



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

VALTTERI VIITASALO

Letkusuodattimen paineilmajärjestelmän toiminnallisuuden tarkasteleminen

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Viitasalo, Valteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2022
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Letkusuodattimen paineilmajärjestelmän toiminnallisuuden tarkasteleminen		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tarkastella Isojoen Lämpö Oy:n lämpölaitoksen letkusuodattimen paineilmajärjestelmän toiminnallisuutta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli esittää parannustoimenpiteitä letkusuodattimen paineilmajärjestelmän toimintaan, joilla lämpölaitoksen käyntijaksoja saataisiin pidennettyä. Savukaasujen puhdistusjärjestelmässä oli ollut ongelmia, jotka liittyivät letkusuodattimen paineilmapuhdistukseen. Nämä ongelmat aiheuttivat suodattimen tukkeutumisia ja sen vuoksi laitoksen käyntijaksot jäivät lyhyiksi.</p> <p>Työssä on esitetty yleistä teoriaa savukaasusuodattimista ja paineilmajärjestelmistä sekä esitelty Isojoen Lämmön lämpölaitoksen letkusuodatinta ja sen paineilmajärjestelmää tarkemmin. Työ sisälsi pohdintaa ja laskuja, joiden perusteella päätelmiä tehtiin.</p> <p>Työn tuloksena havaittiin tiettyjä kehityskohteita ja esitettiin niihin ratkaisuvaihtoehtoja. Tulosten perusteella voitiin todeta, että paineilmajärjestelmässä kompressorin kapasiteetti on riittävä, mutta ongelmaksi muodostuu paineilman kuivauskapasiteetti sekä letkusuodattimen sisäisen paineilmaputkiston rakenne. Esitetyt ratkaisut liittyivätkin paineilman kuivauksen tehostamiseen ja letkusuodattimen sisäisen paineilmaputkiston rakenteellisiin muutokseen.</p>		
<p>Asiasanat Lämpölaitos, letkusuodatin, paineilmajärjestelmä</p>		

Author(s) Viitasalo, Valtteri	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2022
	Number of pages 40	Language of publication Finnish
Title of publication Functionality inspection of a baghouse filters compressed air system		
Degree program Energy and Environmental Engineering		
Abstract <p>The subject of this thesis was to examine the functionality of the compressed air system of the baghouse filter of Isojoki Lämpö Ltd's heating plant. The purpose of the thesis was to present improvement measures for the operation of the compressed air system of the baghouse filter, which would prolong the operating periods of the heating plant. There had been problems with the flue gas cleaning system related to the compressed air cleaning of the baghouse filter. These problems caused clogging of the filter and therefore the operating cycles of the plant remained short.</p> <p>The general theory of flue gas filters and compressed air systems is presented in the work, and the baghouse filter of the Isojoki Lämpö Ltd's Heating Plant and its compressed air system are presented in more detail. The work included reflection and calculations from which conclusions were drawn.</p> <p>As a result of the work, certain development targets were identified and solution options were presented for them. Based on the results, it could be stated that in the compressed air system the capacity of the compressor is sufficient, but the problem is the drying capacity of the compressed air and the structure of the internal compressed air piping of the baghouse filter. The presented solutions were related to the efficiency of compressed air drying and the structural change of the internal compressed air piping of the baghouse filter.</p>		
<u>Key words</u> Heating plant, baghouse filter, compressed air system		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO JA TYÖN TAUSTA.....	5
2 ISOJOEN LÄMPÖ OY	6
2.1 Lämpölaitos ja arinapoltto.....	7
3 SAVUKAASUJEN PUHDISTUSLAITTEET	9
3.1 Sähkösuodattimet	10
3.2 Dynaamiset erottimet	10
3.3 Savukaasupesurit	11
3.4 Kuitusuodattimet (Letkusuodattimet).....	11
3.4.1 Kuitusuodattimien suodatinmateriaalit.....	11
3.4.2 Kuitusuodattimien erotusaste.....	12
3.4.3 Kuitusuodattimien puhdistus	13
3.4.4 Letkusuodattimet.....	13
4 PAINEILMA	15
4.1 Paineilmakeskus	15
4.2 Kompessorit.....	16
4.3 Paineilman laatuvaatimukset	17
4.4 Paineilman kuivaaminen.....	18
4.4.1 Paineilman suodatus (öljy ja kiinteät partikkelit)	19
4.5 Paineilman siirto.....	20
4.5.1 Paineilmaverkko.....	20
4.5.2 Paineilmasäiliö.....	21
4.5.3 Paineilmaputkiston mitoitus.....	22
4.5.4 Vuodot.....	23
5 ISOJOEN LÄMPÖ OY:N SAVUKAASUSUODATIN JA SUODATTIMEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ	24
5.1 Suodatinlaitteisto.....	24
5.2 Paineilmajärjestelmä	26
6 LASKUT JA MITTAUKSET	29
6.1 Paineilman määrä.....	30
6.2 Putkiston painehäviöt.....	34
6.3 Paineilman kosteus	35
7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	

1 JOHDANTO JA TYÖN TAUSTA

Opinnäytetyöni aiheena oli Isojoen Lämpö Oy:n lämpölaitoksen savukaasujen puhdistusjärjestelmän toiminnallisuuden tarkastaminen. Lämpölaitoksen savukaasujen puhdistusjärjestelmänä toimii letkusuodin. Lämpölaitoksella on ollut ongelmia suodattimen toimivuuden kanssa, sillä suodattimen sukat ovat jatkuvasti tukkeutuneet ja rikkoutuneet. Epäily on ollut, että tämä johtuu tuhkanpoiston paineilmajärjestelmästä, tarkemmin suodatinletkujen puhdistuksen paineilmapulssin riittämättömyydestä. Paineilmapulssi tässä tapauksessa tarkoittaa magneettiventtiin nopealla avauksella luotua paineiskua, jonka tarkoituksena on poistaa kertynyt tuhka letkusuodattimen sukkien pinnalta.

Isojoen Lämpö Oy:n lämpölaitoksella on alunperin ollut pelkkä multisykloni savukaasujen puhdistusta varten, mutta laitoksen yhteyteen on jälkeempään asennettu letkusuodatin savukaasujen parempaa puhdistusastetta varten. Letkusuodattimen toiminnassa on ollut lukuisia puutteita koko toiminnan ajan. Osa ongelmista on saatu ratkaistua, mutta letkusuodattimen sukkien huono puhdistusaste liian heikon paineilmapulssin vuoksi aiheuttaa edelleen vaivaa. Ongelmat savukaasusuodattimessa ja etenkin sukkien rikkoutumiset ovat aiheuttaneet sen, että lämpölaitosta on jouduttu usein ajamaan alas rikkoutuneiden sukkien vaihdon ja muiden huoltotoimenpiteiden vuoksi. Tämä on aiheuttanut ylimääräisiä kustannuksia yritykselle. Laitoksen ollessa pysäytettynä lämpö joudutaan tuottamaan öljykattilalla, mikä myös on lisännyt kustannuksia. Sukkien puhdistuessa kunnolla paineilmapulssien avulla laitoksen käyttöjaksot pitenisivät ja suodattimen huoltotarve vähenisi huomattavasti.

Paineilmajärjestelmän kompressori on myös kovalla rasituksella joutuessaan pyörimään jatkuvasti täydellä teholla. Paineilman valmistus on energiaa paljon vaativaa, joten paineilman käytön optimointi ja häviöiden selvitys on tärkeää.

2 ISOJOEN LÄMPÖ OY

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Isojoen Lämpö Oy.

Isojoen Lämpö Oy on osakkaidensa, Isojoen Saha Oy:n ja Isojoen kunnan vuonna 1993 perustama yritys, joka tuottaa lämpöä sahan ja kunnan tarpeisiin kotimaisista polttoaineista. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Juha Pynnönen. Isojoen Lämpö Oy:lla on kaukolämpöverkkoa yli yhdeksän kilometriä ja kaukolämmön piirissä olevien asiakkaiden lukumäärä on 103.

Polttoaineen Isojoen Lämpö Oy saa pääasiassa sahalta, jonka sivutuotteina syntyy puunkuorta ja sahanpurua, jota ei voida käyttää muuten hyödyksi.

Vuonna 2005 Isojoen Lämpö Oy rakensi uuden 10 MW:n bioenergiaa käyttävän lämpölaitoksen (kuva 1) vanhan voimalaitoksen lähistölle. Lämpölaitoksen vieressä sijaitsee 4 MW:n tehoinen kevyellä polttoöljyllä toimiva varakattila. Lämpölaitoksen ja kaukolämpöverkon hoidosta on vuodesta 2015 alkaen vastannut Isojoen Lämpövahti Oy. Vuonna 2020 Isojoen Lämpö Oy:n lämmön kokonaistuotanto oli 47028 MWh ja lämmön myynti oli 39804 MWh. (Pynnönen, 2021.)



Kuva 1. Isojoen Lämpö Oy:n kattilarakennus.

