

Jyri Kaunisto

KAANAAN VOIMALAITOKSEN PAINEILMAN TUOTANNON
OPTIMOINTI, NYKYISEN SÄÄDÖN TOIMIVUUS, PAINEILMAN
KULUTUSPROFIILI JA VANHAN VOIMALAITOKSEN
HUOMIOINTI TULEVASSA TILANTEESSA

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

2020

KAANAAN VOIMALAITOKSEN PAINEILMAN TUOTANNON OPTIMOINTI, NYKYISEN SÄÄDÖN TOIMIVUUS, PAINEILMAN KULUTUSPROFIILI JA VANHAN VOIMALAITOKSEN HUOMIOINTI TULEVASSA TILANTEESSA

Kaunisto, Jyri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2020
Sivumäärä: 41
Liitteitä: 0

Asiasanat: paineilma, voimalat, kompressorit

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda kulutusprofiili Porin Prosessivoima Oy:n Kaanaassa sijaitsevalle biovoimalaitokselle, selvittää nykyisen paineilmakapasiteetin riittävyttä muuttuvaan tilanteeseen, sekä mahdollisesti löytää paineilmakompressoreiden nykyiseen säätöön kehityskohteita.

Paineilman kulutus biovoimalaitoksella laskettiin laitoksen automaatiojärjestelmästä saadun kompressoreiden virrankulutushistorian perusteella. Virrankulutushistoria muunnettiin karkeasti paineilman tuotannoksi kompressoreiden maksimi virrankulutusta ja maksimi paineilman tuotantoa lineaarisesti vertaamalla. Voimalaitosalueen vanhempien voimalaitosten, sekä vedenkäsittelylaitoksen paineilman kulutus selvitettiin paineilman virtausmittaushistorian avulla. Näiden historiatietojen avulla luotiin paineilmankulutuksen kuvaajat.

Vanhempien voimalaitosten ja vedenkäsittelylaitoksen tarkasteluväliksi otettiin 1.5.2018–31.10.2019, jolloin kaikkien vanhempien voimalaitosten tiedettiin olleen ajossa ja saatiin tarpeeksi suuri otanta. Nykyiseen paineilmakompressorikapasiteettiin otettiin kuitenkin huomioon vain suurin paineilman kulutus edelliseltä kokonaiselta ajokaudelta, jolloin voitiin nähdä nykyisen biovoimalaitokselle mitoitettun paineilmakompressorikapasiteetin olevan riittävä korvaamaan vielä nykyinen vanhemman voimalaitosalueen paineilmalähde. Biovoimalaitoksen paineilman tuotannon ja kulutuksen tarkasteluun otettiin nykyistä edellisen kokonaisen voimalaitoksen ajokauden 26.9.2018–22.5.2019 historiatiedot.

Nykyiseen säätöön ja optimointiin haettiin parannuskohteita haastattelemalla laitoksen käyttömestaria, hakemalla tietoa kompressoritoimittajien ohjeista, ammattikirjallisuudesta, Motivan energiakatselmoijan käsikirjasta, sekä Pohjolan Voiman Kronodoc-järjestelmästä löytyvistä raporteista.

OPTIMIZATION OF COMPRESSED AIR PRODUCTION OF THE POWER PLANT OF KAANAA, FUNCTIONING OF THE CURRENT CONTROL, COMPRESSED AIR CONSUMPTION PROFILE AND CONSIDERATION OF THE OLD POWER PLANT IN THE FUTURE

Kaunisto, Jyri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

April 2020

Number of pages: 41

Appendices: 0

Keywords: pneumatic, power stations, compressors

The purpose of this thesis was to create a consumption profile for Porin Prosessivoima Oy's biopower plant in Kaanaa, to find out the adequacy of the current compressed air capacity for the changing situation, and possibly to find development targets for the current control of compressed air compressors.

The compressed air consumption at the biopower plant was calculated based on the history of compressor power consumption from the plant's automation system. The power consumption history was roughly converted to compressed air production by linear comparison of the maximum power consumption and maximum compressed air production of the compressors. The compressed air consumption of the older power plants in the power plant area, as well as the water treatment plant, were determined using the history of compressed air flow measurement. The graphs of compressed air consumption were created using this history data.

The measuring data that were under review of the older power plants and the water treatment plant took place between 1 May 2018 and 31 October 2019, when all the older power plants were known to be in operation and a sufficiently large sample was obtained. However, the current compressed air compressor capacity took into account only the highest compressed air consumption from the previous complete operating season, when it could be seen that the current compressed air compressor capacity designed for the biopower plant is sufficient to replace the current compressed air source in the older power plant area. In order to examine the production and consumption of compressed air at the biopower plant, the current history data for the power plant's previous entire operating period from 26 September 2018 to 22 May 2019 were taken into account.

Improvements to the current control and optimization were sought by interviewing the plant's master, by searching for information on compressor supplier instructions, professional literature, Motiva's energy reviewer's manual, and reports found in Pohjolan Voima's Kronodoc system.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PAINEILMA	7
2.1	Paineilman käyttö teollisuudessa	7
2.2	Paineilmajärjestelmä	7
2.3	Paineilmajärjestelmän tarkastelu	8
2.4	Paineilman laatu.....	9
2.4.1	Ölly paineilmassa.....	9
2.4.2	Paineilman kosteus.....	9
2.4.3	Pienhiukkaset paineilmassa	10
3	KOMPRESSORIT.....	11
3.1	Ruuvikompressori.....	11
3.1.1	Muita kompressorityyppejä	11
3.2	Kompressoreiden säädöt	12
4	PAINEILMAJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI.....	14
4.1	Paineilmavuodot	14
4.2	Kompressoreiden ohjaus	15
4.3	Käyttöpaineen valinta	16
4.4	Imuilman lämpötila.....	17
4.5	Imuilman kanava ja imusuodatin	17
4.6	Muita mahdollisia optimointikohteita.....	18
5	PAINEILMASÄILIÖN TEHTÄVÄT.....	19
6	PAINEILMAN KUIVAIMET JA KASTEPISTE	20
7	KAANAAN VOIMALAITOSALUE	21
7.1	Voimalaitosalueen kattilalaitokset	21
7.2	Voimalaitosalueen kattiloiden tietoja	21
8	VOIMALAITOSALUEEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ.....	22
8.1	Kaanaan voimalaitosalueen paineilmajärjestelmän kuvaus.....	22
8.2	Kaanaan voimalaitosalueen paineilman kulutus.....	26
8.3	Uuden voimalaitoksen kompressoreiden kuormitus.....	29
8.4	Biovoimalaitoksen paineilman kulutus.....	30
8.5	Painekuljetinjärjestelmä.....	32
9	KOMPRESSOREIDEN SÄÄDÖT	33
10	TULOSTEN TARKASTELU	34
10.1	Nykyinen paineilmakapasiteetti.....	34

10.2	Varakompressorin valinta	34
10.3	Nykyisen säädön toimivuus ja optimointi.....	35
10.3.1	Kompressoreiden säädöt	35
10.3.2	Paineilmavuodot	35
10.3.3	Paineilmatyökalut	35
10.3.4	Paineilmalla toimivat toimilaitteet.....	36
10.3.5	Automaatiomuutokset	36
10.4	Kulutusprofiili.....	36
11	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT	40
	LÄHTEET.....	41

1 JOHDANTO

Porin Prosessivoima on Pohjolan Voiman tytäryhtiö, jonka tuotanto-osuudet ovat Porin kaupungin ja Kemira Oyj:n hallinnassa. Porin Prosessivoiman biovoimalaitos sijaitsee Porissa Kaanaan kaupunginosan teollisuusalueella. Samalla voimalaitosalueella sijaitsee hiilikattilalaitos Pyroflow, sekä kolme pienempää kattilaa öljyvoimalaitoksena tunnetussa rakennuksessa. Biovoimalaitos valmistui vuonna 2008 ja sen omistaa sataprosenttisesti Porin prosessivoima. Voimalaitokset tuottavat energiaa alueen teollisuudelle ja Porin kaupungille, sekä sähköä omistajilleen. Voimalaitosten käynnissä- ja ylläpidosta vastaa Pori Energia. Pori Energia Oy taas on porilaisessa omistuksessa oleva energia-alan palveluita tuottava ja tarjoava yritys.

Vielä tätä opinnäytetyötä tehtäessä voimalaitosalue saa osan tarvitsemastaan paineilmaista kemianteollisuusalan yrityksen, Venator Finland Oy:n paineilmaverkosta, joka samalla toimii myös varapaineilmakapasiteettina biovoimalaitoksen kompressoreiden vikatilanteissa. Venator Finland Oy:n Porin tehdas paloi pahoin alkuvuonna 2017. Jälleenrakennus keskeytettiin kesällä 2018 ja saman vuoden syksyllä ilmoitettiin tehtaan sulkeutuvan vuoden 2021 loppupuolella. Siirtymäaika jatkuu osatuotannolla.

Venator Finland Oy:n lopettamisilmoituksen jälkeen Kaanaan voimalaitosalue on tilanteessa, jossa se tarvitsee uuden paineilman lähteen varalle Venatorilta saadun paineilman tilalle.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään nykyisen paineilman kulutuksen kulutusprofiilia ja kapasiteetin määrää varakompressorin hankintaa ja mitoitusta silmällä pitäen. Myös kattilakapasiteettiin ja täten myös paineilman tarpeeseen on tulossa hieman muutoksia. Samalla kartoitetaan nykyisen säädön toimivuutta ja optimointia.

2 PAINEILMA

2.1 Paineilman käyttö teollisuudessa

Paineilmaa käytetään tavallisesti teollisuudessa tuotannon kannalta varsin keskeisiin toimintoihin, joten parannustoimenpiteiden konsultointi vaatii varsin syvällistä asiantuntemusta paineilmajärjestelmien katselmoijalta (Hagner n.d.).

Paineilman käytön laajuutta kuvaa arvio, jonka mukaan jopa 5 % teollisuusmaiden käyttämästä sähkötehosta kuluu paineilman tuottamiseen (Ellman 2002, 7).

Paineilma on helppokäyttöinen väliaine. Paineilmaa on aina saatavissa, koska tehdasrakennukset lähes poikkeuksetta varustetaan paineilmaverkolla. Paineilma on melko vaaratonta ja siistiä, lisäksi sitä voidaan myös varastoida. Paineilmalla on kuitenkin huono, noin viiden prosentin hyötysuhde. (Ellman 2002, 8.)

Mikäli paineilma on keskeytyksettömän tuotannon kannalta olennaista, on jatkuva ilman saanti varmistettava. Tehokas, mutta investoinniltaan kallis tapa on käyttää kolmea kompressoria. Tällöin yksi kompressori tuottaa perusilman, toinen käynnistyy kulutushuippujen aikana ja kolmas on varakoneena. (Fonselius 1997, 36.)

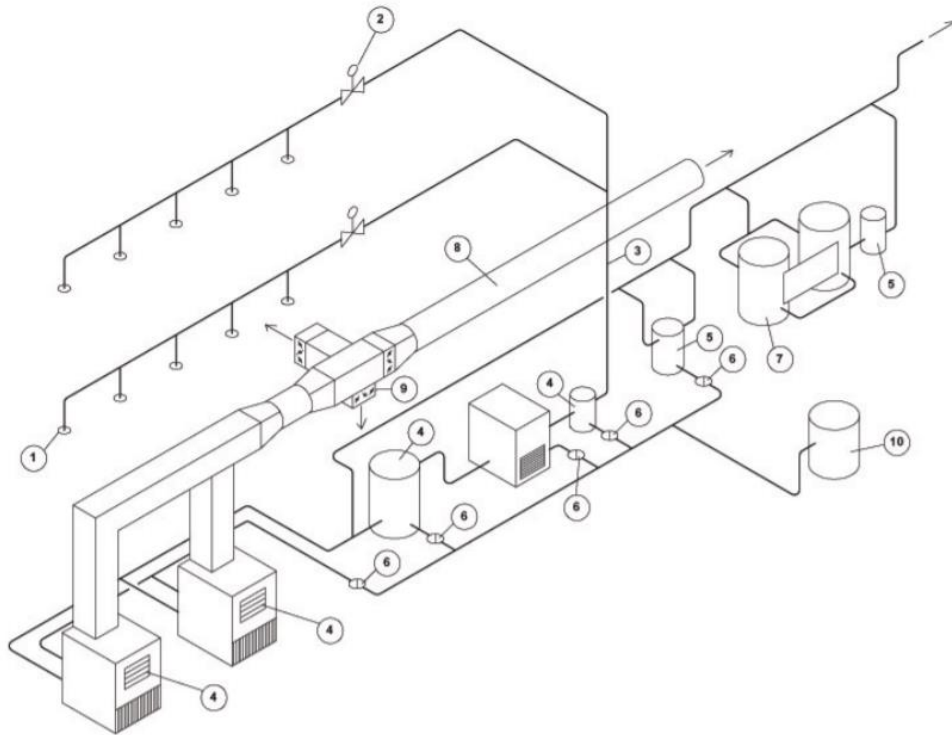
2.2 Paineilmajärjestelmä

Paineilmajärjestelmä muodostuu keskuslaitteistosta, verkostosta ja kuluttajalaitteista. Kaikissa näissä on suuria säästömahdollisuuksia. Keskuslaitteistoon kuuluvat kaikki kompressorit, säiliöt, suodattimet, jäähdyttimet, lauhteenpoisto ja näiden kaikkien automatiikka. Verkosto muodostuu kiinteästä verkosta ulosottoventtiileineen ja liittimineen. Kuluttajalaitteisiin voidaan lukea ulosottojen letkut ja itse paineilmalaitteet. (Hagner n.d.)

