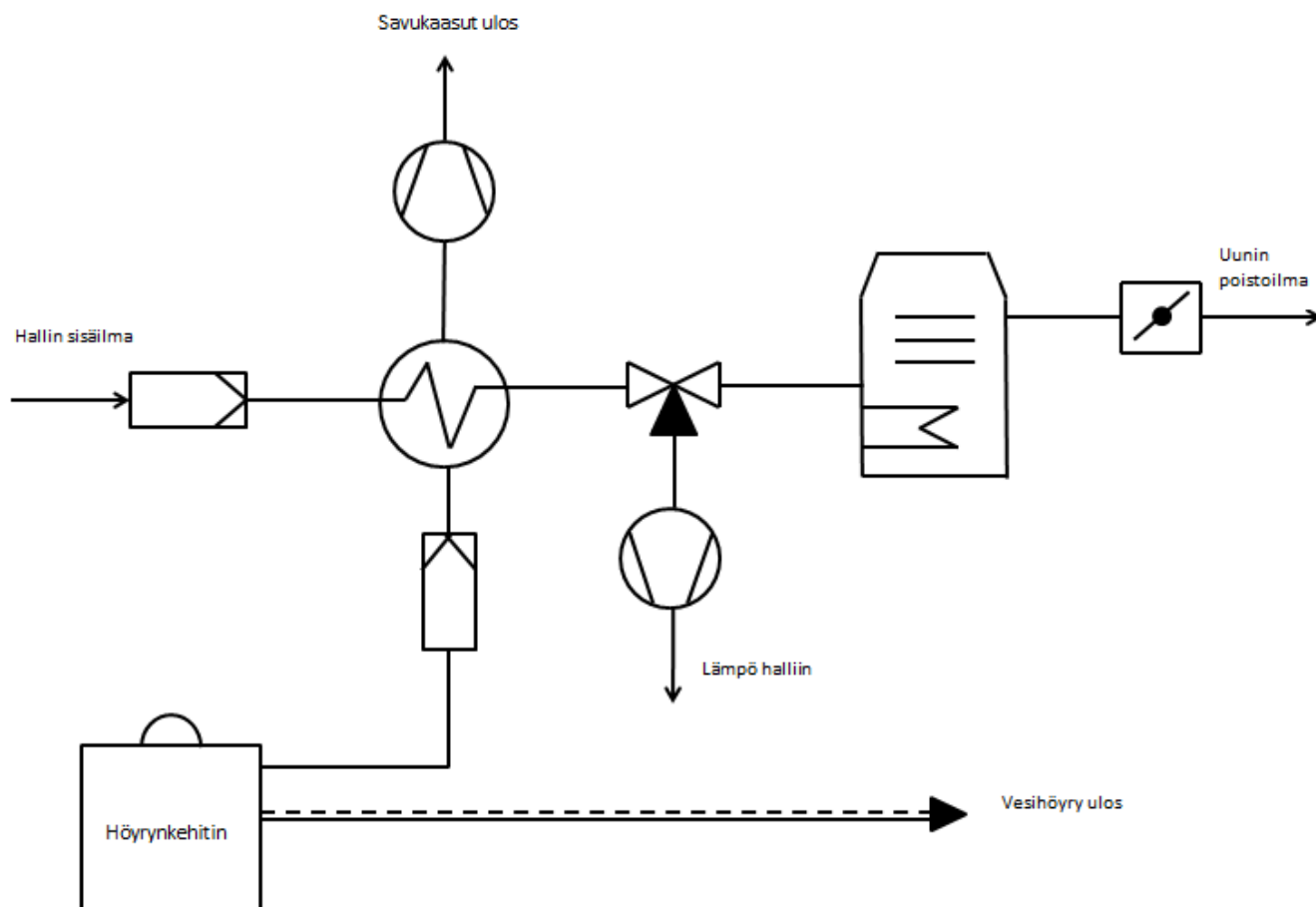
4.3 Talteenottolaitteisto

Talteenottolaitteistoksi oli kaksi erilaista vaihtoehtoa: yksinkertainen putkilämmönsiirrin, jossa savukaasun lämpöä siirtyy savukaasuputken molemmiin puolin savukaasua vastakkaiseen suuntaan virtaavaan hallin sisäilmaan. Jäähdytynyt savukaasu johdetaan ulos hallista ja lämmennyt sisäilma tarpeen mukaan joko jauhemaalauasuuniin tai takaisin tuotantohalliin.



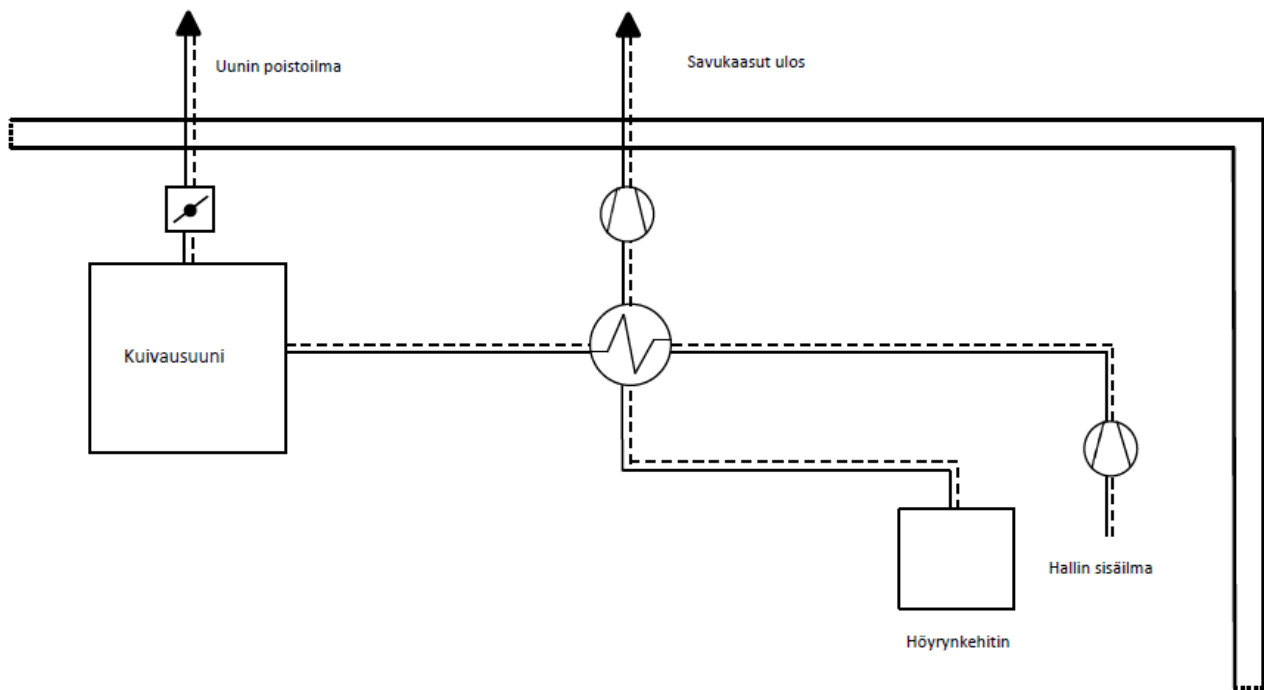
Kuva 2. Ensimmäinen luonnos yksinkertaisesta lämmönsiirtimestä.

