



PALAMISILMAN KOSTUTTIMEN KÄYTTÖ KAUKOLÄMMÖN TUOTAN- NOSSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2023

Hermann Haponen

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Hermann Haponen

Palamisilman kostuttimen käyttö kaukolämmön tuotannossa

Energiatekniikan kandidaatintyö

2023

24 sivua ja 7 kuvaa

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Avainsanat: kaukolämpö, palamisilman kostutin, savukaasupesuri, märkäpesuri

Tämän kandidaatintyön tarkoitus on perehdyttää lukija kaukolämmön tuotantoon ja sen yhteydessä käytettävän palamisilman kostuttimen rakenteeseen ja sen toimintaperiaatteeseen. Työssä sivutaan samoilta osin myös savukaasupesuria, sillä se liittyy kostuttimen käyttötarkoituksiin.

Lisäksi tavoitteena on arvioida Savon Voima Oyj:n Suonenjoen lämpökeskuksella toimivan palamisilman kostuttimen tuoma taloudellinen hyöty mittausdatan perusteella. Myös kostuttimen käytöstä aiheutuneita korroosio-ongelmia käsitellään ja verrataan niiden aiheuttamia haittoja ja kustannuksia kostuttimen tuomiin hyötyihin. Referenssilaitoksen palamisilman kostuttimen aiheuttamia huoltokustannuksia arvioidaan vertaamalla kuluja keskenään toisen samanlaisen laitoksen kanssa, jota ei ole varustettu palamisilman kostuttimella.

Työn lopputuloksena saadaan selville suuntaa antavat arviot kostuttimen käytöstä seuraneista säästöistä sekä kunnossapidon kustannuksista. Viikon mittaisten mittausjaksojen myötä saatavat säästöt eivät ole absoluuttisia, kuten eivät myöskään huoltokustannukset, sillä kostutinta ei ole koskaan käytetty vuoden ympäri. Tämän myötä päätös kostuttimen käytöstä on tehtävä tapauskohtaisesti sen hetkistä tilannetta seuraten.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Hermann Haponen

Combustion air humidifier in district heat production

Bachelor's thesis

2023

24 pages and 7 figures

Examiner: Professor Esa Vakkilainen

Keywords: district heating, combustion air humidifier, flue gas scrubber, wet scrubber

The target of the thesis is to familiarize the reader with district heat production and the structure and use of combustion air humidifier used in it. Flue gas scrubber is also discussed in the text because it is strongly related to the combustion air humidifier.

The work also aims to estimate the economical benefits of the use of the combustion air humidifier in the Savon Voima Oyj Suonenjoki district heat production centre by analysing the measurement data. Corrosion problems caused by the humidifier are also discussed and the resulting disadvantages are compared to the benefits brought by the humidifier. The maintenance costs of the Suonenjoki district heat production centre combustion air humidifier are evaluated by comparing the overall costs with similar production centre equipped without a combustion air humidifier.

As the final result of the thesis the indicative savings and maintenance costs caused by the use of the combustion air humidifier are found out. Due to the measurements which were only week long periods the values of the savings aren't absolute as well as the maintenance costs, because the humidifier has never been used the whole year long. Because of that, the decision of its use must be done on a case-by-case basis noticing the current situation.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
2	Savon Voima Oyj	6
2.1	Savon Voiman historia	6
2.2	Nykytilanne	7
3	Kaukolämpö	8
3.1	Kaukolämmön periaate	8
3.2	Kaukolämmön edut	8
3.3	Kaukolämpö Suomessa	9
4	Savukaasupesuri	12
4.1	Savukaasupesurin toimintaperiaate	12
4.2	Savukaasupesurin rakenne	13
5	Palamisilman kostutin	15
5.1	Kostuttimen toimintaperiaate	15
5.2	Rakenne.....	16
5.3	Kostuttimen aiheuttamat ongelmat	17
6	Kostuttimen kannattavuuden laskenta	18
7	Kostuttimen aiheuttamat haitat Suonenjoen lämpökeskuksella	19
8	Johtopäätökset	23
	Lähteet	24

1 Johdanto

Vallitsevan energiakriisin kynnyksellä on tärkeää keskittyä säästämään energiaa. Energiansäästöön on olemassa paljon erilaisia ratkaisuja, mutta hyötysuhteen parantaminen on kiistatta yksi parhaista. NykYTEknologia mahdollistaa erilaisia sovellutuksia hyötysuhteen parantamiseen, ja yksi näistä on savukaasupesuri. Savukaasupesuri vähentää päästöjä sekä ympäristöön kohdistuvaa rasitusta puhdistamalla savukaasuja ja ottamalla niistä muuten hukkaan menevän lämmön talteen. Täten hyötysuhde paranee, ja saman energiamäärän tuottamiseen tarvitaan vähemmän polttoainetta kuin ennen. Savukaasupesurin lämmöntalteenottoa voidaan tehostaa käyttämällä sen yhteydessä palamisilman kostutinta.

Savon Voima Oyj:n Suonenjoen lämpökeskuksen savukaasupesuria ja kostutinta on käsitelty aiemmin sen toiminnan ja optimaalisen käytön kannalta. Pesuri on kannattava sijoitus lämpöä tuottavalle yhtiölle, sillä sen takaisinmaksuaika on pääsääntöisesti lyhyt. Edellisessä tutkimuksessa kostuttimen tuomaa lisäetua tutkittiin prosentuaalisesti, mutta sen taloudellista kannattavuutta ei kuitenkaan ole laskettu.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on perehdyttää lukija kaukolämmön tuotantoon sekä arvioida Suonenjoen lämpökeskuksen palamisilman kostuttimen tuomia hyötyjä ja haittoja. Kostuttimen tuottama säästö on tarkoitus selvittää analysoimalla tuotettua mittausdataa. Lopputuloksena on tarkoitus saada selville, onko jo asennetun kostuttimen tuoma säästö suurempaa kuin sen ylläpitoon liittyvät kulut.