Paineilmajärjestelmän tehtävänä on tuottaa voimalaitoksen instrumentti- ja työpaineilmaverkkoon riittävä määrä laadultaan kohteiden vaatimukset täyttävää paineilmaa. Kompressorit, paineilman käsittelylaitteet, paineilmasäiliö ja putkisto muodostavat

paineilmajärjestelmän, jonka avulla voidaan tuoda haluttuihin kohteisiin paineilmaa. Paineilmajärjestelmän koko riippuu myös paineilman kulutuksesta. (Fonselius 1997, 9.)

2.3 Paineilmajärjestelmän tarkastelu



Kuva 1. Paineilmajärjestelmän yleisiä tarkistettavia kohteita (Hagner n.d.)

1. Liittimien ja muiden liittimiin verrattavissa olevien ilmavuotojen tarkastus
2. Käyttämättömänä olevien linjojen sulkeminen
3. Verkoston pullonkaulat
4. Kompessoreiden automatiikka ja säiliön koko
5. Suodattimien painehäviö ja venttiilien asento
6. Lauhteen poistimien toiminta
7. Kuivaimien tyyppi, ohjaus ja toiminta
8. Lämmöntalteenoton toiminta
9. Huoneen lämpötila ja imuilmajärjestelyt
10. Öljynerotuksen järjestelyt

2.4 Paineilman laatu

2.4.1 Öljy paineilmassa

ISO-standardin 8573-1 mukaan paineilmaa voidaan kutsua öljyttömäksi, kunhan sen öljypitoisuus, öljyhöyryt mukaan lukien, alittaa $0,01\text{mg/m}^3$ (ISO 8573-1: 2010).

Paineilmakompressori imee epäpuhtauksia, tiivistää ne puristusvaiheessa ja jälkikäsitelyn puuttuessa puhaltaa ne paineilmaverkostoon. Öljytöntä paineilmaa ei normaaleissa imuolosuhteissa voida tuottaa ilman jälkikäsitelyä kuivakäyvillä tai öljyjäähdysteilläkään kompressoreilla. Paineilmatuotannon taloudellisuus riippuu paine- ja tuottoalueista, jotka puolestaan määräävät vaaditun kompressorityypin. Käyttäjän tarpeita vastaavan paineilman jälkikäsitely alkaa riittävästä kuivauksesta. Käyttökohteesta riippuen, paineilma kuivataan joko jäähdytyskuivaimilla tai adsorptiokuivaimilla lukuisten erilaisten suodatinyhdistelmien täydentäessä järjestelmää. Näin toimien voidaan tuottaa luotettavasti ja edullisesti kaikkia ISO-standardin määrittelemiä paineilmalaatuja kuivasta ja hiukkasvapaasta aina teknisesti öljyttömään ja steriiliin paineilmaan saakka. (Kaeser n.d.)

2.4.2 Paineilman kosteus

Paineilman puhtauteen vaikuttaa suuresti tuotetun paineilman kosteus. Kosteus ja vesi aiheuttavat paineilmaputkistossa ja paineilmaa käyttävissä laitteissa merkittäviä käyntihäiriöitä ja kasvavia kunnossapitokustannuksia. Paineilman kuivaus suoritetaan yleisimmin keskitetysti paineilmakeskuksessa, kaikelle tuotetulle paineilmalle. (Tamrotor kompresorit Oy n.d.)

Meitä ympäröivä ilma sisältää aina myös tietyn määrän vettä. Kosteus riippuu kulloinkin vallitsevasta lämpötilasta. Yksi kuutiometri 100 prosenttisesti vesihöyrykyllästeistä ilmaa sitoo 25 celsiusen lämpötilassa liki 23 grammaa vettä. Paineilmajärjestelmästä kosteus on poistettava muun muassa ruostumisen riskin vuoksi. (Kaeser n.d.)

2.4.3 Pienhiukkaset paineilmassa

Pölypitoisuudet ilmassa vaihtelevat voimakkaasti eri alueilla. Pölypitoisuuteen vaikuttaa muun muassa harjoitettavan teollisuuden laatu, alueella tehtävät maansiirtotyöt, sekä tuulensuunta. Kompressoreiden imuilman mukana painejärjestelmään joutuu usein imuolosuhteista riippuen vaihtelevia määriä kiinteitä epäpuhtauksia, kuten luonnon, liikenteen ja teollisen tuotannon tuottamaa pölyä ja teollisuusalueilla esiintyviä kaasuja, esimerkiksi hiili -ja rikkihiilivetyjä. Kiinteistä epäpuhtauksista osa voidaan välttää kompressorien imupaikan tarkalla valinnalla ja ilmastointikanaviin asennettavilla suodattimilla. Imusuodatuksen käyttökustannuksista johtuen, ei ole kannattavaa pyrkiä suurempaan suodatustehoon, kuin viidestä kymmeneen mikrometrin partikkeli kokoon. Se on useimmiten riittävä poistamaan noin 95 prosenttia imuilman kiinteistä epäpuhtauksista. (Tamrotor kompressorit Oy n.d.)

3 KOMPRESSORIT

3.1 Ruuvikompressorit

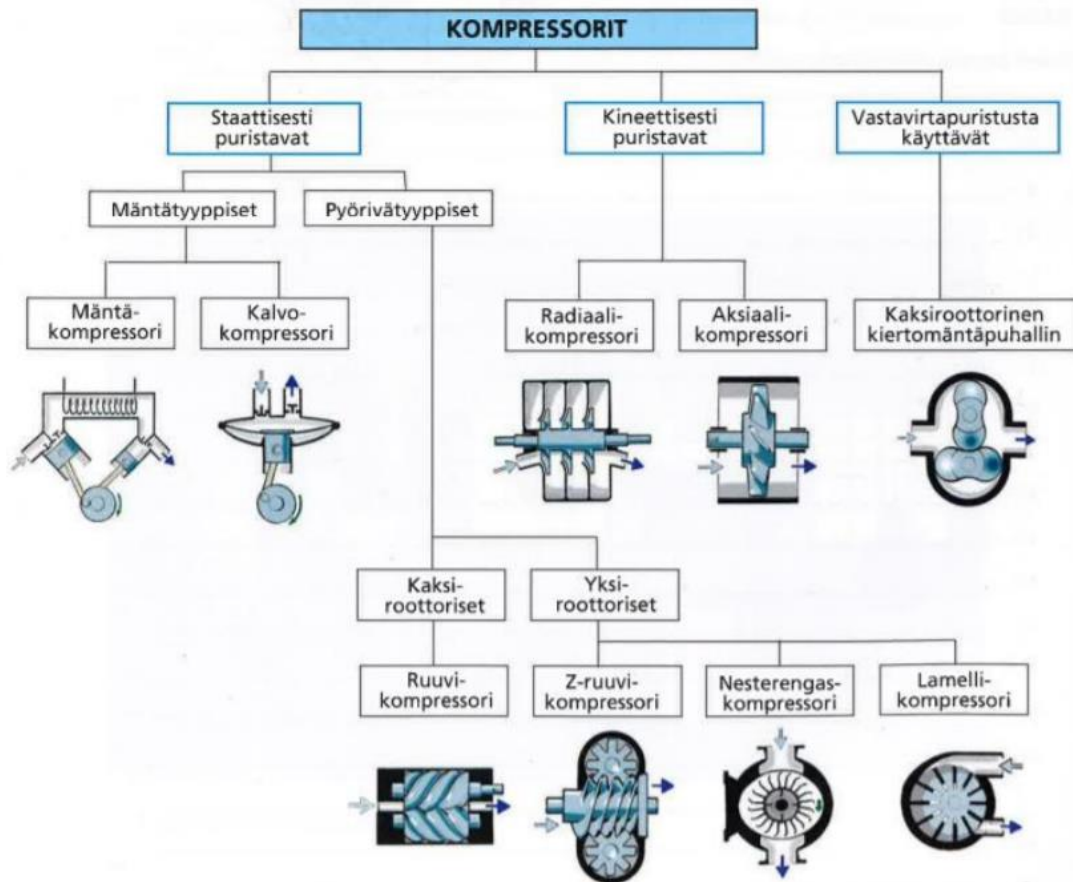
Ruuvikompressorit tuottavat paineilmaa teollisuuden ja PK-yritysten tarpeisiin. Ne ovat ensisijainen valinta kohteisiin, joissa tarvitaan pitkiä aikoja vakaata painetta. (Kaeser n.d.)

Ruuvikompressorien osuus kompressoreista teollisuuskäytössä on yli 90 %. Ruuvikompressorissa on kaksi rynnössä olevaa roottoria, ruuvi- ja luistiroottori. Niitä ympäröi kompressorin runko. Nämä yhdessä muodostavat kompressorin puristustilan. Roottorit imevät puristustilaan ilmaa rungossa olevan imuaukon kautta, kun niiden urat ovat aukon kohdalla. Roottoreiden pyöriessä yhteys imuaukkoon katkeaa ja ilma jää suljettuun tilaan. Pyörimisen jatkuessa tila pienentyy ja ilma puristuu. Kun toiminnan kannalta taloudellisin paine on saavutettu, paineilma virtaa paineputkeen poistoaukon kautta. Puristus on tyypiltään staattinen. Kompressorit voivat olla öljyttömiä, jolloin roottoreiden välillä on aina vällys, tai voideltuja, jolloin roottorit koskettavat toisiaan. Öljyttömien painesuhde on voideltuja pienempi. Öljyttömiä koneita käytetään silloin, kun öljystä on käyttökohteissa haittaa. (Fonselius 1997, 39.)

3.1.1 Muita kompressorityyppejä

Muita yleisesti käytössä olevia kompressorityyppejä ovat mäntäkompressorit, kalvokompressorit, lamellikompressorit sekä kiertomäntäkompressorit. Mäntäkompressoreissa ilma virtaa imutahdin aikana imuventtiilin kautta suurenevaan tilaan. Puristustahdin tila pienenee ja ilma poistuu pakoventtiilin kautta ja paine nousee. Kalvokompressorissa puristustila on kampikammioon päin tiivistetty kalvolla. Lamellikompressorissa on epäkeskeisesti oleva moottori, jossa on radiaalisesti liikkuvia siipiä. Imuaukon kautta ilma pääsee virtaamaan siipien pyöriessä painetilaan, jossa ilma puristuu ja poistuu paineputkeen. Kiertomäntäkompressorissa on kaksi toistensa lomassa pyörivää roottoria, jotka siirtävät ilmaa imupuolelta painepuolelle hyvin samoin kuin mäntäkompressorissa. Kineettisissä kompressoreissa lisätään ilman

virtausnopeutta juoksupyörän avulla. Niitä käytetään, kun halutaan suuria tilavuusvirtoja pienillä paineilla. (Fonselius 1997, 40 – 41.)



Kuva 2. Kompressoreiden ”sukupuu” (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

Jo asennetun kompressorin tyyppin vaihto voi olla kannattavaa jatkuvasti pyörivissä laitoksissa varsinkin, jos laitoksessa olemassa olevan kompressorin suunniteltu käyttöikä alkaa olla loppupuolellaan (Hagner n.d.).