Toisessa vaihtoehdossa savukaasujen lämpö otetaan talteen levylämmönsiirtimen avulla. Molemmissa tapauksissa lämmitetyn ilman ohjaaminen tarpeen vaatiessa joko jauhemaalauuniin tai tuotantotiloihin tapahtuisi lämminilmakanavaan asennettavalla kolmitieventtiilillä.



Kuva 3. Luonnos tehokkaasta lämmön talteenottojärjestelmästä.

Kummassakin ratkaisussa talteenottojärjestelmä sijoittuisi höyrykehittimien testaustilan ja jauhemaalauusuunin välille.



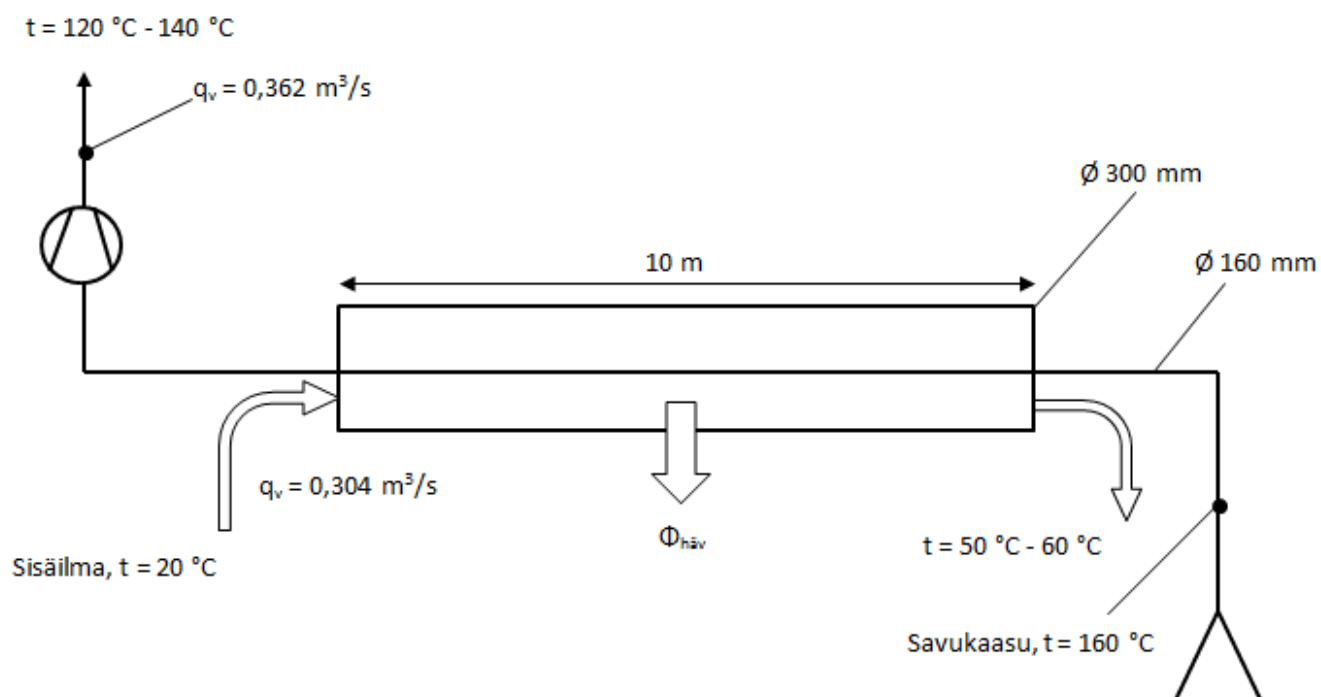
Kuva 4. Talteenottojärjestelmän yksinkertaistettu layout.

5 MITTAUKSET

Mittausten tarkoituksena oli selvittää, lämpeneekö tuotantohallin lämmitettävä sisäilma tarpeeksi, jotta sitä voitaisiin käyttää jauhemaalasuunin esilämmityksessä.

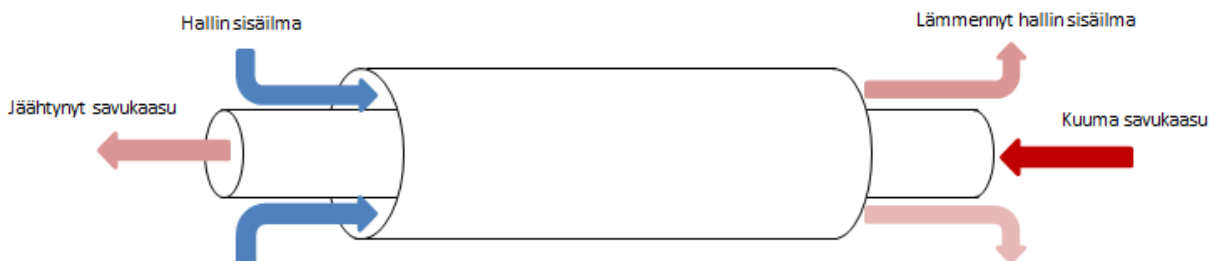
5.1 Mittalaitteisto

Mittalaitteisto oli rakennettu höyrykehittimien testauksessa syntyvien savukaasujen poistojärjestelmään.



