

Jaana Kiljander

**KPA-KATTILAN MULTISYKLONIN UUSINTA JA
ÄÄNINUHOINTEN ASENNUS**

KPA-KATTILAN MULTISYKLONIN UUSINTA JA ÄÄNINUOHOINTEN ASENNUS

Jaana Kiljander
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Jaana Kiljander

Opinnäytetyön nimi: KPA-kattilan multisyklonin uusinta ja ääninuohointen asennus

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 56

Opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata vaihe vaiheelta, kuinka toteutetaan KPA-kattilan multisyklonin uusiminen sekä ääninuohointen asentaminen. Multisyklonin uusimisen ja ääninuohointen asennuksen vaikutuksista laadittiin teknistaloudellinen lopputarkastelu sekä dokumentointi yrityksen kunossapitojärjestelmään. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Loimua Oy:n kanssa Kärsämäen kaukolämpölaitoksella.

Lähtökohta hankkeelle oli Kärsämäen kaukolämpöverkoston kasvanut lämpökuorma, jota peruskuormakattilan teho ei yksinään riittänyt kattamaan. Sen vuoksi rinnalla täytyi enenevässä määrin käyttää öljykattilaa. Jotta öljyn käyttöä saataisi vähennettyä, täytyi KPA-kattilan polttokapasiteettia eli kattilatehoa voida nostaa. Polttokapasiteetin rajoittava tekijä oli ahdas multisykloni, joka käytännössä esti muutoin mahdollisen suuremman kattilatehon. Uuden isomman läpivirtauskanavan multisyklonin avulla savukaasun virtausmäärien oletettiin kasvavan, jolloin kattilateho myös olettavasti nousi.

Kattilan likaantuminen oli toinen kattilatehoa sekä käytettävyyttä huonontava tekijä. KPA-kattilassa ei ollut automaattista nuohousjärjestelmää, joten manuaalisia nuohouksia oli tehtävä useita kertoja vuodessa. Manuaalisen huoltotyön aikana öljykattila korvasi KPA-kattilan tuotannon. Ääninuohointen asentamisella pystyttiin oletusten mukaan vähentämään manuaalista, epäkäytännöllistä nuohous työtä, jolloin se vähensi oletettavasti myös öljykattilan käytön tarvetta.

Työn toteutusvaiheen kuvaus perustui toteutuneen hankkeen seurantaan ja raportointiin. Työn vaihe vaiheelta seuraaminen mahdollisti tarkan kuvauksen työn vaiheista. Yrityksen sisäisestä raportointijärjestelmästä saatujen tietojen perusteella pystyttiin analysoimaan hankkeen vaikutuksia ennen hanketta ja oletettavasti hankkeen jälkeen. Hankkeen vaikutuksista tehtyjen oletusten perusteella kattiloiden käyttötarve hieman muuttui, joka vaikutti öljykattilan käytön vähentymiseen. Oletusten mukaan hankkeen vaikutuksesta öljynkulutus vähentyisi vuositasolla noin 7,7 tonnia, joka tarkoittaisi noin 8000 € säästöä vuodessa.

Asiasanat: kaukolämmitys, KPA-kattila, sykloni, multisykloni, ääninuohoin

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Energy Technology

Author: Jaana Kiljander

Title of thesis: Replacement of Multicyclone and Installation of Acoustic Cleaners in Solid Fuel Boiler

Supervisor: Jukka Ylikunnari

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021

Number of pages: 56

The thesis was done in collaboration with Loimua Oy and it describes how to renew a multicyclone and install acoustic cleaners in a solid fuel boiler. The project was implemented at the Kårsämäki district heating plant. The aim of the project was to reduce oil consumption.

The aim of replacing the multicyclone was to increase the power of the boiler, which could reduce oil consumption. The installation of acoustic cleaner was aimed at reducing the need for sweeping, which would lead to a reduction in oil consumption.

The description of the work is based on the monitoring and reporting of the completed project. To determine the expected reduction in oil consumption the results were compared to the numbers from the previous year's heating season. The project is expected to save about 7,7 thousand kilograms of oil per year.

Keywords: District heating, multicyclone, acoustic cleaners

SISÄLLYS

SANASTOA	7
1 JOHDANTO	8
2 LOIMUA OY	9
3 KAUKOLÄMPÖLAITOS KÄRSÄMÄKI	11
3.1 KPA-kattila	11
3.2 POK-kattila	13
3.3 Pellettikattila	14
4 SYKLONI	15
4.1 Vastavirtasykloni	15
4.2 Läpivirtausykloni	17
4.3 Multisykloni	17
5 MULTISYKLONIN UUSINTA	19
5.1 Vanha multisykloni	19
5.2 Uusi multisykloni	23
6 ÄÄNINUOHON	29
6.1 Rakenne	30
6.1.1 Äänigeneraattori	31
6.1.2 Torvi	31
6.2 Paineilmalaitteet ja putkisto	31
6.3 Toiminta	32
7 ÄÄNINUOHOUJÄRJESTELMÄN ASENNUS	33
7.1 Tekniset tiedot	33
7.2 PCG-laitteisto ja paineilmalinjat	34
7.3 Ääninuohoimet	34
7.4 Käyttö	38
8 KUNNOSSAPITO	40
8.1 Multisykloni	40
8.2 Ääninuohoimet	40
9 HANKKEEN TEKNIS-TALOUDELLINEN LOPPUTARKASTELU	43
9.1 Tekninen tarkastelu	43
9.1.1 Hankkeen vaikutukset öljynkulutukseen	47

9.1.2	Hankkeen vaikutukset pelletinkulutukseen	50
9.1.3	Hankkeen vaikutukset KPA-kattilan paine-eroon	51
9.2	Taloudellinen tarkastelu	52
10	POHDINTA	55
	LÄHTEET	56

SANASTOA

bar	paineenyksikkö; baari
KPA-kattila	kiinteän polttoaineen kattila, jossa polttoaineena käytetään nimensä mukaisesti kiinteitä polttoaineita, kuten puuhaketta, sahanpurua, puunkuorta sekä kierrätyspuuta
Ndm ³	tilavuusyksikkö, normikuutiodesimetri
Pa	paineenyksikkö; Pascal
POK-kattila	öljykattila, jossa polttoaineena kevyt polttoöljy
µm	pituusyksikkö, mikrometri

1 JOHDANTO

Jotta voisi olla kilpailukykyinen ja luotettava lämmöntoimittaja, täytyy lämpölaitoksen olla käytettävyydeltä toimintavarma ja hyötysuhteelta hyvä. Se vaatii yritykseltä hyvää toimintastrategiaa ja -suunnitelmaa, investointeja sekä saneerauksia. Myös ilmastopolitiikka on merkittävä tekijä lämmitysmarkkinoilla. Ympäristöasioiden merkitys on kasvanut ja toimenpiteitä ilmastonmuutosta vastaan odotetaan erityisen paljon energia-alalta. Myös kuluttajien odotukset ja tarpeet ympäristö vastuullisesta toiminnasta sekä juuri heille räätälöidyistä palveluista kasvavat. Opinnäytetyön toimeksiantaja Loimua Oy on sitoutunut ilmastotavoitteeseen olla vuoden 2030 hiilineutraali lämmöntuottaja.

Opinnäytetyössä kuvattavan hankkeen lähtökohtana on Kärsämäen kaukolämpölaitoksella sijaitseva KPA-kattila, jonka teho ei nykyisellään riitä kattamaan kasvanutta kaukolämpöverkoston lämpökuormaa. Peruskuormakattilan rinnalla joudutaan käyttämään näin ollen lisäksi öljykattilaa. Lisäämällä polttokapasiteettia KPA-kattilan tehoa on mahdollista nostaa. Tätä rajoittava tekijä on vanha multisykloni, jonka läpivirtauskanavat ovat ahtaat ja tukkeutuvat helposti. Lisäksi KPA-kattilan epäkäytännöllisyyttä aiheuttaa nuohous. Automaattista nuohousta ei ole, joten nuohous joudutaan tekemään manuaalisesti useita kertoja vuodessa. Nuohouksen ajaksi KPA-kattila joudutaan ajamaan alas ja tuotanto korvataan öljykattilalla.

Hankkeessa tavoitellaan KPA-kattilan tehonnostoa vaihtamalla vanha multisykloni uuteen, isomalla läpivirtauksella olevaan multisykloniin. Lisäksi vanha epäkäytännöllinen nuohous muutetaan käytännöllisemmäksi lisäämällä kaksi uutta ääninuohointia. Kokonaisuudessaan hanke parantaa lämpölaitoksen käytettävyyttä, vähentää öljyn käyttöä sekä edesauttaa ja tukee Loimua Oy:n vuoden 2030 ilmastotavoitteita.

Opinnäytetyössä kuvataan vaihevaiheelta, kuinka uusitaan KPA-kattilan multisykloni ja asennetaan ääninuohoimet. Hankkeesta luodaan lisäksi tekninen dokumentointi yrityksen kunnossapitojärjestelmään. Teknis-taloudellisessa loppuraportissa analysoidaan tuloksia ennen hanketta ja hankkeen jälkeen. Näin ollen saadaan selvitettyä hankkeen todelliset hyödyt ja takaisinmaksuaika.

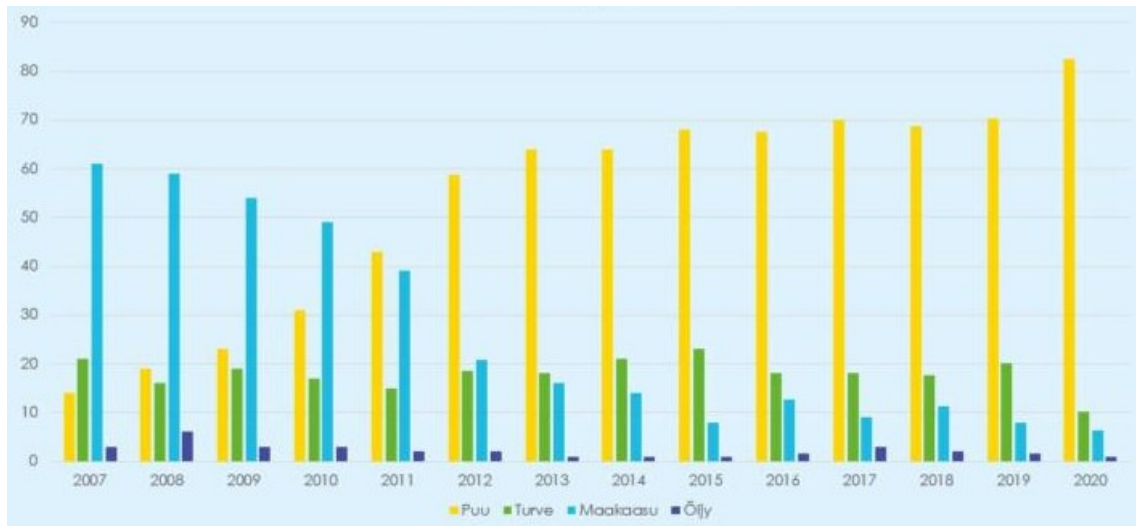
2 LOIMUA OY

Toimeksiantaja Loimua Oy on Suomen toiseksi suurin yksityinen kaukolämmöntuottaja. Suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan itse; poikkeuksena muutama paikkakunta, jossa kaukolämpöä ostetaan lisäksi yhteistyökumppaneilta. Eri toimijoiden prosesseissa syntyvää hukkalämpöä käytetään myös hyödyksi Loimuan kaukolämmöntuotannossa. Loimualla kaukolämpöä tuotetaan paikallisesti lähellä asiakkaita. Suurin osa toiminnasta sijoittuu Jyväskylä - Hämeenlinna välille. Pohjoisimmat lämpökeskukset sijaitsevat Oulaisissa ja Kärämäellä ja eteläisin Janakkalassa.

Yrityksellä on omistuksessaan laaja kaukolämmön ja maakaasun jakeluverkosto. Maakaasun jakeluverkosto sijaitsee ainoastaan Hämeen alueella. Loimualla asiakaskunta on laaja, niin suurista teollisuuskiinteistöistä pienempiin yksityisiin omakotiasuntoihin.

Loimua on sitoutunut hiilineutraali lämmöntuotanto 2030 tavoitteeseen. Tällä hetkellä jo 90 % polttoaineiden lähteistä on uusiutuvia. Tulevaisuuden vaihtoehtoja lopun 10 %:n korvaamiseksi on esimerkiksi ylijäämälämmön hyödyntäminen ja kiertotalous, geotermien lämpö, lämmön varastointi sekä digitaaliset ratkaisut. (1.)

Puupolttoaineena käytetään pääosin energiapuuta, joka on peräsin metsäteollisuudessa ja metsänhoidossa syntyvistä sivutuotteista, jotka eivät kelpaa metsäteollisuudelle tai puun jatkojalostukseen. Lisäksi puupolttoaineena käytetään teollisuuden sivujakeita kuten sahanpurua. Puupolttoaineet tulevat lämpölaitoksille pääasiallisesti lähiseudulta. Polttoaineena käytetään puupolttoaineiden lisäksi myös turvetta, maakaasua ja öljyä. Kuvassa 1 nähdään, kuinka puupolttoaineiden käyttö Loimualla on kasvanut ja vähentänyt etenkin maakaasun käyttöä polttoaineena. (2.)