3.2 Kompressoreiden säädöt

Yhden paineilmakuution saamiseksi seitsemän baarin paineeseen, joudutaan kuluttamaan sähköä karkeasti arvioiden noin 0,1 kWh. Säästötoimenpiteiden kannattavuus on aina tapauskohtaista ja siihen vaikuttaa suuresti laitoksen käyttöaika, kulutuksen vaihtelevuus, sähkön sen hetkinen hinta, laitoksen koko ja tekniikan ikä, sekä muu uusittavuuden tai huollon tarve. Säästökohteet jakaantuvat tyypillisesti luokkiin; käyttö- ja huoltotottumuksilla hoidettaviin asioihin kuten vuodot, pikkuinvestoinnit sekä suuret

investoinnit. Pienenä investointina voidaan pitää esimerkiksi suodatintyyppin vaihtoa. Suurena investointina voidaan pitää esimerkiksi lämmön talteenottoa tai ohjausjärjestelmää. (Hagner n.d.)

Kompressoreiden säädöllä tarkoitetaan usein myös sitä, miten kompressori käyttäytyy paineen noustua kompressorin jälkeen haluttuun paineen ylärajaan. Kompressorit käyttäytyvät useimmiten kolmella seuraavalla tavalla. Ensimmäisessä tavassa kompressori pysähtyy heti paineen ylärajalla painekeytkimen ohjauksella. Toisessa tavassa kompressori keventää eli se ei pysähdy, mutta ei jatka paineen nostoa. Ruuvikompressoreissa ilma ohjataan painepuolelta takaisin imupuolelle. Kolmannessa tavassa kompressori ensin keventää ja ellei asetetun viiveen jälkeen tarvitse korottaa painetta lisää, se pysähtyy. (Fonselius 1997, 42.)

Paineilmavuodot, säädöstä aiheutuvat tappiot ja muuten heikko käyttötalous nostavat kustannuksia 20-100 prosenttia. Huoltokustannukset lisäävät käyttökuluja 10-30 prosenttia. (Hagner n.d.)

4 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

4.1 Paineilmavuodot

Suurella varmuudella voidaan olettaa, että kaikki paineilmajärjestelmät vuotavat. Paineilmavuotojen määrä vaihtelee kulutuslaitteiden luonteeseen, lukumäärään, laitteiden iän ja kunnossapidon mukaan. Vuotavasta paineilmasta noin viittä prosenttia kokonaispaineilman tuotannosta voidaan vielä pitää hyväksyttävänä. Yleensä paineilmajärjestelmien mitoituksessa varaudutaan kymmenen prosentin vuotoon. Kiinteät verkostot harvoin vuotavat, poikkeuksena kierreliitokselliset verkostot. Päävuodot ovat yleensä liittimissä ja kuluttajalaitteiden tiivisteissä. Vanhoissa laitoksissa on usein vielä kynsiliittimiä, jotka vuotavat useimmiten eniten. Usein pikaliittimien tiivistyspintojen väliin jää roskia ja liittimet saattavat alkaa vuotaa. Myös paineilmalaitteiden rakenteissa saattaa olla vuotoja. (Hagner n.d.)

Ruuvikompressoreissa vuotoa on vaikea selvittää kuuntelemalla, sillä kompressoreissa voi olla portaaton kevennys, josta on lähes mahdotonta päätellä kuuntelemalla mitään. Joissakin kompressoreissa on sähkövirtamittari, jota seuraamalla voi saada selville kulutuksen muuttumista. Osatehoilla on muistettava, että loistehon osuus moottorissa kasvaa. Joskus on mahdollista määrittellä riittävän tarkasti verkoston tilavuus. Kompressorin pysäyttämisen jälkeen mitataan aika, jossa paine laskee esimerkiksi yhden baarin eli kokonaisen yhden järjestelmän tilavuuden verran. Tästä saadaan vuodon suuruusluokka. (Hagner n.d.)

Vuotojen havaitseminen kuuntelemalla kuuluu normaaliin kunnossapitoon. Usein teollisuudessa on tapana käydä vuodot vuosihuollon aikaan läpi ainakin kerran vuodessa, mutta mekaanisesti rasitetuissa paikoissa, esimerkiksi raskaiden tuotteiden konepajoissa tai telakoilla, tämä ei riitä alkuunkaan. Kunnossapito on nykyään usein ulkoistettua ja ulkoistamisen myötä vuotojen havainnointi jää valitettavasti yhä enemmän taka-alalle. (Hagner n.d.)

4.2 Kompessoreiden ohjaus

Kompressorit voidaan niiden käytön mukaan luokitella peruskuormitus-, keskikuormitus-, huippukuormitus- ja varakoneisiin. Peruskuormituksen ilmantarpeella tarkoitetaan sitä ilmamäärää, jonka prosessi jatkuvasti vaatii. Huippukuormituksen ilmantarpeella tarkoitetaan kulutushuippujen aikana tarvittavaa paineilmamäärää. Jotta erilaiset kuormitusvaatimukset voitaisiin täyttää, on kompressoreissa oltava erilaisia ohjauksia. Näiden ohjausten on pystyttävä ylläpitämään kompressorien toimintaa ja turvaamaan paineilman saanti. (Kaeser n.d.)

Nykyisten ohjaustekniikoiden avulla kompressoreiden ohjauksesta on löytynyt hyvät säästömahdollisuudet. Kehittyneellä automatiikalla kompressoreiden pysäytys- ja käynnistyspainet saadaan suppeammalle alueelle ja verkoston paine pysyy vakaana. Markkinoilla on lukuisia ohjausjärjestelmiä ja lähes jokaisella kompressorivalmistajalla on omat säätö- ja automaatiojärjestelmänsä. (Hagner n.d.)

Useimmat kompressorit toimivat oikosulkumoottoreilla ja näiden moottorien kytkentätaajuus alenee tehon suuretessa. Se ei vastaa sitä kytkentätaajuutta, joka on tarpeen alhaisen kytkentäeron omaavien kompressorien poiskytkemiseksi ja käynnistämiseksi paineilman todellista tarvetta vastaavasti. Nämä kytkennät kuitenkin keventävät vain kompressorin paineenalaisia alueita moottorin jatkaessa vielä jonkin aikaa käyntiään. Tähän kuluva energia voidaan pitää häviönä. Tällä tavoin kytkeytyvien kompressorien energiantarve on kevennyskäynnin aikana yhä edelleen vähintään 20 prosenttia kuormituskäynnin energiantarpeesta. Nykyaikaiset tietokoneilla optimoidut säätöjärjestelmät automaattisine optimaalisen käyntitavan valintoineen ja käyttömoottorin lämpötilasta riippuvine kevennyskäyntiaikoineen, sekä muuttuvine kevennyskäyntiaikoineen auttavat välttämään kalliit kevennyskäyntijaksot ja suojaavat tehokkaasti moottoria. (Kaeser n.d.)

Tarkemman, mutta toiminnaltaan perinteisen elektronisen säädön sijasta voi jatkuvassa käytössä olevan kompressorin ohjaus olla kannattavaa taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajalla ominaissähkön kulutus nousee vain vähän kompressorin käydessä osatehoilla. (Hagner n.d.)

Kompressoreissa, joiden kierroslukua säädetään taajuusmuuttajilla, hyötysuhde ei ole vakaa koko niiden säätöalueella. Esimerkiksi 90 kW:n moottorissa se alenee 30–100 prosentin alueella 94 prosentista 86 prosenttiin. On huomioitava myös taajuusmuuttajasta johtuva häviö ja kompressorien epälineaariset suoritusominaisuudet. Nopeussäädetyjä kompressoreita tulisi käyttää 40–70 prosentin säätöalueella, jolloin ne ovat kaikkein taloudellisimpia. Nämä komponentit tulisi mitoittaa 100 prosenttiselle kuormitukselle. Väärin käytettyinä taajuusmuuttajat voivat siis olla todellisia energian suurkuluttajia ilman, että käyttäjä on siitä tietoinen. Taajuusmuuttaja ei ole mikään yleislääke, jos kompressoreita halutaan käyttää mahdollisimman energiataloudellisesti. (Kaeser n.d.)

4.3 Käyttöpaineen valinta

Tavallisesti paineilmalaitteet toimivat tyydyttävästi kuuden baarin ylipaineella. Jotkin erikoislaitteet voivat tarvita korkeamman paineen. Tällöin on syytä tutkia, voidaanko tällainen kuluttaja hoitaa omalla kompressorilla, jolloin ei tarvitse rasittaa koko paineilmakekusta korkealla paineella ja sen kuristamisella. Ratkaisu on tapauskohtainen. Kompressorin käyntipaineen lasku kymmenellä prosentilla pienentää kompressorin energian kulutusta noin kolme prosenttia. Paineen lasku 20 prosenttia taas pienentää kulutusta suhteessa enemmän eli seitsemästä kymmeneen prosenttiin. Säästöt voivat olla suurempiakin. Pienemmällä paineella ilmaa kuluu vähemmän ja tästä tulee lisäsäästöjä. Yksivaiheiselle ruuvikompressorille yhden baarin paineen muutos vastaa noin kahdeksaa prosenttia energiankulutuksesta. Vastaavasti kuluttajissa saattaa olla laitteita, jotka toimivat yhdestä kahteen baarin paineella. Tällaisten kohteiden löytäminen edellyttää tietenkin prosessin ja kuluttajalaitteiden tarkkaa tuntemista. Vaikka paineen laskeminen kompressoripäässä laskee ominaisenergian kulutusta, on kuitenkin muistettava, että jos käyttöpäässä paine laskee liikaa, voi kulutus nousta huomattavasti. Lisäksi mahdollisten adsorptiokuivaimien kulutus kasvaa. Kuluttajat onkin käytävä läpi asiaan perehtyneen henkilön kanssa, jotta voidaan arvioida muuttamisen mahdollisuudet ja kannattavuus. (Hagner n.d.)

4.4 Imuilman lämpötila

Kompressorin tehtävänä on tiivistää ilmaa. Mitä tiiviimpänä ilma tulee kompressoriin, sitä vähemmän sitä tarvitsee tiivistää. Taulukossa 1 on kuvattu imuilman lämpötilan vaikutus tuottoon. (Hagner n.d.)

Taulukko 1. Imuilman lämpötilan vaikutus kompressorin tuottoon

Imuilman lämpötila, °C	Kompressorin tuoton muutos, %
-30	+16
-20	+12
-10	+9,7
+0	+5,5
+5	+3,7
+10	+2
+15,6	0 (tämän taulukon referenssilämpötila, yleensä 20 °C)
+20	-1,6
+25	-3,6
+30	-4,8
+40	-8,4
+50	-12
+60	-15,5
+70	-19

On kuitenkin huomioitava, että moottoritehoa tarvitaan tiheämmälle ilmalle enemmän. Tästä syystä taulukko ei ole suoraan verrattavissa säästöprosenttitaulukkona energian kulutukseen. Valmistajalta on myös varmistettava, että kompressori soveltuu kylmän pakkasilman johtamiseen suoraan kompressorille, vaikka yleensä näin on. (Hagner n.d.)

4.5 Imuilmakanava ja imusuodatin

Ahdas imuilmakanava ja tukkoinen suodatin lisäävät kompressoreiden energiankulutusta. Yleensä kanavat on kuitenkin mitoitettu kohtuullisesti oikein, mutta suodattimien huolto kuitenkin vaihtelee. Painehäviöt imuilmakanavassa lisäävät nopeasti kompressorin kulutusta. Imupuolen yhden kilopascalin painehäviö tai ilman kolmen celsiusasteen lämpenemä lisää ominaiskulutusta yhden prosentin. Imuilma tulisi ottaa

varjoisalta puolelta mahdollisimman pölyttömästä paikasta siten, että lumen pääsy kanaavaan on estetty. Imusuodattimien paine-erot vaihtelevat ja imuilmasuodattimen tyypillinen vastus on 0,1-0,5 kilopascalina. (Hagner n.d.)

4.6 Muita mahdollisia optimointikohteita

Mahdollisia optimointikohteita on useita. Kohteita ovat muun muassa kuluneiden paineilmatyökalujen kunnostaminen, paineilmatyökalujen vaihto sähkötyökaluihin, sekä pneumaattisten instrumenttien korvaaminen elektronisilla. Myös paineilmaa kuluttavien laitteiden ja koneiden tehosäätö, sekä käytöstä pois olevien paineilmaverkostojen erottaminen muusta verkosta ovat optimointikohteita. (Hagner n.d.)