2.1 Lämpölaitos ja arinapoltto

Isojoen Lämpö Oy:n lämpölaitos on Wärtsilä Bio Powerin toimittama nimellisteholtaan 10 MW:n lämpölaitos. Lämpölaitoksen kattila on tyypiltään pyörivä arina. Polttoaineena laitoksella käytetään pääasiassa Isojoen sahalta saatavaa kuorta, purua ja puutähteitä (kuva 2). (Pynnönen, 2021.)

Pyörivä BioGrate- tyyppinen arina (kuva 3), jota myös Isojoen lämpölaitoksen kattila edustaa, jakaantuu samankeskeisiin kehiin, joista joka toinen pyörii myötä- ja joka toinen vastapäivään. Polttoaine syötetään arinan keskelle syöttöruuvien avulla sen alapuolelta. Polttoaine muodostaa tasaisen kerroksen koko arinan alueella. Arinan tulipesä on muurattu ja jäähdyttämätön, minkä ansiosta kyseisellä kattilatyypillä pystytään polttamaan myös kosteita polttoaineita. Toisaalta, käytettäessä kuivia polttoaineita voidaan kylmiä savukaasuja kierrättää kattilaan liian korkean palamislämpötilan välttämiseksi. Tämän ansiosta kattilalla voidaan polttaa hyvin erilaatuisia polttoaineita puhtaasti ja niin, että sekä typenoksideja ja häkää muodostuu vain hyvin

vähän. Tämä on hyödyllistä etenkin Isojoen Lämmön tapauksessa, jossa polttoaineen kosteus voi olla välillä melko korkeakin. (Huhtinen ym., 2012 s. 35-36.)



Kuva 2. Lämpölaitoksen käyttämää polttoainetta.



Kuva 3. BioGrate kosteiden polttoaineiden arinapoltin. (Ympäristö www-sivut 2021.)

3 SAVUKAASUJEN PUHDISTUSLAITTEET

Savukaasujen kiinteiden epäpuhtauksien erottamista ja puhdistamista pystytään tekemään monilla erilaisilla erotintyypeillä. Näitä ovat erilaiset dynaamiset erottimet, letkusuodattimet ja savukaasupesurit. Näiden soveltuvuuksia ja kustannuksia on esitetty taulukossa 1.

(Huhtinen ym., 2000 s. 251.)

Taulukko 1. Eri savukaasusuodattimien soveltuvuuksia, kustannuksia yms. (VTT www-sivut 2021.)

Puhdistuslaite	Polttoaine	Teho MW _{pa}	Investointi €/MW _{pa}	Käyttökust. €/MWh _{pa}	Päästö-taso mg/m ³ _n	Painehäviö mbar
Sähkösuodatin	Kaikki	alle 5	40000	ei tietoa	15-50	2-3
	Kaikki	5-50	20000	0,1		
	Kaikki	50-150	15000	ei tietoa		
	Kiinteä ja lipeä	> 150	10000	ei tietoa		
	Neste	> 150	7000	ei tietoa		
Kuitusuodatin	kaikki	5-50	18000	0,3	5-25	10-20
	kiinteä	> 150	13000	0,2		
	neste	> 150	10000	ei tietoa		
Pesuri + LTO	kaikki	5-50	35 000	0,3	50-500	10-15
Pesuri	kaikki	5-300	60 000	0,5	50-500	10-15
	kaikki	300-1000	80 000	0,3		
	kaikki	yli 1000	40 000	ei tietoa		
Sykloni/ multi-sykloni	kaikki	alle 5	6 000	ei tietoa	20-1500	10-20
	kaikki	5-50	1 600	0,1		

3.1 Sähkösuodattimet

Sähkösuodattimen toiminta perustuu siihen, että savukaasun hiukkaset varataan negatiivisesti ionisoituneessa vyöhykkeessä. Varautuneet hiukkaset taas erotetaan voimakkaassa sähköisessä kentässä. Sähkösuodattimen tärkeimmät osat ovat emissioelektrodi ja erotuselektrodi. Näiden kahden elektrodin välinen 30-70kV jännite, saa aikaan voimakkaan sähkökentän elektrodien väliin. Emissioelektrodeilla syntyy ns. koronapurkaus, joka johtuu voimakkaasta sähkökentästä, koronapurkauksessa syntyy paljon negatiivisesti ja positiivisesti varautuneita kaasumolekyylejä. Emissioelektrodin ollessa negatiivisesti ja erotuselektrodin positiivisesti varautunut, liikkuvat positiiviset ionit emissioelektrodille ja luovuttavat varauksensa, jonka jälkeen ne muuttuvat neutraaleiksi kaasumolekyyleiksi. Erotuselektrodia kohti kulkiessaan negatiiviset ionit törmäävät hiukkasiin varaten ne negatiivisiksi. Elektrodien välillä vallitseva sähkökenttä saa aikaan negatiivisesti varautuneiden hiukkasten liikkeen kohti erotuselektrodia, mihin ne kiintyvät. Kiinnittyneet hiukkaset poistetaan erotuselektrodista ravistamalla tai vesihuuhTELulla. (Huhtinen ym., 2000 s. 252.)

3.2 Dynaamiset erottimet

Dynaamisten erottimien toiminta perustuu massavaikutukseen. Dynaamisia erotintyypppejä on erilaisia, mm. erilaiset syklonit, keskipakoerotin, pölyristikko ja laskeutumiskammio. Ehdottomasti yleisimpiä ovat syklonit. Savukaasu johdetaan sykloniin joko tangentialisesti tai aksiaaliseksi. Johtosiivillä aikaansaadetaan savukaasulle spiraalinen liikerata syklonin pohjan suuntaan, tällöin hiukkaset sinkoutuvat massavaikutuksen ansiosta syklonin seiniä vasten ja tippuvat syklonin pohjassa olevaan poistoaukkoon. Puhdistettu savukaasu imetään pois syklonin keskeltä. Syklonin erotusasteeseen vaikuttavia seikkoja ovat syklonin koko ja geometria sekä puhdistettavan savukaasun virtausnopeus ja viskositeetti. (Huhtinen ym., 2000 s. 253.)

3.3 Savukaasupesurit

Savukaasupesurissa puhdistettava savukaasu joutuu kosketuksiin veden kanssa, jolloin vesi hajoaa pisaroiksi ja savukaasun hiukkaset agglomeroituu näihin pisaroihin. Tämä vaatii kuitenkin joko nopean savukaasun tai ruiskutetun veden virtauksen. Savukaasupesurissa syntyneet hiukkaspitoiset vesipisarot erotetaan pisaranerottimissa. Savukaasupesureilla päästään hyvään yli 90%:n erotusasteeseen kiintoaineille ja rikin oksideille. (Huhtinen ym., 2000 s. 255.)

3.4 Kuitusuodattimet (Letkusuodattimet)

Kuitusuodattimet ovat yleisiä kohteissa, joissa on tiukat päästövaatimukset, mutta sähkösuodatin olisi kallis vaihtoehto. Joidenkin hiukkasten ominaisuudet eivät myöskään sovi sähkösuodattimelle, esim. korkearesistiiviset hiukkaset eivät varaudu kunnolla sähkösuodattimessa. Kuitusuodattimet ovat erotuskäyttönsä nähden varsin edullisia (isoissakin kohteissa n. 1-3 miljoonaa euroa). Kuitusuodattimissa on kuitenkin tiettyjä ongelmia, kuten tiettyjen savukaasujen tarttuvat partikkelit, kuluminen, verrattain suuri huollon tarve ja painehäviöt. Kuitusuodattimen sukat joudutaan uusimaan n. 2-3 vuoden välein, joten käytön aikaiset kustannukset voivat olla korkeita etenkin, jos käytetään kalliimmista kuitumateriaaleista valmistettuja sukia. (Ohlström ym., 2005 s. 23-24.)

3.4.1 Kuitusuodattimien suodatinmateriaalit

Kuitusuodatinmateriaaleja ovat mm. villa, puuvilla, nylon, lasikuitu ja polyesteri. Näistä villaa ja puuvillaa voidaan käyttää vain matalan lämpötilan kohteissa, mutta lasikuitua voidaan käyttää 290°C:seen asti. Lämpötilan takia kuitusuodatinyksikkö sijoitetaankin luvon eli palamisilmanesilämmittimen jälkeen. Kastepisteen vuoksi savukaasu ei kuitenkaan saa jäähtyä liikaa. Esim. teflon kestää paremmin happoja, mutta tefloninkin korkein sallittu lämpötila jatkuvissa olosuhteissa on 250°C. Kangassuodattimen sukat ovat usein näiden edellä mainittujen materiaalien seoksia. Haitallista kuitusuodattimille on

etenkin rikki- ja hiilipitoiset kaasut ja suodattimet tukkiva ammoniakki. Kuitusuodattimien erotusaste ei kuitenkaan ole niin riippuvainen savukaasun ominaisuuksista kuten sähkösuodattimissa ja sykloneilla. Ylös- ja alasajotilanteissa täytyy olla erityisen varovainen kuitusuodattimien kanssa, muuttuvien savukaasun lämpötilojen takia. Näissä tilanteissa voidaan joutua käyttämään ohituskanavia ja suodattimen lämmitystä. Korkeissa lämpötiloissa käytettävissä kuitusuodattimissa käytetään metalli- ja keramiikkakuiduista valmistettuja materiaaleja. Nämä materiaalit kestävät jopa yli 1000°C:n lämpötiloja. (Ohlström ym., 2005 s. 24.)