2 Savon Voima Oyj

Savon Voima Oyj on perinteikäs, ja pitkän historian omaava energiayhtiö, jonka päätoiminen toimipiste on Pohjois-Savon alueella. Tässä luvussa käsitellään yrityksen historiaa, rakennetta, sekä sen tarjoamia palveluja.

2.1 Savon Voiman historia

Savon Voiman historia juontaa juurensa aina vuoteen 1947 saakka. Sotien jälkeen nopeasti sähköistyvä Pohjois-Savon maakunta tarvitsi sähköä, ja Savon Voima luotiin täyttämään tämä tarve. Yhtiö tuotti sähköä, sekä sähköisti maakuntaa laajentamalla sähköverkkoja maaseuduille. Aluksi sähköä tuotettiin hyödyntämällä paikallisia sähkölaitoksia, mutta omatkin voimalaitokset ovat kuitenkin olleet mukana yhtiön toiminnassa jo sen alkua ajoista. Muutaman vuosikymmenen jälkeen, vuonna 1975, toiminta laajeni kaukolämpöön. Näiden toimintojen lisäksi yhtiö vastaa nykyään sähkönsiirrosta, sekä sähköverkon ylläpidosta ja sen kehittamisestä. Sähköverkosta vastaava Savon Voiman tytäryhtiö, Savon Voima Verkko, on Suomen kuudenneksi suurin sähköverkkoyhtiö. (Savon Voima Oyj.)



Kuva 1. Savon Voima Oyj:n rakenne (Savon Voima Oyj)

2.2 Nykytilanne

Savon Voima on eteenpäin pyrkivä energia-alan yhtiö, joka pyrkii tuottamaan luotettavia ja kestäviä palveluja samanaikaisesti liiketoimintaansa kehittäen. Savon Voima työllisti 207 henkilöä vuonna 2021. Lisäksi alihankkijoita työllistetään läpi vuoden. Suurimmillaan työllistäminen on kuitenkin kesähuoltojen aikana.

Yhtiön eteenpäin suuntautuneesta asenteesta kertoo uudet investoinnit energia-alaan. Vuonna 2015 yhtiö laajensi toimintaansa Joroisiin ostamalla paikallisen kaukolämpöverkon sekä tuotantolaitokset. Myös kaksi vesivoimalaa siirtyi yhtiön omistukseen. Vuonna 2020 Savon Voiman liiketoiminta laajentui Pohjois-Karjalan Joensuuhun ostamalla Fortumilta paikallisen kaukolämpöverkon, varalämpökeskukset sekä sähkön- ja lämmöntuotantoon kykenevän voimalaitoksen. Savon Voimalla on myös osuuksia useista energiapalveluyhtiöistä, joiden kautta Savon Voima omistaa välillisesti muun muassa osan toteutuksen alla olevasta Lestijärven tuulipuistosta. (Savon Voima Oyj.)

3 Kaukolämpö

Kaukolämmön historia juontaa juurensa aina vuoteen 1622 saakka. Tällöin hollantilainen keksijä, Cornelius Drebbel kehitti idean lämpimän veden jakelusta verkoston avulla. Idea ei kuitenkaan saanut silloin nostetta siipiensä alle, ja ensimmäinen kaupallinen kaukolämpöjärjestelmä käynnistyi vasta yli 250 vuotta alkuperäisen periaatteen keksimisen jälkeen, vuonna 1877. (Koskelainen et al. 2006.)

3.1 Kaukolämmön periaate

Kaukolämpö ei ole suuremmin muuttunut vuosien saatossa, vaikka periaate täyttikin juuri 400 vuotta. Tärkein piirre kaukolämmön tuotannossa on lämmön keskitetty tuotanto ja sen jakelu lämpimän veden avulla. Tämä lämpö tuotetaan polttamalla polttoainetta suuressa polttokattilassa. Polttoainetyyppejä on monia, ja polttoaineen valinta riippuu valitusta kattilatyypistä, sillä polttoaineet ovat hyvinkin erityyppisiä keskenään ja usein vaativat erilaisia varastointiin, kuljetukseen sekä polttoon liittyviä erityistoimia. Palaessaan polttoaineen alkuaineet muodostavat uusia yhdisteitä eksotermisin reaktion, eli vapauttaen lämpöä. Polttoaineen kemiallinen energia muuttuu siis lämmöksi, ja tämä vapautuva lämpö siirtyy kattilassa kiertävään veteen. Tuotantopaikalta se jaetaan asiakkaalle kaukolämpöverkostoa pitkin, ja asiakkaan luona lämpö siirretään lämmönvaihtimen avulla kiinteistön käyttöön, eli käyttöveden sekä kiinteistön lämmitykseen.

3.2 Kaukolämmön edut

Kaukolämpö on asiakkaalle huoleton ja toimintavarma lämmitysratkaisu. Keskitetty tuotanto luo mahdollisuuksia, sillä enää kiinteistön lämmityksestä ei tarvitse huolehtia itse, toisin kuin asuntokohtaisessa lämmityksessä. Tällöin myös polttoaineen hankkiminen tai

tuottaminen on ollut omalla vastuulla. Nykypäivän automatisoitu lämmönvaihdin optimoi lämmityksen, joten lämmön säätelykin hoituu itsestään.