5 PAINEILMASÄILIÖN TEHTÄVÄT

Paineilmasäiliöllä on useita erilaisia tehtäviä. Tärkein tehtävä säiliöllä on kuitenkin auttaa automatiikkaa, jotta kompressorin käynnistys-, kevennys- ja pysäytysjaksoja ei olisi liian taajaan. Liian tiheä käynnistyminen voi tuhota moottorin. Isoilla moottoreilla käynnistystiheys on suhteessa paljon harvempi kuin pienillä moottoreilla. Tasainen käynti ja pitkät jaksot parantavat energiataloutta. (Hagner n.d.)

Paineilmasäiliötä tarvitaan myös öljytiivistettyjen ruuvikompressoreiden yhteydessä käyntiautomaatiikan lisäksi, mahdollisten öljynerottimen vuotojen varalta. Ilman paineilmasäiliötä vuoto saattaa saastuttaa öljyllä koko verkoston, mutta paineilmasäiliötä käytettäessä öljy jää paineilmasäiliöön. Paineilmasäiliö toimii myös ilman jäähdyttimenä auttaen kuivaajien toimintaa. Paineilmasäiliön sijainti ulkona on hyvä ratkaisu, jos lauhteenpoistimessa on saattolämmitys ja paineilmasäiliö on kylmänkestävää terästä. (Hagner n.d.)

Paineilmasäiliön koon tulisi olla säätökäynnissä olevan kompressorin tuotto, kuutiometriä minuutissa jaettuna viidellä. Paineilmasäiliön tulisi olla läpivirtaustyyppinen, jolloin siihen jäisi mahdollisimman paljon vettä ja epäpuhtauksia, sekä paineistettu ilma jäähtyisi tehokkaimmin. Paineistettu ilma tuodaan säiliöön alemmasta yhteestä ja poistetaan ylemmästä. (Hagner n.d.)

Paineilmasäiliöt eivät milloinkaan ole liian suuria, mutta pieniä ne voivat olla. Joskus on tilanteita, jolloin jaksollisesti toimivan suuren kuluttajan lähelle kannattaa laittaa oma paineilmasäiliö, jotta koko järjestelmää ei tarvitse mitoittaa tai kasvattaa yhden kuluttajan takia. Paikallisten paineilmasäiliöiden tai väljän verkoston käyttö palvelee tasaisen eli energiataloudellisen käytön päämääriä. (Hagner n.d.)

6 PAINEILMAN KUIVAIMET JA KASTEPISTE

Kuivaaja ehkäisee verkoston ruostumista kuivaamalla nimensä mukaisesti ilmaa sekä pidentää sitä kautta kuluttajalaitteiden käyttöikää. Kuivaajan ehkäisee myös roskien pääsyä verkostoon. Tämä puolestaan vähentää roskien aiheuttamia tiivistevuotoja, verkoston kulumista ja roskien vuoksi auki jääviä laitteita. Tällöin myös ilman hukkakulutus pysyy pienenä. Lisäksi vedetön verkosto on hygieenisempi kuin märkä verkosto. (Hagner n.d.)

Koko ilmantuoton kuivaaminen alhaiseen kastepisteeseen ei ole yleensä koskaan tarpeen. Jos kompressorihuoneen lämpötila ylittää 35 celsiusastetta, nousee kuivaimelle tulevan ilman lämpötila yleensä liikaa ja teho heikkenee. Tällöin myös huoneilmaa ottavassa elvytyksessä tulee vaikeuksia. Kuivainlaitteiden vaihto jälkikäteen ei yleensä kuitenkaan ole kannattavaa, ellei sitten kuivainlaitteissa esiinny muitakin ongelmia. (Hagner n.d.)

7 KAANAAN VOIMALAITOSALUE

7.1 Voimalaitosalueen kattilalaitokset

Voimalaitosalueella sijaitsee kolme erillistä kattilarakennusta. Kattiloista uusin on vuonna 2008 käyttöön otettu biovoimalaitos. Yhdessä rakennuksista sijaitsee Pyroflow hiilikattila ja sen yhteydessä vesien käsittelylaitos. Vanhimmissa osassa sijaitsee kaksi raskasöljykattilaa K-3 ja K-4, sekä raskasöljykattilasta maakaasukattilaksi muutettu kattila K-5. Pyroflow hiilikattilaa, vesilaitosta ja öljyvoimalaitoksessa sijaitsevia kattiloita kutsutaan edempänä yhdessä vanhemmaksi puoleksi. Kesällä 2020 raskasöljykattila K-4 tullaan muuttamaan kevytöljykattilaksi ja raskasöljykattila K-3 tulee poistumaan kokonaan kapasiteetistä. Pyroflow hiilikattila tulee jäämään vielä tois-
taiseksi varakattilaksi, mutta luultavasti lähitulevaisuudessa poistuu käytöstä. Myös kattilat K-4 ja K-5 jäävät statukseltaan varakattiloiksi, sekä huipputehokattiloiksi. (Mahlamäki sähköposti 2.4.2020.)

7.2 Voimalaitosalueen kattiloiden tietoja

Biovoimalaitoksen kattila on voimalaitosalueen pääkattila. Tyypiltään biovoimalaitoksen kattila on kiertoleijupetikattila. Pyroflow hiilikattila on myös tyypiltään kiertoleijupetikattila. (Judin 2015.)

Taulukko 2. Kattiloiden suoritusarvoja

Kattila	Cymic	Pyroflow	K-3	K-4	K-5
Höyryteho [MW]	177	77	27,5	44	32
Tuorehöyry [t/h]	242	100	35	55	45
Tuorehöyry [bar]	83	84	40	80	55
Tuorehöyry [°C]	522	530	490	525	500
Polttoaineteho [MW]	206	85	-	-	-
Käyttöönottovuosi	2008	1987	1966	1970	1974

8 VOIMALAITOSALUEEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

8.1 Kaanaan voimalaitosalueen paineilmajärjestelmän kuvaus

Biovoimalaitoksen paineilma kehitetään kahdella kompressoriyksiköllä, joista toinen sijaitsee turbiinisalin puolella ja toinen savukaasupuhallinhuoneessa. Savukaasupuhallinhuoneessa sijaitseva paineilmakompressorin kuuluu kattilatoimittajalle. Voimalaitoksen paineilma johdetaan turbiinisalin puoleisesta paineilmakompressorista jatkuva-toimiseen adsorptiokuivaimeen. Paineilman jakeluverkko koostuu 10m³ paineilmasäiliöstä, sekä työilman ja instrumentti-ilman jakeluverkoista. Paineilmasäiliö toimii kulutuksen paineen tasaajana ja puskurikapasiteettinä paineilmaverkkoon. Biovoimalaitoksen paineilmajärjestelmä on yhdistetty vanhan puolen olemassa olevaan järjestelmään, mutta järjestelmä voidaan erottaa sulkemalla niiden välillä oleva venttiili. Biovoimalaitoksen paineilmatarve voimalaitoksen paineilmakompressorien huolto- ja vikaantumistilanteissa turvataan avaamalla biovoimalaitoksen ja vanhan puolen järjestelmien välinen venttiili. Biovoimalaitoksen instrumentti-ilma- ja työpaineilmaverkoissa käytetään samaa ilmaa. Turbiinisalin puoleinen työilman jakelu voidaan erottaa venttiilillä siten, että instrumentti-ilman saatavuus varmistetaan kaikissa käyttötilanteissa. Kattilahuoneessa on vastaava erotusventtiili. Kattilahuoneessa ja turbiinisalissa on yhteiset työ- ja instrumentti-ilmaverkot. Biovoimalaitoksen kattilahuoneesta otetaan haara polttoaineenkäsittelyyn. (Pöyry Energy Oy 2008.)

Biovoimalaitoksen paineilma tuotetaan kahdella kompressorilla. Kompressorit ovat mallitunnuksiltaan Kaeser CSDX 162 (kuvassa 1) ja Kaeser DSD 202 (kuvassa 2). Taulukossa 3 on esitetty tietoja kompressoreista. Molemmat kompressorit syöttävät paineilmaa sekä instrumentti-ilma-, että työilmaverkkoon. Vanhan voimalaitospuolen tarvitsema paineilma saadaan Venator Finland oy:n paineilmaverkosta. Vanhan voimalaitospuolen ja biovoimalaitoksen paineilmaverkkojen välillä on yhteys varmistukseksi, jota pidetään aina hieman raollaan jäätyminen estämiseksi. (Pöyry Energy Oy 2008.)

Biovoimalaitoksen kahdesta kompressorista voidaan molemmista helposti selvittää käyntiaika ja kevennysaika kompressoreihin liitetyistä hallinta paneeleista. (Hakala 2012.)

Taulukko 3. Biovoimalaitoksella käytössä olevien kompressoreiden tietoja

Valmistaja	Kaeser	Kaeser
Tyyppi	Ruuvikompressori	Ruuvikompressori
Malli	DSD 202	CSDX 162
Nimellispaine	bar	bar
Tuotto nimellispaineessa [m ³ /min]	20,46	16,1
Moottorin kierrosluku [rpm]	1485	-
Sähkömoottorin nimellisteho [kW]	110	90
Jäähdytys	Vesi	Vesi
Lähde	*	**
*	https://www.airpoweredservices.com.au/sale/dsd-series/	
**	http://www.kompresory-chlazenı.cz/data/file/dokumenty/Kompresory-Kaeser75-90kW-CSDX.pdf	



Kuva 3. Savukaasupuhallin huoneessa sijaitseva kattilan kompressor.



Kuva 4. Turbiinialissa sijaitseva kompressori.

8.2 Kaanaan voimalaitosalueen paineilman kulutus

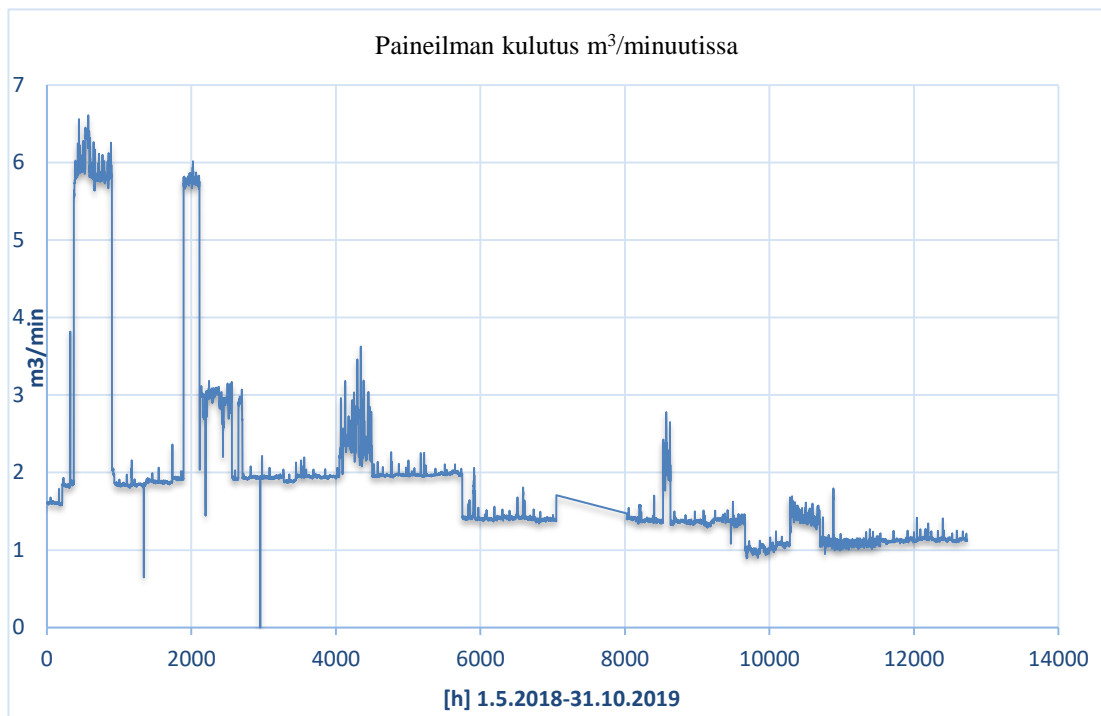
Jatkuvaa paineilman kulutusta biovoimalaitoksella on kattilalla ja tuhkan kuljetusjärjestelmällä, sekä venttiileiden pneumaattisilla toimilaitteilla. Tarvittaessa työilmaa käytetään lähinnä käsikäyttöisiin paineilmatyökaluihin. Vuosihuoltojen aikana voi työpaineilman kulutus nousta huomattavasti, mutta tällöin muut voimalaitoksen normaalin ajokauden aikaiset paineilman kulutuskohteet ovat poissa käytöstä. Biovoimalaitoksen kattilalla on oma kompressori, joka on mitoitettu vastaamaan kattilan työilmatarpeita. Kattilan kompressori sijaitsee fyysisesti kuitenkin savukaasupuhallinhuoneessa. Biovoimalaitoksen kattilan instrumentti-ilmatarpeita katetaan turbiinisalin paineilmakompressorilla ja varmistus saadaan tällä hetkellä Venator Finland Oy:n paineilmaverkosta. Tämän hetkinen kompressori- ja kuivainkapasiteetti on mitoitettu vastaamaan biovoimalaitoksen voimalaitoksen tarpeita. (Pöyry Energy Oy 2008.)