Kuva 5. Mittalaitteisto ja -tulokset.

Tuotantohallin sisäilmaa johdettiin 10 metrin matkalta savukaasukanavan ja sen ympärillä olevan eristevaipan välistä ja mitattiin sekä savukaasusta että lämmitettävästä ilmasta lämpötilat sekä linjan alku- että loppupäässä. Lisäksi mitattiin kummankin linjan tilavuusvirtaa.



Kuva 6. Savukaasuputki ja vaippa sekä savukaasun ja ilman virtaus mittaustilanteessa.

5.2 Tulokset

Mittaustuloksiksi saatiin:

- Savukaasun lämpötila savukaasulinjan alussa 160 °C
- Savukaasun lämpötila savukaasulinjan lopussa 120 °C - 140 °C
- Vaipan sisään puhallettavan ilman lämpötila 20 °C
- Vaipan sisältä ulos tulevan ilman lämpötila 50 °C - 60 °C
- Savukaasun tilavuusvirta savukaasulinjassa 0,362 m³/s
- Vaipan sisällä virtaavan ilman tilavuusvirta 0,304 m³/s
- Savukaasun lämpötilan muutos 20 °C - 40 °C
- Lämmitettävän ilman lämpötilan muutos 30 °C - 40 °C
- Vesihöyryn tiheys 1,2 kg/m³

Lisäksi tiedetään:

- Ilman ominaislämpökapasiteetti 1 kJ/kgK

Ensiöpuoli: savukaasun jäähtyessään luovuttama lämpömäärä \emptyset saadaan yhtälöstä

$$\emptyset = q_v \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot c_p \quad [1]$$

missä q_v on savukaasun tilavuusvirta, ρ on vesihöyryn tiheys, ΔT on savukaasun lämpötilan muutos ja c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti.

Savukaasun luovuttama lämpömäärä, maksimi:

$$\emptyset = 0,362 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 40 \text{ K} \cdot 1 \text{ kJ}/\text{kgK} \approx 17,4 \text{ kW}$$

Savukaasun luovuttama lämpömäärä, minimi:

$$\dot{\phi} = 0,362 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 20 \text{ K} \cdot 1 \text{ kJ}/\text{kgK} \approx 8,7 \text{ kW}$$

Toisiopuoli, vaipan läpi kiertävän sisäilman vastaanottama lämpömäärä $\dot{\phi}$ saadaan yhtälöstä

$$\dot{\phi} = q_v \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot c_p \quad [2]$$

missä q_v on vaipan sisällä virtaavan lämmitettävän ilman tilavuusvirta, ρ on vesihöyryn tiheys, ΔT on lämmitettävän ilman lämpötilan muutos ja c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti.

Lämmitettävän ilman vastaanottama lämpömäärä, maksimi:

$$\dot{\phi} = 0,304 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 40 \text{ K} \cdot 1 \text{ kJ}/\text{kgK} \approx 14,6 \text{ kW}$$

Lämmitettävän ilman vastaanottama lämpömäärä, minimi:

$$\dot{\phi} = 0,304 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 30 \text{ K} \cdot 1 \text{ kJ}/\text{kgK} \approx 10,9 \text{ kW}$$

Käytetään sekä luovutetulle että vastaanotetulle lämpömäärälle ($\dot{\phi}_{\text{ensio}}$ ja $\dot{\phi}_{\text{toisio}}$) keskiarvoa:

$$\dot{\phi}_{\text{ensio}} = \frac{17,4 \text{ kW} + 8,7 \text{ kW}}{2} = 13,05 \text{ kW} \quad [3]$$

$$\dot{\phi}_{\text{toisio}} = \frac{14,6 \text{ kW} + 10,9 \text{ kW}}{2} = 12,75 \text{ kW} \quad [4]$$

Häviöt saadaan vähentämällä savukaasun luovuttamasta lämpömäärästä lämmitettävän ilman vastaanottama lämpömäärä:

$$\dot{\phi}_{\text{häviöt}} = \dot{\phi}_{\text{ensio}} - \dot{\phi}_{\text{toisio}} = 13,05 \text{ kW} - 12,75 \text{ kW} = 0,3 \text{ kW} \quad [5]$$

Häviöt syntyvät vaipan läpi tuotantohallin sisäilmaan johtuvasta lämmöstä.

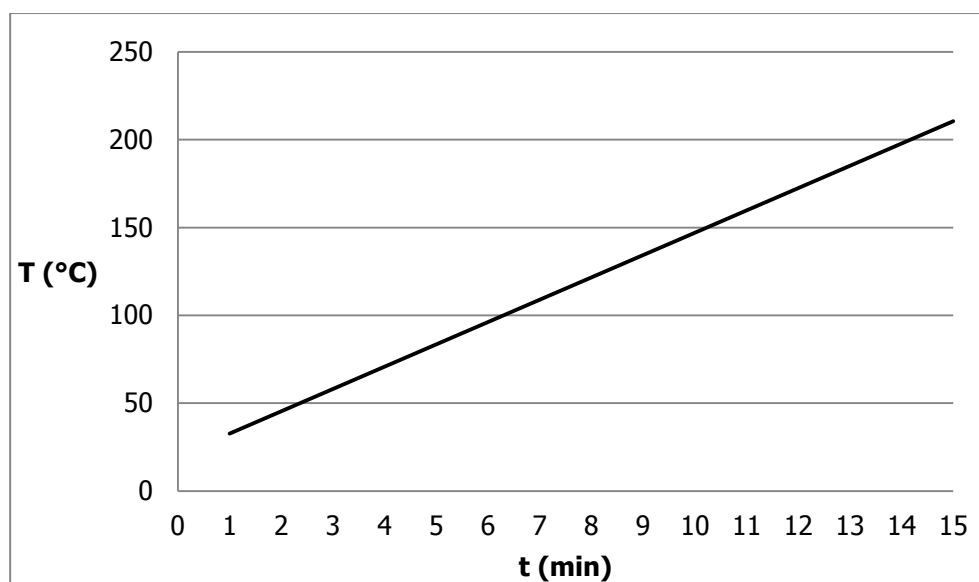
Tuloksien on katsottava olevan vain suuntaa antavia, koska mittauksilla haluttiin ennen kaikkea selvittää, saadaanko savukaasusta riittävästi lämpöä, jotta järjestelmän rakentaminen olisi kannattavaa.