Keskitetty tuotanto vaikuttaa myös alentavasti päästöjen määrään. Esimerkiksi puuta poltettaessa on energiatehokkuus parempaa suurissa yksiköissä poltettaessa verrattuna yksittäiseen kiinteistöön (Energiateollisuus ry, 2022). Täten energiaa saadaan hyödynnettyä paremmin ja tiettyä lämpö määrää kohden tarvitsee käyttää vähemmän polttoainetta hyötysuhteen ollessa parempi. Myös polttoaineen kuljetus on keskitettyä, ja sitä voidaan kerralla tuoda suurempia määriä. Tämä vähentää osaltaan polttoaineen hankintaan liittyviä päästöjä. Keskitetyssä poltossa päästöjen vähentäminen on yksinkertaista, sillä jokaisen kaukolämpöverkossa olevan asiakkaan lämmön tuottamisesta aiheutuvat päästöt käsitellään jo tuotantopaikalla. Keskitetyssä lämmöntuotannossa päästöjen tuottaminen on valvottua ja säädeltyä toimintaa, toisin kuin yksityisesti tapahtuvassa poltossa.

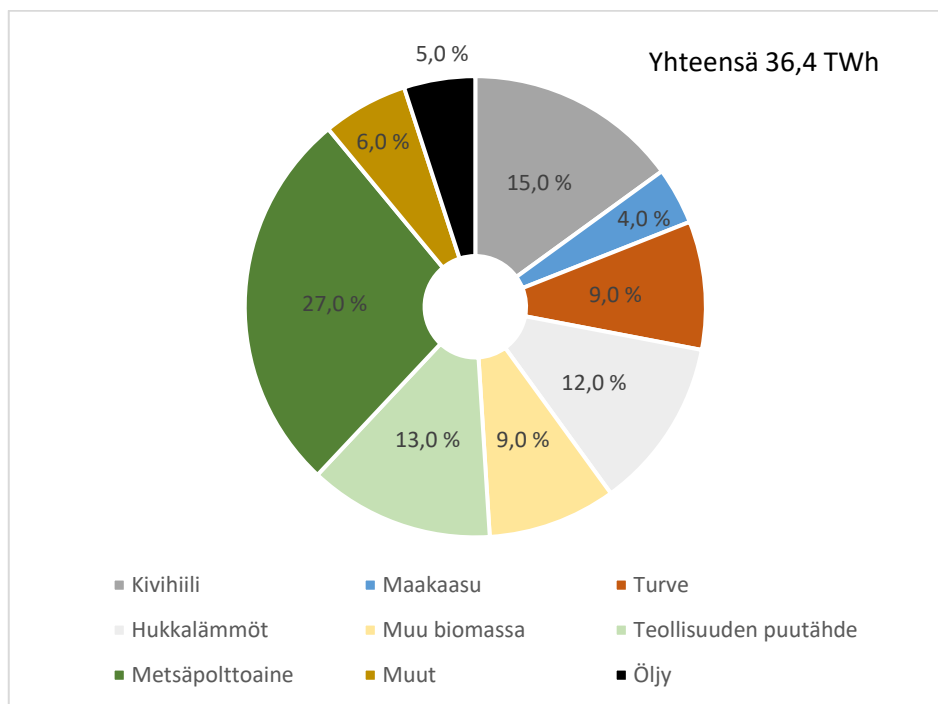
Usein kaukolämmön tuotannossa myös hyödynnetään sähköntuotannossa muuten hukkaan menevän lämmön osuus, joten tällä voidaan parantaa energiantuotannon kokonaisyötysuhdetta.

3.3 Kaukolämpö Suomessa

Suomessa kaukolämmön tuotanto tapahtuu monipuolisilla polttoaineilla (kuva 2). Hukkalämpö ja uusiutuvat polttoaineet muodostavat yhdessä yli 60 % kaukolämmön tuotannossa käytettävistä energialähteistä. Kaukolämmön tuotanto on vahvalla pohjalla, ja kaukolämpöverkkoja onkin Suomessa yli 175 kunnan alueella. (Energiateollisuus ry, 2023.)

Suomen lämmöntuotanto koostuu kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotannosta. Kaukolämpöä voidaan tuottaa erillistuotantona, jossa tarkoituksena on tuottaa pelkkää lämpöä kaukolämpöverkkoon. Jos lämmöntuotannon ohessa tuotetaan sähköä, on kyseessä CHP, eli sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Tässä tuotantomuodossa hyötysuhde on parempi kuin erillistuotannossa, hyötysuhteen ollessa jopa 90 %. Sähkön erillistuotannossa suuri osa polttoaineen energiasta siirtyy höyryä lauhduttavaan nesteeseen. Yhteistuotannossa tämä lauhdutus voidaan toteuttaa siirtämällä energia kaukolämpöverkkoon, täten parantaen kokonaisyötysuhdetta.

Vuonna 2022 Suomen kaukolämmön tuotanto oli 36,4 TWh, joka on 2,7 TWh vähemmän kuin edellisenä vuonna. Kaukolämmön tuotannon määrä riippuu kysynnästä, joka taas riippuu pitkälti lämmityskauden pituudesta ja ulkolämpötiloista. Kylmillä säillä tuotantoa vaaditaan enemmän, ja kylmät talvet näkyvätkin selvinä piikkeinä kaukolämmön tuotantomäärissä.