Pigmenttitehtaan kompressorihuoneesta lähtevästä haarasta otetaan paineilmaa vanhalle öljyvoimalaitokselle, Pyroflow kattilalle ja vesienkäsittelylaitokselle. Paineilmaa tarvitaan öljyvoimalaitoksella suurimmaksi osaksi poltinten ja kattilan näkölaseille sekä paineilmaksiksi polttimille. Pyroflow kattilan suurin paineilmankuluttaja ovat ääninuohoimet. Näkölaseja tarkastellessa paineilmalinjan on oltava auki kattilan päällä ollessa, ettei kattilan sisällä oleva ylipaine puhaltaisi kuumaa ilmaa päin näkölaseja rikkoen niitä. (Judin 2012, 15.)

Öljyvoimalaitoksen ja Pyroflow kattilan paineilmalinja tulee myös vesilaitoksen puolelle, jossa se haarautuu kahdeksi linjaksi. Toinen linjoista menee paineenalentajan kautta MB- ja SC- suotimien sekoitusilmaksi. Paineilmaa käytetään suotimien elvytyksen aikana massoja sekoittavana ilmana sekvenssin mukaisesti. Toinen linja menee magneettiventtiileille, jotka säätävät linjoja niin sanotusti kiinni- ja auki- periaatteella. (Judin 2012, 24.)

Vesienkäsittelylaitoksen, öljyvoimalaitoksen sekä Pyroflow kattilan yhteinen paineilman tarve selviää virtausmittauksesta, joka mittaa Venator Pigments Oyj:lta saadun paineilman määrää. Kuvaajasta 1 voidaan nähdä paineilman kulutusta ajalta 1.5.2018–31.10.2019. Kulutus pisteet on esitetty paineilman kulutuksen tunnin keskiarvona, jolloin mittavirheinä ilmenneet äkkinäiset piikit ja nollakulutukset on saatu suodatettua

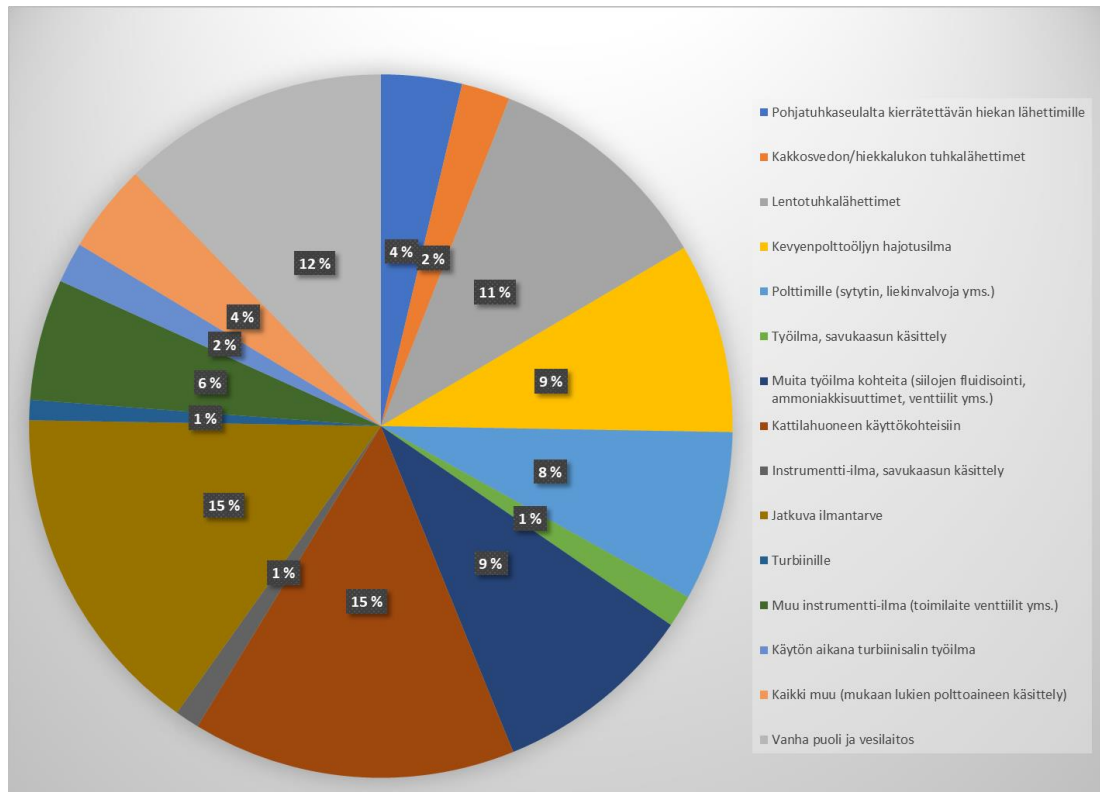
pois. Hyvin matalat kulutuspiikit johtuivat Venator Finland Oy:n paineilman tuotannon häiriintymisestä, jota pystyttiin korvaamaan avaamalla biovoimalaitoksen ja vanhemman puolen yhteys. Pyroflow kattilalaitoksen päällä olon voi havaita kuvaajasta korkeammasta kulutuksesta ja matalampien kulutuspiikkien aikaan käytössä on ollut jokin öljyvoimalaitoksen kattiloista.



Kuvaaja 1. Vanhemman voimalaitos puolen paineilman kulutus 1.5.2018–31.10.2019

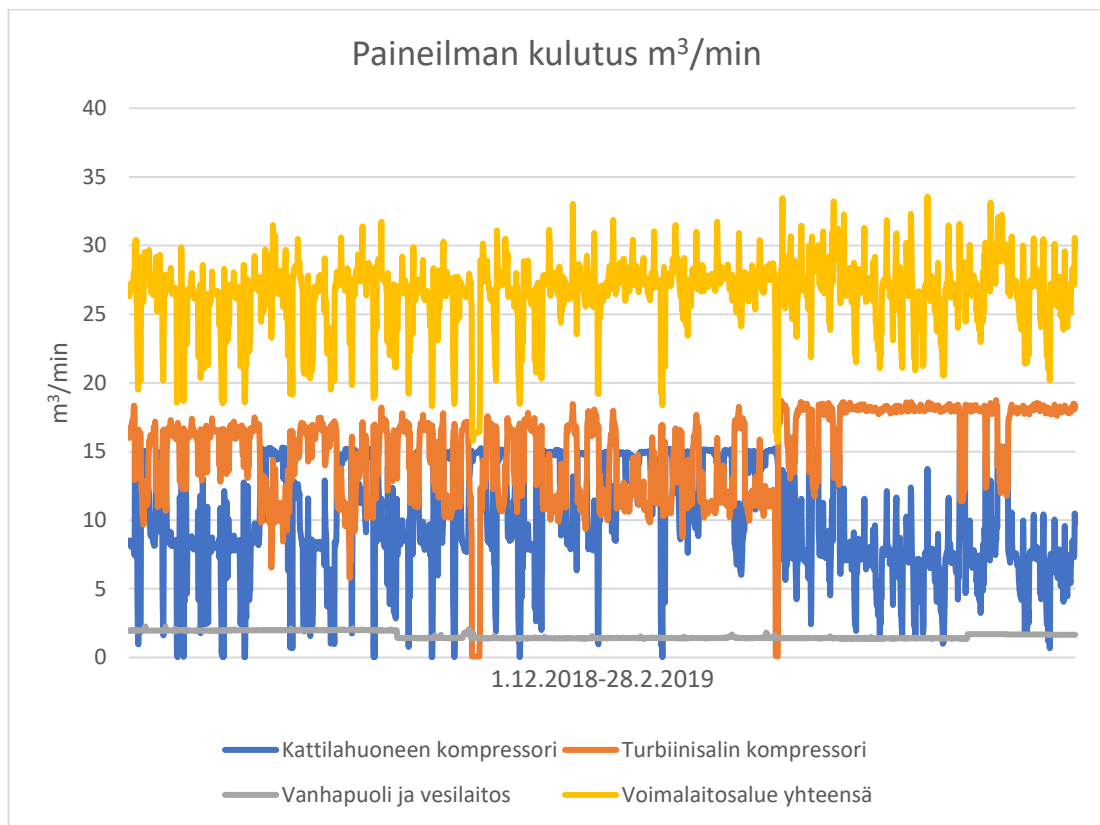
Tarkasteluun otetun jakson aikana korkein kulutus lukema oli 6,61 m³/min (keskiarvo yhden tunnin aikana). Korkeimman paineilman kulutuksen aikana Pyroflow kattila oli käytössä. Kun otetaan huomioon vain korkein mitattu kulutus 6,61 m³/min, saadaan tämän osuudeksi kokonaisuudessaan voimalaitosalueen paineilman tarpeesta noin 12 prosenttia.

Kuviosta yksi voidaan nähdä voimalaitosalueen kulutuskohteita ja niiden osuuksia kokonaiskulutuksesta. Kaikki osuudet on ilmoitettu siten, että kulutuskohde käyttää maksimaalisen sille suunnitellun määrän paineilmaa.



Kuvio 1. Voimalaitosalueen paineilman kulutuskohteet ja niiden osuus kokonaiskulutuksesta

Kuvaajassa kaksi on talven 2018–2019 kylmimmän ajanjakson paineilman kulutus esitettynä. Kuvaajassa näkyvät yhtä aikaa molempien biovoimalaitoksella sijaitsevien kompressoreiden tuottama paineilma määrä, sekä vanhemman puolen Venatorin Finland Oy:n verkosta ottama paineilman määrä ja näiden kaikkien kolmen yhteenlaskettu paineilman käyttö. Yhteenlaskettua määrää voidaan pitää koko voimalaitosalueen suurimpana paineilman kulutuksena normaaliolosuhteissa. Suurin paineilman kulutus tarkastelujakson aikana oli 33,6 m³/minuutissa. Vaikka osa paineilma otettiin tarkastelujakson aikana Venator Finland Oy:n paineilma verkosta, niin silti biovoimalaitoksen oma paineilmakapasiteetti olisi ollut riittävä.



Kuvaaja 2. Kompressoreiden paineilman tuotanto ja vanhan puolen paineilman kulutus sekä näiden yhteenlaskettu paineilman kulutus

8.3 Uuden voimalaitoksen kompressoreiden kuormitus

Molemmat uudella voimalaitoksella käytössä olevista kompressoreista ovat olleet käytössä voimalaitoksen käyttöönotosta, syksystä 2008 lähtien. Molemmissa turbiineissa on ohjaustaulu, joista voi muun muassa selvittää käyttötunnit. Suurempaa turbiinialissa sijaitsevaa DSD 202 kompressoria on käytetty 26.8.2019 mennessä yhteensä 88292 tuntia, josta kuormituskäyntiä on ollut 66349 tuntia. Erotus on ollut kevennyskäyntiä. Kompressori on siis käynyt työtä tehden noin 75% käynnissäoloajastaan. Pienempi savukaasupuhallinhuoneessa sijaitseva SCDC 162 kompressori puolestaan on ollut käynnissä 56595 tuntia, josta kuormituskäyntiä on kertynyt 19827 tuntia. Kuormituskäyntiä savukaasupuhallinhuoneen kompressorille on kertynyt vain 35% käynnissäoloajastaan. Pienempi käynnissäoloaika selittyy sillä, että kompressori sammut-

taa itsensä tietyn ajan kuluttua, jos paineenkorotukselle ei ole tarvetta ja jos kevennyskäynti jatkuu liian pitkään tuhlaten näin energiaa. Molemmilla kompressoreilla löytyy korotusvaraa paineennostotyöhön eli kuormituskäyntiin.