KUVA 1. Polttoainejakauma

3 KAUKOLÄMPÖLAITOS KÄRSÄMÄKI

Hanke toteutetaan Kärsämäellä sijaitsevalla kaukolämpölaitoksella, joka on Loimua Oy:n yksi pohjoisen toimipisteistä (kuva 2). Kärsämäellä Loimua tuottaa ja jakaa kaukolämpöä Kärsämäen kunnan alueella omistamansa verkoston kautta. Kaukolämpöverkosta Kärsämäellä on yhteensä noin 10 km ja kaukolämpösopimuksia on tällä hetkellä 73 kappaletta. Suurin osa kaukolämpöasiakkaista on suurempia yrityksiä mutta asiakkaina on myös pienempiä yksityisiä omakotitaloja. Kärsämäen kunnan kasvukehitys on viime vuosina ollut hyvin positiivista, minkä vuoksi kaukolämmön kysyntä on lisääntynyt.



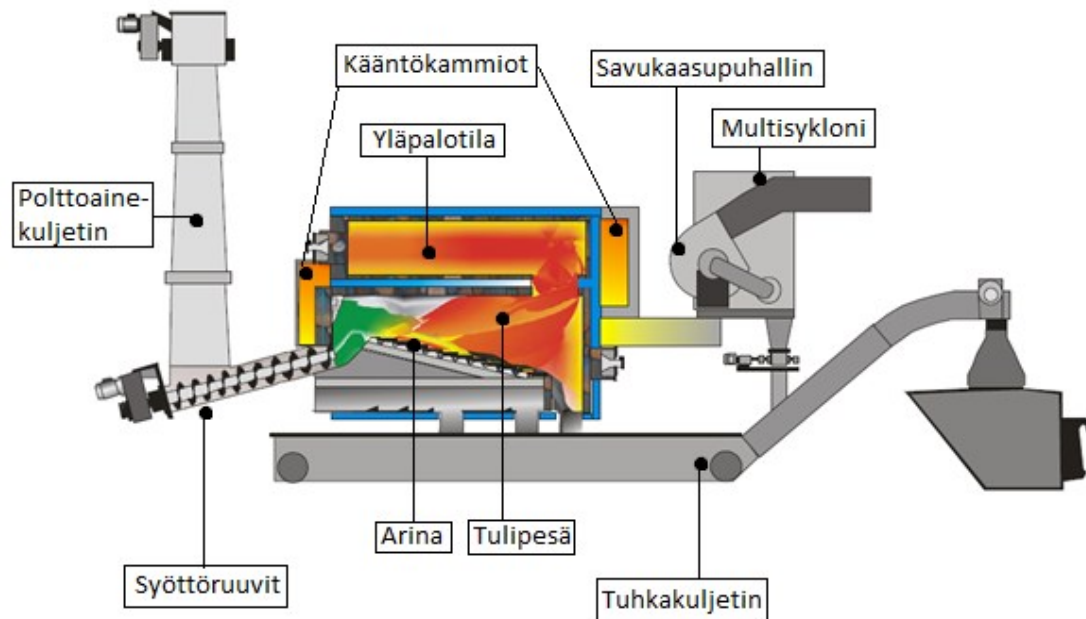
KUVA 2. Kärsämäen kaukolämpölaitos

Kärsämäen lämpölaitoksella on käytössä kolme kattilaa. Lisäksi varakattilana on vanha öljykattila, joka ei ole ollut käytössä.

3.1 KPA-kattila

Peruskuormakattilana on käytössä 2005 valmistunut viistoarinakattila, jonka nimellisteho on 2,5 MW (kuva 3). Polttoaineena käytetään metsähaketta ja kierrätyspuuta. Puupolttoaineiden kulutus

vuonna 2020 oli yhteensä 4362,7 tonnia. Polttoainevarasto on kolmelohkoinen tankopurkainvarasto, jonka tilavuus on 240 m³. Polttoaine siirtyy varastosta prosessiin kolakuljettimen avulla. Polttoainekuljetin on varusteltu kiekoseulalla, joka erottaa automaattisesti ylisuuret kannot yms. epäpuhtaudet ylitelavalle. Polttoaine syötetään arinoille kahdella erisuuntaan pyörivällä ruuvisyöttimellä arinoiden yläpäästä.



KUVA 3. HLR Energia Oy:n valmistama lämminvesikattila

Arina muodostuu edestakaisin liikkuvista arinavyöhykkeistä, jolloin liike siirtää palavaa polttoainetta porrasarinalla ylhäältä alaspäin. Näin varmistetaan polttoaineen tasainen ja jatkuva saatavuus sekä riittävän tasaisen polttoainepatjan muodostuminen arinoille. Arinalaitteet on sijoitettu palotilaan, joka on yhdistetty rakenne paineastian kanssa. Yhdistetyssä palotilassa ja konvektio-osassa savukaasut siirtyvät palotilasta massattuun jälkipalokanavaan ja edelleen konvektioon. Jälkipalotila on halkaisijaltaan 1100 mm. Konvektio-osassa on kaksi kappaletta 780 mm halkaisijalla olevaa tulitorvea sekä kolme vetoa DN 50 -kokoisia tuliputkia. Ekonomaiseri on konvektio-osassa sisäänrakennettuna. Käytännössä ekonomaiseri on konvektion viimeinen tubiveto, joka voidaan ohittaa savukaasupeltien avulla tarvittaessa.

Palamisilmat otetaan kattilahuoneen yläosasta ja johdetaan palotilaan taajuusmuuttajaohjatuilla puhaltimilla. Primääri-ilma johdetaan kahteen eri sektoriin arinoiden alle ja edelleen arinarautojen

läpi polttoainepatjaan. Sekundääri-ilma johdetaan kanavistolla arinan yläpuoliseen palotilaan, molemmin puolin arinaa. Kattilasta jo jäähtyneet savukaasut virtaavat savukaasupuhdistimeen puhdistettavaksi lentotuhkasta. Savukaasupuhdistimena on multisykloni. Multisyklonin erotusaste on 80 %. Multisyklonista lentotuhka siirretään sulkusyöttimen kautta märkätuhkakuljettimeen ja tuhka-konttiin. Savukaasut johdetaan savukaasupuhaltimen avulla savupiippuun.

Tulipesän pohjalta on järjestetty automaattinen tuhkaus tuhkakolalla. Tulipesän alla on märkätuhkakuljetin, joka siirtää tuhkan sisätiloissa sijaitsevaan tuhkakonttiin. Kattilalaitoksen automaationa on ohjelmoitava logiikka Siemens S7-300.

3.2 POK-kattila

Peruskuormakattilan ollessa alasajossa sekä peruskuormakattilan rinnalla lisätehona käytetään POK-kattilaa, jonka nimellisteho on 2,5 MW (kuva 4). Öljykattila on Vaporin valmistama, ja se on rakennettu vuonna 2005. Vuonna 2020 vähärikkisen kevyen polttoöljyn kulutus oli 16,53 tonnia.



KUVA 4. Kärsämäen kaukolämpölaitoksen öljykattila

3.3 Pellettikattila

Pienimmät lämmönkulutukset katetaan Aritermin 2015 valmistamalla Arimax bio -pellettikattilalla, jonka nimellisteho on 1 MW (kuva 5). Pellettikattila on käytössä myös KPA-kattilan rinnalla, kun tarvitaan lisätehoa. Pellettikattila korvaa lämmöntuotannon peruskuormakattilan huollon aikana. Kattilassa on viistoporrassarina. Pelletinkulutus vuonna 2020 oli 282,73 tonnia.



KUVA 5. Kärsämäen kaukolämpölaitoksen pellettikattila

4 SYKLONI

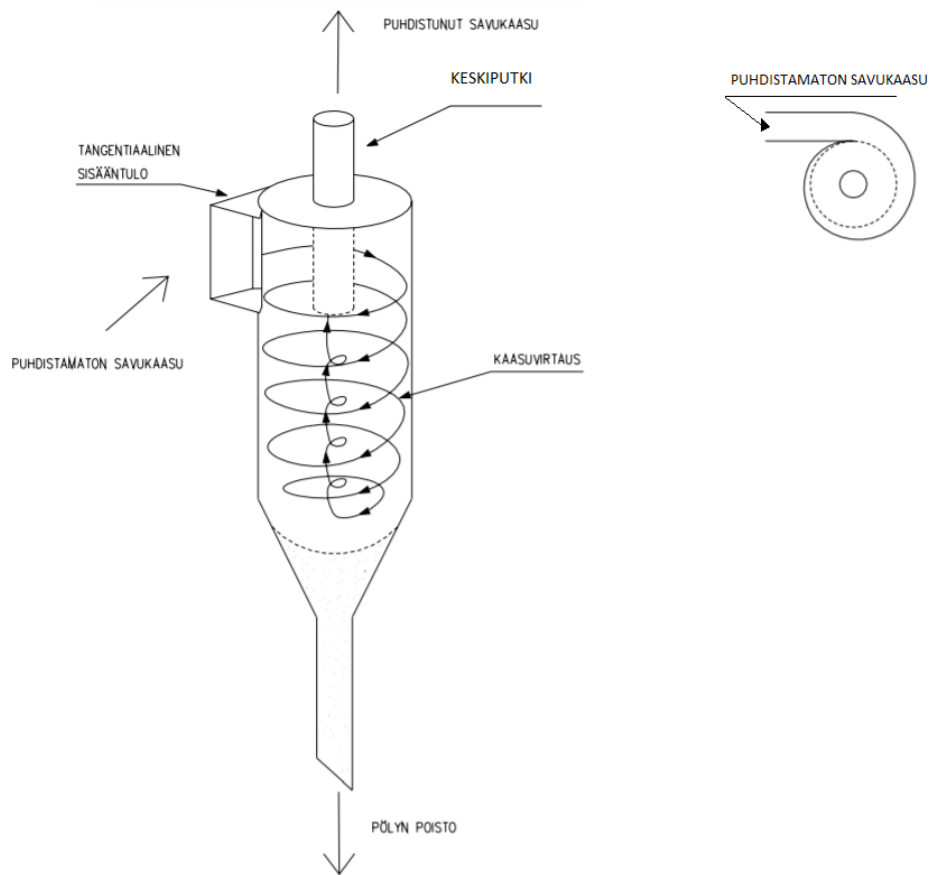
Syklonierotin, lyhennettynä sykloni, on laite, jonka tehtävänä on puhdistaa poltossa syntyvistä savukaasuista pienhiukkasia sekä lentotuhkaa. Syklonia voidaan käyttää myös muissa vaativissa teollisuuden prosesseissa, joissa vaaditaan erottelua. Syklonierotin toimii hyvin pitkään keskeytymättömissä prosesseissa yksinkertaisen rakenteen ja vähäisen huollontarpeen ansiosta. Syklonit valmistetaan lämmönkestävästä materiaalista kuten metalleista tai keraameista. (3, s. 39.) Syklonin sisäpinta täytyy olla sileä, jotta puhdistettavat partikkelin liukuvat sen pinnalla. Yksittäisen syklonin halkaisija voi olla 10 cm:stä useaan metriin. Sykloni sijoitetaan kattilasta poistuvan savukaasun kanavaan ja se voidaan asentaa vaaka- tai pystyasentoon.

Syklonit voidaan erotella vastavirta- ja läpivirtaussykloneihin kaasun virtaustavan mukaan. Nämä voidaan jakaa vielä kaasun sisääntuloaukon rakenteen mukaan tangentialisiin ja aksiaalisiin. Yksittäisiä sykloneja voidaan asentaa ryhmään, jolloin sitä kutsutaan multisykloniksi. (4, s. 253.)

Syklonin toiminta perustuu massavaikutukseen. Puhdistettava kaasu johdetaan sykloniin pyörimisliikkeeseen. Sylinterin tai kartion muotoisen rakenteen vuoksi kaasuvirtaus muodostaa syklonin sisällä spiraalinmuotoisen liikeradan, jolloin keskipakovoiman avulla eroteltavat partikkelit sinkoutuvat syklonin seinärakenteeseen ja valuvat toisessa päässä olevaan poistoaukkoon. (4, s. 253.)

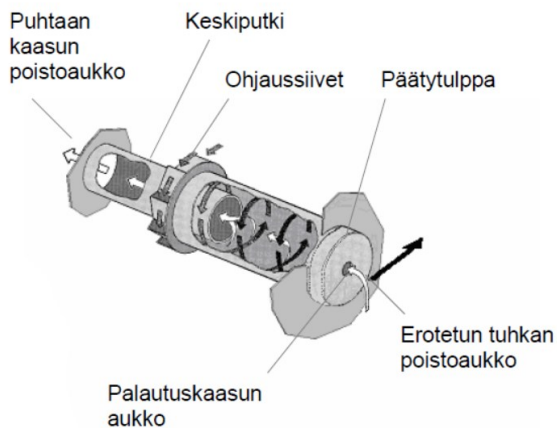
4.1 Vastavirtasykloni

Vastavirtasyklonissa (kuva 6) kaasuvirtaus johdetaan sisäänmenoaukosta sykloniin vastakkaisesta suunnasta virtauksen poistumissuuntaan nähden. Puhdistunut kaasuvirta muodostaa uuden sisemmän pyörteen syklonin keskelle ja poistuu keskiputkea pitkin puhtaan kaasun kammioon ja sitä kautta ulos (3, s. 38.)