Kuva 2. Suomen KL-tuotannon energialähteet vuonna 2022 (Energiateollisuus ry, 2023)

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Vuonna 2020, kaikista Suomen asuin- ja palvelurakennuksista 45 % lämpeni kaukolämmön avulla. Myös uudisrakentamisessa kaukolämpö oli suosituin, sillä 50 % uusista rakennuksista päätyi lämpenemään kaukolämmöllä. Kaukolämpö on hyvä lämmitysmuoto taajamissa ja kaupungeissa, sillä näin vältetään turhan pitkien kaukolämpöverkkojen rakentaminen ja turhat lämpöhäviöt. Tulevaisuudessa uusiutuvien energiamuotojen sekä hukkalämpöjen osuus kaukolämmön tuotannossa tulee varmasti yhä kasvamaan, sillä niitä hyödyntämällä voidaan energiantuotannosta aiheutuvia päästöjä vähentää. Myös kivihiilen käytön lopetus 2020-luvun loppuun mennessä tulee vaikuttamaan kaukolämmön energialähteisiin. Vuodesta 2010 lähtien hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämmön energialähteenä onkin kolminkertaistunut, ja hukkalämmön

talteenoton kehittyessä sen osuus lienee yhä kasvavan (Energiateollisuus ry, 2022). Koska sähkön tarve nyky-yhteiskunnassa on välttämätön, on CHP-laitoksia käyttämällä hyvä hyödyntää sähköntuotannossa muuten hukkaan menevä lämpö ja käyttää se kaukolämmön tuotantoon.

4 Savukaasupesuri

Etenkin tällä hetkellä on tärkeää säästää energiaa ja tuottaa sitä niin tehokkaasti kuin mahdollista. Myös energiantuotannon päästöt ovat olleet puheenaiheena ilmaston lämpenemisen vuoksi. Savukaasupesurilla on mahdollista vaikuttaa edellä mainittuihin ongelmiin, sillä sen avulla saadaan tuotettua sama määrä energiaa huomattavasti pienemmällä polttoainemäärällä kuin ennen, huolehtien samalla savukaasujen tehokkaasta puhdistamisesta.

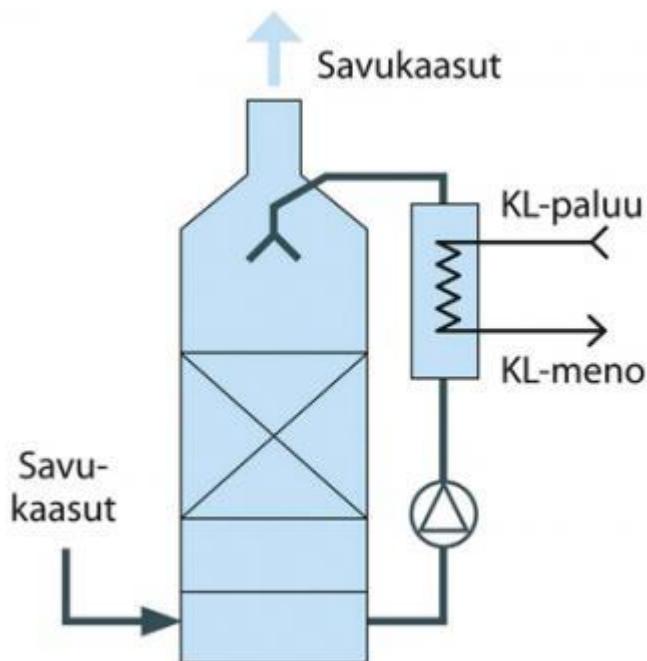
4.1 Savukaasupesurin toimintaperiaate

Savukaasupesurilla, eli märkäpesurilla on kaksi tehtävää, savukaasujen puhdistus sekä hukkalämmön talteenotto. Alun perin savukaasupesurin kehitystyö alkoi päästöjen vähentämisestä, mutta nyt kehityksessä on siirrytty enemmän pesurin toiseen tehtävään, eli hukkalämmön talteenottoon ja sen tehostamiseen (Promaint-lehti, 2014). Savukaasupesuri on kuitenkin myös hyvä lisä savukaasujen puhdistukseen, sillä sen erotusaste on esimerkiksi sähkösuodatinta parempi. Pesurin erotusaste 0,5 mikrometrin kokoisissa hiukkasissa on 90 % ja tätä suuremmissa hiukkasissa 98 % - 100 % (Huhtinen et al. 2000, 256).

Savukaasupesurin lämmöntalteenotto perustuu savukaasujen viilentämiseen toisella, savukaasuja viileämmällä virralla. Tyypillisesti viilentävä virta on epäsuorasti kaukolämpöverkon paluuvesi. Savukaasuja viilentäessä savukaasujen vesihöyryn suhteellinen kosteus kasvaa. Suhteellisen kosteuden saavuttaessa 100 %, alkaa vesihöyry lauhtua ja luovuttaa latenttilämpöänsä viilentävään nesteeseen. Neste kierrätetään sitten lämmönvaihtimelle, jossa sen lämpö saadaan siirrettyä haluttuun piiriin. Mitä viileämpää vesi on, sitä enemmän saadaan savukaasuja viilennettyä ja vesihöyryä lauhdutettua. Myös savukaasujen kosteus vaikuttaa kastepisteeseen, sillä kosteampi savukaasu alkaa lauhtua jo korkeammassa lämpötilassa. Kastepistelämpötilan alittaminen pesurissa on tärkeää, sillä kosteuden lauhtuessa vapautuva lämpö on paljon suurempaa kuin pelkästään savukaasujen viilenemisestä saatava lämpö (Promaint-lehti, 2014).

Savukaasupesurin savukaasujen puhdistus perustuu veden ja savukaasujen väliseen kontaktiin. Savukaasujen suuren virtausnopeuden, tai pesurissa käytetyn veden suuren ruiskutusnopeuden myötä vesi hajoaa pieniksi pisaroiksi. Pisarat agglomeroituvat savukaasun hiukkasten kanssa, eli ne muodostavat keskenään tasakokoisia partikkeleita. Partikkelien kulku pesurissa eteenpäin estetään pisaranerotimien avulla. Veden ja savukaasujen hiukkasten muodostama jätevesi käsitellään erilaisten vedenpuhdistamien sekä kemikaalien avulla. (Huhtinen et al. 2000, 255.)