Koska lämmitettävän ilman loppulämpötila oli mittausten mukaan noin 50 °C - 60 °C ja koska lopullinen lämmön talteenottojärjestelmä voidaan olettaa testikäytössä ollutta huomattavasti tehokkaammaksi, järjestelmään investoiminen voi osoittautua kannattavaksi.

5.3 Esilämmityksellä saatavat säästöt

Jotta tiedettäisiin, onko lämmön talteenottojärjestelmän rakentaminen kannattavaa, on tarkasteltava mitä säästöjä sillä saadaan aikaan. Savukaasusta talteenotettavan lämmön ensisijainen käyttökohde on 50 kW:n sähkövastuksella lämmitettävän jauhemaalauusuunin esilämmitys, joten seuraavaksi tarkastellaan esilämmityksellä saatavaa säästöä sähkönkulutuksessa.

Sähkövastus lämmittää uunin 20 °C:sta loppulämpötilaan 210 °C noin 15 minuutissa. Lämpötilan nousu oletetaan lineaariseksi. Lämpenemisnopeus on 12,7 °C/min, joten esilämmitys 20 °C -> 50 °C kestää noin 2,4 minuttia, eli 0,04 tuntia. Sähkövastuksen samassa ajassa kuluttama energiamäärä, eli se energiamäärä, mikä kuluu yhteen esilämmitykseen, on: $0,04 \text{ h} \cdot 50 \text{ kWh} = 2 \text{ kWh}$.

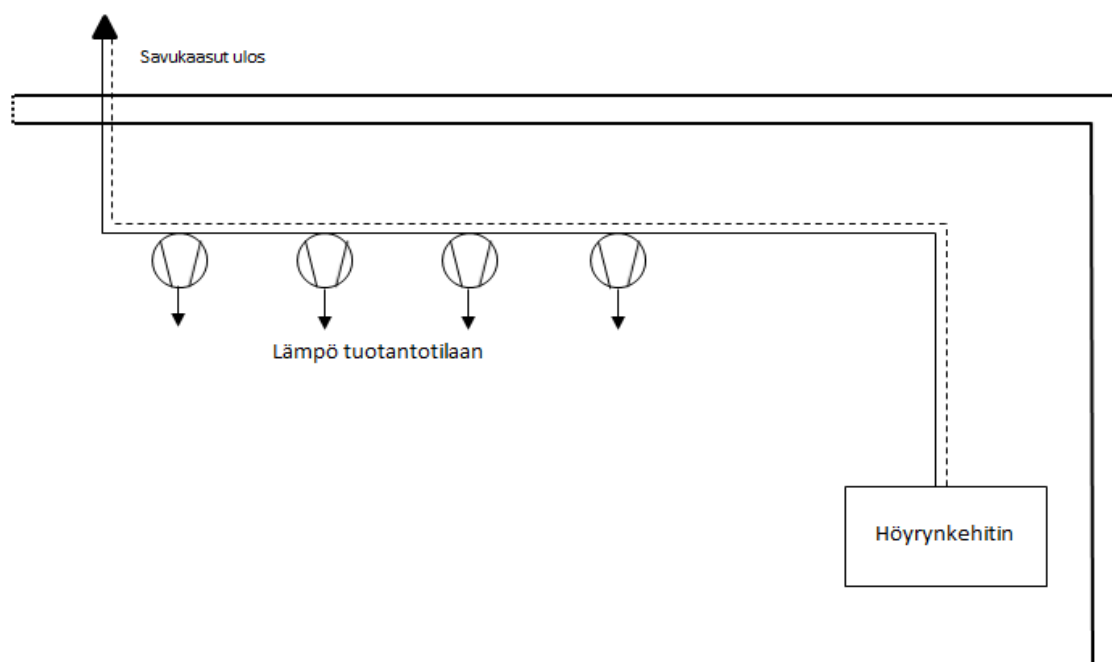


Kuva 7. Maalauusuunin lämpötilan muutos sähkövastuksella lämmitettäessä.

Jauhemaalauusuunia pyritään käyttämään siten, että jokaisena päivänä, jona uunia käytetään, tapahtuisi vain yksi esilämmitys eli kaikki jauhemaalattavat osat maalattaisi yhteen menoon. Uunia käytetään arviolta 200 päivänä vuodessa. Lämmön talteenottojärjestelmällä vuodessa saatava sähkön säästö olisi tällöin: $200 \cdot 2 \text{ kWh} = 400 \text{ kWh}$. Sähkön hinta yritykselle on noin 0,1 €/kWh, eli jauhemaalauusuuniin esilämmitykseen vuoden aikana kuluvan sähkön hinta on: $400 \text{ kWh} \cdot 0,1 \text{ €/kWh} = 40 \text{ €}$, mikä on myös lämmön talteenottojärjestelmällä suoritettavalla jauhemaalauusuunin esilämmityksellä saatava rahallinen säästö.

