

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Sakari Kivilahti

Voimalaitoksen paineilmajärjestelmän virtausmittaukset ja vuotojenetsintä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

31.3.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sakari Kivilahti Voimalaitoksen paineilmajärjestelmän virtausmittaukset ja vuotojenetsintä 35 sivua + 3 liitettä 31.3.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat	lehtori Juha Kotamies prosessi-insinööri Sami Pesonen
<p>Insinöörityö voimalaitoksen paineilmajärjestelmästä tehtiin Helen Oy:lle ja työn aiheena oli Salmisaaren voimalaitoksella paineilmajärjestelmän virtausmittaukset ja vuotojenetsintä. Laitoksella paineilman kulutusta seurataan kompressorien tuoton perusteella, joten mahdolliset vuodot ja paineilman jakautuminen paineilmaverkossa eivät olleet tarkasti tiedossa. Osa paineilman kulutusmääristä oli tuntemattomia, sekä laitoksen modernisointien ja muutostöiden takia teknisissä piirustuksissa ja prosessikaavioissa oli puutteita.</p> <p>Työn tarkoitus oli selvittää perusteellisemmin paineilmajärjestelmän kulutuskohteiden il-mankulutusta ja saada selville hankittujen laitteiden soveltuvuus kyseisten mittausten suorittamiseen. Työn aikana selvitettiin myös järjestelmän nykyinen kunto sekä korjaustöiden tarve.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä voimalaitoksen prosessitiloihin, paineilmaverkon rakenteeseen ja kaavioihin, minkä jälkeen valittiin paineilmalinjoista mittauspisteet ultraäänen avulla suoritettuja virtausmittauksia varten. Virtausmittausten ohessa järjestelmästä etsittiin vuotoja ultraäänikuuntelulaitteella. Virtausmittausten ja vuotojenetsinnän ansiosta voimalaitoksen kunnossapito- ja käyttöhenkilökunnalla on kattavampi käsitys paineilman kulutuksesta, korjattavista kohteista ja virtausmääristä. Työn aikana kehittyi myös jatkotutkimusehdotuksia järjestelmän kehittämiseksi.</p>	
Avainsanat	paineilma, voimalaitos, ultraääni

Author Title Number of Pages Date	Sakari Kivilahti Power plant compressed air system flow measurements and leak finding 32 pages + 3 appendices 31 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental engineering
Professional Major	Energy engineering
Instructors	Juha Kotamies, Principal Lecturer Sami Pesonen, Process engineer
<p>This bachelors thesis about a compressed air system of a power plant was made for Helen Oy and the thesis is about flow measurements and leak finding. The usage of compressed air on the power plant is monitored by the produced amount, any possible leaks and flow rates were not accurately known. Some parts of the consumption were unknown and because of modernization and modifications some technical drawings were not up to date.</p> <p>The aim of this thesis was to more accurately find out the consumption of compressed air and to gain better knowledge of the current condition of the compressed air system. The need of maintenance in the system in addition of confirming the suitability to perform the measurements with the acquired equipment were important goals of this project.</p> <p>The project started by getting to know the power plant process area, the compressed air system and technical drawings, and proceeded to designate measuring points for ultrasonic flow measurement. During the flow measurements the compressed air system was inspected for leaks with an ultrasonic listening device. As a result of the flow measurements and leak finding the power plant maintenance staff now has a better understanding of the compressed air consumption, need of maintenance and flow rates. Suggestions of additional research were found during the project to further improve the compressed air system.</p>	
Keywords	Compressed air, power plant, ultrasound

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tavoitteet	1
1.2	Rajaus	2
2	Helen Oy	3
2.1	Esittely	3
2.2	Salmisaaren voimalaitos	3
3	Paineilmajärjestelmä	4
3.1	Kompressorit ja apulaitteet	5
3.2	Sarlin Balance -järjestelmä	7
3.3	Kulutuskohteet ja paineilmaverkko	8
4	Työn toteutus	11
4.1	Flexim Fluxus G601 -ultraäänivirtausmittalaite	11
4.2	Virtausmittaukset	14
4.3	Sonotec Sonaphone -kuuntelulaite	16
4.4	Vuotojenetsintä	19
5	Mittaustulokset	20
5.1	Virtausmittaukset	20
5.2	Paineilmavuodot	23
6	Johtopäätökset	28
6.1	Virtausmittaukset ja paineilmavuodot	28
6.2	Jatkotutkimus	30
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1. Virtausmittausten tulokset

Liite 2. Löydetyt paineilmavuodot

Liite 3. LeakExpert-raportti

Lyhenteet ja käsitteet

CHP	Combined Heat and Power. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto.
CrNiMo	Kromi-nikkeli-molybdeeni -seos. Teräslaatu.
CSV	Comma-Separated Values. Tiedostomuoto yksinkertaisen taulukkomuotoisen tiedon tallentamiseksi.
NOx	Typhen oksidit. Yleinen palokaasujen komponentti.
NTP	Normal Temperature and Pressure. 0 °C:n lämpötila ja 101,325 kPa:n paine.
SaA	Salmisaari A -voimalaitos.
SaB	Salmisaari B -voimalaitos.
SaHi	Salmisaaren maanalainen hiilivarasto.
SaRi	Salmisaaren rikinpoistolaitos.
SaX	Salmisaaren jäähdytyskeskus.
SCR	Selective Catalytic Reduction. Selektiivinen katalyyttinen menetelmä palokaasujen puhdistukseen.
Spektrogrammi	Spektrogrammilla havainnollistetaan äänen taajuusrakenteen, eli spektrin, muuttumista ajassa.
Ultraääni	Ihmisen kuuloaistin yläpuolella olevat äänitaajuudet.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on voimalaitoksen paineilmajärjestelmästä suoritettut virtausmittaukset ja vuotojenetsintä. Työ suoritettiin Helen Oy:lle Salmisaaren voimalaitoksella. Työssä perehdyttiin paineilmaan, sen erilaisiin käyttökohteisiin ja -sovelluksiin, sekä ultraääneen perustuvaan mittaustekniikkaan virtausmäärien ja paineilma vuotojen selvittämiseksi.

Paineilmaa käytetään teollisuudessa lukuisin eri tavoin ja voimalaitoksen suuruusluokassa sillä on suuri rooli tuotannon ylläpitämisessä. Väittämää tukee myös tarvittava paineilman määrä, sillä voimalaitoksella paineilmaa tuottavien laitteiden yhteenlaskettu sähköteho on noin 2 MW. Ilman kulutus vaihtelee voimalaitosprosessin tilan mukaan jonkin verran, joten myös tuoton säätäminen tilanteeseen sopivaksi on tärkeää. Paineilmasäiliöt toimivat puskureina tasoittamassa paineilma verkossa tapahtuvia nopeita muutoksia, ja näin ollen ovat tärkeä komponentti toimivassa paineilmajärjestelmässä. Kulutus on yksinkertaista laskea, sillä paineilmaasta kulutetaan aina 100 % tuotetusta määrästä. Järjestelmää pystytään kuitenkin parantamaan selvittämällä, missä suuret ilmamäärät virtaavat, sekä kuinka suuri osa ilmasta hukataan esimerkiksi vuotoina tai turhaan käytössä olevilla laitteilla.

1.1 Tavoitteet

Insinööriyön päätavoitteina oli hankkia tietoa voimalaitoksen paineilmajärjestelmän virtausmääristä sekä järjestelmän kunnosta. Voimalaitosympäristössä toimiminen asettaa käytettäville laitteille omat haasteensa, joten hankittujen mittalaitteiden soveltuvuus suunniteltuun käyttötarkoitukseen on tärkeää selvittää. Paineilmajärjestelmään on liitetty lukuisia toimilaitteita, sumuttimia ja muita kulutuskohteita, joiden todellista ilmankulutusta ei tarkkaan tiedetä. Paineilmavuotojen korjaaminen on helppo toimenpide ja vaikutukset järjestelmän tehokkuuteen ovat välittömät, kun turhista vuodoista päästään eroon.

Virtausmittausten tavoitteena oli saada käsitys suurten kulutuskohteiden käyttämistä ilmamääristä sekä pienentää tuntemattomien kulutusten määrää. Voimalaitoksella paineilmaa käyttäviä laitteita on paljon, mutta tarkempaa selvitystä kulutuksista ei ollut

aiemmin suoritettu. Vuotojenetsinnän tavoitteena oli selvittää paineilma-verkossa olevia vuotoja sekä arvioida niiden suuruutta, jotta pystyttiin laskemaan vuodoille rahallinen arvo sekä toteamaan korjauksen tarve ja kiireellisyys.

1.2 Rajaus

Voimalaitoksen paineilma-verkon laajuuden takia osia alueista sekä laitteista jouduttiin rajaamaan työn ulkopuolelle. Myös paineilman tuottopuoli sekä pellettilämpölaite K6 rajattiin työstä pois, jotta työn laajuus säilyy kohtuullisena. Pellettilaitoksen oma paineilma-järjestelmä kompressoreineen kykenee toimimaan omavaraisesti ja yhteys muuhun paineilma-verkkoon on olemassa vain häiriötilanteita ja hätätapauksia varten.