Kuvassa 3 on esitetty yksinkertaistettu savukaasupesurikytkentä. Kuva havainnollistaa savukaasujen kulkua pesurissa sekä lämmöntalteenoton toimintaa.



Kuva 3. Savukaasupesurikytkentä yksinkertaisimmillaan (Promaint-lehti, 2014)

4.2 Savukaasupesurin rakenne

Pesurissa on kaksi vaihetta, joista ensimmäisessä tapahtuu savukaasujen puhdistus sekä niiden jäädytys. Pesurin tuloyhteessä savukaasu jäädytetään märkälämpötilaan. Märkälämpötilan saavuttaminen parantaa pesuvaiheen toimintaa. Tämän jälkeen savukaasu siirtyy ensimmäiseen vaiheeseen, eli pesuvaiheeseen, ja siinä syntynyt lauhde siirretään

pinnanmittauksen ohjaamana lauhteenkäsittelyyn. Polttoaineessa olevien rikki- ja happipitoisuuksien vuoksi savukaasuihin muodostuu erilaisia syövyttäviä yhdisteitä, jonka vuoksi pesurin täytyy olla rakennettu haponkestävästä materiaalista. Seuraavaksi savukaasut kulkevat pisaranerotimien läpi toiseen vaiheeseen, jossa tapahtuu savukaasuissa olevan vesihöyryn lauhtuminen. Vesihöyry lauhtuu savukaasuihin nähden vastavirtaan kulkevaan kiertoveteen. Lämmönsiirtoa tehostetaan täytekappalekerroksella. Lauhde siirtyy toisesta vaiheesta lämmönvaihtimelle, josta lämpö saadaan siirrettyä haluttuun piiriin. Näiden vaiheiden jälkeen savukaasu kulkee toisen pisaranerotimen läpi ja poistuu savupiipun kautta ulkoilmaan. Poistuvan savukaasun lämpötila riippuu sitä viilentävän virran lämpötilasta. Savukaasupesurin optimaalisen toiminnan kannalta kastepistelämpötilan on tärkeää alittaa pesurin toisessa vaiheessa, sillä tällöin lauhtumisesta saatava latenttilämpö alkaa vapautua. Jos kastepistettä ei saavuteta lämmöntalteenottovaiheessa, lämmön talteenotto kyky romahtaa.

Käyttämällä savukaasupesurin yhteydessä teollisuusluokan lämpöpumppua on mahdollista pienentää savukaasuja jäähdyttävän virran lämpötilaa ja täten parantaa lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. Lämpöpumpulla kaukolämmön paluvedestä siirretään lämpöenergiaa pesurin ohi. Tämän kytkennän avulla savukaasut jäähtyvät matalampaan lämpötilaan, ja savukaasujen kastepiste on mahdollista saavuttaa, vaikka verkon kuormitusaste ja paluveden lämpötila olisivat korkeita. Lämpöpumppukytkennässä pesurin ohi siirretty energia siirretään takaisin kaukolämpöverkkoon. (Promaint-lehti, 2014.)

5 Palamisilman kostutin

Kostutin on savukaasupesurin yhteyteen liitettävä komponentti, jonka avulla voidaan parantaa lämmöntalteenottoa. Kostutin on erityisen hyödyllinen silloin, kun kaukolämmön tuotannon osatekijät, kuten polttoaineen kosteus tai verkon kuormitusaste rajoittavat lämmön talteenottoa pelkän savukaasupesurin avulla. Kostutin on suhteellisen yksinkertainen komponentti, ja sen käyttö on mahdollista käytännössä kaikilla polttoaineilla. (Condens Heat Recovery.)

5.1 Kostuttimen toimintaperiaate

Kuivia polttoaineita poltettaessa savukaasuihin sitoutuu vain vähän kosteutta, jonka seurauksena savukaasujen vesihöyryn osapaine jää pieneksi. Täten savukaasujen absoluuttinen kosteus on alhainen, ja suhteellinen kosteus saavuttaa arvon 100 % vasta hyvin alhaisessa lämpötilassa. Täten pesurista saatava hukkalämpöenergia jää pieneksi sen koostuessa ainoastaan savukaasujen jäähtymisestä, eikä faasimuutoksesta.

Kostuttimella voidaan kostuttaa palamisilmaa. Kostutettu palamisilma kulkee kattilan läpi aivan normaalisti ja savukaasupesurilla huomataan kostuttimen merkitys. Kostutus nostaa savukaasujen absoluuttista kosteutta ja täten savukaasujen viilentyessä 100 % suhteellinen kosteus saavutetaan jo korkeammassa lämpötilassa. Näin faasinmuutos alkaa jo korkeammassa lämpötilassa, ja lämpö voidaan ottaa talteen jo korkeammalla lämpötilatasolla verraten pelkällä savukaasupesurilla toimimiseen, olettaen jäähdyttävän nestevirran olevan samassa lämpötilassa.