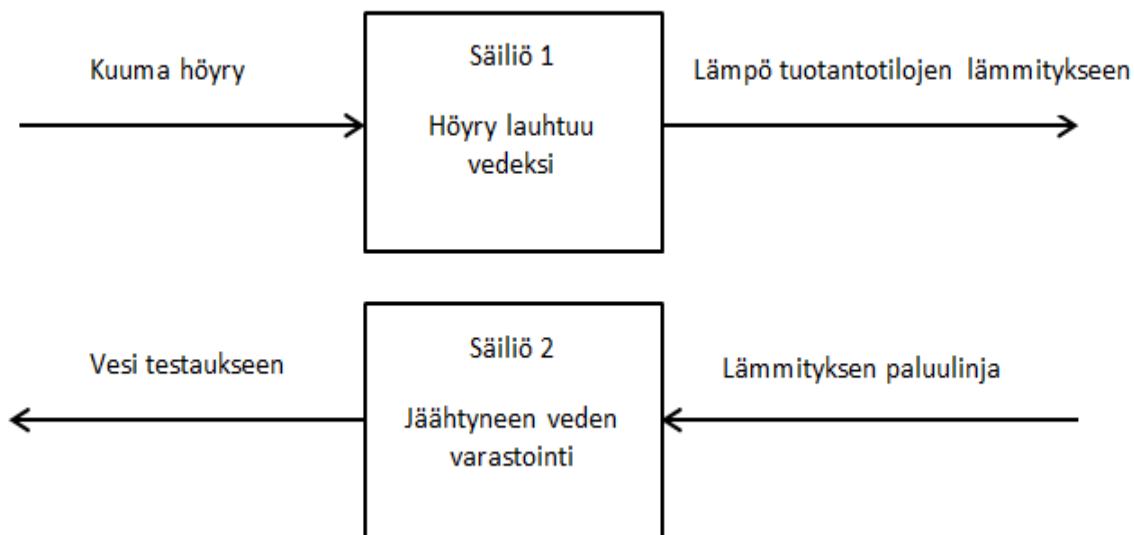
6 TESTAUKSESTA SAATAVAN ENERGIAN VAIHTOEHTOISIA HYÖDYNTÄMISTAPOJA

Koska savukaasusta saatavan lämmön käyttö jauhemaalauzuunin esilämmityksessä ei osoittautunut kannattavaksi, on mietittävä missä muualla ja millä tavoin höyrykehittimien koekäytön tuottamaa energiaa voidaan käyttää hyväksi. Höyrykehittimien testauksessa syntyvästä savukaasusta talteenotettavaa lämpöenergiaa voidaan käyttää myös tuotantohallin lämmityksessä. Savukaasu lämmittää jo nykyiselläänkin tuotantotilaa savukaasuputkessa virratessaan. Yksi vaihtoehto olisi puhaltaa savukaasun sisältämä lämpö puhaltimilla tuotantotilaan. Tämä ratkaisu voisi olla kannattava toteuttaa, sillä savukaasuputki lämmittää höyrykehittimien testausympäristöä selvästi ilman lämmön puhallustakin. Lämmitystä voisi mahdollisesti tehostaa käyttämällä esimerkiksi samankaltaista yksinkertaista lämmönsiirintä kuten kuvassa 2 (ks. s. 11).



Kuva 8. Periaate savukaasun lämmön käyttämisestä tuotantotilan lämmitykseen

Höyrykehittimien testauksessa syntyy savukaasun lisäksi myös vesihöyryä, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi tuotantotilojen lämmitykseen joko pattereiden tai lattialämmityksen kautta. Kuumen vesihöyryn varastointi ja syöttö lämmitysjärjestelmään voitaisiin ratkaista esimerkiksi kahdella säiliöllä, joista toiseen höyrykehittimeltä tuleva kuuma höyry syötettäisiin, mistä se vedeksi lauhduttuaan ohjattaisiin tuotantotilojen lämmitysjärjestelmään ja sieltä viileämmän veden säiliöön. Tällä hetkellä tuotantotiloja lämmitetään maakaasulla, joten höyrystä talteenotetun lämmön käyttö lämmitykseen maakaasun polton sijaan toisi taloudellista säästöä, säästäisi fossiilisia polttoaineita ja pienentäisi kasvihuonekaasupäästöjä. Tämän ratkaisun suurin haaste olisi sen kytkeminen nykyiseen lämmitysjärjestelmään.



Kuva 9. Periaate höyryn käyttämisestä tuotantotilojen lämmitykseen.

Joka tapauksessa höyrykehittimien testauksesta talteenotetun lämmön käyttö tuotantotilojen lämmittämiseen voisi olla kannattavaa ja tuoda taloudellisia säästöjä, koska valtaosa höyrykehittimien testauksesta tapahtuu syksyllä ja talvella, jolloin myös tuotantotiloja lämmitetään eniten. Tämä johtuu siitä, että höyrykehittämiä tarvitaan eniten talvisaikaan niiden käyttötarkoituksesta johtuen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koska vuotuinen säästö on vain 40 €, ei lämmön talteenottojärjestelmään investointi kannata jos sitä käytetään vain jauhemaalasuunin esilämmitykseen. Lisäksi on kyseenalaista, osuvatko höyrykehittimien testaukset ja jauhemaalasuunin esilämmitys samoihin ajankohtiin. Tietysti työvaiheita aikatauluttamalla asiaa voitaisiin parantaa. On myös muistettava, että höyrykehittimien testauspäiviä on vuodessa ehkä 50–100, kun jauhemaalasuunia käytetään noin 200 päivänä vuodessa. Lisäksi talteenotettu lämpö johdettaisi jauhemaalasuuniin puhaltimella, joka sekin kuluttaa sähköä ja näin ollen pienentää lämmön talteenotosta mahdollisesti saatavaa kustannussäästöä.

Sen sijaan joko savukaasuista tai vesihöyrystä saatavan lämmön käyttö tuotantotilojen lämmitykseen voisi olla kannatavaa. Kannattavuuden selville saamiseksi pitäisi selvittää kuinka paljon tuotantotilojen lämmitys vuodessa maksaa ja kuinka suuren osan siitä voisi höyrykehittimien testauksesta saatavalla lämmöllä korvata.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä pyrittiin kehittämään Alufer Oy:lle järjestelmää, jolla höyrykehittimien testauksessa syntyvän savukaasun lämpöenergiaa voidaan hyödyntää jauhemaalauusuunin esilämmityksessä. Työ aloitettiin tutustumalla yrityksen tiloihin, tuotteisiin ja laitteistoon sekä höyrykehittimien testausympäristöön, lämmön talteenottojärjestelmän sijaintiin ja toimintaperiaatteeseen tuotantotiloissa.

Savukaasun talteenotolle luonnosteltiin muutamia eri vaihtoehtoja taivutetun pellin ja putken muodostamasta yksinkertaisesta lämmönsiirtimestä aina monipuoliseen ja tehokkaampaan järjestelmään, joka koostuisi lämmönsiirtimestä, suodattimista ja puhaltimista. Jo aikaisemmassa vaiheessa tehdyistä mittauksista kävi ilmi, että yksinkertaisellakin lämmönsiirtimellä saadaan lämpöä tehokkaasti talteen. Kysymys olikin enää siitä, olisiko sen käyttö jauhemaalauusuunin esilämmityksessä taloudellisesti kannattavaa.