KUVA 6. Vastavirtasykloni tangentiaalisella sisääntulolla (7, s. 6)

Rakenteeltaan tangentiaalisessa sisääntulossa kaasu johdetaan sykloniin tangentiaalisesti, jolloin kaasuvirtaus muodostaa spiraalimaisen liikeradan (kuva 6). Aksiaalisessa sisääntulossa puhdistettava kaasu johdetaan sykloniin johtosiipien avulla, jolloin kaasulle saadaan aikaan pyörivä liikerata (kuva 7).



KUVA 7. Vastavirtasykloni, jossa aksiaalinen sisääntulo (5)

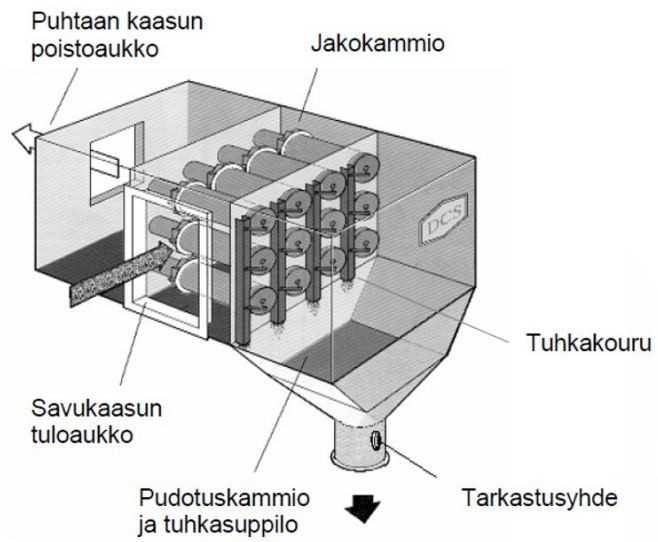
4.2 Läpivirtausykloni

Läpivirtausyklonissa kaasun poisto on yleensä vastakkaisessa päässä kaasun tuloaukkoon nähden. Näin ollen puhdistetun savukaasun virtaussuunta on koko ajan sama eikä vaihda suuntaa kuten vastavirtasykloneissa. Läpivirtausyklonissa puhdistuneen savukaasun muodostama sisempi pyörre poistuu pohja-aukon kautta. Läpivirtausyklonit sijoitettu usein vaakatasoon ja ne toimivat paremmin suurempien partikkelien erottamiseksi. (3, s. 38.)

4.3 Multisykloni

Yksittäisiä sykloneja voidaan asentaa useita rinnan tai sarjaan, jolloin sykloniryhmää kutsutaan multisykloniksi. Multisyklonin avulla suuria savukaasuvirtoja voidaan jakaa usealle syklonille, jolloin yksittäisen syklonin halkaisija saadaan pienennettyä. Syklonin pienemmän halkaisijan vuoksi keskipakovoima pienenee ja erotusaste saadaan paremmaksi. Syklonin erotusaste on parhaimmillaan suurille hiukkasille. Hiukkaskoon ollessa halkaisijaltaan yli 0,5 µm voidaan yhdellä syklonilla päästä 50–97 %:n suuruiseen erotusasteeseen ja multisyklonilla 75–100 %:n erotusasteeseen. (4, s. 256.)

Kuvassa 8 nähdään esimerkki multisyklonin rakenteesta, joka koostuu kolmesta kammioista. Jakokammio on multisyklonin keskellä, johon puhdistettava savukaasu johdetaan. Erotellut partikkelit tippuvat pudotuskammioon ja puhtaansavukaasunkammioista puhdistettu savukaasu poistuu ulos. (5, s. 1.)



KUVA 8. Poikkileikkauskuva multisyklonista, johon on asennettu vaakatasoon usea yksittäinen vastavirtasykloni (5, s. 1)

5 MULTISYKLONIN UUSINTA

Uuden multisyklonin asennuksella tavoitellaan savukaasukanavan tilavuusvirtauksen kasvua. Sen avulla kattilatehoa on mahdollista nostaa. Tehokkaamman peruskuormakattilan avulla olisi mahdollista kattaa suurempi lämpökuorma, jolloin öljykattilan käyttämistä rinnalla saisi vähennettyä.

Uusi asennettava multisykloni (kuva 9) on toimintatavaltaan täysin samanlainen kuin vanha. Erona rakenteellisesti on vain laitteen hieman korkeampi koko, koska yksittäisten syklonien määrä on suurempi. Uusi multisykloni sopii vanhan multisyklonin paikalle ilman suurempia muutostoimenpiteitä.



KUVA 9. Kuvassa vasemmalla uusi multisykloni edestäpäin ja oikealla nostettuna oikeinpäin

5.1 Vanha multisykloni

KPA-kattilan vanha multisykloni on asennettu vuonna 2008 (kuva 10). Se on Dust Control Oy:n valmistama ja malli on Finn Cleaner. Multisyklonissa on rinnan 5 kappaletta yksittäisiä vastavirtasykloneja varustettuna aksiaalisilla ohjaussiivillä. Näitä syklonirivejä on sarjassa 6 kappaletta. Syklonit on asennettu vaakatasoon. Yksittäisiä sykcloneja on yhteensä 30 kappaletta. Multisyklonin mitoitustilavuusvirtaus on 2,26 m³/s.



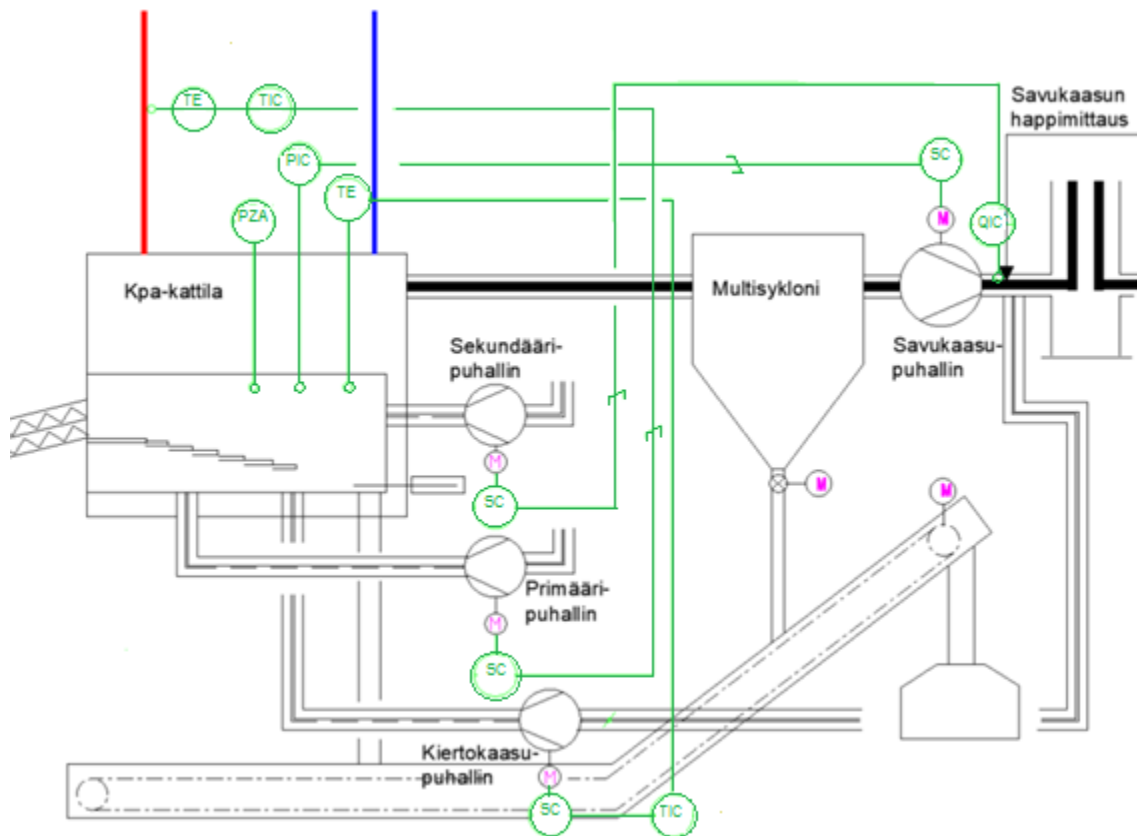
KUVA 10. Kärsämäen KPA-kattilan vanha multisykloni

Vanhan multisyklonin päällä olevan alumiinisuojuksen ja eristyksen alta paljastui, että se todellakin oli vaihdon tarpeessa. Kuvassa 11 näkyy, kuinka pahasti multisyklonin alaosa oli ruostunut puhki. Se oli jo todella hauras ja siinä oli isoja reikiä. Korroosiosyöpyminen on tapahtunut, koska KPA-kattilaa on ajettu pienillä tehoilla ja savukaasu on ollut kostea ja ei niin kuumaa.



KUVA 11. Multisyklonin jakokammion alaosa on ruostunut pahoin puhki

Paljastuttuaan nämä reiät antoivatkin selityksen sille, miksi palo kattilan yläpalotilassa ei ole ollut optimaalista. Multisyklonin jälkeisen savukaasukanavan happimittaus on näyttänyt riittävää happimäärä, koska multisyklonista on vuotanut sinne ilmaa. Näin ollen automatiikka on toiminut sen mukaisesti ja sekundääri-ilmapuhallin ei ole sen takia käynnistynyt. Palaminen kattilan yläpalotilassa on ollut mahdotonta ilman palamisilmaa, joten se on huonontanut merkittävästi kattilan hyötysuhdetta. Kattilasta lähtevä palamaton savukaasu voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa räjähdyksen, kun se kohtaa multisyklonissa sinne vuotavan raakailman. Kuvan 12 PI-kaaviosta nähdään, miten puhaltimet ja savukaasun happimittaus ovat sijoitettuna lämmöntuotantoprosessissa. Savukaasun happimittaus olisi järkevämpää sijoittaa heti kattilan jälkeen, jotta mahdollisten ilmavuoto- paikkojen määrä olisi minimoitu.



KUVA 12. Osakuva prosessin PI-kaaviosta

Vanhan multisykloni poistaminen aloitetaan irrottamalla laite savukaasukanavasta. Irrottaminen aloitetaan ensimmäiseksi poistuvan savukaasun kanavasta avaamalla multisyklonin puhtaanilmakammion ja savukaasukanavan välinen laippaliitos. Puhdistamattoman savukaasun tuloaukko oli vanhassa multisyklonissa hitsattu kiinni savukaasun kokoojakammioon eikä liikuntasaumaa ollut. Se irrotetaan polttoleikkaamalla. Lopuksi multisyklonin jalakset irrotetaan kannatinpalkeista polttoleikkaamalla.

Vanha sykloni mahdollista poistamaan ahtaasta kattilarakennuksesta vain katon kautta. Katossa on jo entuudestaan vanha reikä, koska multisykloni on edellisen kerran vaihdettu vuonna 2008. Henkilönostimen avulla kotolle pääsee aukaisemaan katosta kattopellit ja Paroc-elementit. Ketjuilla kiinnitetty multisykloni nostetaan paikalleen nosturiautolla.

5.2 Uusi multisykloni

Uusi multisykloni on myös Dust Control Oy:n valmistama. Uudessa multisyklonissa yksittäisiä sykloneja on yhteensä 40 kappaletta, jotka on asennettu sarjaan 8 riviin. Yhdellä rivillä on 5 kappaletta rinnan asennettuja yksittäisiä sykloneja (kuva 13).



KUVA 13. Puhtaan savukaasun kammio; kuvassa keskimmäisen levyn takana on puhtaan savukaasun poistokanava

Yksittäiset syklonit (kuva 14) ovat rakenteeltaan ja toimintatavaltaan täysin samalaiset kuin vanhat. Isomman syklonimäärän ansiosta tilavuusvirtaus kasvaa. Uuden multisyklonin mitoitustilavuusvirtaus on 2,8 m³/s.