Kangassuodattimet ovat suodattimia, joita voidaan kutoa monista eri materiaaleista. Kangassuodattimesta on suurin osa ilmaa ja kuituja tilavuudesta on noin 5-30%. Kangassuodatin kerää savukaasuista hiukkaset hyödyntäen hitausvoimaa, pidätystä ja diffuusiota. Hitausvoima ja pidätys ovat isoimpien hiukkasten pääerotustekijöinä ja pienempien hiukkasten tärkeimpänä erotustekijänä on diffuusio. Myös sähköisillä voimilla on vaikutusta erotustekijänä etenkin hiukkasille, jotka ovat kooltaan 0,01-5 µm. (Ohlström ym., 2005 s. 24.)

3.4.2 Kuitusuodattimien erotusaste

Kuitusuodattimilla on hyvä, yleensä lähes 100% erotusaste hiukkasille koosta riippumatta. Kuitusuodattimilla pystytään suodattamaan jopa hiukkasia, jotka ovat kooltaan vain 0,01µm. Kuitusuodattimilla pystytään suodattamaan hiukkasten lisäksi kaasumaisia sekä muita vaikeita päästöjä syöttämällä niihin aktiivihilteä tai sorbenttia. Keskimääräinen päästötaso kuitusuodattimilla on 5-25 mg/m³ eli noin 2-8 mg/MJ, tämä tarkoittaa 99,9%:n erotusastetta. (Ohlström ym., 2005 s. 25.)

Uusimpien mittausten mukaan hiukkaspäästöissä olisi pienhiukkasia (<2,5 µm) vain n. 1- 10 % ja suurin osa hiukkaspäästöistä koostuisi suurista hiukkasista. Täytyy kuitenkin muistaa, että mittaukset ovat vain hetkellisiä, jonka vuoksi näiden mittausten perusteella ei voida varmuudella arvioida laitosten vuosipäästöjä. Lisäksi ainakin osan aikaa vuodesta savukaasusuodattimet

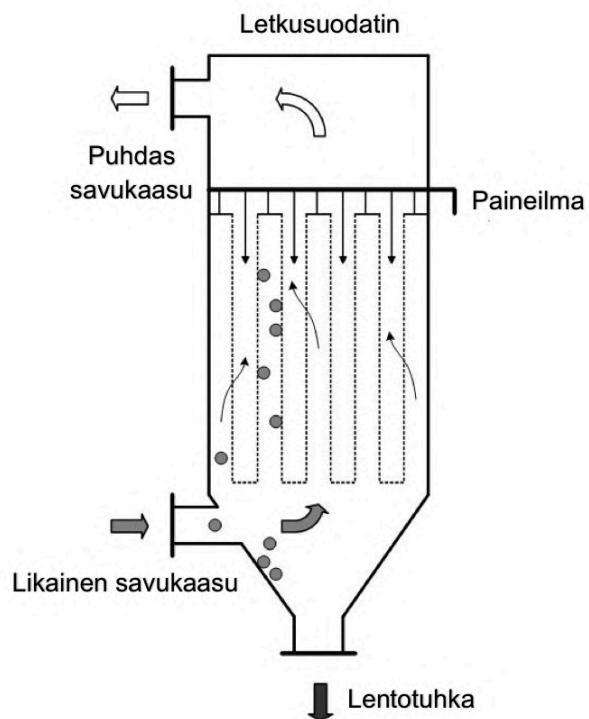
ovat likaisia ja niitä käytetään silloinkin, kun ne eivät ole täysin 100% kunnossa. Laitoksilla riittää, että savukaasujen jatkuvatoimisen mittauksen raja-arvot eivät ylitä. (Ohlström ym., 2005 s. 25.)

3.4.3 Kuitusuodattimien puhdistus

Kuitusuodattimien puhdistus tehdään yleensä joko ravistamalla, vastakkaisuuntaisella virtauksella tai paineilmapulssilla kuten Isojoen Lämpö Oy:n laitoksella. Kuitusuodattimet tarvitsevat optimaalisen erotusasteen aikaan saamiseksi hiukkasia kankaan pintaan, mutta painehäviön kasvun takia osa hiukkasista on poistettava säännöllisin väliajoin. Kuitusuodattimen normaali painehäviö on n. 1000-2000 Pa. (Ohlström ym., 2005 s. 25.)

3.4.4 Letkusuodattimet

Voimalaitoksissa käytettävät kangassuodattimet ovat ns. letkusuodattimia. Letkusuodattimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. Letkusuodatin on yleensä pitkähkö ontto ja sylinterin muotoinen. Tämä rakenne mahdollistaa suuren suodatinpinta-alan tilavuusvirtausta kohden. Nopeus, jolla savukaasu kulkee suodatinmateriaalista läpi on yleensä n. 3-10 cm/s. Tätä nopeutta kutsutaan pintanopeudeksi. Letkusuodattimia on hyvin eri kokoisia ja isoimmissa voikin olla jopa tuhansia letkuja. Nämä letkut ovat yleensä halkaisijaltaan 12-40 cm ja korkeudeltaan 3-10 metriä. Pitkillä letkuilla saadaan pienennettyä letkusuodattimen tarvitsemaa pohjapinta-alaa. Isompien voimalaitosten letkusuodattimet ovat hyvinkin suuria kokonaisuuksia, joiden suunnittelussa on huomioitava monia eri asioita. (Ohlström ym., 2005 s. 25.)



Kuva 4 Letkusuodattimen toimintaperiaate. (Flemish Knowledge Centre for Best Available Techniques www-sivut 2022.)

4 PAINEILMA

Paineilmaa käytetään monissa erilaisissa kohteissa ja moniin eri tarkoituksiin. Paineilman yleisyydestä ja laajasta käytöstä kertoo se, että arvion mukaan teollisuusmaiden käyttämästä sähköstä jopa 5% menee paineilman tuottamiseen. Paineilma on helppokäyttöinen väliaine, jota käytetään mm. siirtämiseen, sekoittamiseen, maalaamiseen, mittaamiseen ja puhdistamiseen. Koneautomaatiossa paineilmalla aikaan saadaan lineaari- ja rotaatioliikkeitä. Paineilman suurimmat edut ovat yksinkertaisuus, hyvä saatavuus ja varastoinnin helppous. Teollisuudessa paineilmaa on yleensä aina saatavissa, sillä tehdasrakennuksiin rakennetaan lähes poikkeuksetta paineilmaverkosto. Myös siirrettävillä kompressoreilla voidaan helposti tuottaa paineilmaa. Paineilman merkittävimpiä huonoja puolia ovat matala n. 5% hyötysuhde ja toimilaitteiden pienet voimat. (Ellman ym., 2002 s. 7-8.)

4.1 Paineilmakeskus

Paineilmakeskus tarkoittaa tilaa, jossa sijaitsee seuraavat tai ainakin osa seuraavista laitteista: kompressori/kompressorit, ilmasäiliöt, jälkijäähdyttimet, jäähdytys kuivaimet, suodattimet, puhaltimet, sähkökaapit ja lämmöntalteenottolaitteet. Paineilmakeskuksen laitteet valitaan siten, että niillä pystytään vastaamaan kohteen asettamiin vaatimuksiin, joita ovat: paineilmankulutus, tarvittava työpaine, paineilman laatu sekä käyttövarmuus. Sen jälkeen, kun kohteen vaatimukset ovat selvillä, aletaan selvittää minkälaisilla laitteilla päästään näihin vaatimuksiin mahdollisimman taloudellisesti. Paineilman tuotto on hyvin energiaintensiivistä ja huonosti suunniteltu järjestelmä voi tulla käyttökustannuksiltaan hyvinkin kalliiksi. Suunniteltaessa on otettava huomioon myös laitteiden huoltovaatimukset ja varaosien saatavuus. Useisiin kohteisiin valitaan valmiit kompressoriyksiköt, jotka sisältävät kompressorin lisäksi jälkikäsittelylaitteet, automatiikan sekä käynnistymistoiminnot. Tarvittaessa nämä kompressorikokonaisuudet voivat olla myös ääniseristettyjä, jolloin ne pystytään asentamaan työtiloihin, jotka vaativat hiljaisempaa ääntä. Paineilman

tuotannossa syntyy myös lämpöä, joka on hyvä ottaa sijoittelussa huomioon. Parhaassa tilanteessa paineilman tuottamisella voidaan lämmittää jotain tiettyä tilaa. (Ellman ym., 2002 s. 41.)