Ensimmäiseksi oli selvitettävä lämmön talteenotosta mahdollisesti saatavat taloudelliset säästöt. Arviolta vain kerran päivässä suoritettavasta ja ajallisesti lyhytkestoisesta jauhemaalauusuunin esilämmityksestä johtuen kustannussäästöt jäisivät hyvin pieniksi, joten huomattavasti kalliimpi monipuolinen talteenottojärjestelmä hylättiin taloudellisesti kannattamattomana, sillä jo yksistään lämmönsiirrin maksaisi monikymmenkertaisesti järjestelmästä vuoden aikana parhaimmillaan saatavan kustannussäästön verran. Myös muut ratkaisut katsottiin taloudellisesti kannattamattomiksi juuri jauhemaalauusuunin esilämmityksen vähäisen taloudellisen hyödyn vuoksi.

LÄHTEET

Alufer Oy [verkkodokumentti, viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: <http://www.alufer.fi/etusivu>

Ilmasto-opas, energiansäästö ja energiatehokkuus [verkkodokumentti, viitattu 22.10.2014].

Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/75ef09a7-01a2-489a-862e-0dce463a8e1c>

Steamrator Oy, siirrettävät kehittimet [verkkodokumentti, viitattu 28.11.2015].

Saatavissa: <http://www.steamrator.fi/tuotteet/getfile.php?file=127>

NAPARI, Ismo ja VEHKAMÄKI, Hanna 2013-12-18. Termofysiikan perusteet [verkkodokumentti, viitattu 9.12.2014]. Saatavissa:

http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/termo/termofysiikka2013_hv.pdf

Ensto [verkkodokumentti, viitattu 14.2.2015]. Sähkölämmitysratkaisut > Lämpö ja lämmitys > Lämmön siirtyminen > Siirtymistavat. Saatavissa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1195454056021/1239039810756/1239039865653/1239039957759.html>

STEAMRATOR



HÖYRYNKEHITTIMET MH-SARJA

MHC-700

Lämpöeristetty kokonaisuus, jossa suuret vesi- ja polttoöljysäiliöt. Soveltuu roudan, jään, lumen sulatukseen ja höyrypesuihin. Lisävarusteena saatavissa käsikäyttöinen letkukela ja aggregaatti.

Varustelu:

- toiminnan ohjausta ja valvontaa varten sähköohjauskeskus
- painekeytkin, varoventtiili, virtausvahti, höyrytermostaatti
- käsikahva, sulatussuutin, hiekkakeihäs
- nostosilmukat / trukkisolat
- lämpövastukset laitetilassa ja vesitilassa



MHT-700

Trailerialustalle asennettu ja aggregaatilla varustettu kehitin, jolla höyryntuottaminen onnistuu missä vain. Sopii erinomaisesti muun muassa tierumpujen aukaisuun ja kaivojen sulatukseen

Muut varusteet:

- toiminnan ohjausta ja valvontaa varten sähköohjauskeskus
- painekeytkin, varoventtiili, virtausvahti, höyrytermostaatti
- käsikäyttöinen letkukela
- käsikahva, sulatussuutin, hiekkakeihäs
- rummunsulatussuutin jatkovarsin
- asennettu jarrulliselle telialustalle, nato-vetolenkki (76 mm) tai 50 mm kuulakytin
- syöttöveden kierrätysjärjestelmä siirtymien aikaista lämmitystä varten
- saatavana myös ilman trailerialustaa



MH-700

Kompakti ja helposti siirrettävä höyrykehitin rakennustyömaille sekä tilapäiskäyttöön teollisuudessa. Kehitintä voidaan käyttää esimerkiksi sulatuksiin ja pesuihin.

Muut varusteet:

- toiminnan ohjausta ja valvontaa varten sähköohjauskeskus
- painekeytkin, varoventtiili, virtausvahti, höyrytermostaatti
- käsikahva, sulatussuutin, hiekkakeihäs
- nostosilmukat
- lämpövastukset laitetilassa ja vesitilassa



SIIRRETTÄVÄT KEHITTIMET

MHC-700



MHT-700



MH-700



Pituus	2100 mm	3900 mm	2100 mm
Leveys	1720mm	1750 mm	900 mm
Korkeus	1760 mm	1800 mm	1340 mm
Paino	kuiva/säiliöt täynnä 1460/3450 kg	kuiva/säiliöt täynnä 1460/2280 kg	450 kg
Höyry määrä	max. 580 kg/h kosteaa, "kuivaa" n. 250 kg/h	max. 580 kg/h kosteaa, "kuivaa" n. 250 kg/h	max. 580 kg/h kosteaa, "kuivaa" n. 250 kg/h
Lämpöteho	200 kW	200 kW	200 kW
Rakennepaine	16 bar, käyttöpain max. 13	16 bar, käyttöpain max. 13	16 bar, käyttöpain max. 13
Sähköliitäntä	230/50 V/Hz, 1-vaih., 16A	230/50 V/Hz, 1-vaih., 16A	230/50 V/Hz, 1-vaih., 16A
Vesisäiliö	1880 L	760 L	-
Öljysäiliö	167 L	118 L	-
Öljypoltin	kevytöljy	kevytöljy	kevytöljy
Syöttövesipumppu	korkeapainepumppu	korkeapainepumppu	korkeapainepumppu
Höyryletku	10 m (3/4") ***	30 m (3/4") ***	10 m (3/4") ***
Vesiletku	10 m	-	10 m
Sähkögeneraattori	saatavana lisävarusteena	bensa tai dieselmoottorilla	-
Vilkut ja jarruvalot	-	12 tai 24 V	-
Lämmitysvastukset	2x750 W (sisäiset)	-	2x750 W (sisäiset)

***Höyryletkua saatavana myös muita pituuksia, esim. 20, 30 ja 40 m

Steamrator Oy:n valmistamat höyrykehittimet ovat EU:n painelaitedirektiivin mukaisia ja CE-merkittyjä



STEAM-MATE

Steam-Mate eli "Höyry-Matti" on kevyt nestekaasukäyttöinen höyrykehitin. Steam-Matea voidaan käyttää esimerkiksi tierumpujen, viemäreiden ja vesijohtojen sulatuksissa, koneiden, laitteiden, varastojen puhdistuksissa, esim. maataloudessa sekä maasto-olosuhteissa kuumaa vettä tuottamiseen.