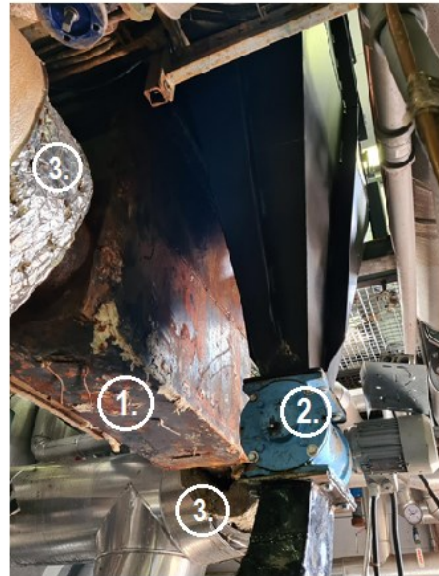
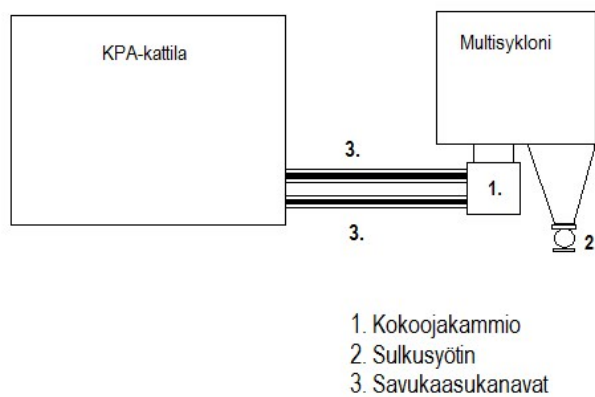


KUVA 14. Vastavirtasykloni aksiaalisella sisääntulolla

Ennen asennusta uuden multisyklonin jakokammioon, savukaasuntuloaukon reunoihin, hitsataan pienet rautapalat, jotta multisyklonin ja savukaasukanavan väliin saadaan asennettua tiiviste. Liikuntasäily on tärkeä jättää, koska rauta elää kuumetessaan ja jäähtyessään.

Uusi multisykloni asennetaan savukaasukanavaan kattilan läheisyyteen kannatinpalkkien päälle täysin samaan paikkaan, jossa entinen sijaitsi. Laite nostetaan paikalleen samalla tavalla kuin vanha poistettiin. Multisyklonin jalokset hitsataan kannatinpalkkeihin kiinni.

Multisyklonin alapuolella sijaitsevat kattilan molemmilta puolilta tulevat puhdistettavan savukaasun kanavat. Savukaasukanavat on johdettu yhteen kokoojakammioon (kuva 15), josta savukaasut johdetaan multisyklonin jakokammioon sen alaosasta. Kokoojakammio liitetään multisykloniin joustoliitoksella. Erottunut tuhka poistuu syklonin poistoaukosta, joka johtaa tuhkakouruun ja sieltä edelleen pudotuskammioon. Pudotuskammio liitetään tuhkasuppilosta sulkusyöttimeen (kuva 15), jonka kautta tuhka johdetaan tuhkakuljettimella tuhkankeräyskonttiin.



KUVA 15. Kuvassa vasemmalla komponentit sijoitettuna kaaviokuvaan ja oikealla laitospäättyä

Puhtaan savukaasun poistokanava liitetään multisyklonin takaosasta laippaliitoksella puhtaan kaasun kammioon (kuva 16), josta puhdistettu savukaasu poistuu multisyklonin jälkeen tulevan savukaasupuhaltimen avulla savukaasukanavaa pitkin ulos.



KUVA 16. Multisyklonin ja puhtaan savukaasukanavan liitoskohta

Multisykloni eristetään lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Eristeenä käytetään kuumuutta kestäväää kivillaverkkomattoa. Eristys tehdään multisyklonin ympärille kauttaaltaan, lukuun ottamatta tarkastusluukkuja (kuva 17).



KUVA 17. Multisykloni eristettynä

Lopuksi multisyklonin päälle asennetaan vielä uusi alumiinipeltisuoja-kuori (kuva 18). Multisykloni on näin ollen valmiina käyttöönottoa varten.



KUVA 18. Uusi valmis multisykloni

6 ÄÄNINUOHAIN

Ääninuohoimen avulla lämpöpinnat voidaan puhdistaa ilman kattilan käyttökatkosta. Jatkuvatoinen nuohous pitää kattilapinnat puhtaana koko ajan, jolloin terminen hyötysuhde ei pääse laskemaan likaantumisen johdosta. Ääninuohoimen etuina ovat myös vähäinen huollon tarve ja alhaiset käyttökustannukset.

Ääninuohoimen avulla lämpöpinnat voidaan puhdistaa ilman kattilan käyttökatkosta. Jatkuvatoinen nuohous pitää kattilapinnat puhtaana koko ajan, jolloin terminen hyötysuhde ei pääse laskemaan likaantumisen johdosta. Ääninuohoimen etuina ovat myös vähäinen huollon tarve ja alhaiset käyttökustannukset.

Ääninuohoimen avulla lämpöpinnat voidaan puhdistaa ilman kattilan käyttökatkosta. Jatkuvatoinen nuohous pitää kattilapinnat puhtaana koko ajan, jolloin terminen hyötysuhde ei pääse laskemaan likaantumisen johdosta. Ääninuohoimen etuina ovat myös vähäinen huollon tarve ja alhaiset käyttökustannukset.

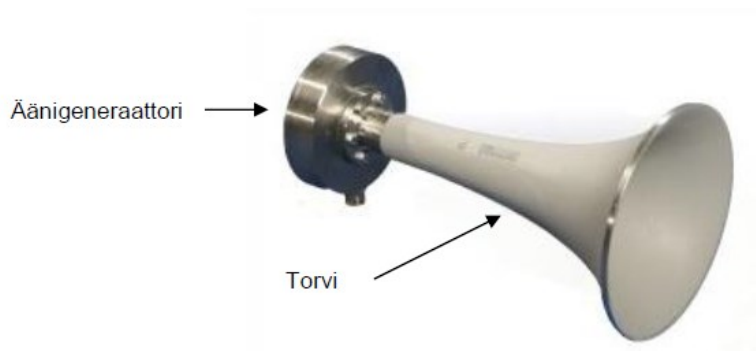
Ääninuohoimia on rakenteelta hieman erilaisia (kuva 19). Torviosan pituus ja muoto voivat hieman vaihdella käyttötarkoituksen mukaan. Käyttölämpötila vaikuttaa myös ääninuohoimen valintaan. Ääninuohointien käyttölämpötila voi olla jopa 1500 °C.



KUVA 19. Erimuotoisia ja kokoisia ääninuhoimia (8)

6.1 Rakenne

Ääninuohoin koostuu äänigeneraattorista ja torvesta (kuva 20). Useimmiten nuhoimia on hyvä asentaa 2–4 kpl toimimaan yhtä aikaa, jotta nuhousteho saadaan paikallisesti suuremmaksi. Jos nuhoimet on asetettu etäälle toisistaan, ei voimistavaa vaikutusta synny. (6, s. 3.)



KUVA 20. Ääninuohoimen rakenne (6)

6.1.1 Äänigeneraattori

Äänigeneraattori muodostuu kannesta, rungosta, kalvosta ja tiivisteestä. Kalvon tehtävä on toimia venttiilinä, jota kuormittavat rungon ja kannen siihen kohdistama esikiristys, paineilma, torven akustinen impedanssi ja kalvon toisella puolella olevan tilan muodostama jousivoima. Paineilman avulla kalvo avautuu ja sulkeutuu nopealla tahdilla, mikä synnyttää torveen voimakkaan painevaihtelun. (6, s. 3.)

6.1.2 Torvi

Torviosa on akustinen aaltoputki, jonka muotoilulla voidaan vaikuttaa syntyvän äänen taajuusjakaumaan. Torven sisällä värähtelevän ilmapatsaan värähtelytaajuus riippuu torven pituudesta. Ääninuohojen perustaajuus on 60–420 Hz ja äänipainetaso kattilan sisällä on noin 150 dB. (8, s. 3.) Ääninuohous aiheuttaa voimakasta melua myös ympäristöön. Sitä voidaan vähentää eristämällä ääninuohojen ja sitä ympäröivät rakenteet. Torven materiaalina käytetään hapon- tai tulenkestävää terästä. (6, s. 6.)

6.2 Paineilmalaitteet ja putkisto

Ääninuohojen tarvittavat paineilmalaitteet on koottu yhdeksi yksiköksi, jota kutsutaan PCG-painelaitteistoksi. PCG on suunniteltu asennettavaksi sisätiloihin ääninuohojen läheisyyteen. Suositeltu etäisyys noin 1,5 metriä. Suurin sallittu käyttöpaine on 10 bar. PCG:n pääkomponentteja ovat

- magneetti- ja säätöventtiilit
- säätimet paine- ja ohitusilmalle
- painemittari
- vedenerotin.

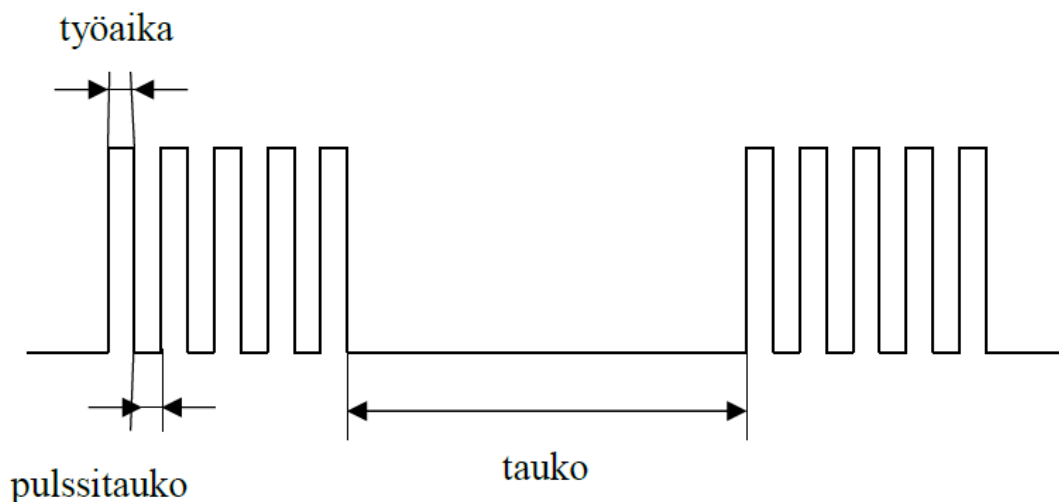
Paineilmaverkoston putkikooksi suositellaan DN 20. Usean nuohojen järjestelmiin suositellaan lisäksi painesäiliötä, jos kompressori ei pysty tuottamaan tarvittavaa määrää paineilmaa aina tarpeen vaatiessa. Tapauskohtaisesti suuri nousuputkikin voi riittää. (6, s. 8.)

Painetasot ääninuohoimen ääntelyn aikana ovat 3,5–4 bar. Lepotilassa painetaso on 6–10 bar. Paineilman huippukulutus nuohouksen aikana on 50 Ndm³/s ja jatkuvakulutus jäähdetyksen ja huuhtelun aikana 0–2 Ndm³/s. Tyypillinen kokonaiskulutus on 2–20 Nm³/h. (6, s. 5.)

6.3 Toiminta

Ääninuohoimien ohjausperiaate on yksinkertainen. Nuohoimia ohjataan magneettiventtiilillä, joka päästää paineilmaa nuohoimen kalvolle. Se saa aikaan äänipaineiskun puhdistettavalle kohteelle. Ohjausventtiilillä säädetään jäähdetysilma kalvolle magneettiventtiilin ohitse.

Ääninuohointen puhdistustehokkuuteen vaikuttavat puhdistettavan tilan pinta-ala ja rakenne, väliaineen lämpötila sekä epäpuhtauksien laatu. Näiden perusteella määritetään tarvittavien ääninuohoimien malli, lukumäärä sekä ääntelyaika. Ääninuohointa ajetaan pulsseittain. On todettu, että äänipulssin alku on kaikista merkittävin puhdistuksen kannalta. Kun epäpuhtauksien määrä on suuri, voidaan käyttää pidempiä ääntelyaikoja. Yleensä työaika on 1–30 sekuntia ja pulssitauko 2–5 sekuntia. Jaksojen toistoväli on 1–60 minuuttia. Kuvassa 21 on tyypillistä ajotapaa havainnollistava kuva. (6, s. 9.)



KUVA 21. Ääninuohouksen pulssimainen ajotapa

7 ÄÄNINUOHOUSJÄRJESTELMÄN ASENNUS

Kärsämäen lämpölaitoksen KPA-kattilan nuohous on ollut epäkäytännöllinen ja työläs. Tuliputkien päihin kertyy tuhkan muodostamaa ruusuketta, joka tukkii tuliputkien päät ja huonontaa savukaa-sun virtausta. Vuosihuollossa tehtävien nuohousten lisäksi on nuohouksia jouduttu toteuttamaan manuaalisesti useita (5–6) kertoja vuodessa. Nuohouksen ajaksi kattila pitää ajaa alas. Nuohoa-misessa kestää keskimäärin 6 tuntia, jolloin öljykattila korvaa KPA-kattilan tuotannon. Ääninuohoin-ten asennuksella tavoitellaan käytännöllisyyttä nuohoukseen, jonka vaikutuksesta öljyn käyttö voisi vähentyä.

Uudet asennettavat ääninuohoimet ovat Nirafonin NI250-nuhoimia. Näitä asennetaan kaksi kappa-letta, jotta saavutetaan optimaalinen nuohousteho. Ääninuohousjärjestelmää varten tarvitsee ra-kentaa paineilmalinjasto oheislaitteineen.