4.2 Kompessorit

Kompessorilla tarkoitetaan laitetta, jolla kaasumaisen väliaineen paine nostetaan niin että loppupaine ovat imupaineeseen verrattuna kaksinkertainen.

Yleisimpiä kompressorityyppejä on ruuvi- ja mäntäkompessorit. Näistä kahdesta kompressorista on olemassa useita erilaisia variantteja.

Kompessorin säätöjärjestelmän tehtävänä on ohjata kompressorin tuotto ilmantarpeen mukaiseksi ja minimoida kompressorin tehontarve. Tuoton säätötapoja ovat kuormituksen poisto, kuormituksen kevennys ja pyörintänopeuden säätö. (Ellman ym., 2002 s. 43-44, 48.)

Kompessorit jaotellaan kineettisen ja staattisen puristuksen perusteella.

Staattinen puristus tarkoittaa, että kaasu virtaa kompressorin kammioon, missä tilavuutta pienentämällä kasvatetaan staattista painetta. Puristuksen jälkeen paine ohjataan paineliitännään. Staattisesti puristavat kompressorit voidaan jaotella mäntäkompressoreihin ja pyöriväroottorisiin kompressoreihin. Kineettinen puristus taas tarkoittaa, että kaasu virtaa juoksupyörään, joka pyörii suurella nopeudella, siellä sen nopeus kiihtyy suureksi. Sieltä ilma kulkee johdolaiteeseen, ja siellä ilman kineettisessä muodossa oleva energia muuttuu staattiseksi, kun virtausta vastustetaan painetilassa. Kineettisen puristuksen kompressorissa on imu ja painetila toisiinsa yhteydessä. Kineettisen puristuksen kompressoreita ovat rakenteen perusteella radiaalikompressorit ja aksiaali kompressorit. Kineettisesti puristavat kompressorit ovat hyvä valinta silloin kun vaaditaan suuria tilavuusvirtoja. (Ellman ym., 2002 s. 43-44.)

4.3 Paineilman laatuvaatimukset

Paineilmalta vaadittu laatu vaihtelee paljon käyttökohteista riippuen. Paineilman laatuluokitus tapahtuu taulukossa 2 esitetyn ISO-standardin 8573-1 mukaan. Kompressorissa tuotetussa paineilmassa on aina erilaisia epäpuhtauksia, jotka pääsevät ilmansuodatuksesta huolimatta kompressoriin. Kiinteät hiukkaset poistetaan suodattamalla ja osa hiukkasista poistuu lauhteenpoistimissa. (Ellman ym., 2002 s. 52-53.)

Ilman kosteus kulkeutuu kompressorin läpi ollen puristuksen jälkeen höyrymäisessä muodossa. Paineilman lämpötilan laskiessa osa vesihöyrystä tiivistyy vedeksi. Suurimman ongelman paineilmassa aiheuttaakin nestemäisessä muodossa oleva vesi. Tämän takia paineilmaa kuivataan ilmankuivaimilla, jotka voivat olla joko kompressoriin integroituja tai täysin erillään olevia. (Ellman ym., 2002 s. 52-53.)

Kompressoreista, jotka ovat öljyvoideltuja kulkeutuu aina paineilman mukana hieman öljyä. Suodattimilla saadaan pienennettyä paineilmassa olevaa öljyn määrää, mutta mikäli vaaditaan täysin öljytöntä paineilmaa, niin käytetään öljytöntä kompressoria. (Ellman ym., 2002 s. 52-53.)

Taulukko 2. Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010. (Sarlin www-sivut 2021.)

PAINEILMAN LAATU ISO 8573-1:2010 STANDARDIN MUKAAN							
Paineilman laatuluokka	KIINTEÄT PARTIKKELIT				VESI		ÖLJY
	Partikkeleiden maks. määrä/m ³		Massapitoisuus mg/m ³		Paineenalainen kastepiste	Neste g/m ³	Öljysumu, -neste ja -höyry mg/m ³
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70°C	-	0,01
2	≤ 400000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40°C	-	0,1
3	-	≤ 90000	≤ 1000	-	≤ -20°C	-	1
4	-	-	≤ 10000	-	≤ +3°C	-	5
5	-	-	≤ 100000	-	≤ +7°C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10°C	-	-
7	-	-	-	5...10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5...5	-
9	-	-	-	-	-	5...10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

4.4 Paineilman kuivaaminen

Paineilmajärjestelmissä käytettyjä kuivauslaitteita ovat jälkijäähdyttimet, jäähdytyskuivaimet ja adsorptiokuivaimet. Jälkijäähdyttimet ovat lämmönvaihtimia, jotka jäähdyttävät paineilmaa puristuksen jälkeen erottaen siitä vettä. Jälkijäähdyttimellä tuotetun paineilman lämpötila on yleensä n.10°C korkeampi kuin väliaineen, joka jäähdyttää paineilmaa. Jälkijäähdyttimet sijaitsevat yleensä heti kompressorin jälkeen ja usein ne ovat osana kompressoriyksikköä. (Ellman ym., 2002 s. 53.)

Adsorptiokuivainten toiminta perustuu joko nestemäisen tai kiinteän aineen kykyyn adsorptoida vesimolekyylejä pinnalleen. Adsorptiokuivaimessa paineilma ohjataan järjestelmään kuivausainesäiliön kautta. Kyllästynyttä kuivausainetta

elvytetään rinnakkaisessa kuivausainesäiliössä joko lämpimällä ilmalla tai sähkövastuksilla. (Ellman ym., 2002 s. 55.)

Jäähdytyskuivaimet muodostuvat kahdesta kiertopiiristä. Paineilma kulkee lämmönvaihtimen sekä vedenerottimen lävitse ja samaan aikaan kylmäaine kulkee omassa jäähdytyspiirissään. Kuivattu paineilma ohjataan jäähdytyspiiriä ympäröivään vaippaan, jossa ilma jäähtyy noin 2°C lämpötilaan. Tämän ansiosta ilman kosteus kondensoituu, jonka jälkeen vesi poistuu vedenerottimen kautta. (Ellman ym., 2002 s. 53-54.)

4.4.1 Paineilman suodatus (öljy ja kiinteät partikkelit)

Paineilmassa oleva öljy on joko nestemäisessä muodossa tai vaikeammin poistettavana sumuna tai kaasuna. Öljyn poistoon käytetään öljysuodattimia, jotka käyttävät jotain seuraavista tekniikoista: mekaanista suodatusta, yhdistymissuodatusta tai adsorptiosuodatusta. Isoimmat öljypartikkelit suodattuvat tavallisessa mekaanisessa suodatuksessa. Öljyn höyrystyessä kompressorin puristuksessa syntyy myös hiilivetyjä, joita voidaan poistaa aktiivisuodatuksella. (Ellman ym., 2002 s. 56-57.)

Mekaanisen suodatuksen toimintaperiaate on öljypartikkeleita pienemmät reiät tai verkko, joiden läpi paineilma kulkee. Mitä pienemmät reiät sitä parempi erotusaste, mutta suurempi painehäviö. Yhdistymissuodatus perustuu siihen, että pienet öljypisarot yhdistyvät suuremmiksi kulkiessaan suodattimen eri kerrosten läpi, jonka jälkeen ne tarttuvat suodatin elementtiin, mistä ne valuvat pois. Adsorptiosuodatus taas perustuu adheesioon, jonka avulla öljypartikkelit sidotaan suodattimen pintaan. (Ellman ym., 2002 s. 56.)

Kiinteitä partikkeleita paineilmasta suodatetaan monenlaisilla eri suodatintyypeillä näitä ovat esisuodattimet, hienosuodattimet, mikrosuodattimet, steriilisuodattimet ja pölysuodattimet. Esisuodattimet poistavat kiinteitä partikkeleita ja öljyä sekä estävät vesipisaroiden pääsyn kuivaimeen. Muihin suodattimiin verrattuna esisuodattimien suodatuskyky ei ole kovin hyvä. Hienosuodattimet

ovat teollisuudessa käytettäviä yleissuodattimia. Hienosuodattimien suodatuskyky on jo huomattavasti parempi verrattuna esisuodattimiin. Mikro-suodattimia käytetään kohteissa, joihin hienosuodattimien suodatuskyky ei riitä. Mikro-suodattimia käytetään esisuodattimina adsorptiokuivaimille. Puhdasta bakteeritonta ilmaa tarvitsevilla kohteilla käytetään steriilisuodattimia. Steriilisuodattimissa käytetään usein höyrysterilointia, mistä syystä suodattimelta vaaditaan korkeaa lämmönkestävyyttä. Steriilisuodattimien suodatinelementtien on myös oltava kemiallisesti ja biologisesti neutraaleja. Pölysuodattimia käytetään adsorptiokuivaimien jälkeen. Pölysuodattimet suodattavat paineilma-asta adsorptiokuivauksesta syntyvää hienojakoista pölyä, joka voi olla käyttökohteesta riippuen haitallista. (Ellman ym., 2002 s. 57.)