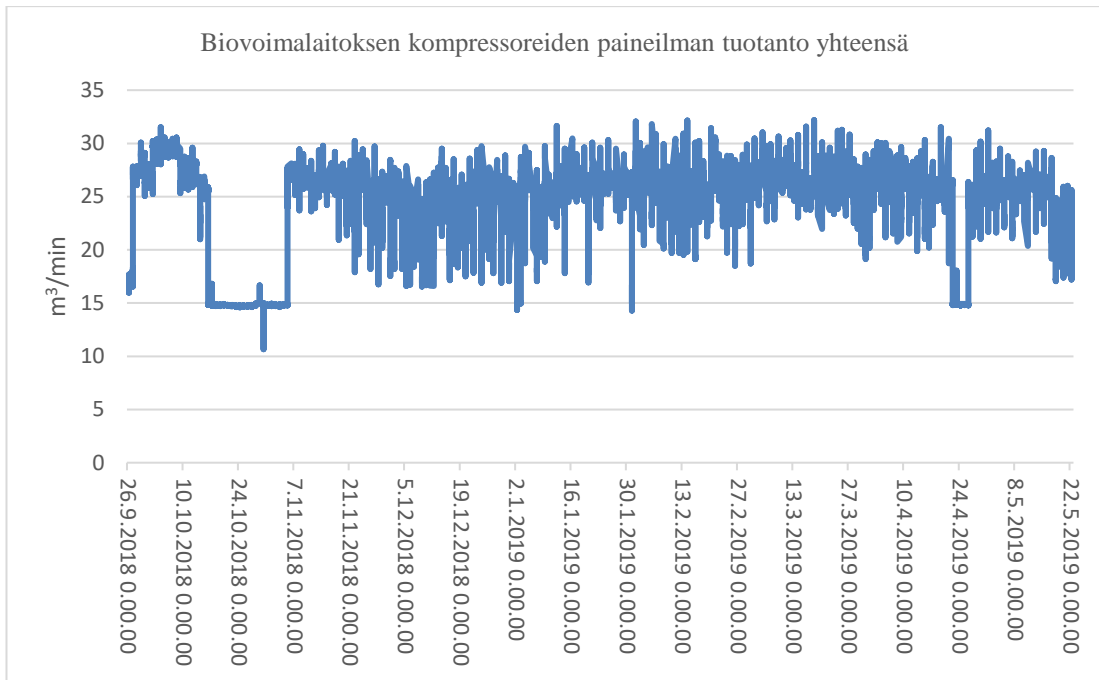
8.4 Biovoimalaitoksen paineilman kulutus

Biovoimalaitoksen puolella ei ole paineilman virtausmittausta lainkaan, joten täysin tarkkaa tietoa paineilmantuotannosta tai paineilmankulutuksesta ei voi saada.

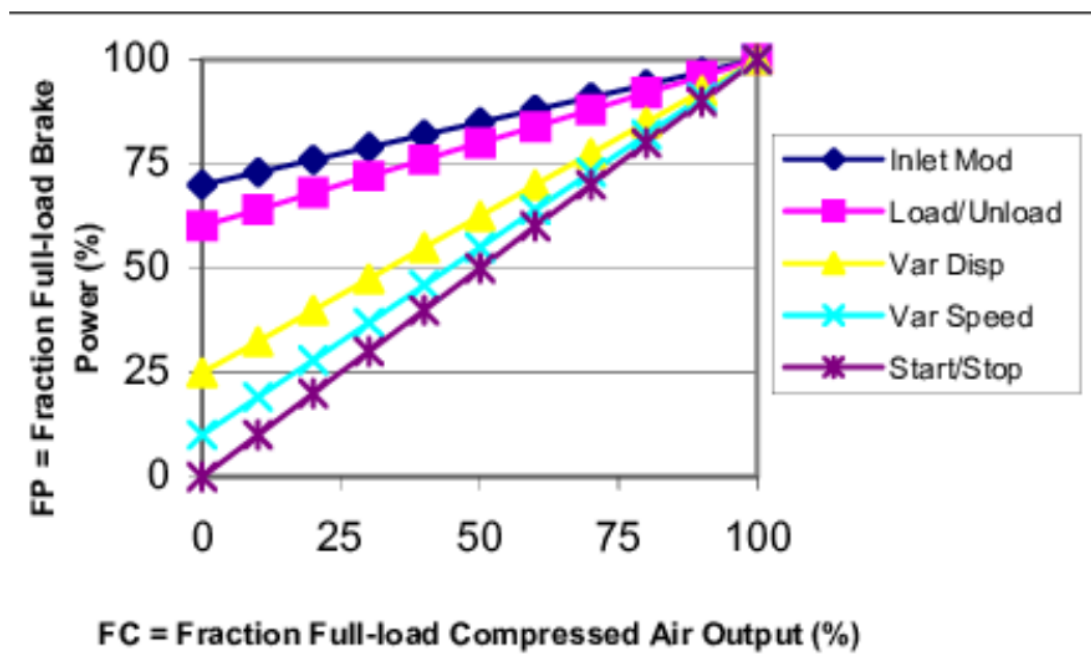
Voimalaitoksen järjestelmästä voidaan nähdä mittaushistoriatiedoista vain kompressoreiden virrankulutustiedot prosentteina nimellistehosta tai kompressoreiden joko työskentelevän tai olevan pois päältä. Janne Valkaman mukaan tästä voidaan tehdä karkea arvio paineilman tuotannosta. (henkilökohtainen tiedonanto 10.9.2019).

Jos kompressorin moottorin nimellisteho on enintään 110 kW, jolloin kompressori voi tuottaa enintään 20,46 m³/min, niin tällöin voidaan karkeasti arvioida paineilman tuotto kompressorin virrankulutusdatan perusteella. Esimerkiksi jos virrankulutus on 70% maksiminimellistehosta, voidaan olettaa myös paineilman tuoton olevan noin 70% maksimituotosta ($0,7 \cdot 110 \text{ kW} = 77 \text{ kW}$ tai $0,7 \cdot 20,46 \text{ m}^3/\text{min} = 14,32 \text{ m}^3/\text{min}$). Kuvajassa 3 on esitetty biovoimalaitoksen kompressoreiden edellisen kokonaisen ajokauden paineilman tuotanto edellä esitettyä laskenta tapaa hyödyntäen.

Kuvasta 5 voidaan nähdä, että ruuvikompressoreiden kaikilla ohjaustavoilla paineilman tuotto on suurin, kun moottori on täysin kuormitettu. Paineilman tarpeen pienentyessä tehontarvekin pienenee. Ohjaustavalla on paljon merkitystä missä suhteessa tehontarve pienenee suhteessa paineilmaan. Käynnistys- / pysäytysohjauksella on paras osakuormitustehokkuus, koska se vaatii vähiten osan täyden kuormituksen tehosta paineilman ulostuloa kohti. Osakuormitustehokkuus on tärkeä, koska suurin osa paineilmakompressoreista on kooltaan huippukuormitusta varten, jota esiintyy yleensä harvoin, ja siten ne toimivat suurimman osan ajasta osakuormalla. (Kissock 2004.)



Kuvaaja 3. Biovoimalaitoksen kompressoreiden paineilman tuotto ajokaudella 2018–2019



Fraction of full-load power versus fraction of full-load compressed air output for typical reciprocating and rotary air compressors based on type of control.

Kuva 5. Eri ohjaustapojen tyypillisiä teho/tuotto suhteita ruuvikompressoreille (Kissock 2004).

8.5 Painekuljetinjärjestelmä

Painekuljetinjärjestelmä on suurin paineilman kuluttaja biovoimalaitoksella. Painekuljettimilla kuljetetaan tuhkaa laitoksen letkusuodattimilta ja hiekkalukon tuhkasuppilolta tuhkasiilon, sekä hiekkaseulalta tulipesään. Kuljetinjärjestelmässä on yhteensä kahdeksan painekuljetinta. Tuhkasiilon katolla sijaitsee pölynpoistosuodatin, jonka kautta kuljetukseen tarvittava paineilma poistuu ulos siilosta. Painekuljettimet toimivat jaksottaisesti. Toimintajaksot ovat täyttövaihe ja kuljetusvaihe. Täyttövaiheen aikana painekuljettimen yläsäiliössä oleva materiaali pudotetaan painekuljettimen paineilmasäiliöön. Kuljetusvaiheen aikana painesäiliössä oleva materiaali kuljetetaan paineilman avulla putkistoa pitkin vastaanottosiilon. Yläosassa oleva pinta-anturi käynnistää painekuljettimen täyttövaiheen ja kuljetusvaihe käynnistyy ajastimella valitun täyttöajan jälkeen. Painekuljettimeen johdetaan kuljetusvaiheen aikana kuljetusilmaa fluidisointi- ja lisäilmanventtiilin kautta. Fluidisointiventtiilin kautta menevä ilma paineistaa painesäiliön ja paine työntää fluidisointi-ilman kuohkeuttaman eli fluidisoidun materiaalin kuljetusputkeen. Lisäilmaventtiiliä avataan ja suljetaan kuljetuksen aikana ohjauslogiikan mukaan. Kun lisäilmaventtiili avautuu, sulkeutuu samalla fluidisointiventtiili. Painekuljettimeen tuleva ilma menee lisäilmaventtiilin kautta kuljetusputkeen ja työntää putkessa olevaa materiaalia eteenpäin kohti vastaanottosiiloa. Kun lisäilmaventtiili sulkeutuu, avautuu fluidisointiventtiili ja ilma menee painesäiliöön fluidisointiventtiilin kautta. Ilma työntää painesäiliöstä lisää materiaalia kuljetusputkeen. Tämä toistuu loppuhuuhteluun saakka, jossa fluidisointiventtiili ja lisäilmaventtiili ovat molemmat auki. Painekeytkimen alaraja lopettaa kuljetusvaiheen. Painekeytkimen yläpaineraja käynnistää tukkeutumisen estotoiminnon. (Elmomet Oy 2008, 3 & 7.)

9 KOMPRESSOREIDEN SÄÄDÖT

Kompressorin käynnistyminen ja välitön kevennys aiheuttavat käynnistysvirtapiikin, joka rasittaa kompressorin sähkömoottoria. Ennen kuin kompressori pysähtyy, se keventää ja pysähtyy asetellun käyntiajan jälkeen. Tarvittaessa asetuksia tulee muuttaa. (Hakala 2012.)

”Säätö toimii tällä hetkellä aika hyvin. Kehitystä voidaan tehdä esimerkiksi siten, että tykit lähettävät yksi kerrallaan ynnä muuta sellaista.” (Mahlamäki sähköposti 2.4.2020).

10 TULOSTEN TARKASTELU

10.1 Nykyinen paineilmaparasiteetti

Edellä tehtyjen selvitysten perusteella nykyinen kompressorikapasiteetti on riittävä korvaamaan Venator Finland Oy:n jättämän aukon paineilmantuotantoon. Varakapasiteettia paineilmantuotantoon ei kuitenkaan ole lainkaan Venator Finland Oy:n sulkiessa tehtaansa. Kattilan K-3 käytöstä poistaminen tulee pienentämään hieman paineilman tarvetta, mutta muutos tulee olemaan kokonaisuuden kannalta mitätön. Suurin paineilman kuluttaja biovoimalaitoksen lisäksi on Pyroflow kattila, mutta tätä tullaan käyttämään vain tilanteissa, jolloin biovoimalaitosta ei ajeta. Vesilaitoksen ja kattiloiden K-4 ja K-5 paineilman kulutus on kokonaisuuden osalta hyvin pieni. Paineilman kulutuksen tarkemman tarkastelun avuksi olisi suositeltavaa lisätä tälle mittaus.