Salmisaaren voimalaitoksen paineilma-verkkoon yhteydessä olevia kompressoreita on yhteensä 11. Tässä työssä keskitytään pääasiassa käytössä olevien, suurimpien kulutuskohteiden tarpeisiin ilmaa tuottaviin Sarlin Oy Ab:n toimittamiin CompAir-kompresso-reihin, joita laitoksella on seitsemän. Sarlin Balance-automaatiojärjestelmään syventyminen rajattiin pois, jotta voitiin keskittyä tarkemmin ilmaa kuluttaviin kohteisiin sekä järjestelmässä oleviin vuotoihin.

Virtausmittaukset DN80-kokoa pienemmistä paineilmalinjoista jouduttiin rajaamaan pois mittalaitteen antureiden ominaisuuksien takia. Hankitut anturit soveltuivat DN80–DN300 -kokoluokan putkistoille. Projektia suunnitellessa pienimmiksi mitattaviksi linjoiksi valittiin DN50-kokoluokan putkistot, sillä ne kattavat voimalaitoksen paineilma-verkosta suuren osan, sekä niitä käytetään esimerkiksi paineilman kuljetuksessa SaHiin sekä SaA-laitok-selle. DN80-kokoista ja sitä suurempia paineilmalinjoja käytetään vain kompressoreiden läheisyydessä sekä suurimpien kulutuskohteiden tarpeiden kattamiseksi.

2 Helen Oy

2.1 Esittely

Helen Oy on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä. Historia alkaa 1800-luvun loppupuolelta ja nykyään Helen tuottaa Helsinkiin kaukolämpöä ja -jäähdytystä, sekä sähköä kaikkien suomalaisten käytettäväksi. Helen Oy:n tuottama kaukolämpö kattaa yli 90 % Helsingin lämmityksestä. [1; 2.]

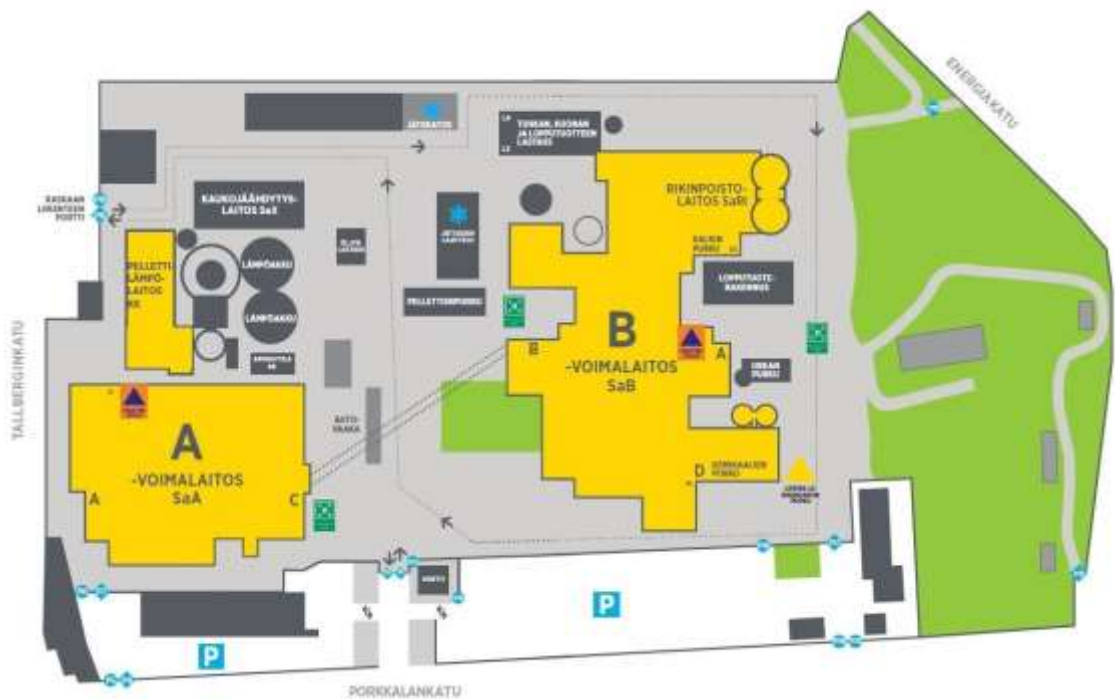
Sähköä, kaukolämpöä ja -jäähdytystä tuotetaan eri puolilla Helsinkiä voimalaitoksissa, jäähdytys- ja lämpölaitoksissa sekä aurinkovoimaloissa. Hanasaassa ja Salmisaassa CHP-voimalaitokset (Combined Heat and Power) tuottavat kaukolämpöä ja sähköä kivihiiltä sekä puupellettejä polttamalla, ja Vuosaaren kombivoimalaitokset käyttävät polttoaineenaan maakaasua. Aurinkovoimaloita on rakennettu Suvilahteen ja Kivikkoon, joka valmistuessaan 2016 oli maan suurin noin 700 MWh vuosituotannolla. [3.]

Vuonna 2019 yrityksen liikevaihto oli 914 miljoonaa euroa. Sähköä myytiin 6752 GWh, kaukolämpöä 6523 GWh ja kaukojäähdytystä 171 GWh. Myyntimäärät ovat kasvaneet edellisvuosista hieman, joskin kaukojäähdytyksen osalta myynti laski edellisvuoteen nähden 9 %. [4.]

2.2 Salmisaaren voimalaitos

Insinööriä tehtiin Salmisaassa, missä eri kattilayksiköiden sekä SaX-jäähdytyslaitoksen toiminnasta muodostuu Salmisaaren voimalaitos. Voimala-alueella toiminnassa on vuonna 1986 valmistunut A-voimalaitos SaA, sekä vuonna 2018 valmistunut pellettilämpölaitos K6, joka tuottaa kaupungin käyttöön uusiutuvaa kaukolämpöä, joilla tuotetaan kaukolämpöä kylminä vuodenaikoina. Myös vuonna 1984 valmistunut B-voimalaitos SaB on tuotantoajossa lämmityskaudella syksystä kevääseen, jolloin ajotunteja kertyy noin 5000. [1.] Lämmityskaudella tuotettu energia kattaa noin 60 % voimalaitoksen koko vuoden tuotannosta. Kaukolämmön lisäksi CHP-voimala SaB tuottaa myös sähköä.

Kuvan 1 kartassa näkyvä SaB-voimalaitos tuottaa 170 MW sähköä ja 300 MW lämpöä. Voimalaitosalueella on myös vuonna 1987 valmistunut 20 000 m³:n lämpövarasto, jonka kapasiteetti on noin 1 000 MWh. Lämpövarastoissa oleva energia saadaan kaukolämpöverkon käyttöön joustavasti ja kysynnän vaihteluita pystytään tasoittamaan samaan tapaan, kuin paineilmasäiliöt tasoittavat paineilmanverkossa tapahtuvia muutoksia. [5.] Voimalaitoksella poltetaan kivihiilen joukossa uusiutuvana polttoaineena puupellettejä. Pellettien osuus polttoaineen määrästä on enimmillään 5 %. Savukaasut puhdistetaan SCR-menetelmällä ja sähkösuodattimilla. Rikinkoistolaitoksella tapahtuvan kalkkisumuksen jälkeen letkusuodattimet erottelevat kiinteän aineen kaasusta.



Kuva 1. Salmisaaren voimalaitosalueen kartta. [6.]

3 Paineilmajärjestelmä

Paineilma on elintärkeä osa voimalaitoksen toimintaa. Esimerkiksi paineilmakäyttöiset sylinterit avaavat luukkuja tai peltejä, jotta väliaine pääsee prosessissa eteenpäin. Paineilmaverkon liian matala paine johtaa väistämättä laitoksen pysähtymiseen, ja prosessissa olevat paineilmatoimiset laitteet ajavat itsensä turvalliseen tilaan ohjauspaineen

laskiessa. Paineilmaverkon toimintavarmuus sekä varajärjestelmät ovat välttämättömiä energiantuotannon jatkumisen varmistamiseksi. Toimintavarmuuden parantamiseksi paineilmajärjestelmän kunnosta on oltava tarkat tiedot ja järjestelmän kunnonvalvonta on tärkeä osa toimintakyvyn ylläpitoa.

Vuonna 2018 Salmisaaren voimalaitoksella paineilmankulutus oli keskimäärin $98,5 \text{ m}^3/\text{min}$ ja paineilman ominaisenergiantarve $7,87 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{min}$. Ominaisenergiantarve vaihtelee jonkin verran kompressoreiden ajotilanteen mukaan. Kompressorin käynnistäminen vaatii paljon energiaa, joten tiheät käynnistykset näkyvät myös kohonneena ominaisenergiantarpeena. Keskimääräinen kulutus sisältää myös huoltoseisakkien aikaista dataa, sillä energiantuotannon ollessa käynnissä paineilman kulutus on noin $130\text{--}140 \text{ m}^3/\text{min}$. [7.]