4.5 Paineilman siirto

Paineilmaverkosto muodostuu paineilmasäiliöstä, putkistosta ja erilaisista liittännöistä, joiden määrä riippuu paljolti käyttökohteiden määrästä. Tämä sisältää kaikki venttiilit, liittimet, huoltoyksiköt sekä muut tarvittavat varusteet.

Paineilmaverkoston putkistoa suunniteltaessa tärkeimpiä huomioitavia tekijöitä ovat painehäviöt, vuodot ja vedenerotus. Toimintaympäristö ja paineilmalta vaadittava laatu asettavat myös vaatimuksia putkistolle ja sen materiaaleille. (Ellman ym., 2002 s. 59.)

4.5.1 Paineilmaverkko

Jokainen paineilmaverkko on yksilöllinen. Suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ovat paineilman kulutuskohteiden etäisyys, jakautuminen ja tarvitsema ilmamäärä. (Ellman ym., 2002 s. 59.)

Paineilmakeskuksesta paineilma johdetaan syöttöputkella runkoputkeen, joka on kiinnitetty joko seinä- tai kattorakenteisiin kohteen ympäristötekijöistä ja kulutuskohteiden sijainnista riippuen. Runkoputkesta paineilma johdetaan jakeluputkella kulutuskohteiden liittäntöihin. Paineilmaverkon rakenne voi olla

suora verkko, rengasverkko tai edellä mainittujen yhdistelmä. (Ellman ym., 2002 s. 59.)

Suora verkko koostuu yhdestä putkesta, joka yhdistetään paineilman käyttökohteisiin ulosottoputkilla. Suoran verkon etu on yksinkertaisuus ja suora verkko soveltuukin hyvin pieniin paineilmajärjestelmiin. Haittapuolena suorassa verkossa on sen yksisuuntaisuus, mistä johtuen verkon sulkeutuessa jostain kohtaa estyy muunkin verkon toiminta. Suoran verkon laajennus voi myös olla vaikeaa suuren painehäviön takia. (Ellman ym., 2002 s. 60.)

Rengasverkossa paineilman virtaus tapahtuu aina kahta eri reittiä pitkin ja rengasverkon runkoputkessa käytetään sulkuventtiileitä mikä mahdollistaa osittaisen verkon eristämisen verkon muita osia häiritsemättä. Rengasverkossa voidaan myös käyttää suoraa verkkoa pienempää putkisto kokoa. Rengasverkko on kuitenkin selvästi kalliimpi ja monimutkaisemmin toteutettava vaihtoehto kuin suora verkko. (Ellman ym., 2002 s. 60.)

4.5.2 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliöt toimivat paineilmaverkossa paineilmavarastoina, kulutushuippujen tasaajina, painevaihtelujen vaimentimina sekä vedenerottimina. Paineilmasäiliö ei ole varsinaisesti välttämätön komponentti paineilmajärjestelmässä, mutta sen käyttö on kuitenkin usein järkevää. Paineilmajärjestelmään voi kuulua yksi tai useampikin paineilmasäiliö. (Ellman ym., 2002 s. 61.)

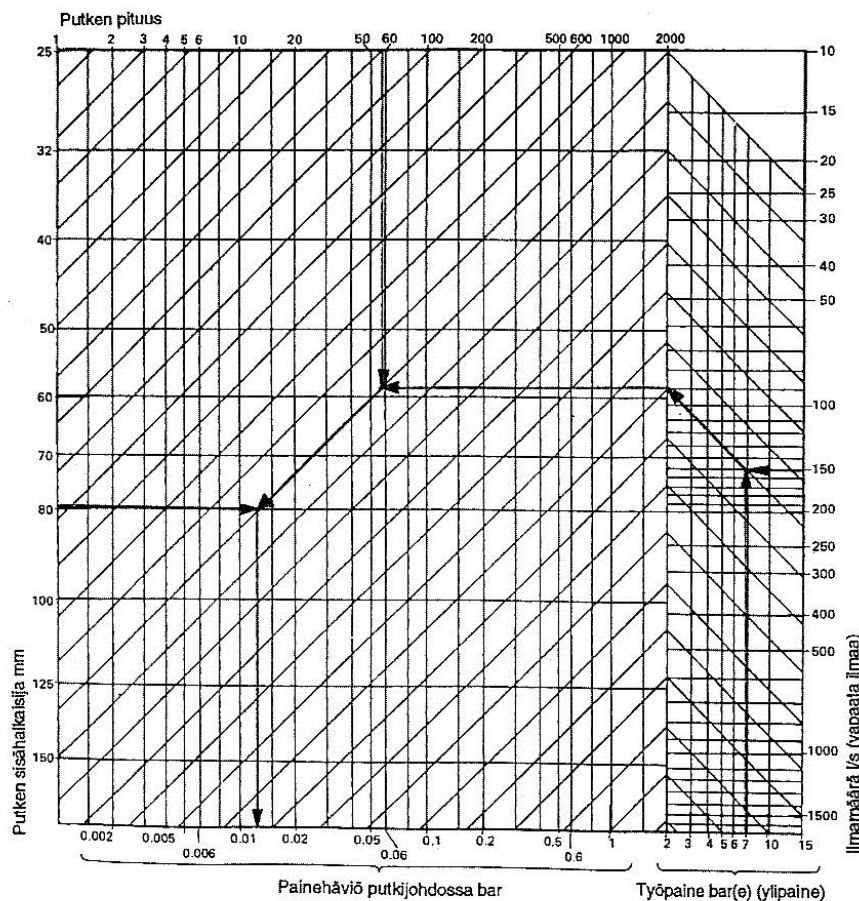
Paineilmasäiliön mitoitukseen vaikuttaa kompressorin tyyppi ja tuotto, paineilman kulutus ja järjestelmän automaation vaatimukset. Paineilmasäiliön valinnassa käytetään yleensä kompressorivalmistajan suosituksia ja ohjeita. Myös paineastia- ja painelainsäädännön vaatimukset on huomioitava valinnassa. (Ellman ym., 2002 s. 62.)

4.5.3 Paineilmaputkiston mitoitus

Etenkin teollisuudessa paineilmaputkiston mitoitus voi olla vaikeaa vaihtelevan ja jaksottaisen paineilman kulutuksen vuoksi. Mitoituksessa kannattaakin varautua riittävään paineilman siirtoon. Mikäli paineilmaputkiston putkikoko on liian pieni ei käyttökohteisiin saada tarvittavaa paineilmaa riittävällä teholla. Tietoja, joita tarvitaan tehdessä paineilmaputkiston mitoitusta ovat kulutuskohteiden tarvitsema ilmamäärä, työpaine, putkiston pituus, putkiston komponentit ja muut varusteet.

Ilmamäärä putkistolle lasketaan paineilman käyttökohteiden kulutuksen käyttöasteen mukaan. Jakoputkien mitoituksessa käytetään kulutuskohteen maksimi kulutusta ja syöttö- ja runkoputkiston mitoituksessa käytetään laskennassa ilmantarpeen todennäköistä arvoa. (Ellman ym., 2002 s. 62.)

Putkiston mitoituksessa käytetään sallittuina painehäviöinä arvoja: jakeluputket (0,03 bar), runkoputket (0,05 bar), syöttöputket (0,02 bar) ja kokonaispainehäviö (0,10 bar). Painehäviöitä arvioitaessa tarvitaan myöskin luettelo kaikista putkiston osista, kuten venttiileistä, liittimistä ja muista osista, joista mahdollisesti aiheutuu painehäviöitä putkistossa. Putkiston mitoituksessa käytetään apuna kuvassa 5 näkyvää normogrammia. Normogrammin lähtötietoina ovat työpaine, ilmamäärä sekä putkiston kokonaispituus ja halkaisija. (Ellman ym., 2002 s. 62-64.)



Kuva 5. Putkiston mitoitusnormogrammi. (Ellman ym., 2002 s. 66.)

4.5.4 Vuodot

Paineilmajärjestelmissä on aina jonkin verran vuotoja. Vuotoja on aina kun järjestelmässä on paine. Vuotavan ilman määrä riippuu vuotokohdista sekä paineesta. Yleisiä vuotokohtia paineilmajärjestelmissä ovat liittokset, venttiilit, liittimet, lauhteen poistimet ja kulutuskohteet. Pitkällä ajanjaksolla tarkasteltuna vuodoilla on taloudellista merkitystä, joka syntyy turhasta paineilman tuotannosta. Alle 5% vuotomäärää pidetään yleensä vielä hyväksyttävänä. Suuremmat vuodot voidaan todeta kuulon tai jopa näön avulla, mutta varsinkin pienempien vuotojen löytäminen voi olla vaikeaa. Apuna vuotojen löytämisessä käytetään erilaisia vaahtoavia aineita ja ultraäänimittareita. (Ellman ym., 2002 s. 67.)