TYTÄRYHTIÖT JA EDUSTAJAT



STEAMRATOR OY
Pelimannintie 1
52300 RISTIINA, FINLAND

Tel. +358 15 7274 700
Fax. +358 15 458 178
steam.rator@steamrator.fi

HÖYRYSTIMEN TESTAUS

Palaveri ~~14.2.2020~~14.2.2020
10-12.00Testauksen kesto ; $t = 30 \text{ min}$ ($\sim 2 \text{ kert vrk}$)

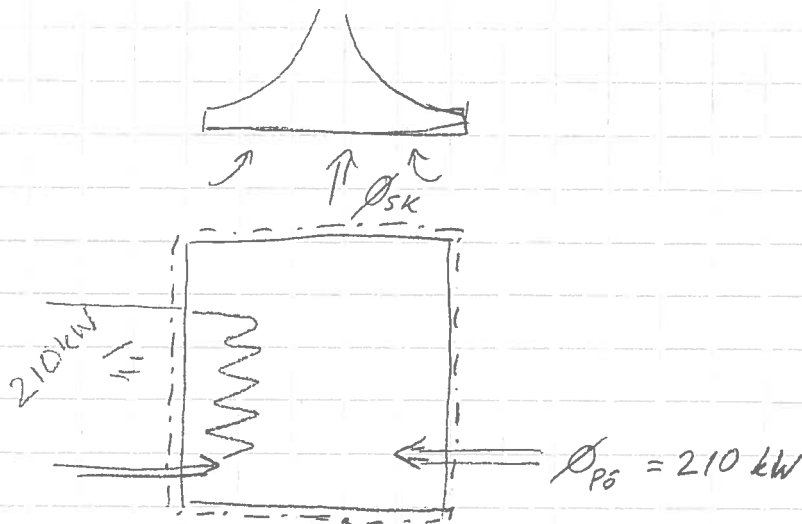
$$q_{vpö} = 10,5 \text{ l} (\sim 30 \text{ min}) \Rightarrow \frac{10,5 \text{ l}}{30 \cdot 60} = 0,0058 \text{ l/s}$$

kevyen polttoöljyn lämpöarvo; $q_{ipö} = 42\,700 \text{ kJ/kg}$ kevyen polttoöljyn massavirta $q_{mpö}$

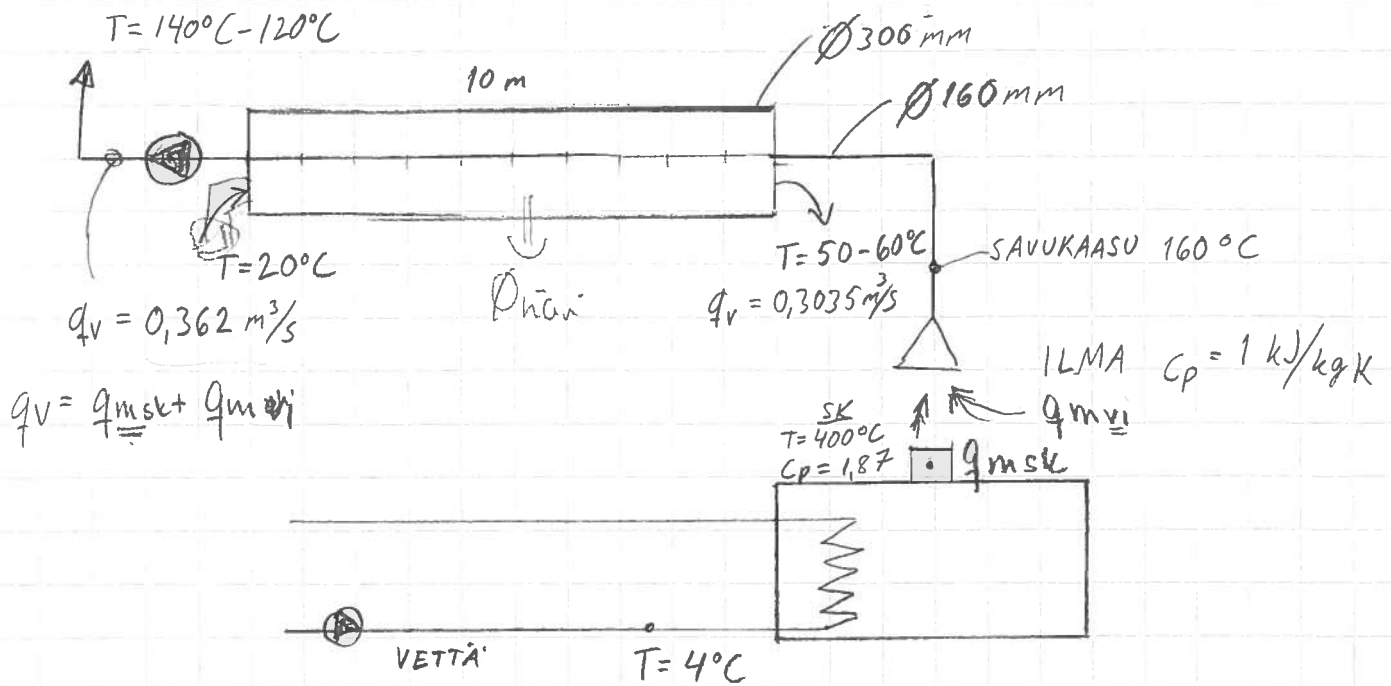
$$q_{mpö} = \rho_{pö} \cdot q_{vpö} = 0,85 \text{ kg/l} \cdot 0,0058 \text{ l/s} = 0,0049 \text{ kg/s}$$

 \Rightarrow polttoöljystä vapautuva energiavirta $\phi_{pö}$ [W]

$$\phi_{pö} = q_{mpö} \cdot q_{ipö} = 210 \text{ kJ/s} = 210 \text{ kW}$$



Savukaasupuoli



$$q_v = \dot{q}_{msk} + \dot{q}_{mvi}$$

Toisipuoli/Vaippapuoli

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= 0,3035 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (60-20)^\circ\text{C} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ &= 14,57 \text{ kW} \end{aligned}$$