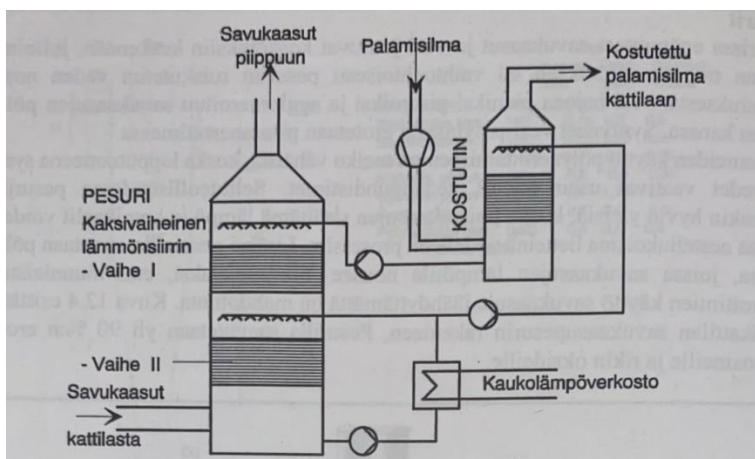
Kastepisteen kohottamisen lisäksi kostuttimen avulla pystytään pienentämään latenttilämmön vastaanottaman nestevirran lämpötilaa, sillä palamisilman kostutus tapahtuu käyttämällä pesurin lauhdevettä. Lauhdevesi lämmittää ja kostuttaa palamisilmaa, jonka jälkeen viilennyt lauhde siirretään edelleen pesurin yläosaan, jossa se voi alemman lämpötilatasonsa vuoksi ottaa yhä vastaan lämpöenergiaa savukaasuista. Tällaisella kytkennällä on savukaasuja mahdollista jäähdyttää kaukolämmön paluuvettä alhaisempaan lämpötilaan.

Kaukolämmön tuotannossa pesurista saatava lämpöenergia siirretään tyypillisesti kaukolämmön paluuveteen. Täten paluuveden lämpötila määrittää hukkalämmöstä hyödyksi saatavan lämpöenergian. Etenkin suuren kaukolämpökuorman sekä kovien pakkasten aikana on kaukolämmön paluuveden lämpötila korkea, johtuen etenkin kotitalouksien lämmönvaihtimien huonoista hyötysuhteista (Promaint-lehti, 2014). Täten lämmön talteenottokyky heikkenee, ja suuri osa hyödynnettävissä olevasta hukkalämmöstä menetetään. Tällaisissa tilanteissa kostuttimen käytöstä on eniten hyötyä.

5.2 Rakenne

Kostuttimessa palamisilma johdetaan kostuttimen alaosaan, josta se kohoaa ylöspäin. Pesurilta johdettu lämmönvaihtimella viilennetty lauhdevesi johdetaan kostuttimen yläosaan, josta se levitetään suuttimien avulla kostuttimen poikkipinnalle. Lauhdevesi kulkeutuu ylhäältä alaspäin, eli vastavirtaan palamisilmaa kohden. Kosteuden ja lämmön siirtyminen palamisilmaan tapahtuu täytekerroksessa. Täytekerroksien on tärkeää mahdollistaa tehokas lämmönsiirto mahdollisimman pienellä painehäviöllä. Kostutuksen ja lämmityksen jälkeen palamisilma siirtyy jälkilämmittimen kautta palamisprosessiin. Edelleen jäähtynyt lauhdevesi taas siirretään savukaasupesurin jälkimmäiseen vaiheeseen, jossa se voi yhä jäähdyttää savukaasuja.

Kuvassa 4 on esitetty savukaasupesurin yhteyteen liitetty palamisilman kostutin. Kuva havainnollistaa kytkentää sekä kostuttimen vaikutusta viilentävän virran lämpötilaan.



Kuva 4. Savukaasupesuriin kytketty palamisilman kostutin (Huhtinen et al. 2000, 256.)

5.3 Kostuttimen aiheuttamat ongelmat

Kostutin nimensä mukaisesti lisää kosteutta, ja kaikki tästä kosteudesta ei siirry suoraan kattilan läpi savukaasupesurille. Osa kosteudesta voi tiivistyä palamisilma-, kiertokaasu- tai savukaasukanavien kylmille ja eristämättömille pinnoille ja aiheuttaa korroosiota. Tämän vuoksi esimerkiksi juuri kostuttimen jälkeen on tärkeää lämmittää palamisilmaa, jotta kosteus ei ala heti tiivistymään kanaviin lämpötilan laskun myötä.

Kostuttimen käyttö liian suurella polttoaineenkosteudella voi johtaa lisääntyneen korroosion lisäksi myös kattilan likaantumiseen ja sen käyttöajan alenemiseen. Edellä mainitut asiat aiheuttavat huoltotarpeen lisääntymistä ja täten myös käyttökustannuksien nousemista. Tämän vuoksi kostutinta ei tule käyttää polttoaineen kosteuden ylittäessä sille suositeltua arvoa, eli 52 m-%.

6 Kostuttimen kannattavuuden laskenta

Palamisilman kostuttimen käyttö lämmöntuotannossa lisää lämmöntalteenoton hyötysuhdetta ja parantaa näin myös kokonaishyötysuhdetta. Täten tietyn energiamäärän tuottamiseen tarvitaan vähemmän polttoainetta kuin yleensä, joten säästö syntyy polttoainekustannuksista. Kun poltetaan vähemmän polttoainetta, syntyy myös vähemmän päästöjä. Kostuttimen yhteydessä käytettävä savukaasupesuri lämmöntalteenoton lisäksi myös pesee, eli puhdistaa savukaasuja, joten hyötyä saadaan monella sektorilla. Kostutin kuitenkin lisää kosteutta prosessin eri vaiheissa, ja jatkuva kosteudelle altistuminen aiheuttaa korroosiota rakenteissa. Korroosiosta aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia huoltotoimenpiteiden sekä varaosien muodossa. Korroosiosta voi aiheutua myös laiterikkoja, jonka vuoksi kaukolämpö on korjauksen ajan tuotettava kalliimmalla, vaihtoehtoisella polttoaineella. Kostuttimen käyttö on taloudellisesti järkevää, jos kostuttimen tuottamista säästöistä jää kunnossapitokustannusten jälkeen vielä reilusti rahaa jäljelle. Jos taas kostuttimen aiheuttamat kunnossapitokustannukset ylittävät kostuttimen tuoman säästön, tuo kostutin enemmän haittaa kuin hyötyä ja sen käytössä ei ole taloudellisesti järkeä.