3.1 Kompressorit ja apulaitteet

Voimalaitoksen paineilmaverkkoon paineilmaa tuottaa 7 kappaletta Sarlin Oy:n toimittamaa teollisuuskompressoria. Kuvassa 2 näkyviä kompressoreita on voimalaitoksella käytössä 6 kappaletta. Kompressorit ovat malliltaan CompAir L250, 250 kW:n moottorilla varustettuja kiinteänopeuksisia voideltuja ruuvikompressoreita, jotka kykenevät $37,01 \text{ m}^3/\text{min}$ tuottoon. Kompressorin nimellispaine on 10 bar. [8, s. 11.]



Kuva 2. CompAir L250 -ruuvikompressori.

L250-kompressorien ohella paineilmaa tuottaa yksi CompAir L132RS -mallin muuttuvanopeuksinen, 132 kW:n moottorilla varustettu voideltu ruuvikompressori. Invertteriteknikka mahdollistaa kompressorin kierrosnopeuden säädön, jolloin kompressoria voidaan käyttää tasoittamaan paineilmaverkossa tapahtuvia muutoksia. Kompressorin nimellispaine on 5–13 bar ja tuotettu ilmamäärä on 4,65–22,84 m³/min [9, s. 7]. Muuttuva kierrosnopeus säästää kompressoreita myös jatkuvalta käynnistämiseltä ja pysäyttämislä, kun ilmantarve vaihtelee. Kiinteänopeuksisen kompressorin käynnistyminen ja sammuminen paineilmaverkon saavuttaessa vaaditun tason kuluttaa paljon energiaa, kun lisää paineilmaa tarvitaan vain hetkellisesti.

Voimalaitoksella paineilmaa on käytössä eri tarkoituksiin kahta eri laatua: työilmaa ja instrumentti-ilmaa. Työilmaa voisi kutsua tavalliseksi paineilmaksiksi, joka kompressorilta lähtiessään on noin 20 °C:n lämpötilassa, ja se käsitellään jäähdytyskuivaimella ennen varsinaiseen paineilmaverkkoon siirtymistä. Kriteerit työilmalle eivät ole yhtä tarkat kuin instrumentti-ilmalle, jota tarvitaan tarkempien toimilaitteiden käytössä. Työilman kastepiste jäähdytyskuivaimen jälkeen on Balance-järjestelmän mukaan hieman 4 °C:n yläpuolella. Instrumentti-ilma on työilmaan verrattuna huomattavasti arvokkaampaa, ja se käy läpi tarkemman prosessin ennen paineilmaverkkoa. Instrumentti-ilmasta erotetaan öljy, poistetaan kosteus kuvassa 6 näkyvillä adsorptiokuivaimilla, ja jäähdytyksen jälkeen ilman kastepiste on noin –35 °C:n lämpötilassa.



Kuva 3. Instrumentti-ilman käsittelylaitteet.

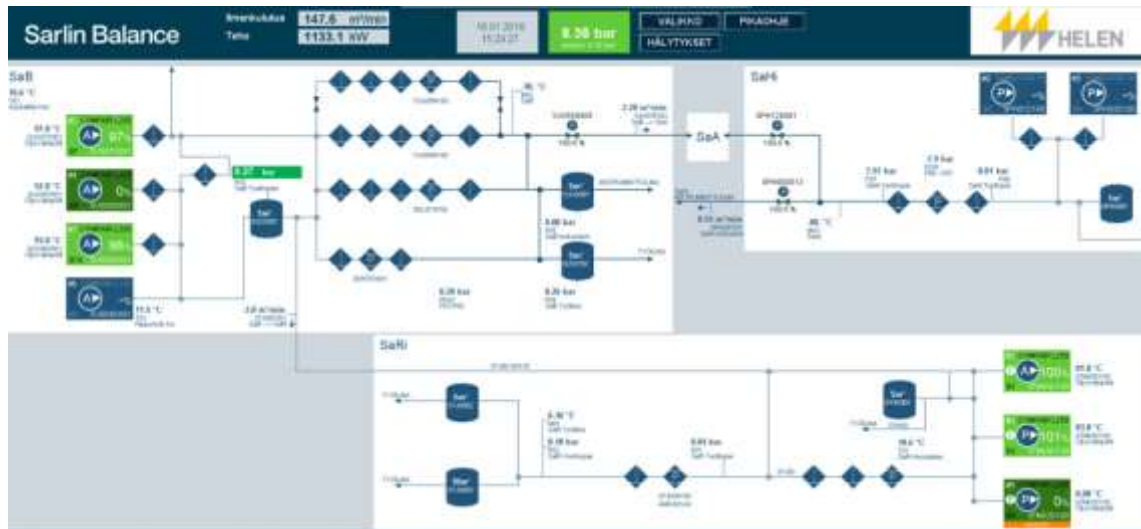
Kylmän ilman kyky sitoa kosteutta on lämmintä ilmaa heikempi, jonka takia instrumentti-ilma jäädytetään reilusti 0 °C:n alapuolelle. Näin estetään veden kertyminen putkistoihin sekä herkkiin toimilaitteisiin. Kastepisteen tärkeys korostuu kylmään vuodenaikaan, kun ulkona kulkevissa paineilmalinjoissa paineilman sisältämä kosteus voi tiivistyä putken sisäpintaan. Vuodot instrumentti-ilman putkissa ovat kalliita myös rahallisesti, sillä käsittely ennen paineilmaverkkoa vaatii enemmän energiaa, kuin työilman valmistus. Rikinpoistolaitoksen kalkinsumutusprosessia lukuun ottamatta kaikki voimalaitoksella tuotettu paineilma kulkee suodattimien kautta, mutta instrumentti-ilmalla lisäkäsittely on välttämätön toimenpide.

Yhteensä CompAir-kompressoreilla paineilmajärjestelmään voidaan tuottaa paineilmaa 1632 kW:n sähköteholla. Järjestelmää parantelemalla optimoinnin kautta sekä vuoto-kohtia etsimällä ja korjaamalla saavutettu säästö voi olla rahallisesti hyvinkin merkittävä.

3.2 Sarlin Balance -järjestelmä

Paineilman tuottoa, verkon painetta, virtauksia sekä kompressoreiden yksityiskohtaisia laitetietoja aina käyttötunneista seuraavien huoltojen ajankohtiin seurataan ja kompressoreita ohjataan Sarlin Balance -järjestelmällä. Balance-järjestelmä tallentaa tiedot ja kommunikoi laitteiden sekä laitetoimittajan kanssa yhteistyössä voimalaitoksen valvon kanssa. Järjestelmä käyttää kompressoreita valitussa järjestyksessä, jotta käyttöaste olisi jokaisen kompressorin kohdalla mahdollisimman tasainen. Virtaus- ja painetason mittausten perusteella seurataan järjestelmän ilmantarvetta.

Kuvassa 3 olevasta automaatiojärjestelmän prosessikuvasta nähdään käytössä olevat kompressorit, eri mittauspisteet esimerkiksi paineilman virtauksille, paineille ja lämpötiloille ja paineilmaverkon tuotantopäässä sijaitsevat suodattimet, vedenerottimet ja jäädytyskuivaimet. Balance näyttää asetetun ja järjestelmässä vallitsevan painetason lisäksi myös yhteenlasketun ilmankulutuksen ja kompressoreiden tehon.



Kuva 4. Sarlin Balance -järjestelmän prosessinäkymä.

Balance-järjestelmään on asennettu kolme virtausmittauspistettä, joiden lukemiin ensimmäisiä ultraäänivirtausmittarin tuloksia verrattiin. Näin saatiin selville, että mittaus on suoritettu oikein, sekä tiedetään mittareiden toimivan niille tarkoitetulla tavalla ja osataan asentaa sensorit sekä käyttää laitteistoa oikein. Mittauspisteet sijaitsevat SaB- ja SaRi-laitosten välissä, SaB- ja SaA-laitosten välissä, ja SaA-laitokselta maanalaiseen hiilivaraustoon SaHiin menevässä putkessa. Mittarit voivat näyttää virtausta kahteen eri suuntaan, jolloin oletussuunnan vastainen virtaus näkyy automaatiossa negatiivisena. Esimerkiksi SaB-SaRi -yhdyslinjassa ilmapirtausta on toisinaan eri suuntiin, sillä eri rakennuksissa sijaitsevat kompressorit tukevat toistensa toimintaa.

3.3 Kulutuskohteet ja paineilmaverkko

Voimalaitoksen toiminnassa paineilmaa käytetään monenlaisissa prosesseissa, työkaluissa ja laitteissa. Salmisaaren voimalaitoksella paineilmaista arviolta noin kolmannes kuluu rikinpoistolaitoksessa. [10.] Rikinpoistoprosessissa savukaasujen sekaan sumutetaan kalkkimaitoa, jonka kanssa savukaasujen sisältämä rikki reagoi. Partikkelit saavat massaa ja kasvavat kokoa, mikä mahdollistaa niiden erottamisen savukaasusta. Kuvassa 4 näkyy rikinpoistolaitoksen toisen kalkkireaktorin sumutuslaitteisto. Kalkkireaktorin päällä olevat sumuttimet käyttävät paineilmaa, jotta sumutettava kalkkimaito saadaan

mahdollisimman hienoksi sumuksi savukaasun joukkoon ja kaasun käsittely on tehokasta.