Ensiöpuoli / Putkipuoli

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= 0,362 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (160-140)^\circ\text{C} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ &= 8,7 \text{ kW} \leftarrow \Delta T = 20^\circ\text{C} \\ &(\sim 17,4 \text{ kW} \leftarrow \Delta T = 40^\circ\text{C}) \\ &(\sim 14 \text{ kW} \hat{=} \Delta T \approx 32^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\dot{\phi}_{\text{Ensiö}} = \dot{\phi}_{\text{Toisio}} + \dot{\phi}_{\text{Puhuri}}$$

Veden höyrystäminen

$\sim 140 \text{ l} / 30 \text{ min}$

Tehontarve

$$\frac{140 \text{ l}}{30 \text{ min}} = 4,667 \text{ l/min}$$

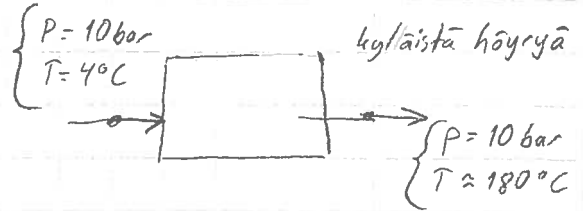
$$\frac{4,667 \text{ l}}{60 \text{ s}} = 0,0778 \text{ l/s}$$

kyll. vesi

$$h' (p=10 \text{ bar}) = 763 \text{ kJ/kg}$$

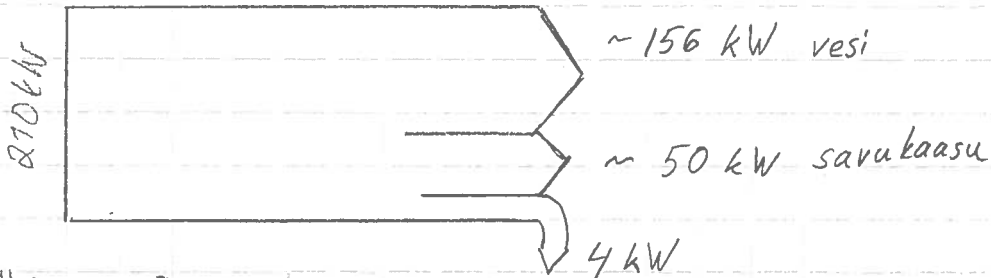
kyll. höyry

$$h'' (p=10 \text{ bar}) = 2778 \text{ kJ/kg}$$



Höyryn lämmitykseen tehontarve

$$\dot{Q}_H = 0,0778 \text{ l/s} \cdot (2778 - 763) \text{ kJ/kg} \cdot 1 \text{ kg/l} = \underline{156 \text{ kW}}$$



laitteen hyötysuhde

$$\eta = \frac{156 \text{ kW}}{210 \text{ kW}} = 74\%$$



LTO B

120°-140°C

~ 50 kW

savukaasu

160°C

400°C

LTO A

~ 156 kW

Vesi

LTO A
~ 156 kW
Vesi

Testaus

0,5 h, 140 l vettä

(⇒ 210 kW) 156 kW

JUNIOR PRO J10 J18 J20 J45 J50 LJ10 LJ18 LJ20 LJ45 LJ50 OILPRO KP-265T

Asennuspaikka/Installaionsdatum
8.12.2011
Valm.no/ Tillverkningsnr.
5225043

Asennuspaikka
Installerad hos
MH-700

Asennusliiketoimittaja
Puh./Tel.
S-posti/e-mail
Alufer Oy

Puh./Tel. *4000000000*
S-posti/e-mail
F Haappinen

No.	TEHO EFFEKT	OLJYPAIN OLJEFFEKT			SAVUKAASUT RÖKGASER			HYÖTY SÄHDE		KATTILA- HUONE		LÄMPÖLTI KATTILAPANNAN	
		TULO INKOM.	SUUTIN MUNST.	TULIPESA ELDSTAD	O ₂ / CO ₂	CO	NO _x	LÄMPÖT. TEMP.	NOKKIKUVA SOTBLD	VERK- NINGSGR.	PÄNN- RUM	LUFT- SPJALL	TEHO/EFFEKT kW
	gal/h	bar	bar	mbar	%	ppm	°C	BH	%	°C	°C	°C	
	10	21.5	12.917	4.3	12.95	375	82.7						4345

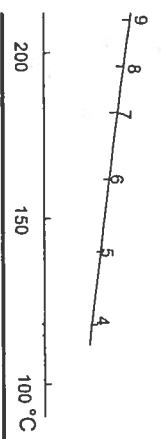
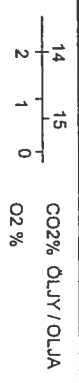
ENERGIAMITTAUS: HYÖTYSUHDE ENNEN _____ % POLTIMEN VAIHTO KATTILAN VAIHTO HYÖTYSUHDE JÄLKEEN _____ %
 ENERGIAMÄÄNTÄ: VERKININGSGRAD FÖRE _____ % BRÄNNARBYTE PANNBYTE BRÄNNAR- OCH PANNBYTE VERKININGSGRAD EFTER _____ %
 KATTILATERMOSTAATTI / PANNTERMOSTAT _____ °C KATTILAN LÄMPÖTILIAN RAJOITIN / PANNTEMPERATUR-BEGRÄNSARE _____ °C

4345

testo 327-1
V1.17 01957163/FIN
08.12.2011 14:07:01
Polttoaine Kevyt öljy
O2 ref. 3.0 %
CO2 max 15.4 %

Savukaasu
379.6 °C Svkn °C
12.25 % CO2
17.1 % Svkn häviö
17.2 % qA 1
1.26 Lambda
4.3 % O2
58 ppm CO
73 ppm CO x Lambda
hPa Veto
18.9 °C Palamisilma
82.7 % η netto
0 ppm Ymp. CO
48.6 °C Kastepiste
21.0 % Tuloilman O2

Nokiluku
Keskiarvo
Palamaton HC
SVL



KUNDE 0840827F/ISE

$c_p(CO_2, T=400^\circ C)$
49 J/molek

$M_{CO_2} = 44.01 kg/kmol$

49 J/molek
44.01 kg/kmol

1.11 J/gK

1.1 kJ/kgK