10.2 Varakompressorin valinta

Varakompressorin valinnassa on useampia vaihtoehtoja. Ensimmäinen vaihtoehto on korvata nyt olemassa oleva turbiinisalin kompressori uudella kompressorilla ja jättää turbiinisalin kompressori varakompressoriksi. Savukaasupuhallinhuoneen kompressori on kapasiteetiltaan liian pieni varakompressoriksi. Jos uudesta kompressorista halutaan invertteriohjattu, niin sen paineilmaparasiteetin tulisi kasvaa. Invertterisäädetyt kompressoreita tulisi käyttää 40–70 prosentin säätöalueella, jolloin ne ovat kaikkein taloudellisimmillaan. Nykyiset kompressorit toimivat suurimmaksi osaksi tämän alueen ulkopuolella. Invertteriohjattu ruuvikompressori voi säästää energiakustannuksissa jopa hieman yli 30 prosenttia, mutta on hankintahinnaltaan huomattavasti kalliimpi.

Toinen vaihtoehto olisi hankkia tarpeeksi suuri kompressori korvaamaan molempien nykyisten kompressoreiden yhteenlaskettu paineilman tuotto. Huomioon tulee ottaa myös nykyinen kuivainkapasiteetti. Jatkuvatoiminen adsorbtiokuivain on mitoitettu nykyiselle kapasiteetille ja kapasiteetin kasvaessa on tarkasteltava myös kuivainkapasiteetin kasvattamista. Nykyisten kompressoreiden tekniikan tullessa käyttöikänsä

päähän tai niiden kunnan muuten huomattavasti heikentyessä voitaisiin tarkastella niiden kompressorityypin vaihtoa, mikäli paineilman tarpeeseen tulee muutoksia.

10.3 Nykyisen säädön toimivuus ja optimointi

10.3.1 Kompressoreiden säädöt

Kuten Käynnissäpitomestari Tapio Mahlamäki totesi edellä, kompressoreiden säädöt ovat hyvin toimivat tällä hetkellä ja vastaavat hyvin nykyiseen tilanteeseen, joten paljon kehitettävää ei säädön puolelta löydy.

Koska molemmat nykyiset kompressorit pystyvät tuottamaan sekä instrumentti- ja työilmaa ja paineilman tarve on vaihtelevaa sekä kausiluontoista, voisi harkita vain toisen kompressorin käyttöä toisen ollessa sammutettuna aina tilanteen niin salliessa.

10.3.2 Paineilmavuodot

Kuten edellä on esitetty, suurella varmuudella voidaan olettaa, että kaikki paineilmajärjestelmät vuotavat ja aiheuttavat täten lisää paineilman tarvetta ja kustannuksia. Paineilmavuotojen määrä vaihtelee kulutuslaitteiden luonteeseen, lukumäärään, laitteiden iän ja kunnossapidon mukaan. Paineilmavuotoja esiintyy usein erityisesti verkoston putkiston liitoskohdissa ja laitteiden liitoskohdissa. Käynnissä- ja kunnossapidon henkilöstön tulisikin kulkiessaan voimalaitosalueella selvittää herkästi suhinaa muistuttavaa ääntä kuullessaan, onko kyseessä paineilma vuoto ja tilata vuodon ilmetessä viipymättä korjaus.

10.3.3 Paineilmatyökalut

Käytössä olevien paineilmatyökalujen kunto tulisi tarkastaa. Huonokuntoinen paineilmatyökalu kuluttaa enemmän paineilmaa kuin huollettu ja hyväkuntoinen. Paineilmatyökaluilla on huono hyötysuhde ja tulisikin tarkastaa voiko joitain työkaluja vaihtaa sähkökäyttöisiin.

10.3.4 Paineilmalla toimivat toimilaitteet

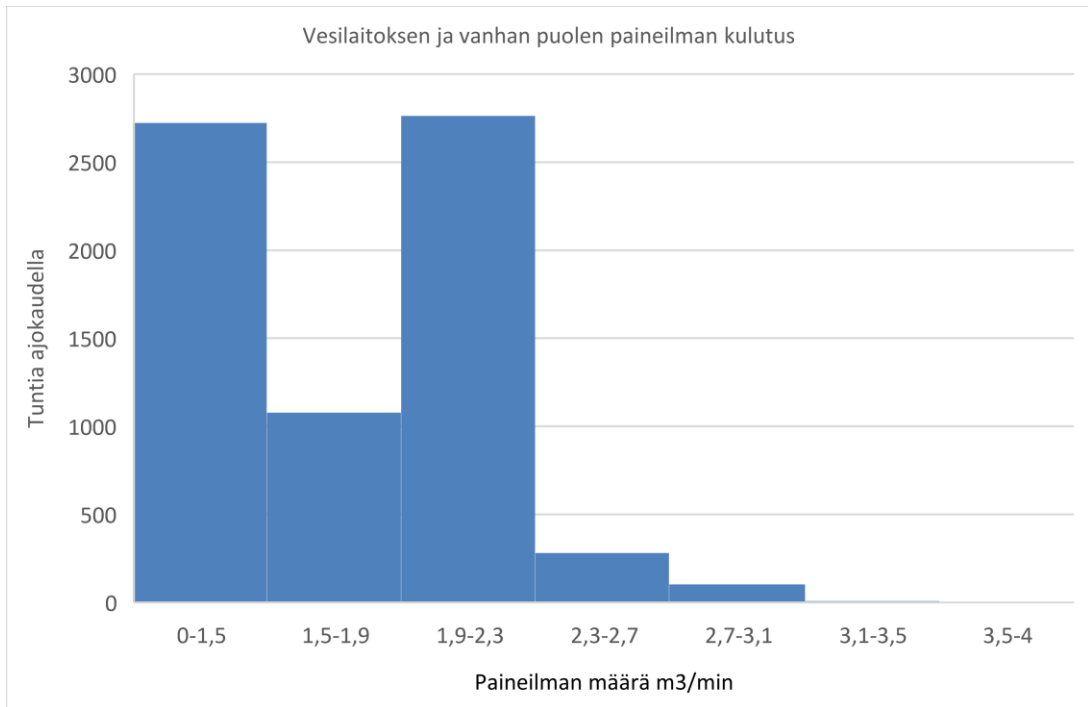
Vanhat paineilmalla toimivat toimilaitteet vuotavat helposti ja tuhlaavat paineilmaa. Vaihtoa elektronisiin tulisi harkita kohteen mukaan.

10.3.5 Automaatiomuutokset

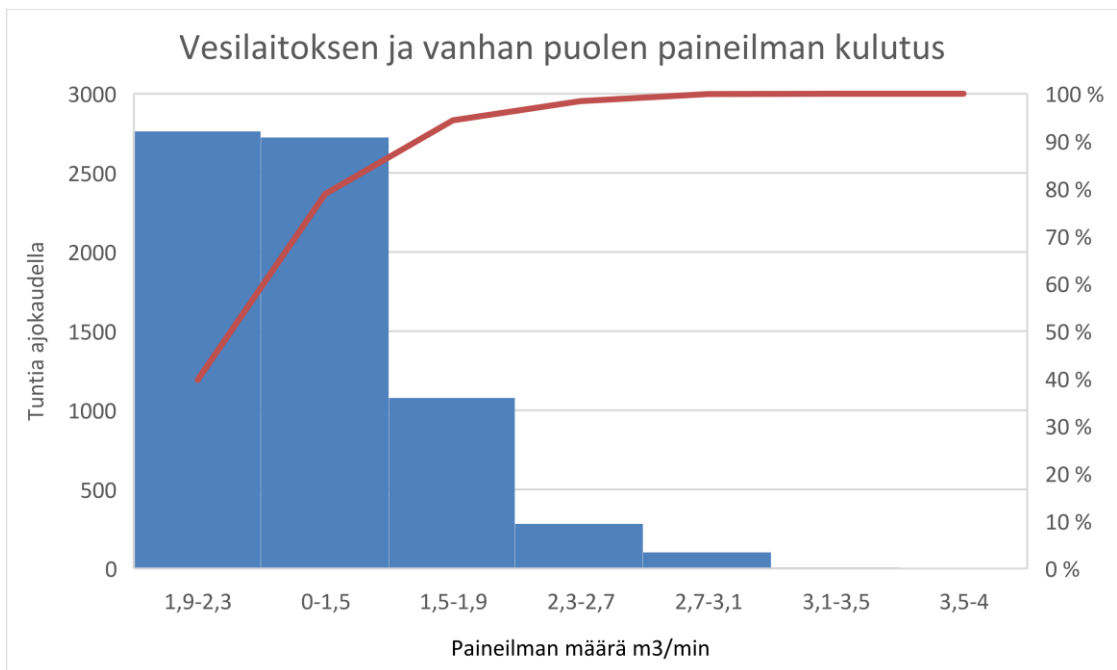
Automaatiomuutoksin voidaan pienentää paineilman sen hetkistä kulutusta, esimerkiksi estämällä paineilmakuljettimia lähettämästä materiaalia siiloon samanaikaisesti.

10.4 Kulutusprofiili

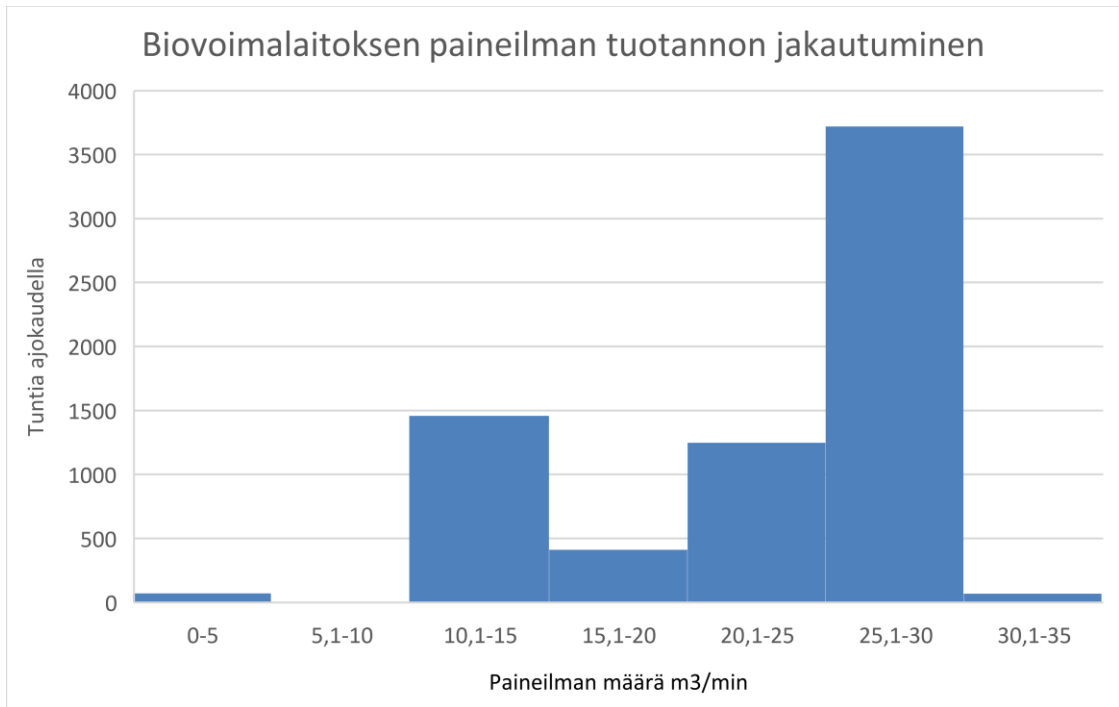
Edellisen kokonaisen ajokauden mittausdatan perusteella luotiin alla olevat pareto-kaaviot ja histogrammit. Pareto-kaavio sisältää palkkeina datasarakkeen lajiteltuna laskevaan järjestykseen ja punaisena viivana kumulatiivisen kokonaisprosenttiarvon. Pareto-kaaviot korostavat tietosarjan suurimpia tekijöitä. Kuvaajassa neljä ja kuvaajassa viisi on esitetty vesilaitoksen ja vanhan voimalaitospuolen paineilman kulutus. Kuvaajassa kuusi ja kuvaajassa seitsemän on kuvattuna biovoimalaitoksen paineilman tuotanto, koska kulutusta ei erikseen mitata. Kuvaajassa kahdeksan ja kuvaajassa yhdeksän on kuvattuna vanhan puolen ja biovoimalaitoksen paineilman tuotanto ja kulutus yhteenlaskettuna. Kuvaajien 4-9 X-akselilla on ilmoitettu paineilman määrä kullekin pylväälle $\text{m}^3/\text{minuutissa}$. Kuvaajissa 1-3 on aikasemmin esitetty paineilman kulutusta ja tuotantoa viivakaavioina. Ajokauden syksy-kevät pituus 2018–2019 oli yhteensä noin 7000 tuntia.