Kuva 5. SaRi reaktori 1: kalkinsumutuslaitteet.

Sumutuksen lisäksi paineilmaa tarvitaan esimerkiksi pölynkuljetuslaitteissa eri puolilla voimalaitosaluetta. Rikinpoistolaitoksella sekä SaA- ja SaB-laitoksissa pöly- ja tuhkalähettimeä käytetään polttoprosessista poistuvan kiinteän aineen kuljettamiseen. Pöly- ja tuhkalähettimeet (Kuva 5) keräävät yläpuolelta laskeutuvan aineksen ja paineilman avulla siirtävät ne eteenpäin prosessissa. Paineilma kulkee tuhkalähettimeellä fluidisointiventtiilin läpi, joka saa lähettimeen yläpuolella säiliön sisällä olevan aineen liikkeelle, jonka jälkeen pöly laskeutuu lähettimeen. Lähettimeen täytyttyä aine paineistetaan ja paineilma kuljettaa lähettimeessä olevan tuhkan lähettimeen pohjasta lähtevää putkea pitkin eteenpäin jatkokäyttöä varten.

Pöly- ja tuhkalähettimeiden lisäksi paineilmajärjestelmässä on lukuisia laitteita, joiden toiminnassa paineilma on tärkeä rooli. Tulipesäkameroiden linsejä jäähdytetään paineilmaalla sekä esimerkiksi hiilipölyputkia voidaan avata ja sulkea paineilmasylintereillä liikutettavilla pelleillä.



Kuva 6. Yksi SaA-voimalaitoksen viidestä tuhkalähetimestä.

Paineilmaverkon paine on asetettu 8,3 baariin, mikä on noin kolmanneksen korkeampi esimerkiksi Hanasaaren voimalaitoksen paineilmaverkon noin 6 baarin painetasoon verrattuna. Korkeamman paineen takia pienikin vuoto aiheuttaa korkeampia kustannuksia. Paineilmavuodot ovat usein kuultavissa myös ilman erityisiä laitteita, mutta prosessitilojen voimakkaan taustamelun takia pienten vuotojen ääniä ei välttämättä korvakuulolla huomaa. Salmisaaren voimalaitoksella rikinpoistoprosessissa tapahtuva kalkkisumutus vaatii 8 baarin painetasoa, jotta sumutettavat partikkelit saadaan riittävän pienijakoisiksi.

Paineilmaputket Salmisaaren voimalaitoksella ovat suurimmillaan DN150-kokoisia. Mitauksia suoritettiin DN80-kokoisista ja siitä suuremmista putkista, sillä työn tarkoitus oli selvittää voimalaitokselta suurten kulutuskohteiden sekä paineilmaverkon päälinjojen virtauksia. Vuotojenetsintää suoritettiin myös pienemmistä paineilmalinjoista. Suuren kokoluokan paineilmalinjat ovat PSK 4240 -standardin E16H2A-putkiluokan mukaan painelaitekäyttöön valmistettua austeniittista ruostumatonta CrNiMo-terästä. Pienimmissä haaroissa on käytössä myös kupariputkia, sekä vanhemmissa linjoissa on mahdollisesti pieniä materiaalieroja.

Ennen insinööriyön aloitusta suuri osa paineilman kulutuksesta koostui osittain tuntemattomista kulutuskohteista. Kulutuksen tarkkaa suuruutta ei tiedetty, vaikka kulutuskohteet olisivat tiedossa, tai kulutus jakautuu niin suurelle alueelle paineilmaverkkoa, että tarkkaa tietoa ei ollut saatavilla. Paineilmajärjestelmissä merkittävä ilman kulutuskohte

ovat myös vuodot. Yleisimpiä paikkoja paineilmavuodoille ovat erilaiset liittimet, putkiliitokset, venttiilit, erityisesti huonosti suljetut tai vuotavat sulut ja varoventtiilit, sekä verkkoon liitetyt käyttämättömät paineilmatyökälyt [11, s. 67]. Laajassa paineilmaverkossa on otettava huomioon myös pitkät putkilinjat sekä kertavastukset, kuten venttiilit, T-haarat, kulmat sekä supistimet, jotka aiheuttavat painehäviöitä verkkoon.

4 Työn toteutus

Tässä työssä ultraääntä käytettiin paineilman virtausmittauksessa sekä paineilmavuotojen havaitsemiseen. Ultraääntä käytettäessä mittauksissa häiriöiden määrä vähenee, kun mittausympäristössä vastaavanlaisia ääniä kuuluu vain vähän tai ei lainkaan.

Paineilmavuotoja etsiessä kuunneltiin ultraäänitaajuuksia, mutta itse mittalaite ei lähetä signaalia. Myös virtausmittaukset voidaan suorittaa ultraäänien avulla. Paineilman virtauksen takia putkessa heijastuvan äänisignaalin avulla voidaan laskea virtauksen nopeus, kun ennalta tiedetään tarvittavat parametrit. Virtausmittauksen sekä vuotojenetsintälaitteen toimintaperiaatteet on esitetty tarkemmin luvuissa 4.1 ja 4.3.

4.1 Flexim Fluxus G601 -ultraäänivirtausmittalaite

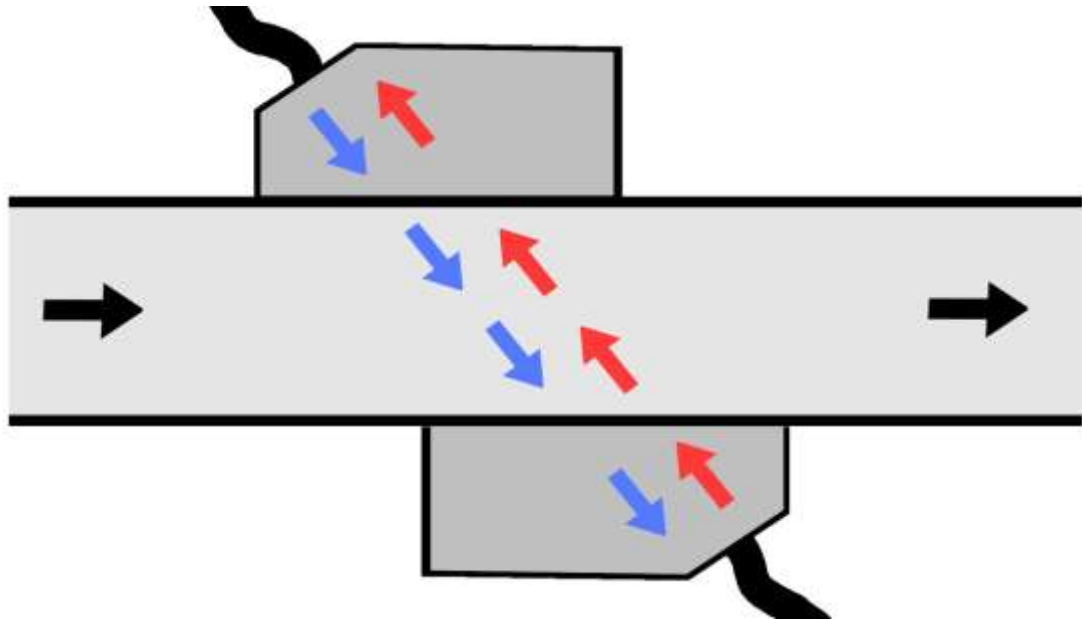
Paineilman virtausmittauksia varten hankittu Flexim Fluxus G601 kykenee mittaamaan käytännössä minkä tahansa kaasumaisen aineen virtausta putkessa. Kuvassa 7 näkyvä mittalaite on helposti siirrettävissä mittauspisteiden välillä. Laitteeseen on saatavilla useita erilaisia antureita, jotka soveltuvat eri kokoisten ja paksuisten putkistojen mittaamiseen. Nestemäisiä ja kaasumaisia väliaineita varten on erilaiset anturit. Hankitut anturit ovat GSK-mallin anturit, jotka on suunniteltu 80–300 mm sisähalkaisijan putkille. Suositeltu seinämävahvuus on vähintään 5 mm, mutta mittaukset saatiin suoritettua onnistuneesti voimalaitoksella olevien paineilmaputkistojen seinämävahvuuden ollessa pääasiassa 2 mm. Virheen syntyminen mittaustulokseen suositelluista mitoista poikkeamalla oli hyvin pientä, kun laite hyväksyi annetut parametrit ja signaalin laatu säilyi hyvänä mittausten aikana. Parametrit vaikuttavat laitteen sisällä tapahtuvaan laskentaan, joten suositellusta putkikoosta poikkeaminen näkyisi mittauksessa vain signaalin puuttumisena tai huonontumisena, jolloin mittaus onnistuu joko huonosti tai ei lainkaan.



Kuva 7. Flexim Fluxus G601 -virtausmittalaite ja GSK-mallin anturit.