5 ISOJOEN LÄMPÖ OY:N SAVUKAASUSUODATIN JA SUODATTIMEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Isojoen Lämmön lämpölaitoksen savukaasujen puhdistus tapahtuu letkusuodattimella, jonka puhdistus tapahtuu paineilmalla. Paineilmajärjestelmä onkin olennainen osa letkusuodatinta. Tässä kappaleessa käydään lävitse Isojoen Lämmön savukaasusuodatinta sekä sen paineilmajärjestelmää.

5.1 Suodatinlaitteisto

Isojoen Lämpö Oy:n lämpölaitoksen savukaasusuodatin on tyypiltään letkusuodatin, joka näkyy kuvissa 6 ja 7. Kattilassa syntyvät savukaasut johdetaan letkusuodattimeen, jossa on sisäänrakennettu esierotin. Esierottimen tehtävänä on erottaa suuret partikkelit savukaasuvirrasta. Tällä ratkaisulla letkujen kestävyys paranee. Suodatin on varustettu paine-eromittauksella sekä lämpötilamittauksella. Pölyinen savukaasu johdetaan suodatinleikkauksen pinnalle, jolloin pöly erottuu savukaasusta ja jää suodatinletkun pintaan savukaasun jatkaessa matkaa suodatinlaitteiston läpi.

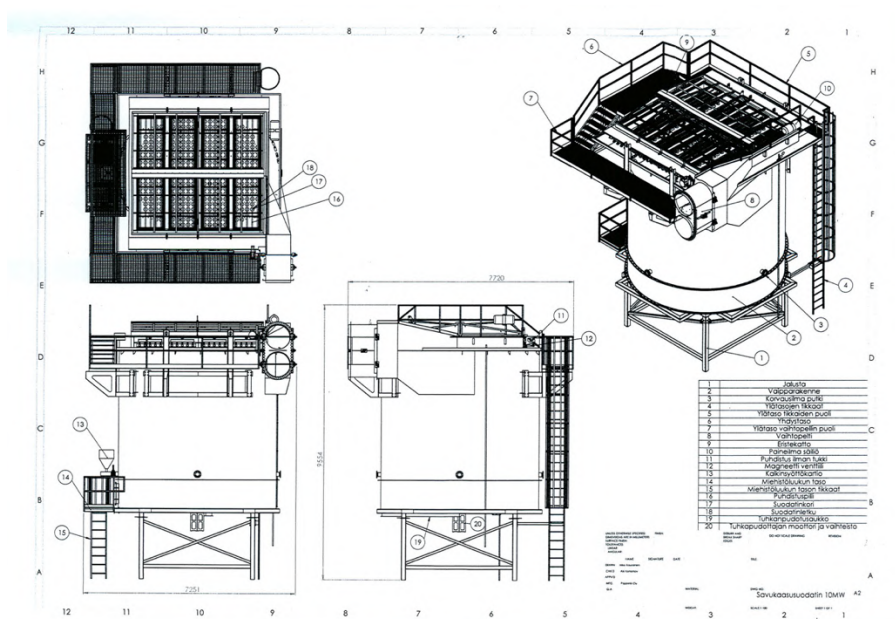
Suodatin on suunniteltu toimimaan niin, että paine-eron kasvaessa yli asetetun raja-arvon (n. 900Pa) käynnistyy automaattinen paineilmatoiminen pussien puhdistus (paineilmapulssi). Paineisku laajentaa suodatinletkun koon äärimmilleen, jolloin suurin osa pölystä irtoaa. Puhdistus pysähtyy automaattisesti, kun paine-ero on palautunut asetusarvojen sisälle. Paineilman iskuja ohjataan erillisellä ilmanjakokoneistolla. Paineilmapuhdistus tapahtuu yksi paineilmapilli kerrallaan. Paineilmaa ohjataan paineilmatukissa olevilla magneettiventtiileillä, jotka aukeavat yksi kerrallaan ristiin.

Suodattimen pohjalle variseva tuhka kaavitaan tuhkakaapijalla tuhkaruuville, jolla lentotuhka siirretään kattilasalin sisällä olevalle märkätuhkakuljettimelle. Märkätuhkakuljetin kuljettaa lentotuhkan sekä kattilan pohjakuonan lämpölaitoksen ulkopuolella katoksessa sijaitsevaan tuhkakonttiin.

Lämpölaitoksella on edelleen olemassa myös vanha multisykloni, jota on käytetty savukaasujen puhdistukseen ennen letkusuodatinta. Savukaasukanava on tehty niin, että savukaasuvirtaus voidaan ohjata joko letkusuodattimeen tai sykloniin, jotka ovat rinnankytketty. Nykyisellään syklonia ei kuitenkaan käytetä, sillä syklonilla ei päästä riittävän hyvään erotusasteeseen.



Kuva 6. Savukaasusuodatin.



Kuva 7. Savukaasusuodattimen rakennekuva. (Laitetoimittaja. 2017)

5.2 Paineilmajärjestelmä

Savukaasusuodattimen paineilmajärjestelmä koostuu:

- Atlas Copco G7FF kompressorista (kuva 8).
- Paineilmasäiliöstä (kuva 8).
- Atlas Copco CD12+ adsorptiokuivaimesta (kuva 8).
- Runkolinjasta (kuva 9).
- Kokoojakammioista 2 kpl (kuva 10) (alun perin järjestelmässä on ollut vain yksi kokoojakammio, mutta kapasiteetin noston takia on myöhemmin asennettu myös toinen).
- Paineilmatukeista 4kpl (kuva 11).
- Puhdistuspilleistä 40 kpl, 10 per jakotukki (kuva 12, esitetty kappaleessa 6).
- Puhdistuspilleistä lähtevistä 16mm suuttimista 352 kpl, 5-10 per puhdistuspilli (kuva 12, esitetty kappaleessa 6).



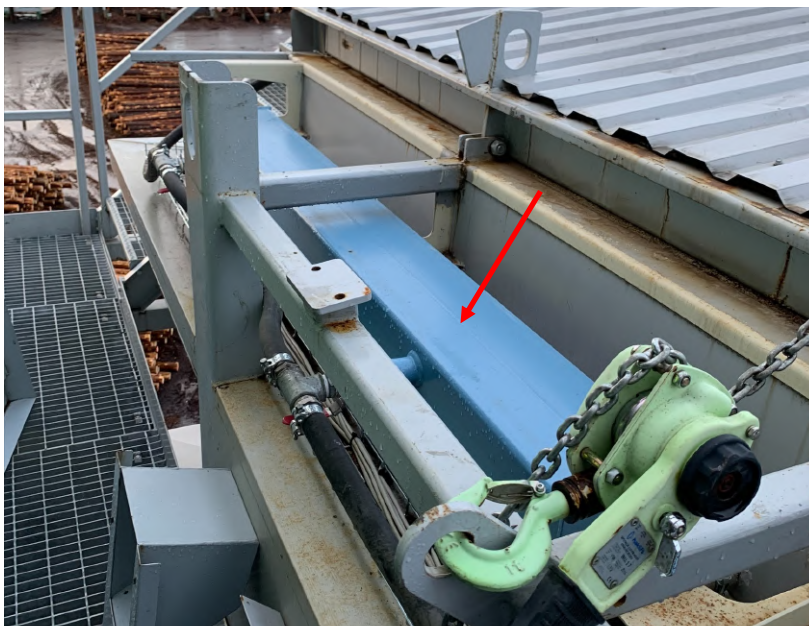
Kuva 8. Savukaasusuodattimen paineilmajärjestelmän kompressori, paineilmasäiliö ja paineilman adsorbtiokuivain.



Kuva 9. Eristettyä paineilmalinjaa kompressorihuoneesta savukaasusuodattimelle.



Kuva 10. Taka-alalla savukaasusuodattimen alkuperäinen kokoojakammio (oikealla) ja myöhemmin lisätty toinen kokoojakammio (vasemmalla).



Kuva 11. Yksi savukaasusuodattimen neljästä paineilmatukista.

6 LASKUT JA MITTAUKSET

Havaintojeni mukaan letkusuodattimen paineilmajärjestelmän kompressori toimii täydellä teholla, mutta paineilmapulssi on selvästi riittämätön pussien kunnolliseen puhdistukseen. Tämä käy ilmi jo nuohouksen vaatimattomasta äänestä, joka omien havaintojeni perusteella on toimivien yhtäläisten järjestelmien nuohousääneen verrattuna selvästi heikompi. Havaintojeni perusteella ulkona sijaitseva paineilmalinja on vain osittain eristetty eikä kokoojakammioissa tai paineilmatukeissa ollut eristystä lainkaan. Tästä syystä tarkastelin työssäni myös paineilman kosteutta.

Paineilmajärjestelmässä on adsorptiokuivain, mutta paineilmajärjestelmään on kuitenkin kertynyt vettä mm. kokoojakammioiden pohjalle, joka on huomattu laitoksen käyttäjien toimesta. Kosteus paineilmassa on tässä tapauksessa erityisen haitallista, koska kuiva tuhka paakkuuntuu veden kanssa aiheuttaen tukoksia ja vaikeuttaen tuhkanpoistoa suodattimesta.