Ääninuohoustekniikan etuja ovat vähäinen huollontarve sekä edulliset käyttökustannukset. Ääni-nuohoimet ovat myös suhteellisen helppoja asentaa.

7.1 Tekniset tiedot

Nirafon NI250-ääninuohoimet ovat rakenteeltaan tavanomaiset koostuen torvesta sekä ääni-generaattorista. Painoa yhdellä nuohoimella on 30 kg. Sekä äänigeneraattori että torvi on suunniteltu kestämään 800 °C:n lämpötilaa. Ääninuohoimissa äänen perustaajuus on 250 Hz ja äänen-painetaso kattilan sisällä 1 m nuohoimesta mitattuna on 150 dB. Kattilan ulkopuolella äänenpaine-taso on alle 85 dB, kun ääninuohoimet ovat eristettyjä. Tyypillinen kantama (130 dB) ääni-nuohoimilla on 20 °C:ssa 8 x 6 m:n kokoinen alue ja 600 °C:ssa 6 x 4 m:n kokoinen alue.

PCG-paineilmalaitteiston suurin sallittu käyttöpaine on 10 bar. Tilavuusvirtaus paineilmalaitteis-tossa on 6 bar paineessa 3,6m³/min. Paineilma tehdään ruuvikompressorilla, jonka maksimi pai-neentuotto on 10 bar. Kompressorissa on 200 litran säiliö.

7.2 PCG-laitteisto ja paineilmalinjat

Kompressori sijoitetaan kattilalaitoksen lattialle kattilan läheisyyteen. Ääninuohointen läheisyyteen asennetaan PCG-paineilmalaitteisto (kuva 22). Kattilan yläpuolella sijaitsevalle tasanteelle, ääninuohointen välille, sijoitetaan 200 litran painesäiliö, joka takaa hetkellisesti suuremmat paineilman tarpeet, joita kompressorilla ei pystytä tuottamaan. Paineilmalinjasto ääninuohoimille rakennetaan DN 20 kokoisesta putkesta. Paineilmalinjasto lähtee kompressorilta jatkuen seinänvierestä ja kattilahuoneen kulkusiltojen alapuolelta PCG-paineilmalaitteistolle ja paineilmasäiliölle. Paineilmalaitteisto kytketään ääninuohoimille teräskudosvahvisteisella letkulla. Ääninuohoimen äänigeneraattorilta torveen tuodaan paineilma puhdistamista ja jäähdytystä varten ohuemmalla teräskudosvahvisteisella letkulla.



KUVA 22. PCG-paineilmalaitteisto

7.3 Ääninuohimet

Ääninuohousjärjestelmä on suunniteltu pitämään puhtaat pinnat puhtaina, joten nuohousteho ei välttämättä riitä puhdistamaan vanhoja kerrostumia. Ennen ääninuohointen asennusta pinnat puh-

distetaan. Kuvassa 23 nähdään tuliputket ennen nuohousta. Tuliputkien päihin muodostuu ruusukkeita (tuhkakertymiä), jotka vastustavat savukaasun virtausta. Ääninuohoimet asennetaan konvektio-osaan kattilan molemmille puolille, jotta tulitorville ja tuliputkille saadaan optimaalisin puhdistusteho.



KUVA 23. Tuliputket kääntökammiosta kuvattuna

Asennustyö aloitetaan poistamalla alumiinisuojaupelti ja eristys työstettävältä alueelta. Kattilan seinämään tehdään polttoleikkaamalla läpivienti, jonka halkaisija on 310 mm. Läpiviennin kohdalta kattilan sisältä paljastui muuraus, joka oli odotettua paksumpi. Muuraukseen on myös tehtävä reikä, jotta ääninuohoimen äänenpaine saadaan menemään konvektio osaan sisälle. Kovaan, kuumuutta kestävään betoniin reiän tekeminen oli hyvin haasteellista, joten muurauksen ei saatu tehtyä aivan

yhtä suurta läpivientiä kuin kattilaan. Tulevaisuudessa muurauksen reikää on mahdollista yrittää vielä hieman suurentaa, jos tarve vaatii. Kattilan läpivientiin hitsataan kiinnityslaippa (kuva 24). Sama toistetaan kattilan toiselle puolelle, johon toinen ääninuohoin asennetaan.



KUVA 24. Ääninuohoimen asennusreikä

Ääninuohoin asennetaan kattilaan kiinnittämällä torven kiinnityslaippa pulteilla kattilan kiinnityslaippaan (kuva 25). Sama toistetaan kattilan toisen puolen ääninuohoimelle. Sen jälkeen ääninuohoimet liitetään paineilmalaitteistoon.



KUVA 25. Ääninuohoin paikalleen asennettuna

Ääninuohoimet eristetään ulkopuolelta kauttaaltaan, jotta meluhaitat kattilahuoneistoon sekä ympäristöön saadaan minimoitua. Eristeenä käytetään kuumuutta kestävästä kivivillaverkkomattoa. Lopuksi eristetyt ääninuohoimet suojataan alumiinipeltikoteloilla (kuva 26).



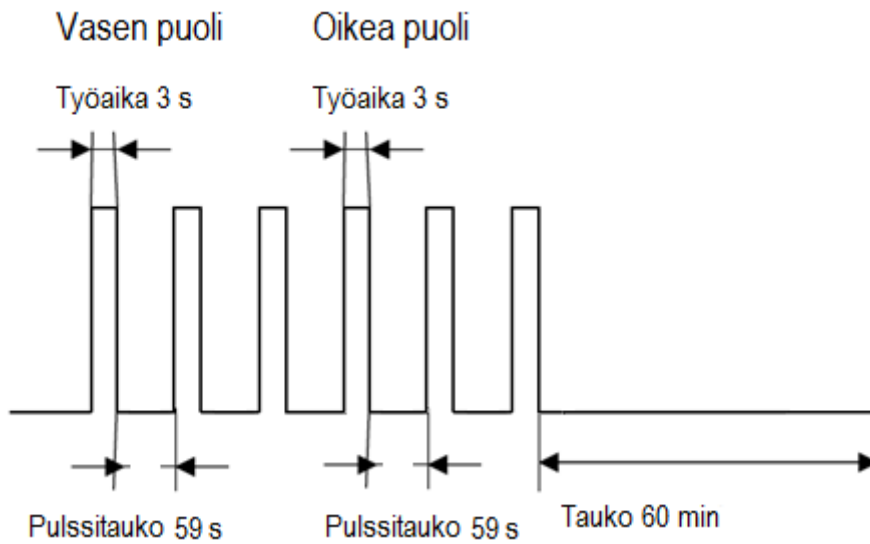
KUVA 26. Ääninuohoin käyttövalmiina

7.4 Käyttö

Ennen käyttöönottoa ammattilainen tarkistaa sähköistyksen- ja ohjauksen perusasetukset sekä nuohointen turvatoiminnot. Lisäksi tarkastetaan ilmalinjat ja varmistetaan että kaasun paine on oikea. Myös nuohointen asennus ja paineilmaliihtoksien tiiveys tarkistetaan. (6, s. 11.)

Ääninuohoimille asennetaan oma logiikka, jolla säädetään ääninuohoimet toimimaan sopivissa jaksoissa. Ääninuohoimet säädetään toimimaan niin, että ensin käynnistyy kattilan vasemmanpuolei-

nen ääninuohoin joka antaa 3 äänipulssia. Sen jälkeen käynnistyy kattilan oikeanpuoleinen ääninuohoin joka antaa myös 3 äänipulssia. Ääntelyajaksi eli työajaksi säädetään 3 sekuntia ja pussitauoksi 59 sekuntia. Taukoajaksi jaksojen väliin, kun kummankin puolen nuohoimet ovat toimineet asetetaan 60 minuuttia. Kuvassa 27 ääninuohointen toiminta. Seuraamalla ääninuohointen toimintaa saadaan ääninuohoimet säädettyä toimimaan optimaalisella tavalla tarpeen mukaan.



KUVA 27. Ääninuohointen toimintakaavio

Ennen ääninuohointen käynnistämistä varmistetaan, että ilman syöttö on auki ja ohjauksen virta on päällä. Nuohous voidaan käynnistää ja pysäyttää ohjausyksiköstä. Nuohoin toimii normaalisti, kun ääntely on tasaisen voimakas ja alkaa terävästi. Jos ääntelyn taukoaikoina kuuluu ylimääräistä ääntä jäähdytysilmaa virtaa todennäköisesti liikaa. Ennen huoltotöiden aloittamista nuohoimelle tuleva paineilma pitää sulkea. (6, s. 11.)

8 KUNNOSSAPITO

8.1 Multisykloni

Multisyklonin suositeltava huoltoväli on noin 4 kuukautta. Käytännön osoittama huoltoväli on noin yksi vuosi, jollei huollettavaa muutoin ole. Kaikki huoltotoimenpiteet tehdään silloin, kun laitos on alas ajettuna. Huoltoluukkuja ei missään tapauksessa saa avata laitoksen käydessä. Ennen huoltotoimenpiteiden aloitusta on varmistettava, että muut ovat tietoisia missä ja mitä aiotaan tehdä. Huoltoa tekevän henkilön lisäksi myös toisen henkilön on suositeltavaa olla mukana auttamassa tarvittaessa. Huomioitavaa on, että kammiot ovat riittävästi tuulettuneet ennen aloittamista. (5, s. 2.)

Multisyklonin huollossa tarkistetaan, että huoltoluukut ja tiivisteet ovat kunnossa. Vaurioituneet ja vuotavat tiivisteet on vaihdettava välittömästi. Multisykloni puhdistetaan tuhkasta käyttämällä tehokasta imuria. Tuhkarännit ja syklonien päätytulpat irrotetaan. Syklonien sisäpinnat ja ohjaussiivistö puhdistetaan kiinnitarttuneesta tuhkasta. Jos savukaasuissa on mukana runsaasti hiekkaa, voivat syklonilieriö, päätytulppa ja tuhkarännit vaurioitua. Mikäli korjaamisen tarvetta ilmenee, helpointa on laittaa syklonilieriön sisälle korjausputki ja uusi päätytulppa. Mahdolliset vauriot tuhkaränneissä korjataan. Huoltotoimenpiteiden lopuksi luukut suljetaan ja tarkistetaan multisyklonin tiiveys. Ylös ajon aikana valvotaan, että tuhkan ulossyöttö toimii. (5, s. 2.)

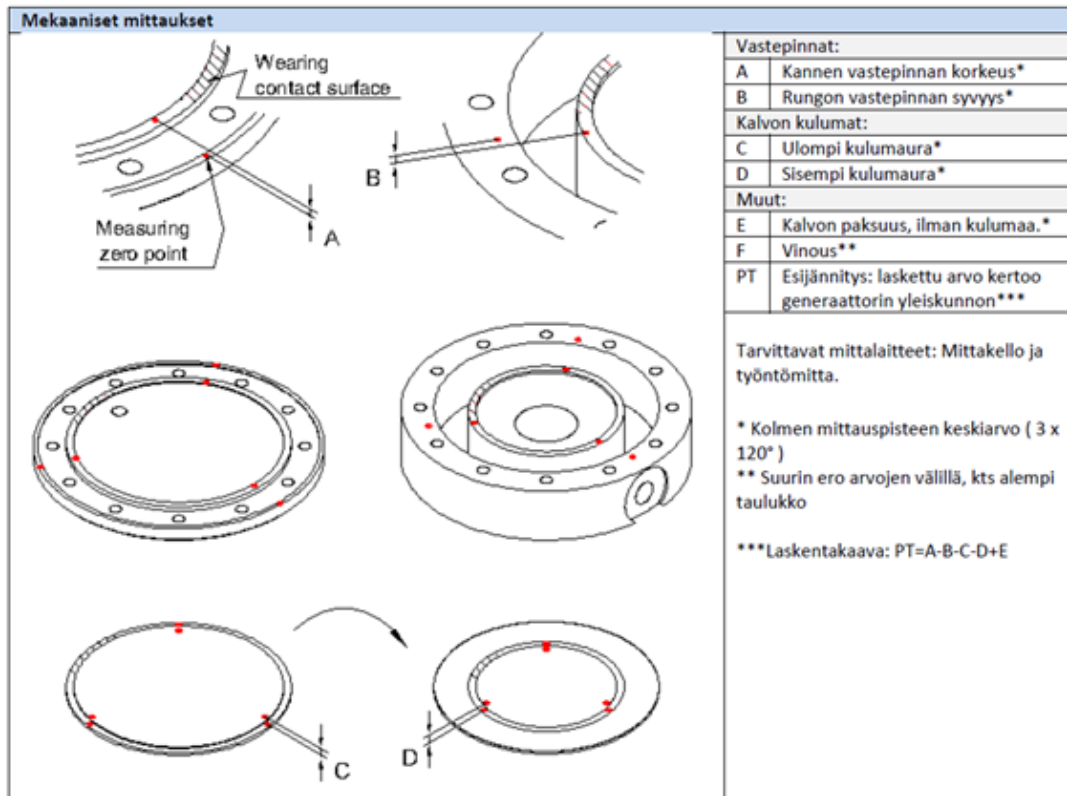
Käytön aikana valvotaan, että erottunutta tuhkaa poistuu koko ajan ulos. Multisyklonissa on tukkeutumisvaara, jos kattilaa ajetaan pienillä tehoilla ja savukaasun lämpötilat ovat matalat. Myös häiriötilanteissa tuhka voi pakkautua tuhkakouruissa ja aiheuttaa multisyklonin vaurioitumisen. Sulkusyöttimen toiminta on varmistettava esimerkiksi pyörimisvahdilla. Tuhkan ulossyötön ongelmia havaittaessa on välittömästi ryhdyttävä ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin. (5, s. 1.)