Mittauksessa käytettävien antureiden malli määräytyy mittauskohteen mukaan. Mallitunnuksesta pystytään päättelemään jonkin verran antureiden ominaisuuksia. Mallitunnus on lyhenne sanoista Gas, Shear wave ja K-kirjain on anturin tyyppi, jonka ominaisuudet löytyvät mittalaitteen ohjekirjasta. Shear wave tarkoittaa ultraäänisignaalin tyyppiä, joista toinen mahdollinen vaihtoehto on lamb wave. Käytännön ero signaalin tyyppissä on shear wave -signaalin kapeampi leveys, kun lamb wave -signaali kattaa laajemman alueen. Kaasumaisia väliaineita mitattaessa suositellaan käytettäväksi lamb wave -antureita ja antureiden asennusta mitattavan putken molemmille puolille. Nestemäisen väliaineen mittauksissa voidaan käyttää shear wave -antureita sekä hyödyntää ultraäänen heijastumista putken seinämistä ja asentaa anturit esimerkiksi peräkkäin putken samalle puolelle.

Virtauksen mittaus perustuu kulkuajamenetelmään. Mittalaite lähettää yhdellä anturilla ultraäänisignaalin, joka kulkee putken sekä väliaineen lävitse ja vastaanotetaan putken toisella puolella. Vastapuolen anturi havaitsee ultraäänen ja laite laskee matkaan kuluneen ajan perusteella väliaineen virtausnopeuden. Kuvassa 8 on esitetty virtausmittauksen toimintaperiaate. Molemmat anturit toimivat signaalin lähettimenä ja vastaanottimena, jolloin yhteen suuntaan kulkevat ääniaallot liikkuvat viistosti virtauksen suuntaan ja toiseen suuntaan liikkuvat viistosti vastavirtaan. Laite mittaa aikaa, jonka ääni kulkee anturista toiseen ja kykenee mitatun ajan perusteella laskemaan virtausnopeuden.



Kuva 8. Virtausmittauksen toimintaperiaate.

Virtausmittaus kertoo laitteelle väliaineen virtausnopeuden, jonka perusteella laite suorittaa laskutoimitukset haluttujen mittayksiköiden toimittamiseksi. Väliaineen tiheys vaikuttaa ääniaaltoihin, ja kun tiedetään putken halkaisijan lisäksi väliaineen koostumus, lämpötila sekä paine, on mahdollista mitata virtaavan aineen virtausnopeus ja laskea tilavuusvirta putken mittojen mukaan. Kulkuajan perusteella todetun tilavuusvirran perusteella lasketaan normitettu tilavuusvirta alla olevalla kaavalla. [12, s. 14.]

$$\dot{V}_N = \dot{V} \cdot \frac{p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T} \cdot \frac{1}{K}$$

\dot{V} on tilavuusvirta

p on paine (absoluuttinen arvo)

p_N on normaalipaine

T on lämpötila Kelvineissä

T_N on normaalilämpötila Kelvineissä

K on väliaineen kokoonpuristuvuuskerroin

Tässä työssä esitetyt virtausmittausten tilavuusvirrat ovat normaalikuutiometreissä, eli NTP-olosuhteisiin muunnettuna, jotta tulos on vertailukelpoinen. Mittauspisteen paikka sekä etäisyys esimerkiksi kompressoreista vaikuttavat paineilman lämpötilaan.

Lämpötilan vaikutus paineilman tiheyteen on suuri, minkä vuoksi mittaustulos ilman muunnosta NTP-olosuhteisiin saattaisi vaihdella paljon ja vertailu olisi hankalaa. Kaavassa oleva normaalilämpötila ja normaalipaine on määritetty laitteen asetuksiin, ja paine sekä lämpötila ilmoitetaan laitteelle mittauseräparametreissa. Kokoonpuristuvuuskerroin on tallennettu laitteeseen tehdasasetuksissa väliaineen tietoihin.

Mittalaitetta voidaan käyttää myös pidempiaikaisiin mittauksiin, jolloin laite voi lähettää mittaustietoja sarjaliitännän kautta esimerkiksi tietokoneeseen. Laite voidaan liittää myös automaatiojärjestelmiin, kun käytetään 4–20 mA:n virtaviestiliitintä. Laitteen oma akku kestää mittauskäytössä noin 36 tuntia, mutta akkua voidaan ladata myös mittauksen ollessa käynnissä. Mittaustulokset tallentuvat laitteeseen ja ne voidaan siirtää tietokoneelle analysointia varten laitetta varten asennetulla Flexim FluxDiag Reader -ohjelmistolla. Data tallennetaan CSV-tiedostona, josta se saadaan käyttöön esimerkiksi Microsoft Excel -laskentataulukon jatkojalostusta varten. FluxDiag Readerilla voidaan tarkastella myös mittauspaikalla käytettyjä parametreja ja asetuksia.

4.2 Virtausmittaukset

Virtausmittari vaatii mittausta varten tiedot väliaineesta sekä putken materiaalista ja mitoista, jotta mittaus onnistuu ja tulos on luotettava. Väliaineena toimivan ilman paine ja lämpötila sekä putken materiaali, ulkohalkaisija, seinämävahvuus ja sisäpinnan karheus syötetään laitteeseen, minkä jälkeen laite kertoo tarvittavan antureiden etäisyyden toisistaan kyseisessä mittauspisteessä. Parametrit asetetaan laitteeseen ja anturit kiinnitetään kiskoon, jolloin laite näyttää signaalin vahvuuden ja signaalin ollessa riittävän vahva mittaus voidaan aloittaa. Paineilman lämpötilan selvittämiseksi putken ulkopinnan lämpötila mitattiin käsikäyttöisellä infrapunälämpömittarilla. Käyttökelpoinen lämpötila saatiin selville näin ilman putken sisäistä mittausta. Tästä johtuen mittaustulokset saattavat hieman poiketa todellisista olosuhteista, mutta aiheutunut virheen määrä on kuitenkin kohtalaisen pieni.

Virtausmittaus suoritettiin kiinnittämällä anturit paineilmaputkeen kuvan 9 mukaisesti. Kiinnityksessä käytettiin ketjukiristeistä VARIOFIX-kiskoa, joten asennus ei vaadi pysyviä muutoksia putkeen. Antureiden alla käytetään vaimennusmattoa, joka vaimentaa äänen kulkemista putken seinämää pitkin ja häiriöt mittauksissa vähenevät. Anturin ja

vaimennusmaton välissä käytetään äänen kulkua parantamaan tarkoitettua ultraäänigeeliä tai -rasvaa. Näin pyöreän putken ja anturin kontaktipinnasta saadaan tiivis, joten ääniaallot liikkuvat esteettä ja häiriötä mittauksen aikana on mahdollisimman vähän.



Kuva 9. GSK-mittausantureiden kiinnitys VARIOFIX-kiskoilla mittauspisteessä 2.

Mittauksen onnistuminen luotettavasti vaatii laminaarisen väliaineen virtauksen. Paineilmalinjoissa olevat kertavastukset, esimerkiksi mutkat, venttiilit ja haarat aiheuttavat virtausprofiiliin turbulenssia, joka häiritsee ääniaaltojen kulkemista. Virtauksessa oleva turbulenssi haittaa ääniaaltojen liikettä, joka saattaa aiheuttaa häiriötä signaaliin ja aiheuttaa mittauksen epäonnistumisen tai signaalin heikkenemistä. Mittauksia voidaan turbulenssista huolimatta suorittaa, mutta turbulenssin mahdollisuus voi vaikuttaa mittaustuloksiin, kun putkessa virtaava väliaine ei virtaa tasaisesti.

Mittauspiste on valittava siten, että virtausprofiili on kertavastuksen jälkeen kehittynyt täysin laminaariseksi. Laitteen käyttöohjeessa etäisyys kertavastuksesta annetaan putken sisähalkaisijan kertoimena, josta putken halkaisijan kanssa laskettu tulo kertoo tarvittavan etäisyyden. Etäisyydet selviävät alla olevasta taulukosta 1. Esimerkiksi DN80-kokoisessa putkessa 90°:n mutkan jälkeen tarvittava etäisyys on 10 kertaa putken sisähalkaisija 88,9 mm, jolloin vähimmäisetäisyys kertavastuksesta on 889 mm. [12, s. 21–22.]

Taulukko 1. Suositeltu mittauspisteen etäisyys kertavastuksesta.