Laitoksella myös paineilmaa menee todennäköisesti jonkin verran hukkaan (ottamatta huomioon muita mahdollisia vuotoja). Sillä tiedossa oli, että paineilmapilleistä lähtevien suuttimien päät eivät ylety sukkien sisälle asti vaan suuttimien ja sukkien suuaukon välille jää tyhjää tilaa, jonka vuoksi osa paineilmasta menee hukkaan. Tämä on näkyvissä kuvassa 12.



Kuva 12. Savukaasusuodattimen paineilmapillejä ja niistä lähteviä suuttimia.

6.1 Paineilman määrä

Paineilmajärjestelmän kompressori on tyypiltään Atlas Copco G7FF. Se on sähkömoottorikäyttöinen ilmajäähdytteinen ruuvikompressori. Kompressorin yhteydessä on 270 litran paineilmasäiliö. Kompressorin paineilman tuottokapasiteetti on 20,7 l/s ja 74,6 m³/h FAD- olosuhteissa (free air delivery). FAD on kompressorivalmistajien käyttämä tuotetun ilman toimitustapa, jossa kompressorin tuotto redusoidaan imuilman olosuhteisiin. FAD- olosuhteissa käytetään ISO 1217 standardin mukaisia arvoja: Ympäristön lämpötila = 20°C, Ympäristön paine = 1 bar abs, Suhteellinen kosteus = 0%, Jäähdytysvesi/ilma = 20°C. (engineeringtoolbox www-sivut. 2022.)

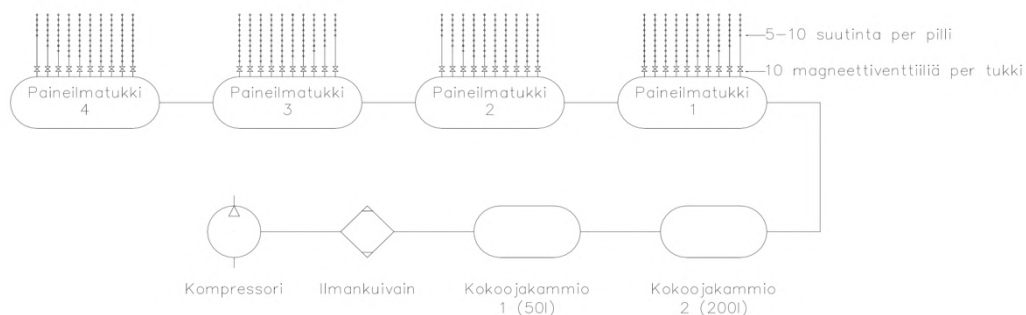
Kompressori on asetettu toimimaan reilun 8 bar:in paineella ja kompressori säätelee paineilman tuottoa sen mukaan, että järjestelmässä pysyy em. paine. Paineilmalinjan pituus on n. 20 metriä ja putken koko on DN25.

Seurasin paineilman paineen muutosta kokoojakammiosta kokoojakammioon kiinnitetyn 10 bar:in paineilmamittarin avulla paineilmapulssien aikana. Paineen muutos oli 0,1-0,2 bar:ia paineilmapulssien aikana. Paineilmapulssien kesto oli 0,12 sekuntia. Eli paineilmatukkien magneettiventtiilit (kuva 13) olivat yksi kerrallaan auki 0,12 sekunnin ajan. Tauko aika oli 7 sekuntia. Nämä arvot olivat asetettuna ohjausjärjestelmään.



Kuva 13. Paineilmatukin ja paineilmapillien välisiä magneettiventtiilejä.

Huomioitavaa on, että kaikkien magneettiventtiilien aukiolo ajaksi on asetettu 0,12 s vaikka osassa paineilmapilleistä on 10 suutinta ja reunimmaisissa vain viisi suutinta eli paineilman määrä on joka pillille sama, mutta sukien kesken paineilman määrä eroaa. Suutinten lukumäärät pilleittäin näkyvissä kuvassa 14. Tämän vuoksi reunimmaisesta viisi suutinta saavat enemmän paineilmaa kuin keskimmäiset suuttimet ja tämä selittää miksi suodattimen reunoilla sijaitsevat sukat pysyvät paremmin puhtaina ja miksi ongelmat ovat pääosin suodattimen keskellä sijaitsevissa sukissa.



Kuva 14. Paineilmajärjestelmän yksinkertaistettu Prosessikuva. (Viitasalo 2022.)

Seuraavalla kaavalla pystytään magneettiventtiin Kv arvoa (Isojoen ASCA magneettiventtiileissä Kv=23) hyödyntäen laskemaan yhdeltä magneettiventtiilitä nykytilanteessa lähtevä tilavuusvirtaus (Burkert.fi www-sivut. 2022):

$$Kv = \frac{Q_N}{257 \times p_1} \times \sqrt{\rho_N \times T} \quad (1)$$

missä

Q_N = Tilavuusvirtaus m³/h

p_1 = Tulopaine, bar = 8

p_2 = Vastapaine, bar = 1

Kv = Venttiilin virtausvakio, m³/h = 23

ρ_N = Tiheys, kg/m³= 1,204

T = Lämpötila, kelvin = 293,15

$$23 = \frac{Q_N}{257 \times 8\text{bar}} \times \sqrt{1,204\text{kg/m}^3 \times 293,15\text{K}}$$

$$23 \times 2056 = Q_N \times \sqrt{1,204\text{kg/m}^3 \times 293,15\text{K}}$$

$$Q_N = \frac{23 \times 2056}{\sqrt{1,204\text{kg/m}^3 \times 293,15\text{K}}}$$

$$Q_N = 2517 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 699,2 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Magneettiventtiili on auki 0,12 s joten:

$$699,2 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 0,12\text{s} = \mathbf{83,9 \text{ l}}$$

Yhden paineilmasysäyksen aikana paineilmaa pillille kulkeutuu **83,9 l**, mikä jakautuu 5-10 suuttimen kesken.

Yhden tauon aikana (7 sekuntia) kompressori tuottaa täydellä kapasiteetilla ilmaa:

$$20,7 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 7\text{s} = \mathbf{144,7 \text{ l}}$$

6.2 Putkiston painehäviöt

Paineilmalinjan paine mitattiin tavallisella paineilmaverkoston yhteeseen kiinni ruuvattavalla 10 bar:in paineilmamittarilla. Paine mitattiin putkiston alkupäästä paineilmakuivaimen jälkeen sekä paineilman kokoojakammioilta. Paine näytti molemmissa päissä n. 8,1-8,2 bar:ia normaalin ajon aikana, joten putkistossa ei esiinny painehäviöitä, joilla olisi käytön kannalta juurikaan merkitystä. Putkiston pituus on vain n. 20 metriä eikä mitatun alueen välissä ole venttiileitä tai muita isompia kohteita, jotka painehäviöitä merkittävästi aiheuttaisivat. Kuvan 3 normogrammista voidaan huomata, että painehäviöt näillä arvoilla ovat todella pienet. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, ettei ongelmia johtuisi painehäviöistä vaan näillä mittauksilla voitiin poissulkea se, että paineilmaputkistossa tai -säiliöissä olisi isompia häviöitä tai vuotoja. Kuitenkin merkittävä painehäviö, jota ei voi mitata, syntyy suodattimen sisällä olevista suuttimista, sillä ne sijaitsevat 10 cm:n päässä suodatinletkujen suuaukoista.

Paineilmaputkiston painehäviö voidaan myös karkeasti laskea puoli-empiirillä kaavalla, joka on sovitettu käytössä oleviin mittayksiköihin. Kyseisessä kaavassa on teräsputken kitkakertoimeksi ilmoitettu 500 . (Ellman ym., 2002 s. 59):

$$\Delta p = \frac{fLq^2}{d^5 p_m} \quad (2)$$

missä Δp = putken painehäviö (bar)

L = putken pituus (m)

f = kitkakerroin (= 500 teräsputkelle)

q = tilavuusvirta normaalilitroina sekunnissa (l/s)

d = putken sisähalkaisija (mm)

p_m = keskimääräinen absoluuttinen paine putkessa (bar)

$$\Delta p = \frac{500 \times 20m \times (20,7 \frac{l}{s})^2}{(25mm)^5 \times 7bar}$$

$$\Delta p = 0,06 \text{ bar}$$

Tällä kaavalla saadaan laskettua paineilmalinjan painehäviöksi 0,06 bar.

6.3 Paineilman kosteus

Kompressorina järjestelmässä toimii Atlas Copcon G7FF kompressori. FF eli ”Full feature” tarkoittaa sitä, että kompressorissa on integroitu jäähdytyskuivain. Tällä integroidulla jäähdytyskuivaimella saadaan kastepisteeksi lähes 0°C ja tämä riittääkin kesäaikaan, mutta talvella kosteudesta tulee ongelma. Atlas Copcon CD12+ adsorbtiokuivaimella taas saavutetaan jopa -40°C kastepiste, mikä riittää erinomaisesti Suomenkin ulko-olosuhteissa. Ongelma Isojoen Lämpö Oy:lla on se, että paineilmajärjestelmän adsorbtiokuivaimen kuivauskapasiteetti on 12 l/s ja 43 m³/h, mikä on selvästi liian vähän verrattuna kompressorin kapasiteettiin 20,7 l/s ja 74,6 m³/h.