Kostuttimen kannattavuutta tutkittiin Suonenjoen lämpökeskuksella. Kattilana toimii tehoaan 8 MW kekoarina, jossa käytettävä polttoaine koostuu hakkeesta, sahanpurusta sekä turpeesta. Kostuttimen kannattavuuden määrittämiseksi tutkittiin savukaasupesurin tehon osuutta verrattuna kokonaistehoon. Kostutin tehostaa pesurin lämmöntalteenottoa, joten kostuttimen ollessa käytössä on hukkalämpöä hyödyntävän pesurin osuus kokonaistehosta suurempi. Mittausten aikana tutkittiin myös pesurin toimintaan vaikuttavia parametreja, kuten savukaasujen lämpötilaa, kaukolämpöverkon paluueden lämpötilaa sekä polttoainekosteutta. Laskennassa käytettävä data on kerätty Suonenjoen lämpökeskukselta ajanjaksolla 21.11 – 5.12.2022. Datan perusteella arvioitiin kostuttimen tuomia taloudellisia hyötyjä.

7 Kostuttimen aiheuttamat haitat Suonenjoen lämpökeskuksella

Vaikka kostuttimen käytöstä olisikin hyötyä, on sen käytöllä myös negatiivisia seurauksia. Mittausjakson aikana esimerkiksi huomattiin, että kostutin lisää savukaasujen määrää ja täten savukaasupuhallinta joudutaan käyttämään kovemmalla teholla. Näin ollen kovien kattilatehojen aikana savukaasujen määrän ollessa suuria voi savukaasupuhallin olla rajoittava tekijä kostuttimen käytölle. Kostutusprosessiin kuuluu myös palamisilman lämmitys, ja referenssilaitoksella lämmitys tapahtuu kattilavedellä, joka on lämmitetty biopolttoaineella. Vaikka palamisilman lämmityksessä ilmaan sitoutunut lämpö toisaalta kiertää prosessiin ja lämmittää siellä osaltaan kattilavettä, kaikki prosessit ovat häviöllisiä ja palamisilman lämmityksessäkin häviöitä syntyy. Jos lämmitys tapahtuisi savukaasujen avulla, ei häviöillä olisi niin merkitystä, mutta koska tässä tapauksessa lämmitykseen tarvittava energia on alun perin lähtöisin biopolttoaineesta, on varsinkin pidemmällä ajanjaksolla tarkasteltuna häviöillä merkitystä.

Palamisilman ollessa kosteampaa on ilman kastepiste korkeampi ja vesi alkaa tiivistyä jo korkeammassa lämpötilassa. Tämän vuoksi lämmitystä käytetään, jotta kostutukseen käytetty vesi ei heti tiivistyisi vastaantuleville pinnoille. Tiivistymiselle eniten alttiita ovat kuitenkin kylmät kappaleet, sillä niiden pinnalle tiivistyy kosteutta jatkuvasti. Esimerkiksi polttoaineen syöttöputken ulkopinta on muuta ympäristöä kylmemmässä lämpötilassa, sillä sen sisällä kulkeva polttoaine on lähes ulkoilman lämpötilassa. Talvella polttoaineen mukana on myös jäätä sekä lunta. Näistä tekijöistä aiheutuva paikallinen kylmempi lämpötila saa aikaan kosteuden tiivistymisen putken pinnalle (kuva 5). Jatkuva kosteudelle altistuminen saa aikaan korroosiota.



Kuva 5. Polttoaineen syöttöputken ulkopinnan korroosio (Jari Morko, Savon Voima Oyj)

Toimintaperiaatteensa vuoksi kekoarina vaatii paljon toimilaitteita, joilla palamisprosessia säädetään ja ylläpidetään. Osa näistä laitteista sijaitsee arinan alapuolella. Kattilassa vallitsevien olosuhteiden vuoksi toimilaitteiden moottorit on sijoitettu kattilan ulkopinnalle, jonka seurauksena voimansiirtoakselit on jouduttu viemään läpi kattilan rakenteesta. Akselit kulkevat osittain palamisilmakanavissa, joten ne ovat alttiita kostealle palamisilmalle ja kattilan sisällä vallitseville lämpötiloille (kuva 6). Tämä aiheuttaa kulumista voimansiirron laakereissa sekä rattaissa. Kunnossapidon aikana on huomattu, että laakereita sekä arinakehien kannattimia joudutaan vaihtamaan lähes kaksinkertaisella tahdilla verrattuna vastaavaan laitokseen, jossa ei palamisilman kostutinta ole käytössä. Mahdollisen laiterikon sattuessa täytyy kattila ajaa alas korjauksen vuoksi, ja tällöin lämpö on tuotettava jollain muulla tavalla. Äkilliset huollot maksavat myös paljon ja toissijaiset lämmöntuotantotavat ovat kalliimpia.



Kuva 6. Voimansiirtoakseli primääri-ilmakanavassa (Jari Morko, Savon Voima Oyj)

Suonenjoen laitoksella kattilan kylkeen tuleva kiertokaasukanava on tukittu, sillä kiertokaasu oli vaurioittanut kattilan runkorakenteita. Pidemmällä ajanjaksolla kyseisen kanavan käyttö voisi olla kohtalokasta ja vaikuttaa kattilan käytettävyyteen. Kiertokaasukanavan alkupää on uusittu muutama vuosi sitten, sillä se oli syöpynyt täyteen pieniä reikiä. Lämpökeskus on valmistunut vuonna 2012, joten samanlaisten kunnostusten tekeminen vastaavalla tahdilla tulee nopeasti kalliiksi. Vastaavanlaisia lämpökeskuksia varustettuna ilman palamisilman kostutinta löytyy esimerkiksi Tiprusniemeltä sekä Toivalasta. Molemmat laitokset ovat valmistuneet ennen Suonenjoen laitosta (2001 & 2009), eikä niissä ole havaittavissa vastaavia kulumia. Esimerkiksi primääri-ilmakanava on Toivalassa paljon paremmassa kunnossa eikä siinä ole huomattavissa vastaavaa metallin hilseilyä (kuva 7).