Kertavastus	Etäisyys vastuksen jälkeeseen ($l \geq x \cdot D$)	Etäisyys ennen vastusta ($l \geq x \cdot D$)
90° mutka	10D	5D
2 kpl 90° mutkia eri tasoilla	40D	5D
Venttiili	40D	5D
Supistus	10D	5D
Kompressori	20D	-

Annettuja etäisyyksiä pystyttiin noudattamaan ensimmäistä mittauspistettä lukuun ottamatta kaikissa mittauksissa. Ensimmäinen mittauspiste sijaitsi SaB- ja SaRi-laitosten yhdyslinjassa, noin kolmen metrin etäisyydellä kahdesta eri suuntiin kääntyvästä 90° mutkasta, eli niin sanotusta hanhenkaulasta. Suositeltu etäisyys kyseiselle mittauspisteelle olisi tapauksen DN150-kokoisessa putkessa noin 6,7 metriä. Olosuhteiden pakosta johdun mittauspiste jouduttiin rakentamaan lähelle kertavastusta ja voimakasta turbulenssin lähdeä, sillä kahteen eri suuntaan kääntyvät peräkkäiset mutkat saavat putkessa virtaavan ilman pyörteilemään eri suuntiin. Putkessa virtaava ilma ajetaan myös jäähdytyskuivainten ohi, joten putkeen voi tiivistyä vettä, mikä haittaa signaalin kulkua.

Paineilmajärjestelmässä paineen mittauspisteitä on suhteellisen harvassa, joten jokaisessa mittauspisteessä käytettiin laitteen parametreissa samaa 9,3 baarin absoluuttista painetta, vaikka todellinen paine saattaa olla hieman matalampi. Tämän takia osa tuloksista sisältää hieman virhettä, mutta virtauksen suuruusluokka on selvillä ja mittaustulokset ovat edelleen käyttökelpoisia. Virtausmittauksiin valittiin antureiden ominaisuuksien takia yhteensä kuusi mittauspistettä. Mitattavat putket valittiin voimalaitoksen prosessikaavioista, jonka jälkeen valittu paineilmalinja etsittiin laitokselta ja valittiin mittaukseen soveltuva kohta.

4.3 Sonotec Sonaphone -kuuntelulaite

Sonotec Sonaphone on ultraäänitaajuuksia hyödyntävä kuuntelulaite teollisuuden ennakkoivaan kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan, jolla esimerkiksi paineilmauotojen

ultraäänitaajuuksia voidaan kuunnella. Sonaphone kuuntelee 20–100 kHz taajuuksia, ja muuttaa äänen ihmiskorvalla kuultavaksi sekä graafiseen muotoon laitteen näytölle. Laite kykenee laskemaan myös vuotojen suuruuden, jonka avulla voidaan laskea vuotojen aiheuttamia kustannuksia. Erilaisia sensoreita käyttämällä voidaan etsiä vuotoja käytännössä kaikkialta, missä esiintyy paine-eroja. Käyttösovelluksia ovat esimerkiksi kaasuvuotojen etsinnät paineilma-, kaasu- tai alipainejärjestelmissä, vuotojenetsintä ikkunoista, ovista tai säiliöistä, sekä elektronisten purkausten tai vaurioituneiden eristeiden havaitseminen [13, s. 7].

Kuvassa 10 näkyvä Sonaphone on pienikokoinen, matkapuhelinta muistuttava kannettava laite, joka käsittelee sensorilta tulevan tiedon LeakExpert-sovelluksessa. Paineilmavuotojen laajuuden laskentaan tarvitaan BS10-sensori, joka on suunniteltu kohteiden lähempää tarkastelua varten. BS10-sensoriin kiinnitettävillä erilaisilla torvilla voidaan vielä tarkentaa mitattavan kohteen mukaan kuuntelualueen laajuutta, jolloin vuotojen paikannus sekä niiden laajuuden arviointi on luotettavampaa.



Kuva 10. Sonaphone ja BS10-ultraäänisensori.

Sonaphone kykenee arvioimaan vuodosta vapautuvan tilavuusvirran, kun laitteeseen ohjelmoidaan käytössä oleva paine ja väliaine. Laitteessa itsessään ei tapahdu vuoto-
määrien normitusta, joten verrattaessa voimalaitoksen paineilmajärjestelmän tietoihin mitatut arvot on normitettava. Sensorissa on LED-valo hämärien olosuhteiden varalle sekä laserosoitin sensorin suuntauksen helpottamiseksi.

Kuvassa 11 näkyvä BS30-sensori on pidemmän kantaman sensori, jolla vuotoja voidaan kuulla jopa 35 metrin etäisyydeltä. Sensorissa on parabolinen peili, joka keskittää siihen osuvat äänet ultraäänimikrofonille rungon etuosaan. Sonaphone käsittelee mikrofoniilta saatavan tiedon, ja näyttää äänenvoimakkuuden tason sekä reaaliaikaisen spektrometrikuvan, mutta pitkän toimintasäteen takia vuodon tilavuusvirtaa ei voi arvioida. Vuodon virtauksen arviointia varten sensori täytyy vaihtaa BS10-sensoriin. Lisäksi BS30 sisältää laserosoittimen sekä punapistetähtäimen suuntauksen helpottamista varten. Osa voimailoksen tiloista on korkeita ja laajoja, joten pitkän kantaman mikrofoni helpottaa esimerkiksi korkealla kulkevien paineilmalinjojen kuuntelua, jolloin lähempää tarkastelua vaativat kohteet saadaan selville.



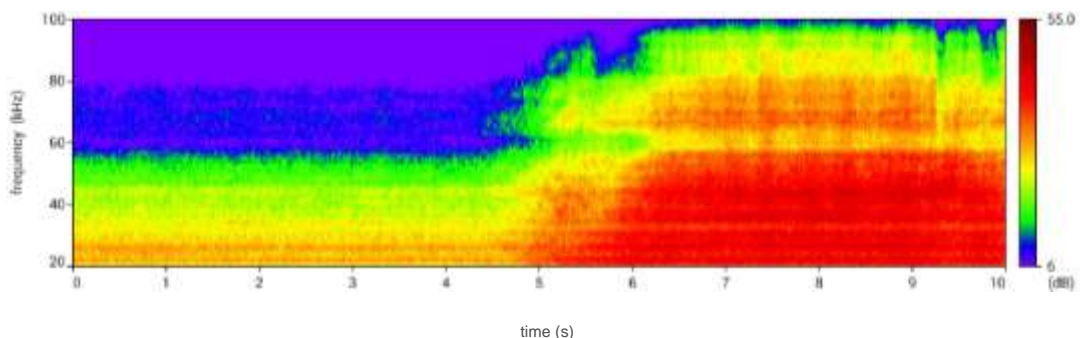
Kuva 11. Sonaphone ja BS30-sensori.

Paineilmavuodon löydyttyä se voidaan mitata. Sonaphone mittaa vuodon äänenvoimakkuutta, ja kun mittausparametreihin asetetaan väliaine sekä käytössä oleva paine, laite pystyy arvioimaan vuodon määrän. Tallennetun mittauksen tueksi laitteella voidaan ottaa vuotokohteesta valokuva, kirjoittaa muistiinpanoja tai nauhoittaa äänitallenne. MittausloMAKEeseen merkitään vuodon sijainti rakennuksessa ja kuvaillaan vuotokohta, jotta mahdollisen korjauksen tullessa paikka löytyy helposti. LeakExpert-sovelluksella voidaan luoda valmiita raportteja PDF-, ZIP- tai CSV-tiedostoihin esimerkiksi rakennuskerrollaan. Näin saadaan jokaisen rakennuksen tai prosessialueen paineilma vuodot keskitetyksi yhteen raporttiin, josta nähdään suoraan vuotojen määrä, ja voidaan arvioida tarvittavien toimenpiteiden kiireellisyyttä.

4.4 Vuotojenetsintä

Paineilmavuodosta kuuluva ääni syntyy, kun paineilmaverkon korkeassa paineessa oleva ilma vapautuu matalamman ilmanpaineen tilaan. Ilmavirtaus paineilmaverkossa on pääasiassa laminaarista, mutta vapautuessaan putken ulkopuolelle virtaus muuttuu turbulenttiseksi, mikä aiheuttaa vuodoista kuuluvan valkoisen kohinan. Mitä suurempi paine-ero on kyseessä, sitä suuremmalla nopeudella ilma liikkuu ja äänen taajuus nousee. Korkeasta paineesta vuotava ilma on usein kuultavissa myös ihmiskorvalla, sillä kohina sisältää kaikkia äänitaajuuksia ilmavirran voimakkaan pyörteilyn takia.

Kuvan 12 spektrogrammissa nähdään paineilmavuodon löytyminen ultraäänimikrofonilla. Kuvaaja on kymmenen sekunnin otos, jossa tallennettuna ensimmäiset viisi sekuntia on prosessialueen taustamelua ja sen jälkeen mikrofoni suunnattiin vuotoa kohti. Vuodosta kuuluva ääni jakautuu koko lähes koko 20–100 kHz taajuusalueelle. Vuodot ovat helposti löydettävissä ultraäänialueella toimivan kuuntelulaitteen avulla ympäröivästä melusta huolimatta.



Kuva 12. Spektrogrammi paineilmavuodon löytymisestä. Paineilmavuodosta kuuluva ääni näkyy kuvaajassa noin viiden sekunnin kohdalla.