8.2 Ääninuohoimet

Tarkastukset ja huollot suorittaa Nirafon tai heidän valtuuttama huoltaja. Nirafon järjestää myös huoltoon liittyvää koulutusta.

Tärkein ääninuohointen huollettava kohde on äänigeneraattorin kalvo. Kalvon oletettu käyttöaika on 150 tuntia ääntelyä. Nykyisillä säätöparametreilla se olisi 8 vuotta. Ensimmäisten huoltokertojen yhteydessä voidaan määrittää äänigeneraattorin huoltoväli kuluman perusteella. Näin saadaan toteutettua optimaalinen ennakkohuolto-ohjelma. Keskimääräinen huoltoväli on 1–2 vuotta. Vuosittain suositellaan tarkastettavaksi generaattorin kalvon kuluneisuus, äänenvaimentimen ja poistoilman kuristuksen puhtaus ja kunto, torven sisäosan puhtaus, tiivisteiden ja paineilmalaitteiden kunto sekä ilmasuodattimen puhtaus.

Säännöllinen kunnossapito on hyvin yksinkertaista. Kuluvin osa ääninuohoimissa on kalvo, jonka kääntäminen ja vaihtaminen takaavat nuohoustehon pysymisen hyvänä. Kalvon ja äänigeneraattorin kannen vastepintojen kunto voidaan tarkistaa mittaamalla ja laskemalla. Mittaus tehdään mittauskelloa ja työntömittaa apuna käyttäen kolmesta eri pisteestä ja kulumisrajojen mukaan arvioidaan, onko syytä toimenpiteisiin (kuva 28).



Nuohoimet:	Kaikki NI25OSS-mallit		
Generaattori:	NI250		
Arvo:	Uusi (mm)	max. (mm)	min. (mm)
A	2,30	2,35	2,10
B	3,40	3,50	3,35
C	0,00	0,50	
D	0,00	0,50	
E	1,60	1,75*	1,50*
F	0,00	0,15**	-
PT	0,50	0,65	0,15

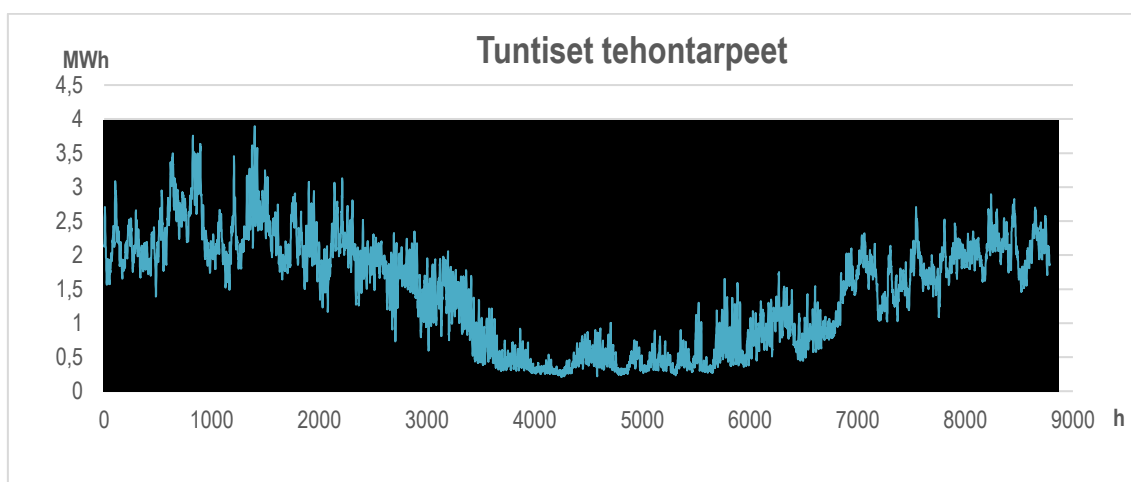
KUVA 28. Äänigeneraattorin huoltomittausohje ja kulumisrajat

9 HANKKEEN TEKNIS-TALOUDELLINEN LOPPUTARKASTELU

Tarkastelemalla kattilalaitoksen toimintaa ennen hanketta ja hankkeen jälkeen voidaan huomata, minkälaisia käytännöllisiä ja taloudellisia vaikutuksia hankkeella on saavutettu jo nyt sekä oletettavasti tullaan saavuttamaan tulevaisuudessa. Hankkeen taloudellinen tarkastelu tehdään takaisinmaksuajan menetelmän mukaan. Koska kaikkia hankkeen vaikutuksia ei vielä tässä vaiheessa voida faktatietona todeta, voidaan käyttämällä vuoden 2020 lämmityskauden tilastoja vertailupohjana verrata, miten lämmityskausi on mennyt ennen hanketta ja miten se olisi voinut oletettavasti mennä hankkeen jälkeen. Näin voidaan arvioida multisyklonin vaihtamisen ja ääninuohointien asentamisen tuomia vaikutuksia kattiloiden käyttöön ja öljynkulutukseen.

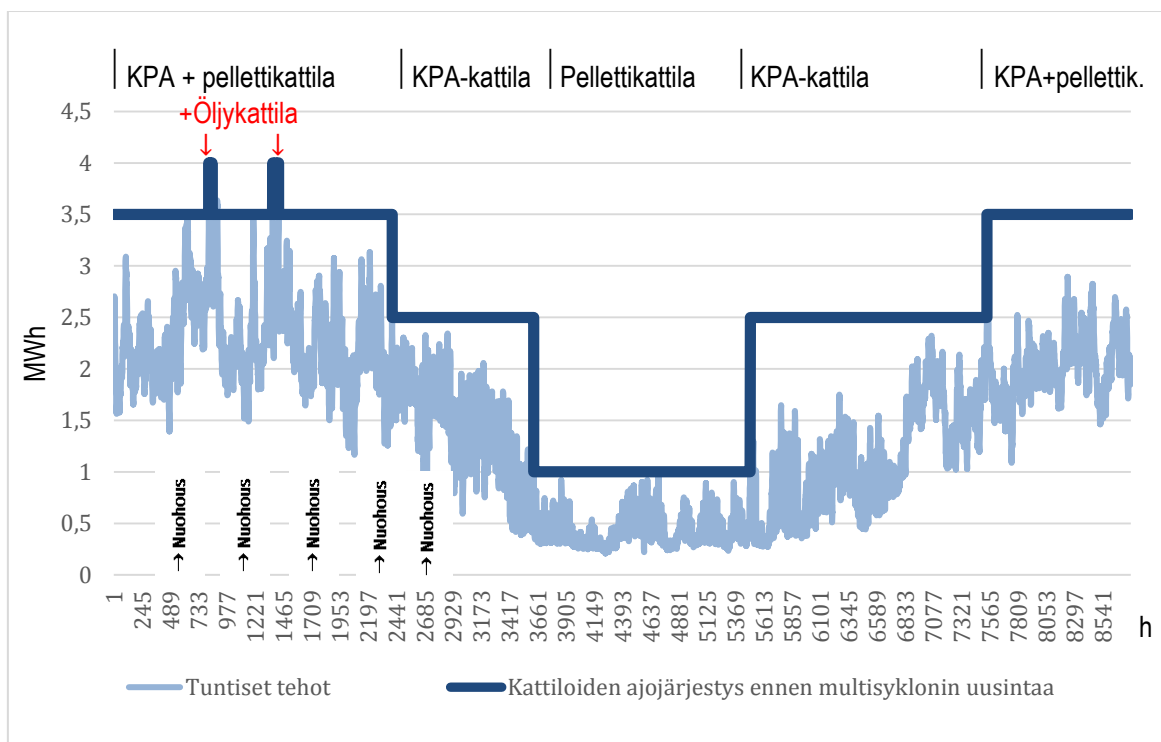
9.1 Tekninen tarkastelu

Vuoden 2020 lämmityskauden tilaston tuntisten tehontarpeiden mukaan voidaan selvittää, miten kattiloita on käytetty. Tilaston tuntiset tehontarpeet on koottu asiakasmittauksista, joten niihin lisätään vielä 15 % keskimääräisiä verkostohäviöitä. Tuntisten tehojen mukaan tehdystä kuvasta 29 nähdään helposti, minkälaisilla tehoalueilla vuoden aikana liikutaan. Maksimi tuntinen tehon tarve on ollut 3,9 MWh ja minimi 0,2 MWh.



KUVA 29. Vuoden 2020 tuntiset tehontarpeet sisältäen verkostohäviöt

Kattiloita käytetään aina tehontarpeen mukaan (kuva 30). Vuoden 2020 lämmityskauden tuntisten tehon tilaston mukaan suurimman osan lämpökuormasta kattaa 2,5 MW:n KPA-kattila, joka on käytössä elokuun puolivälistä toukokuun loppuun. Sen rinnalla käytetään yhtäjaksoisesti 1 MW:n pellettikattilaa marraskuusta huhtikuun puoliväliin, kun tehontarve on yli 2,5 MWh. Huippuaikoina helmikuussa KPA- ja pellettikattilan rinnalle käynnistyy vielä 2,5 MW:n öljykattila aina, kun tehontarve ylittää 3,5 MWh. Kesäkuusta elokuun puoliväliin lämpökuormat ovat alle 1 MW, joten ne hoidetaan pellettikattilalla. Nuohouksia tehdään vuosihuoltojen lisäksi tammi - huhtikuu aikana yhteensä 5 kertaa, noin 3–4 viikon välein, jolloin tuotanto korvataan öljykattilalla.



KUVA 30. Kattiloiden ajojärjestys ja tammi - huhtikuussa tehtävät nuohoukset

Uuden multisyklonin tuoma todellista kattilatehonnäistä on vaikea vielä tässä vaiheessa tarkalleen sanoa. Vasta lämmityskauden kunnolla alkaessa voidaan tehontarpeiden kasvaessa todeta minkälaisiin tehon nousuihin KPA-kattilalla todellisuudessa päästään. Purkuvaiheessa huomattu vanhan multisyklonin kunto kuitenkin osoitti, että jo samanlainen ehjä multisykloni nostaisi kattilatehoa nykyisestä. Näin ollen voidaan olettaa, että uusi isomman läpivirtauksen multisykloni nostaisi kattilatehoa entisestä. Kaavalla 1 lasketaan uuden multisyklonin mitoitustilavuusvirtauksen prosentuaalinen kasvu.

$$\frac{v_{uusims} - v_{vanhams}}{v_{vanhams}} * 100$$

KAAVA 1

missä

$v_{vanhams}$ = vanhan multisyklonin mitoitustilavuusvirtaus [m³/s]

v_{uusims} = uuden multisyklonin tilavuusvirtaus [m³/s]

$$\frac{2,8 \frac{m^3}{s} - 2,26 \frac{m^3}{s}}{2,26 \frac{m^3}{s}} * 100 = 23 \%$$

Jos oletetaan kattilatehon kasvavan prosentuaalisesti samassa suhteessa uuden multisyklonin mitoitustilavuusvirtauksen kanssa, voidaan kaavalla 2 laskea KPA-kattilan tehon nousu. Näin ollen KPA-kattilan teho nousisi 3 MW:iin.