Kuva 7. Toivalan primääri-ilmakanava ylhäältäpäin (Jari Morko, Savon Voima Oyj)

Palamisprosesseissa on aina korroosiota, sillä olosuhteet ovat vaihtelevat ja palamisessa vapautuu erilaisia yhdisteitä, jotka voivat olla syövyttäviä tai korroosiota nopeuttavia. On kuitenkin huomattava, että kostuttimen käytöllä on ollut vaikutusta korroosion laatuun ja nopeuteen. Kattilassa vallitseviin olosuhteisiin sekä esimerkiksi happokastepisteeseen vaikuttavat kuitenkin monet seikat, kuten käytettävän polttoaineen kosteus, sen alkuainekoostumus sekä palamisolosuhteet, mutta tämän työn laajuuden vuoksi on työssä keskitytty vain kostuttimeen ja sen käytöstä mahdollisesti aiheutuviin muutoksiin olettaen muiden mahdollisesti vaikuttavien tekijöiden olevan vähäisiä.

8 Johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli käsitellä kostuttimen käyttöä kannattavuuden näkökulmasta sekä saada arvio kostuttimen tuomasta nettosäästöstä. Kerätyn datan pohjalta tehdyn analyysin perusteella arvio onnistuttiin luomaan ja kostuttimen tuoma säästö saatiin selville, mutta palamisprosessin kompleksisuuden vuoksi on arvio vain suuntaa antava. Mm. polttoaineen kosteuden vaihdellessa mittausjaksojen välillä, ei pesurin lisääntyneen tehon voida olettaa riippuvan vain kostuttimen käytöstä. Kostuttimen absoluuttista vaikutusta korroosioon on myös vaikea selvittää, sillä palamisprosessiin kulkeutuu kosteutta myös polttoaineen kautta. Korroosion vaihteluita oli kuitenkin mahdollista arvioida vertaamalla tuloksia vastaavaan laitokseen, jossa ei ollut palamisilman kostutinta. Näiden laitosten huoltokustannuksia verratessa pystyttiin erittelemään korroosiolle herkimmät kohdat ja arvioimaan pidemmän aikavälin huoltokustannuksien suuruus.

Tulevaisuudessa tutkimusta voitaisiin jatkaa esimerkiksi tutkien, miten korroosiolle eniten alttiit komponentit voisi suojata tai miten korroosiota näissä paikoissa voisi hidastaa. Kunnossapitokulujen syödessä kostuttimen tuottamia säästöjä saadaan muutamankin komponentin elinikää lisäämällä kostuttimen kannattavuus kasvamaan.

Energia-alan ollessa murroksessa on hyvä olla koko ajan hereillä ja reagoida nopeasti muuttuviin tilanteisiin. Energianhintojen kallistuessa saadaan pienilläkin säästöillä pidemmällä aikavälillä merkittävää säästöä aikaan. Biopolttoaineiden mahdollisten hinnannousujen myötä voi tilanne muuttua nopeastikin. Biopolttoaineen ollessa yhä kalliimpaa muodostuu myös kostuttimen säästöistä suuremmat, huoltokustannusten kuitenkin pysyen tasaisena. Kuitenkin sähkön hinnan vaihdellessa vaihtelee myös kostuttimen operointiin käytettävän sähkön kustannukset. Radikaalien hinnannousujen myötä on sähkön hintakin yksi tarkastelun aiheen omaava tekijä.

Aiemman, vuonna 2014 suoritetun tutkimuksen datan perusteella kostuttimen käytöllä olisi saavutettu suuremmat vaikutukset kuin tässä tutkimuksessa saavutettiin. Tällä aikavälillä laitosta on ajettu normaalisti, mutta laitokseen on kohdistunut myös muutamia suurempia huoltoja. Näiden huoltojen vaikutusta kostuttimen toimintaan ja sen käytön kannattavuuteen olisi hyvä tutkia jatkossa.

Lähteet

- Condens Heat Recovery Oy. Savukaasun puhdistus ja lämmön talteenotto Viitattu 14.12. Saatavissa: <https://www.condens.fi/fi/savukaasun-puhdistus-ja-lto>
- Energiateollisuus ry. 2023. Kaukolämpö. Viitattu 12.1.2023. Saatavissa: <https://kaukolampo.fi/miten-kaukolampo-toimii/>
- Energiateollisuus ry. 2023. Kaukolämpötilastot. Viitattu 2.2.2023. Saatavissa: https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2022.pdf
- Huhtinen et al. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uus. p. Kotka, Edita Oy. ISBN 951-37-3360-2
- Koskelainen et al. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki, Libris Oy. ISBN 952-5615-08-1
- Motiva Oy. 2022. Kaukolämpö. Viitattu 10.11.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo
- Promaint-lehti. 2014. Savukaasupesuri parantaa lämpöyhtiön kannattavuutta. Viitattu 12.12. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Savukaasupesuri-parantaa-lampoyhtion-kannattavuutta>
- Savon Voiman tunnusluvut. Viitattu 10.12.2022. Saatavissa: <https://savonvoima.fi/tieto/savonvoima/raportit/>
- Tietoa Savon Voimasta. Viitattu 13.1.2023. Saatavissa: <https://savonvoima.fi/tietoa/savonvoima/>