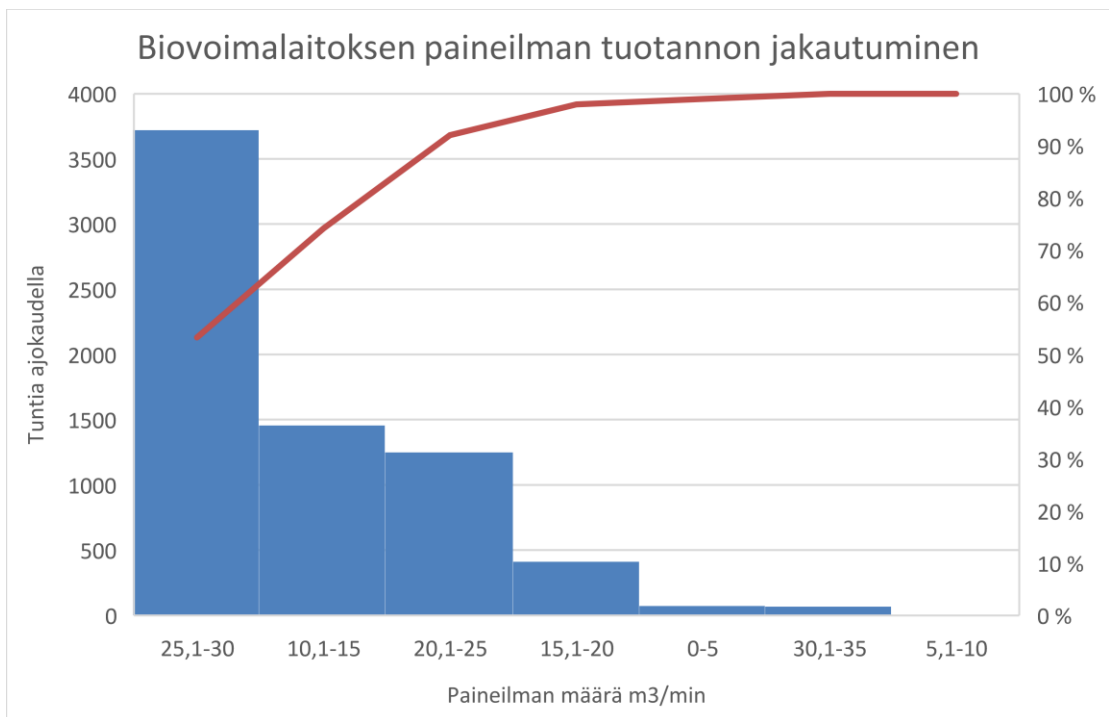
Kuvaaja 4. Vanhan puolen ja vesilaitoksen paineilman määrän jakautuminen histogrammina esitettynä



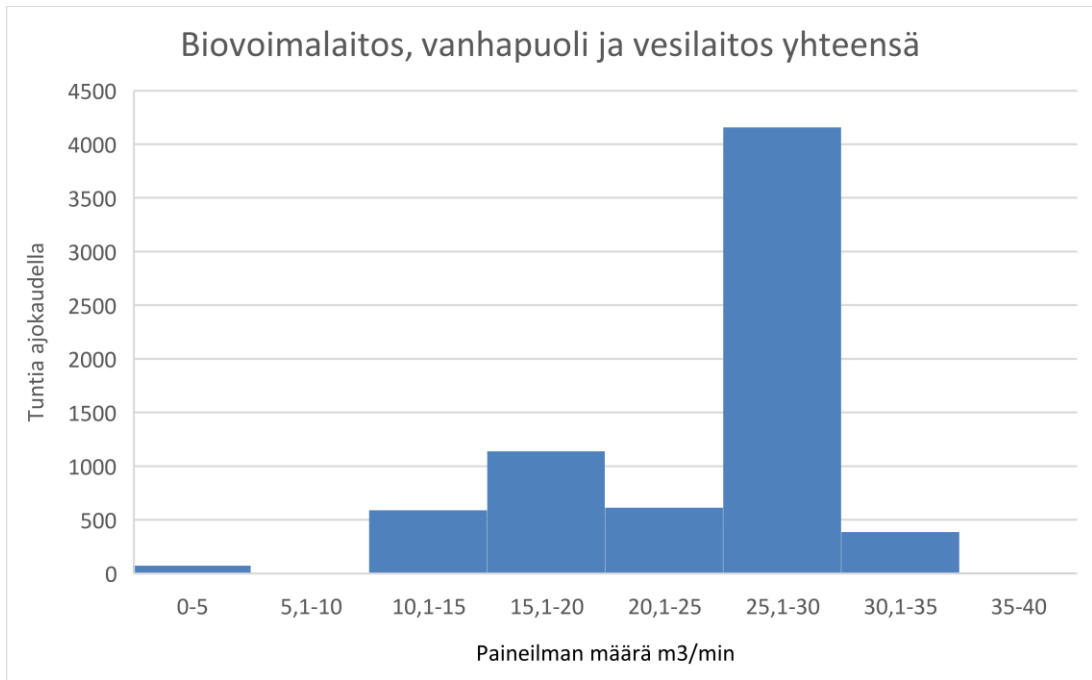
Kuvaaja 5. Vanhan puolen ja vesilaitoksen paineilman määrän jakautuminen pareto-kaaviona esitettynä



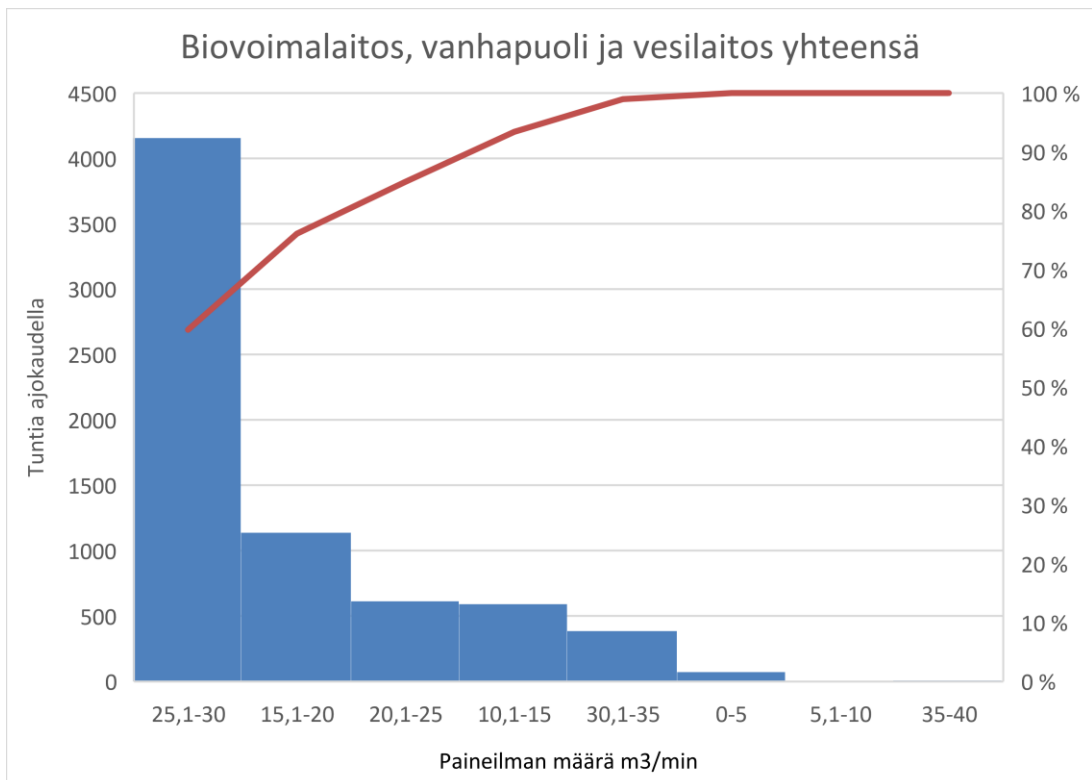
Kuvaaja 6. Biovoimalaitoksen paineilman määrän jakautuminen histogrammina esitettyinä



Kuvaaja 7. Biovoimalaitoksen paineilman määrän jakautuminen pareto-kaaviona esitettyinä



Kuvaaja 8. Yhteensä biovoimalaitoksen, vanhan puolen ja vesilaitoksen paineilman määrän jakautuminen histogrammina esitettynä



Kuvaaja 9. Yhteensä biovoimalaitoksen, vanhan puolen ja vesilaitoksen paineilman määrän jakautuminen pareto-kaaviona esitettynä

11 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Selvitystyön alkaessa ajatuksena oli, ettei nykyinen Porin Prosessivoiman oma paineilmakapasiteetti riitä voimalaitosalueen kaikille voimalaitoksille ja vedenkäsittelylaitokselle Venator Finland Oy:n lopettaessa toimintansa. Vanhan puolen ja vedenkäsittelylaitoksen paineilman tarve kuitenkin osoittautui pienemmäksi kuin oliitiin alkujaan kuviteltu. Uudemman biovoimalaitoksen paineilmakapasiteetti osoittautui riittäväksi korvaamaan vanhan puolen paineilman tarpeen.

Biovoimalaitoksen paineilmantuotannon säädöissä ei löytynyt tällä hetkellä korjattavaa. Toisen paineilmakompressorin sammuttamista tilanteen sen salliessa tulee kuitenkin harkita. Voimalaitosalueen paineilman kulutukseen voidaan kuitenkin vaikuttaa automaatiomuutoksin, paineilmauotoihin puuttamalla, paineilmatyökalujen huollolla ja paineilmalla toimivien instrumenttilaitteiden vaihtamisella elektronisiin. Mahdollisimman tarkan paineilman kulutuksen selvittämiseksi olisi suositeltavaa asentaa biovoimalaitokselle paineilman kulutusmittari. Myöskään paineilman kulutusprofiili ei ole täysin eksakti ilman paineilman kulutusmittausta.

Selvitysten perusteella varakompressoriksi riittää kapasiteetiltaan samankokoinen paineilmakompressori, kuin mitä suurempi nykyinen kompressori on. Selvitysten perusteella nykyiset paineilmakompressorit työskentelevät pääasiassa invertteriohjattujen kompressoreiden optimaalisen alueen ulkopuolella. Venator Finland Oy:lta saadun paineilman korvaaminen biovoimalaitoksen omalla paineilmalla korostaa entisestään päätelmää, ettei invertteriohjattu kompressori toimisi sille optimaalisella alueella ilman paineilmakapasiteetin kasvattamista.

LÄHTEET

Ellman, A. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita.

Elmomet Oy. 2008. Paine kuljettimen toimintaselostus.

Fonselius, J., Hautanen, J., Mutikainen, T., Pekkola, K., Salmijärvi, O. & Simpura, A. 1997. Koneautomaatio: Pneumatiikka. Helsinki: Edita.

Hager, B. n.d. Energiakatselmoijan käsikirja osa 3. Viitattu 2.4.2020.
<http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>

Hakala, H. 2012. Energiakatselmus. ÅF-Consult Oy.

ISO 8573-1. Compressed air – part 1: contaminants and purity classes. 2010.

Judin, R. 2012. Voimalaitoksen paineilmaverkoston kartoitus. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.4.2020.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40023/Judin_Risto.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Judin, R. 2015. PPV pähkinänkuoressa.

Kaeser. n.d. Paineilmatekniikan opas. Viitattu 2.4.2020. <https://fi.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:24-5981>

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.

Kissock, K. 2004. Estimating energy savings in compressed air systems. Viitattu 23.4.2020. https://www.researchgate.net/publication/26902512_Estimating_Energy_Savings_in_Compressed_Air_Systems

Mahlamäki, T. Kysymyksiä opinnäytetyöhön. Vastaanottaja: Jyri Kaunisto. Lähetetty 2.4.2020 klo 12.36. Viitattu 4.4.2020.

Pöyry Energy Oy. 2008. Porin prosessivoima Oy:n paineilmajärjestelmän kuvaus.

Tamrotor kompressorit Oy. n.d. Paineilman suodatus ja kuivaus. Viitattu 4.4.2020.
http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus_ja_kuivaus.pdf

Valkama, J. 2019. Käyttöpäällikkö. Porin Prosessivoima Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 10.9.2019.