$\emptyset_{ennenms}$ * multisyklonin mitoitusvirtauksen prosenttuaalinen kasvu

KAAVA 2

missä

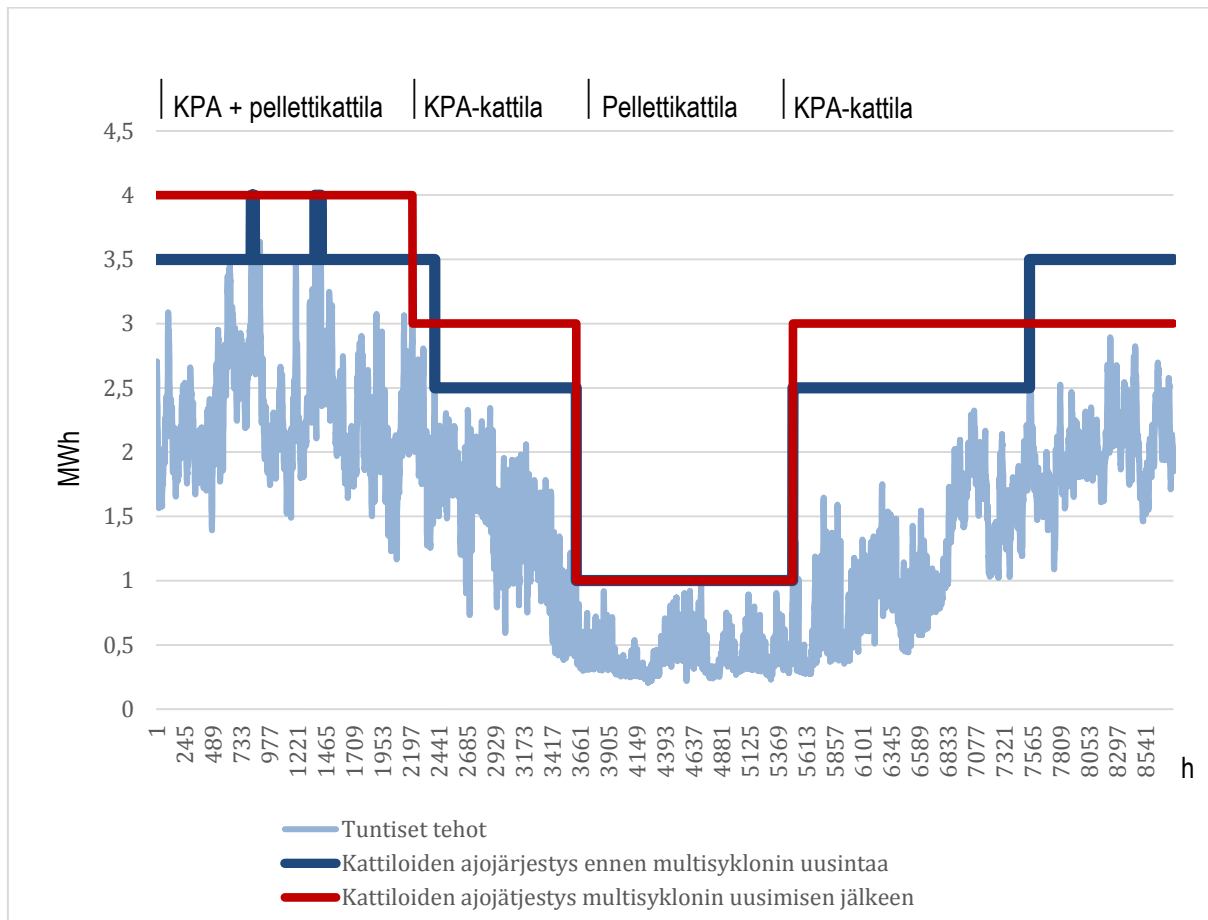
$\emptyset_{ennenms}$ = kattilateho ennen multisyklonin vaihtamista [MW]

$$2,5 \text{ MW} * \frac{23}{100} = 0,5 \text{ MW}$$

Ääninuohonten asentamisen todellisia vaikutuksia ei myöskään voida vielä täysin todeta. Seuraavan vuosihuollon yhteydessä nähdään miten tuliputket ovat pysyneet auki ja sen mukaan voidaan arvioida nuohouksen todellista tarvetta jatkossa. Oletettavasti ja hyvin todennäköisesti ääninuohontien vaikutuksesta vuosihuoltojen välillä nuohoustarvetta ei enää ole, joten viisi nuohouskertaa jää kokonaan pois. Näin ollen KPA-kattilaa ei tarvitse ajaa alas 3–4 viikon välein talvella, jolloin KPA-kattilan käytettävyys paranee.

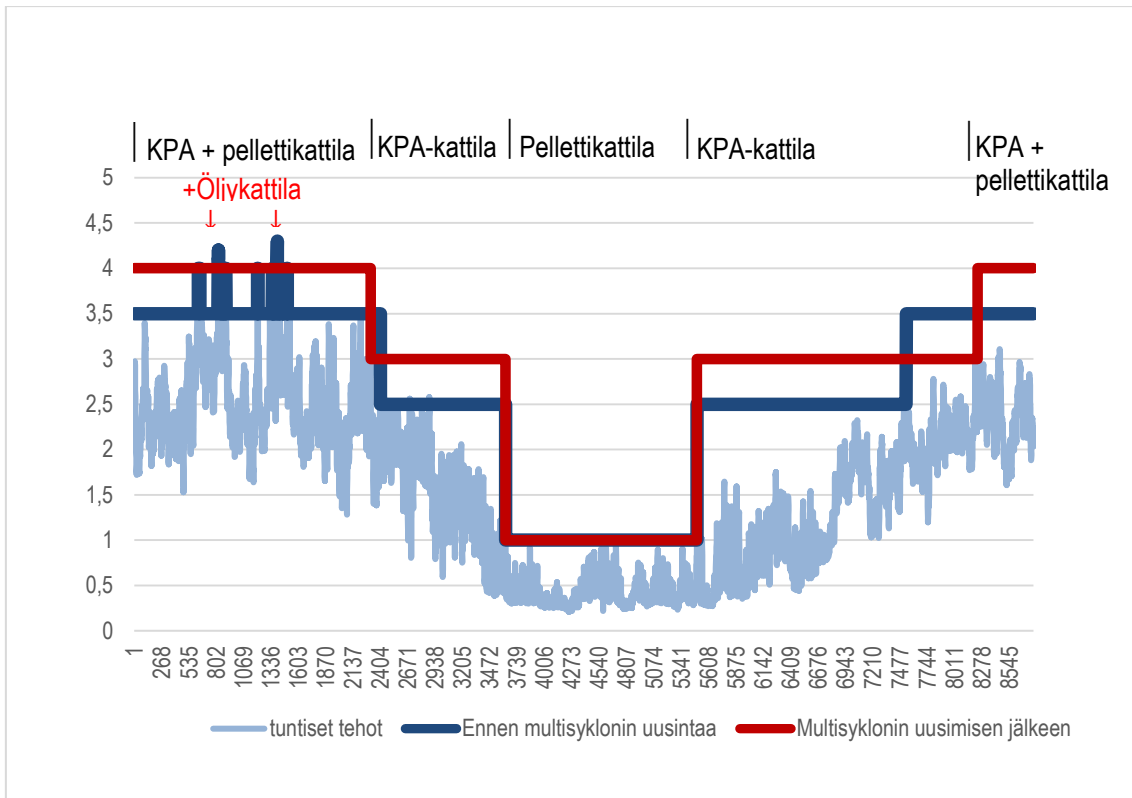
Näillä oletuksilla voidaan todeta hankkeen vaikutukset kattiloiden käyttöön verraten vuoden 2020 lämmityskauden tilastoon (kuva 31). KPA- ja pellettikattilan rinnan tuoma 4 MW:n teho pystyisi kattamaan tehontarpeet kokonaisuudessaan tammikuusta maaliskuun loppuun. Huippuaikoina helmi-

kuussa öljykattilaa ei enää tarvittaisi ollenkaan. Keväällä pellettikattilan käyttöä KPA-kattilan rinnalla voisi mahdollisesti hieman vähentää. Kesän pellettikattilan käyttöön ei aiheutuisi muutoksia. Marras - joulukuussa pellettikattilaa ei enää tarvittaisi ollenkaan KPA-kattilan rinnalla. Öljykattilan käyttö jäisi kokonaisuudessaan pois myös nuohousten jäädessä pois vuosihuoltojen välissä



KUVA 31. Vertailu kattiloiden käytöstä lämmityskaudella 2020 ennen hanketta ja hankkeen jälkeen

Ilmatieteenlaitoksen vuosittaisten tilastojen mukaan talvi 2020 oli poikkeuksellisen leuto (9). Yrityksen lämmönmyynti jäi kuluvana vuotena 10% keskimääräistä tasoa alhaisemmaksi. Kuvasta 32 nähdään saman tyylinen ennen hanketta ja hankkeen jälkeen vertailu, jos tehontarve olisikin ollut lämmityskaudella marras - huhtikuun aikana 10 % vuoden 2020 tilastoa suurempi. Ennen hanketta öljykattilaa olisi jouduttu käyttämään huippuaikojen lämpökuorman kattamiseen tammi - helmikuussa huomattavasti enemmän kuin hankkeen jälkeen. Joulukuussa sen sijaan pellettikattilaa tarvittaisi KPA-kattilan rinnalla kattamaan lämpökuormaa.



KUVA 32. Vertailu, jos lämmönmyynti kasvaisi 10% vuoden 2020 lämmityskauden tilastosta

9.1.1 Hankkeen vaikutukset öljynkulutukseen

Laskemalla vuoden 2020 tilastojen mukaan huippukulutusten ja vuosihuoltojen välissä tehtävien nuohousten aikana käytetty öljyn määrä saadaan selville paljonko öljyä hankkeen vaikutuksesta säästyisi. Taulukossa 1 yrityksen seurantajärjestelmän mukaiset kuukausittaiset öljykattilan käyntiajat ja öljykattilalla tuotettu energia lämmityskaudella 2020.

TAULUKKO 1. Vuoden 2020 lämmityskauden öljykattilan energiantuotanto- ja käyntitiedot

	Öljykattilalla tuotettu energia [MWh]	Öljykattilan käyntiaika nuohouksen aikana [h]	Öljykattilan käyntiaika huippukulutuksen aikana [h]	Öljykattilan käyntiaika yhteensä [h]
Tammikuu	11,06	4		4
Helmikuu	38,96	6	9	15
Maaliskuu	12,46	6		6
Huhtikuu	30	12		12

Huippukulutusten lämpökuormaa on katettu öljykattilalla helmikuussa. Öljykattilan käyntitietojen mukaan öljynkulutus [kg] huippuaikoina lasketaan kaavalla 3, kun yrityksen käyttämän kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 43,2 MJ/kg.

$$m_{POKhuippu} = \left(\frac{\frac{Q_{POK,helm}}{\left(\frac{Q_{net,ar}}{3,6}\right)}}{t_{kok,helm}} \right) * t_{huippu,helm} * 1000 \quad \text{KAAVA 3}$$

missä

$Q_{POK,helm}$	öljykattilalla tuotettu energia helmikuussa [MWh]
$Q_{net,ar}$	kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]
$t_{kok,helm}$	öljykattilan käyntiaika yhteensä helmikuussa [h]
$t_{huippu,helm}$	öljykattilan käyntiaika huippukulutuksen aikana helmikuussa [h]

Kevyen polttoöljyn tiheys on keskimäärin $0,85 \text{ kg/dm}^3 = 0,85 \text{ kg/l}$, jonka mukaan öljyn tilavuusvirtaus [l/s] huippukulutuksen aikana lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{v}_{POK} = \frac{\left(\frac{m_{POK}}{t * 3600 \text{ s}}\right)}{\rho_{POK}} \quad \text{KAAVA 4}$$

missä

m_{POK}	kevyen polttoöljyn kulutus huipputehontarpeiden aikana [kg]
t	kattilan käyntiaika huippukulutuksen aikana [h]
ρ_{POK}	kevyen polttoöljyn keskimääräinen tiheys [kg/l]

Öljynkulutus [l] huippukulutusten aikoina yhteensä lasketaan kaavalla 5.

$$v_{pok} = \dot{v}_{POK} * (t * 3600 \text{ s}) \quad \text{KAAVA 5}$$

missä

\dot{v}_{POK} kevyen polttoöljyn tilavuusvirtaus huippukulutuksen aikana [l/s]
 t öljykattilan käyntiaika huippukulutuksen aikana [h]

Tammikuussa, maalikuussa ja huhtikuussa öljykattila on ollut käytössä vain nuohousten aikana, jolloin näille kuukausille lasketaan kuukausi kohtainen öljynkulutus [kg] nuohousten aikana kaavalla 6.

$$m_{POK,kk} = \frac{Q_{POK,kk}}{\left(\frac{Q_{net,ar}}{3,6}\right)} * 1000 \quad \text{KAAVA 6}$$

missä

$Q_{POK,kk}$ öljykattilalla nuohouksen aikana tuotettu energia kuukaudessa [MWh]

$Q_{net,ar}$ kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]

Helmikuussa öljykattila on ollut käytössä huippukulutusten- ja nuohouksen aikana. Nuohouksen aikainen öljynkulutus [kg] helmikuussa lasketaan kaavalla 7.

$$m_{POKnuoh} = \left(\frac{\frac{Q_{POK,helm}}{\left(\frac{Q_{net,ar}}{3,6}\right)}}{t_{kok,helm}} \right) * t_{nuohous,helm} * 1000 \quad \text{KAAVA 7}$$

missä

$Q_{POK,helm}$ öljykattilalla tuotettu energia helmikuussa [MWh]

$Q_{net,ar}$ kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]

$t_{kok,helm}$ öljykattilan käyntiaika yhteensä helmikuussa [h]

$t_{nuohous,helm}$ öljykattilan käyntiaika nuohouksen aikana helmikuussa [h]

Öljyn tilavuusvirtaus [l/s] nuohouksen aikana lasketaan kaavalla 4.

Öljynkulutus [l] nuohouksen aikana yhteensä lasketaan kaavalla 5.

Taulukossa 2 öljynkulutus huippuaikoina helmikuussa. Verrattaessa vuoden 2020 lämmityskauden öljynkulutukseen uuden multisyklonin vaihtamisen tuoman oletetun 0,5 MW KPA-kattilan tehon nousun vaikutuksesta öljyn käyttö huippukulutuksenaikoina vähenisi noin 1,9 tonnia.