Atlas Copcon edustajan mukaan ei myöskään ole optimaalista, että käytössä on samaan aikaan sekä jäähdytyskuivain että adsorbtiokuivain. (Atlas Copco, 2022).

Mikäli käytössä on vain alimitoitettu adsorbtiokuivain voidaan laskea kuivaamatta jäävän paineilman määrä vähentämällä kompressorin kokonaiskapasiteetista kuivaimen kapasiteetti:

$$74,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} - 43 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Paineilmaa jää siis kuivaamatta 31 m³/h, mikä tekee minuutissa:

$$\frac{31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{60} = 0,52 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Lämpölaitoksen kompressorihuoneen lämpötila on noin 20°C vuoden ympäri. Ilmankosteus vaihtelee sisätiloissa eri vuodenaikoina ääripäiden 20% ja 70% välillä (Hengityslitto www-sivut 2022).

20°C asteisen ilman absoluuttinen kosteus on 20% ilmankosteudella 3,5 g/m³ ja 70% ilmankosteudella 12 g/m³ (Tekeville www-sivut 2022).

Näillä ääripäiden lukuarvoilla paineilmaverkostoon kulkeutuvan veden määräksi saadaan:

$$31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 3,5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 108,5 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$108,5 \frac{\text{g}}{\text{h}} = \mathbf{0,108 \frac{\text{l}}{\text{h}}}$$

$$31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 12 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 372 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$372 \frac{\text{g}}{\text{h}} = \mathbf{0,372 \frac{\text{l}}{\text{h}}}$$

Näistä laskuista voidaan todeta, että paineilmajärjestelmään kertyvän veden määrä on merkittävä. On myös muistettava, että kompressori toimii jatkuvasti täydellä teholla, joten vettä kertyy jatkuvasti.

7 YHTEENVETO

Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että letkusuodattimen paineilma-järjestelmän toiminnan parannus vaatisi toimenpiteitä etenkin paineilmapillien suuttimien ja paineilman kuivauksen osalta. Kaavan 1 laskutulosten perusteella magneettiventtiilien aukioloaikaa pitäisi pystyä pidentämään, sillä kompressorin kykenee teoriassa tuottamaan ilmaa suodattimen taukoajan aikana 144,7 litraa ja puhdistukseen nykyisellään kuluu 83,9 l kerrallaan. Magneettiventtiilien aukioloajan pidennystä olisi hyvä tarkastella etenkin letkusuodattimen keskimmäisten paineilmapillien kohdalla, sillä siellä sukkia on enemmän ja keskimmäisten sukkien puhdistuksen kanssa onkin ollut eniten ongelmaa.

Tärkeämpi toimenpide olisi pidennyspalojen asentaminen suutinten päihin, jolloin suurempi osa paineilmaasta meni suodatinkankaan puhdistukseen ja syvemmälle sukan sisälle. Nykytilanteessa paineilmaa menee pulssin aikana suuttimien päistä hukkaan, sillä ne ovat niin etäällä sukkien päistä. Myöskin tiettyjen suuttimien halkaisijan kasvattaminen nykyisestä 16 mm olisi varmasti hyödyllinen toimenpide, mutta työläs ja vaatisi lisää suunnittelua. Yksi vaihtoehto voisi myös olla vaihtaa paineilmapillit kokonaan, jolloin samassa yhteydessä tulisi uudet halkaisijaltaan suuremmat suuttimet. Tämä toimenpide voitaisiin suorittaa pidemmän huoltoseisakin yhteydessä.

Yksi pohdinnan alla oleva vaihtoehto oli, että jos lämpölaitoksen vanhan multisyklonin kytkisi sarjaan letkusuodattimen kanssa niin, että sykloni toimisi savukaasun puhdistuksessa esierottimena, joka erottaisi savukaasusta ainakin suurimmat hiukkaset ennen letkusuodattimeen menoa. Savukaasukanavan nykyinen rakenne tekee suodattimen sarjaan kytkemisen kuitenkin tilankäytöllisesti erittäin vaikeaksi, ellei jopa mahdottomaksi. Lisäksi on syytä tarkastella huolellisesti kaikki edullisemmat ja yksinkertaisemmin toteutettavat ratkaisut ennen kuin ryhdytään suunnittelemaan näin mittavaa ratkaisua. Paineilman riittävyden pitäisi laskujeni mukaan riittää nykyisellä kompressorilla. Paineilmajärjestelmän nykyinen integroitu jäähdytyskuivain kompressorin yhteydessä on kuitenkin kesäaikaa lukuunottamatta turha. Kesäisin

jäähdytyskuivaimen tuottama kastepiste on riittävä paineilmalle. Adsorbtiokuivain taas on kapasiteetiltaan liian pieni. Toimiessaan yhtä aikaa sarjassa jäähdytyskuivain ja adsorbtiokuivain eivät toimi laitetoimittajan mukaan optimaalisesti ja tällöin kuluu turhaa energiaa. Uusi kapasiteetiltaan riittävä adsorbtiokuivain olisi melkein ehdoton etenkin, mikäli paineilmajärjestelmän ulkona olevia komponentteja ei eristetä. Ennen kuin paineilman kosteusongelma saadaan korjattua, olisi hyvä ottaa käytännöksi vedentyhjäys kokoojakammioissa olevien käsiventtiilien kautta tietyin väliajoin.

Näillä ja sekä paineilmajärjestelmään liittymättömillä toimenpiteillä kuten kestävämmän suodatinkangasmateriaalin valinnalla saadaan varmasti parannettua letkusuodattimen toimintaa nykyisestäään. Tilanne on se, että näitä eri toimenpiteitä olisi nyt aktiivisesti suunniteltava ja testattava ja tulosten perusteella tehtävä lisäratkaisuja. Yhtä ainoaa ratkaisua ei tässä tilanteessa ole.

Työn tekemistä vaikeutti se, että kyseisestä letkusuodattimesta oli käytettävissä vähän tietoa, piirustuksia sekä olemassa olevia arvoja. Tämän vuoksi suurin osa tiedoista ja arvoista oli tutkittava ja mitattava itse paikan päällä. Komponenttien yksityiskohtia ja arvoja oli selvitettävä myös internetistä sekä oli oltava suoraan yhteydessä valmistajiin.

Työn tekeminen oli opettavainen prosessi, joka lisäsi hyvin tietämystäni savukaasusuodattimien ja paineilmajärjestelmien toiminnasta. Lisäksi Isojoen Lämpö Oy sai työni tuloksista vahvistuksen epäilyksilleen ja aiemmille havainnoilleen. Työn pohjalta tullaan tekemään korjaavia toimenpiteitä lämpölaitoksen seuraavassa huoltoreviisiossa.

LÄHTEET

Atlas Copco (1.2.2022). Atlas Copco:n tekninen tuki puhelinkeskustelu.

Burkert.fi www-sivut. Viitattu 19.3.2022.

<https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Sanasto/Fluidiikkalaskuri>

Ellman, Asko - Hautanen, Juha - Järvinen, Kari - Simpura, Antti. 2002. Pneumatiikka. Edita Prima Oy.

Engineeringtoolbox www-sivut. Viitattu 27.3.2022.

https://www.engineeringtoolbox.com/rating-air-compressors-d_848.html

Flemish Knowledge Centre for Best Available Techniques www-sivut. Viitattu 31.1.2022.

<https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/fabric-filter>

Freshwind www-sivut. Viitattu 12.1.2022.

<https://www.freshwind.fi/tiesitko-taman-ilmankosteudesta/>

Hengitysliitto www-sivut. Viitattu 7.2.2022.

<https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-olosuhteet/huoneilman-kosteus/>

Huhtinen, Markku - Kettunen, Arto - Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki. 2000. Höyrykattilatekniikka. Edita Prima Oy.

Huhtinen, Markku - Korhonen, Risto - Pimiä, Tuomo - Urpalainen Samu. 2013. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus.

Kpa Unicon. 2017. Isojoen Lämpö Oy Lämpölaitoksen modernisointi 2017 – kansio.

Ohlström, Mikael - Tsupari, Eemeli - Letilä, Antti. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Pynnönen, Juha (23.11.2021.) Sähköpostiviestit.

Sarlin www-sivut. Viitattu 20.12.2021.

<https://www.sarlin.com/paineilman-laatustandardi-iso-8573-12010/>

Tekeville www-sivut. Viitattu 7.2.2022.

<https://www.tekeville.fi/ilmankosteus>

VTT www-sivut. Viitattu 19.1.2022.

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf>

Ympäristö www-sivut. Viitattu 12.12.2021.

<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826>