Voimalaitoksen prosessialueella esimerkiksi kivihilimyllyjen äänet ja polttimista kuuluva humina ovat matalataajuuksisia ja myös ihmiskorvalla kuultavissa. Ultraäänialueelle ulottuvat paineilmavuotojen kohinat erottuvat muusta melusta vuotojenetsintälaitteella hyvin. Paineilmavuotojen etsintä Sonaphonen avulla oli vaivatonta: laitteeseen liitettiin tilanteeseen sopivaksi valittu ultraäänimikrofoni, jolla kuunneltiin paineilmaputkistojen ympäristöä vuotojen varalta. Laitte muuntaa ultraäänitaajuuksia ihmiskorvan kuultavaksi ja näyttää taajuudet spektrometrissä ja toistaa äänen myös kuulokkeisiin, joten laitteen näytön jatkuva seuraaminen ei ole välttämätöntä. Paineilmavuodosta kuuluva ääni erottuu

muista äänistä selkeästi ja vuotokohta paljastuu helposti. Osa vuodoista varmistettiin vielä tunnustelemalla äänilähteen ympäriltä ennen varsinaista mittausta. Kaikista äänilähteistä ulkoista vuotoa ei havaittu, mutta kohteen mukaan pystyttiin päättämään, liittyykö ääni laitteen toimintaan vai onko kyseessä sisäinen vuoto tai häiriö.

5 Mittaustulokset

Mittaustulosten analysointia varten Balance-järjestelmästä haettiin tiedot suoritettujen mitausten ajankohdista. Keskimääräinen paineilman kulutus oli 134,5 Nm³/min, ominaisenergiantarve 7,5 kW/Nm³/min ja kompressoreiden keskimääräinen teho 1007,9 kW. Mittaustuloksia verrattiin Balance-järjestelmästä kerättyihin tietoihin, jotta saatiin käsitys esimerkiksi vuotojen suuruusluokasta ja virtausten jakautumisesta.

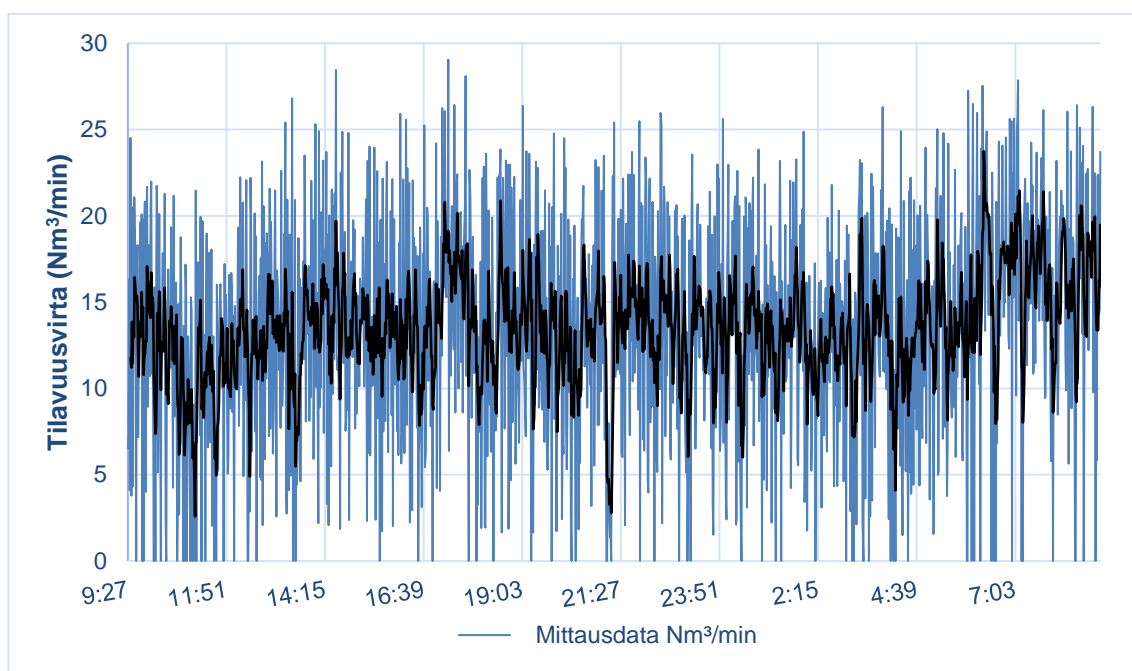
5.1 Virtausmittaukset

Suoritettut mittaukset onnistuivat pääasiassa hyvin. Joissakin virtausmittauskohteissa antureiden signaalin laatu vaihteli voimakkaasti, mikä aiheutti tallennettuihin mittauksiin epäonnistumisia. Virtausmittausten tallennusväli asetettiin jokaisessa mittauspisteessä yhteen minuuttiin, joten datasta pienen osan puuttuminen ei käytännössä juurikaan häitännut tulosten tulkintaa. Mittausdataa kerättiin ensimmäistä mittauspistettä lukuun ottamatta noin vuorokauden ajan jokaisesta mittauspisteestä, jotta mahdollinen kulutuksen vaihtelu saadaan näkyviin. Peilaamalla mittaustuloksia tuotettuun ilmaan ja prosessien omiin kulutusmittareihin voidaan vertailla tuloksia ja päätellä, onko prosessien anturit esimerkiksi kalibroitu oikein.

Mittausdataa kertyi ensimmäistä mittausta lukuun ottamatta joka mittauspisteeltä noin 1400 riviä. Data siirrettiin CSV-muodossa mittalaitteen muistista tietokoneen taulukkolaskentaohjelmaan, jotta suuren tietomäärän käsittely helpottuu. Suuren mittakaavan virtauksista saatiin käsitys laskemalla mittauspisteiden datasta keskiarvo jokaiselle noin vuorokauden pituiselle mittaukselle, ja laskemalla keskiarvot yhteen. Yhteenlaskettu virtausmäärä mittauspisteistä oli 105,95 Nm³/min, joka vuoden Balance-järjestelmästä kerättyihin tietoihin verrattuna on hieman matalampi. Mittaukset kuitenkin suoritettiin eri ajankohtina, jolloin voimalan ajotilanne ja prosessien erilaiset vaiheet vaikuttavat

tarvittavaan paineilman määrään. Käytettyjen antureiden takia mittauspisteiden lukumäärää jouduttiin vähentämään, joten osa paineilmanvirtauksista on edelleen tuntemattomia.

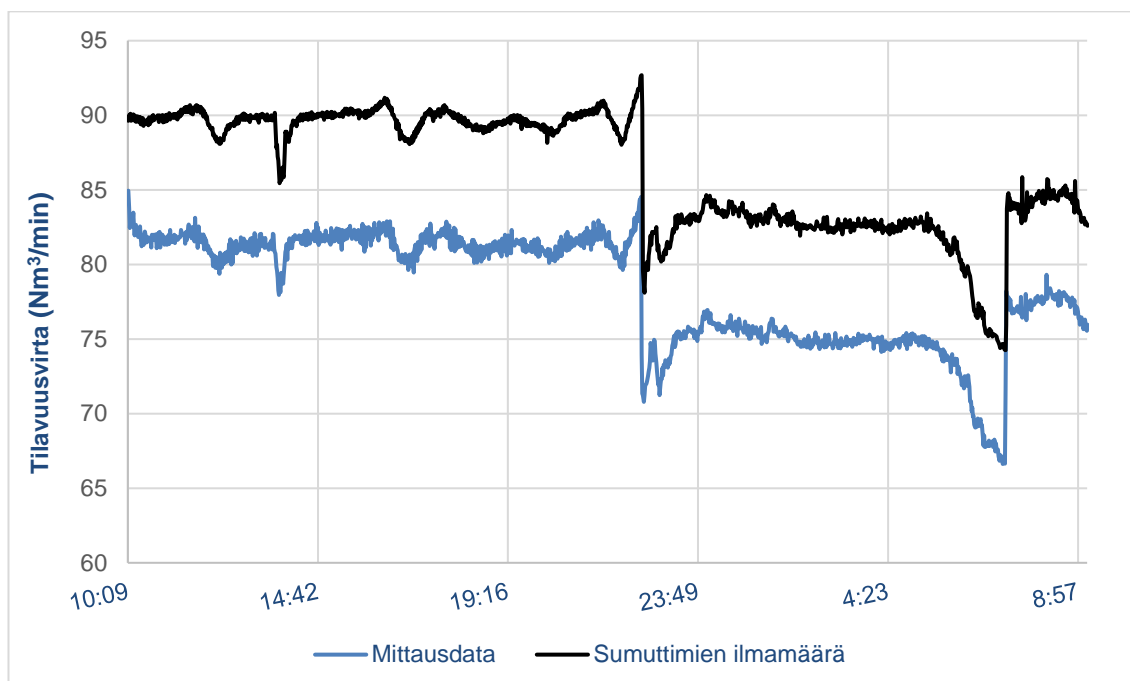
Virtausmittaustulokset löytyvät liitteen 1 kuvaajista. Kuvan 13 diagrammista nähdään, että paineilman kulutus vaihtelee mittauspisteellä voimakkaasti läpi mittausjakson. Letkusuodattimilla paineilmaa käytetään sykäyksittäin, jolloin paineilmaa kuluu pienessä hetkessä suuri määrä, jonka jälkeen kulutusta ei ennen uutta sykäystä juurikaan ole. Osassa virtausmittauskuvaajia käytettiin raan mittausdatan lisäksi viiden minuutin liukuvan keskiarvon kuvaajaa tasoittamaan suurimpia vaihteluita, jotta keskimääräisestä paineilman virtauksesta saa paremman käsityksen. Viidellä ensimmäisellä mittauspisteellä paineilman kulutus vaihteli voimakkaasti, mikä kertoo paineilman epätasaisesta tarpeesta monessa osassa voimalaitosta.