TAULUKKO 2. Huippuaikojen öljynkulutus

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	yht.
Huiput [kg]		1948			1948
Huiput [l]		2291,76			2291,765
Huiput [l/s]		0,071			0,071

Taulukossa 3 öljynkulutus nuohousten aikana lämmityskaudella 2020. Ääninuohointen asentamisen jälkeen nuohoukselle on oletettavasti tarvetta ainoastaan vuosihuolloissa, mikä tarkoittaisi noin 5,8 tonnin vähennystä öljynkulutuksessa.

TAULUKKO 3. Nuohousten aikainen öljynkulutus

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	yht.
Nuohous [kg]	921,66	1298,66	1038,33	2500	5758,65
Nuohous [l]	1084,31	1527,84	1221,565	2941,176	6774,88
Nuohous [l/s]	0,054	0,051	0,041	0,05	0,067

9.1.2 Hankkeen vaikutukset pelletinkulutukseen

Vuoden 2020 lämmityskauden tilastoon verraten pellettikattilan käyttö vähentyisi hankkeen vaikutuksesta merkittävimmin loppuvuodesta marras - joulukuun aikana, jolloin pellettikattilaa ei tarvitsisi käyttää ollenkaan KPA-kattilan rinnalla. Laskemalla vuoden 2020 lämmityskauden tilastojen mukaan marras - joulukuun aikana kulutettu pelletin määrä saadaan selville, kuinka paljon pellettiä voisi säästyä.

Yrityksen sisäisen seurantajärjestelmän tilaston mukaan vuonna 2020 pellettikattilalla tuotettiin energiaa marras - joulukuun aikana yhteensä 85,5 MWh, jolloin pellettikattilan käyntiaika oli 145

tuntia. Pelletin tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 16,811 MJ/kg. Pelletinkulutus [kg] marras - joulukuun aikana lasketaan kaavalla 8.

$$m_{\text{pelletti}} = \frac{Q_{\text{pelletti}}}{\left(\frac{Q_{\text{net,ar}}}{3,6}\right)} * 1000 \quad \text{KAAVA 8}$$

missä

Q_{pelletti} pellettikattilalla tuotettu energia [MWh]

$Q_{\text{net, ar}}$ pelletin tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]

$$\frac{85,5 \text{ MWh}}{\left(\frac{16,811 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}{3,6}\right)} * 1000 = 18309,33 \text{ kg}$$

Pelletin tiheys on 650 kg/m³, jonka mukaan pelletinkulutus muutetaan tilavuusyksikköön [m³] kaavalla 9.

$$v_{\text{pelletti}} = \frac{m_{\text{pelletti}}}{\rho_{\text{pelletti}}} \quad \text{KAAVA 9}$$

missä

m_{pelletti} pelletinkulutus [kg]

ρ_{pelletti} pelletin tiheys [kg/m³]

$$\frac{18309,33 \text{ kg}}{650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 28,17 \text{ m}^3$$

9.1.3 Hankkeen vaikutukset KPA-kattilan paine-eroon

Ennen ja jälkeen uuden multisyklonin asennuksen kerättyä mittaustietoa hyödyntämällä voidaan vertailla, kuinka paljon multisyklonin vaihtaminen vaikuttaa KPA-kattilan paine-eroon. Ennen hanketta kerätyt mittaustiedot ovat huhtikuun - kesäkuun väliseltä ajalta, kun ulkolämpötilan vaihtelu

on ollut $-2,7\text{ °C}$ ja $+25\text{ °C}$ välillä. Paine-ero on ollut alimmillaan 130 Pa kattilatehon ollessa 0,6 MW. Korkeimmillaan paine-ero on ollut 750 Pa kattilatehon ollessa 2,3 MW. Ennen multisyklonin vaihtamista paine-ero oli todella suuri varsinkin kattilatehon kasvaessa.

Uuden multisyklonin vaihtamisen jälkeen paine-ero tiedot ovat kerätty syyskuun - lokakuun väliseltä ajalta ulkolämpötilan vaihdelta -6 °C ja $+15\text{ °C}$ välillä. Alimmillaan paine-ero on ollut 100 Pa kattilatehon ollessa 1,2 MW. Korkeimmillaan paine-ero on ollut 560 Pa kattilatehon ollessa 2,6 Pa. Uuden ehjän multisyklonin vaihtamisen vaikutuksesta savukaasun happimittaus näyttää nyt oikein, jolloin sekundääripuhallin toimii oikein ja palaminen on optimaalista. Multisyklonin vaihtamisen jälkeen kattilan paine-erot ovat pysyneet selvästi matillisempina.

9.2 Taloudellinen tarkastelu

Hankkeen kannattavuustarkastelu tehdään takaisinmaksuajan menetelmän mukaan. Laskennassa esitetyt hinnat ovat arvonlisäverottomia hintoja. Hankkeen kokonaiskustannus on 49 582 €. Hankkeelle myönnettiin BusinessFinlandin energiatukea 20 % hankkeen kokonaissummasta. Energiatuen osuus on 9914,4 €, joten hankkeen investointikustannukseksi jää 39 665,5 €.

Hankkeella saavutettavat vuotuiset säästöt koostuvat huippukulutusten aikana vähentyvästä öljynkulutuksesta sekä nuohousvälien pidentymisen ansiosta vähentyvästä öljynkulutuksesta. Hankkeen vaikutuksesta öljynkulutus vähenee vuodessa noin 9066,6 litraa. Öljyn ostohinta on 0,867 €/l, jolloin vuotuinen hankkeella saavutettava säästö lasketaan kaavalla 10.

$$\text{Hankkeen vuotuinen säästö} = m_{POKsäästö} * \text{öljyn hinta} \quad \text{KAAVA 10}$$

missä

$m_{POKsäästö}$ säästettävä öljynmäärä [l]

$$9066.6\text{ l} * 0,867 \frac{\text{€}}{\text{l}} = 7860,8\text{ €}$$

Multisyklonin ja ääninuohointen vuotuiset käyttökustannukset koostuvat vuosihuolloista, uusittavista osista sekä kompressorin sähkönkulutuksesta. Vuosihuollot tekevät yrityksen omat kaukolämpölaitosasentajat. Vuosihuoltojen kestoksi on arvioitu yhteensä 8 h ja omantyyön hinta on 30 €/h sivukuluineen. Kaavalla 11 lasketaan vuosihuolloista aiheutuvat käyttökustannukset.

$$\text{Käyttökustannus, vuosihuolto} = t_{\text{vuosihuolto}} * \text{omantyyön hinta}$$

KAAVA 11

missä

$t_{\text{vuosihuolto}}$ vuosihuoltoihin kuluva aika [h]

$$8 \text{ h} * \frac{30 \text{ €}}{\text{h}} = 240 \text{ €}$$

Multisyklonissa ei ole ohjeistuksen mukaan säännöllisesti uusittavia osia. Ääninuohoimissa oleva äänigeneraattorin kalvo on ohjeistuksen mukaan vaihdettava 150 käyttötunnin jälkeen. Nykyisillä säätöparametreilla kalvon vaihto olisi 8 vuoden välein, mikä voidaan jakaa vuosittaisiksi käyttökustannuksiksi. Äänigeneraattorin kalvo maksaa noin 200 €, jolloin vuotuinen tarvikkeiden käyttökustannus lasketaan kaavalla 12.

$$\text{Käyttökustannus, tarvikkeet} = \frac{\text{äänigeneraattorinkalvon hinta} * \text{ääninuohointen lukumäärä}}{t_{\text{kalvo}}}$$

KAAVA 12

missä

t_{kalvo} äänigeneraattorin kalvon vaihtoväli [a]

$$\frac{200 \text{ €} * 2}{8 \text{ a}} = 50 \text{ €/a}$$

Kompressorin teho on 5,5 kW ja vuotuinen käyntiaika ääninuohointen säätöparametrien mukaan on 876 h. Sähköenergian hinta on 140 €/MWh, jolloin kaavalla 13 lasketaan kompressorin vuotuiset käyttökustannukset.

$$Käyttökustannus, kompressori = \left(\frac{\emptyset_{kompressori} * t_{kompressori}}{1000} \right) * \text{sähköenergian hinta}$$

KAAVA 13

missä

$\emptyset_{kompressori}$ = kompressorin teho [kW]

$t_{kompressori}$ = kompressorin vuotuinen käyntiaika [h]

$$\left(\frac{5,5 \text{ kW} * 876 \text{ h}}{1000} \right) * 140 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 674,52 \text{ €}$$

Takaisinmaksuajanmenetelmän lopputuloksesta nähdään, kuinka nopeasti investointi on maksettu takaisin (kaava 14).

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Investointikustannus}}{\text{Säästö vuodessa} - \text{käyttökustannukset}}$$

KAAVA 14

$$\frac{39665,5 \text{ €}}{7860,8 \text{ €} - 964,52 \text{ €}} = 5,8 \text{ vuotta}$$

10 POHDINTA

Opinnäytetyössä pyrittiin tekemään mahdollisimman havainnollistava kuvaus hankkeesta, jossa tavoiteltiin kattilatehon nostoa uusimalla multisykloni sekä parannettiin kattilan käytettävyyttä asentamalla ääninuohoimet. Hankkeen seurauksilla pyrittiin öljynkäytön vähentämiseen, jota tutkittiin vertailemalla hankkeen oletettavia vaikutuksia edellisen vuoden lämmityskauden tilastoon. Hankkeen taloudellista näkökulmaa tarkasteltiin investoinnin takaisinmaksuajan menetelmän mukaan.

Kaukolämpölaitoksen huolellisella suunnittelulla on iso merkitys laitoksen käytettävyyteen. Hyvin suunniteltu laitekokonaisuus sekä prosessin kulku ja toimivuus tekevät laitoksesta toimintoiltaan sekä käytettävyydeltä optimaalisen. Mittauspisteiden oikealla asemoinnilla saadaan aikaan hyvin toimiva automatiikka ja seuranta. Kunnossapitojärjestelmän tehtävänä on pitää laitos hyvässä kunnossa ja ennakoivalla kunnossapidolla voidaan ennalta ehkäistä vahinkoja ja säästyä isommilta taloudellisilta menetyksiltä.

Ajansaatossa kaukolämpölaitoksella käyttötarpeet muuttuvat ja muutoksiin pitää vastata, jotta toiminta pysyy kannattavana. Tänä päivänä ilmastopoliittika on tuonut omat haasteensa energiantuotantoon. Ilmastotavoitteiden ja päästörajojen tiukentuessa polttoaineiden käyttöä on rajoitettu, minkä vuoksi laitteita pitää päivittää. Kehittyneiden hukkalämmön- ja teollisuudensivuvirtojen hyödyntämisen myötä kaukolämmöstä puhutaankin jo hyvin ilmastoystävällisenä lämmitysmuotona, mikä lisää kaukolämmön kiinnostavuutta ja kysynnän kasvua. Kysynnän ja tarpeen kasvaessa tuotantokapasiteettia on pystyttävä lisäämään.

Vuoden 2020 lämmityskauden tilastoihin pohjautuneet vertailut osoittavat, että hankekohteen kaukolämpölaitokselle tehdyt muutokset parantavat laitoksen toimintaa, joten se vastaa nyt paremmin muuttuneeseen käyttötarpeeseen. Vaikka hankkeen vaikutukset ovat vielä tässä vaiheessa suurimmalta osin oletettuja, voidaan kattilan tämänhetkisten käyntitietojen perusteella todeta hankkeen olleen kannattava ja onnistunut. Olettamukset, joiden perusteella öljynkulutuksen väheneminen on laskettu, ovat hyvin realistisia. Todelliset tulokset jäävät nähtäväksi tulevan lämmityskauden aikana. Investoinnin takaisinmaksuajan menetelmään pohjautuneen laskelman mukaan hanke kokonaisuudessaan maksisi itsensä takaisin hyvin nopeasti.

LÄHTEET

1. Loimua Oy. Loimuan yritysvastuu raportti 2020. Hakupäivä 21.6.2021. <https://www.loimua.fi/vastuullisuus/>.
2. Loimua Oy. 18.3.2020. Uusiutuvilla kohti hiilineutraalia lämmöntuotantoa. Hakupäivä 21.6.2021. <https://www.loimua.fi/uusiutuvilla-kohti-hiilineutraalia-lammon-tuotantoa/>.
3. Ohlström, Mikael. 1998. Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. Diplomityö Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo.
4. Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen. 1994. Höyrykattilateknikka. Oy Edita Ab. Helsinki
5. Dust control systems Oy. Savukaasupuhdistimet ja dynaamiset erottimet. Hakupäivä 22.6.2021. <https://www.dcs.fi/savukaasupuhdistimet>.
6. Nirafon 2017. Käyttöohje. Sisäinen lähde.
7. Cooper, C. David & Alley, F. C. 1986. Air pollution control a design approach. Yhdysvallat.
8. Nirafon. Acoustic cleaning at all temperatures. Hakupäivä 22.7.2021. https://landing.nirafon.com/?gclid=EAlaQob-ChMI7_qo7v718QIVBp53Ch2ZVQjAEEAYASAAEgJ_wvD_BwE.
9. Ilmatieteenlaitos. Vuoden 2020 sää. Hakupäivä 17.9.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2020>.