Kuva 13. Virtausmittaustulokset mittauspisteeltä 5.

Mittauksista viimeinen, SaRi-laitoksen kalkkisumuttimille kulkevan paineilmalinjan virtausmittaus onnistui tehdyistä mittauksista parhaiten. Epäonnistuneita mittauksia vajaan vuorokauden pituisessa mittausjaksossa ei esiintynyt lainkaan, ja paineilman tasaisen kulutuksen sekä SaB-laitoksen tehon vaikutuksen kalkin sumutukseen käytettyyn

paineilmaan huomaa mittausdatasta hyvin selkeästi. Kuvassa 14 olevasta kuvaajasta nähdään paineilman virtausmäärät rikinpoistoreaktoreiden kalkkisumuttimille kulkevasta paineilmalinjasta. Tehdyn virtausmittauksen tuloksia verrattiin kalkkisumuttimien omien sensoreiden tallentamaan dataan, josta piirretty kuvaaja vastaa ulkomuodoltaan putkesta tehtyä virtausmittausta, mutta arvot ovat noin 7 Nm³/min suurempia. Tämä voi johtua kalkkisumuttimien virtausantureiden kalibroinnista, automaatiojärjestelmässä tapahtuvasta normituslaskennasta tai antureiden sisäisestä laskennasta. Kalkkisumuttimien kuluttamaa paineilmaa mitataan paine-eroon perustuvalla mittauksella, jonka tarkkuudesta riippuen kyseinen ero kuvaajissa voi olla mahdollinen.



Kuva 14. Virtausmittaustulokset mittauspisteeltä 6 verrattuna kalkkisumuttimien omaan dataan.

Korkean painetason paineilmaverkossa pienikin ero virtausnopeudessa saa aikaan suuren muutoksen normitettuun tilavuusvirtaan. Kuvan 14 kuvaajasta huomataan tehdyssä virtausmittauksessa olevan jonkin verran enemmän vaihtelua, joka johtuu pienistä virtauksen muutoksista. Sumuttimien ilmoittamassa ilmamäärässä samanlaista vaihtelua ei paine-eroon perustuvassa mittauksessa tapahdu.

Koemittaus GSK-antureilla DN50-kokoisesta, eli suositeltua minimihalkaisijaa 30 mm pienemmästä paineilmaputkesta epäonnistui. Ultraäänisignaalin laatu antureissa ei

pysynyt vakaana, ja virtausmittauksiin riittävä signaali saavutettiin vain hetkittäin. Epäonnistunut mittaustulos oli odotettavissa antureiden teknisten ominaisuuksien perusteella, mutta koemittaus päätettiin suorittaa siitä huolimatta, jotta varmistuttiin sopimattomuudesta ja voitiin todeta hankinnan tarve pienemmille antureille.

5.2 Paineilmavuodot

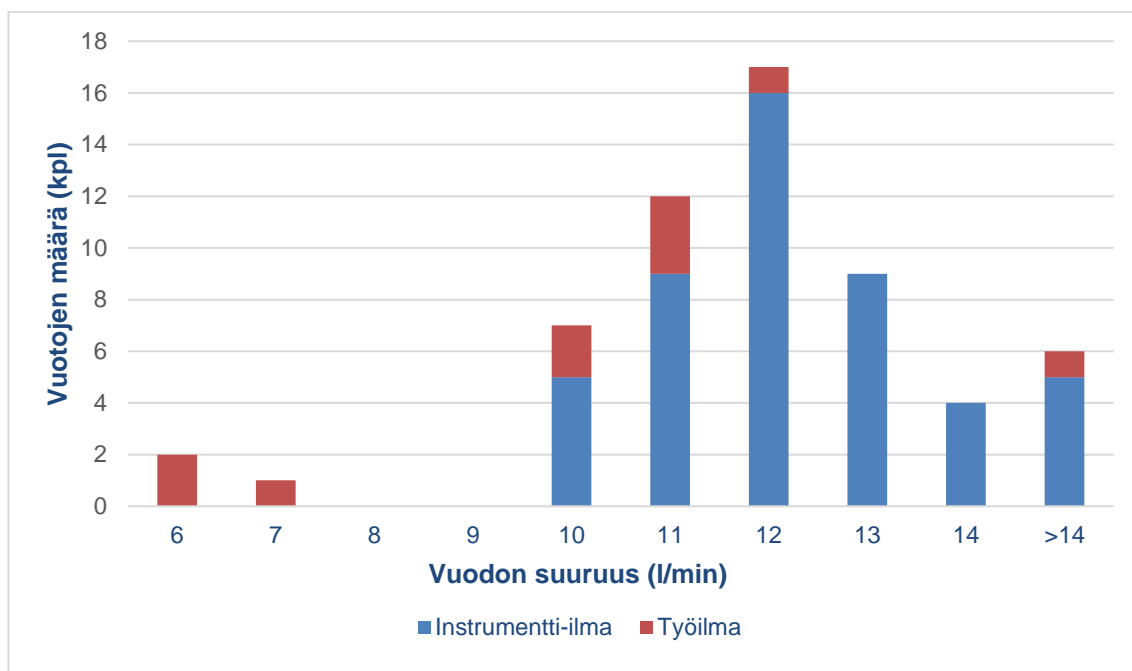
Vuotojenetsintä Sonaphonella osoittautui voimalaitosympäristöön erittäin hyvin soveltuvaksi ja paineilmavuotojen löytäminen oli kohtalaisen yksinkertaista. Laitehäiriöitä vuotojenetsinnässä ei kohdattu, joskin esimerkiksi rikinpoistoprosessissa paineilmalla toimivat pölylähettimet pitivät vuotojen kaltaista ääntä, mikä häytti kuuntelua hetkellisesti. Pölylähettimien toimintaperiaate on samankaltainen kuin tuhkalähetimissä, joten jonkin verran paineilmaa vapautuu laitteen toimiessa ympäristöön. Vuotoja kartoitettiin rakennuksista tila kerrallaan, esimerkiksi rikinpoistolaitoksen tilat käytiin läpi kerroksittain alhaalta ylös.

Yleisesti paineilmajärjestelmissä katsotaan noin viiden prosentin vuotomääriä vielä hyväksyttäviksi [11, s. 67]. Huonosti ylläpidetyissä järjestelmissä huomattavasti suuremmatkin häviöt ovat mahdollisia. Salmisaaren voimalaitoksella paineilman tuotantomäärät vaihtelevat paljon ajotilanteen mukaan, ja esimerkiksi savukaasujen kalkkisumutuksen määrä pienenee voimalaitoksen tehoa alennettaessa. Lisäksi voimalaitoksen apuprosesseissa käytettävät paineilmalaitteet eivät kuluta paineilmaa tasaisesti, vaan esimerkiksi pöly- ja tuhkalähettimet toimivat impulsseilla, jotka siirtävät materiaalia putkissa eteenpäin erissä, kun materiaalia on kertynyt tarpeeksi.

Sonaphone laskee paineilmavuodon suuruuden käyttämällä laitteen esiasetukseen luotuja väliaineiden tietoja, käytössä olevaa painetta ja ultraäänimikrofonilla mitattua äänenvoimakkuutta. Laitteen mittaustarkkuuden arviointi oli haastavaa, sillä äänenvoimakkuuteen perustuva tilavuusvirran laskenta jättää tulkinnan varaa, sekä mittaustulokset vaikuttavat todenmukaisuuden sijaan enemmän suuntaa antavilta. Mittaustilanteessa mikrofonin etäisyys vuotokohdasta vaikutti voimakkaasti mitattuun äänenvoimakkuuteen, minkä takia mitattu virtauslukema vaihteli mittausten välillä. Laitteen ohjekirjan suositus mikrofonin etäisyydelle on 5–10 cm. Myös mikrofonin suuntaus vuotokohteeseen nähdessä vaikutti mittaustulokseen voimakkaasti. Laitteen käyttöohje neuvoo etsimään

annettujen ohjeiden puitteissa etäisyyden ja suunnan, missä äänenvoimakkuus on suurimmillaan.

Yhteensä paineilmavuotoja Salmisaaren voimalaitosalueelta löytyi 58 kappaletta. Mitattujen vuotojen yhteenlaskettu tilavuusvirta oli 52 m³/h. Mitatut paineilmavuodot koottiin laskentataulukkoon, joka löytyy liitteestä 2. Tyypillisiä vuotokohteita olivat paineilmaa käyttävien toimilaitteiden muoviletkujen liitokset ja liitoksissa käytetyt kiertet. Kuvan 15 diagrammista nähdään vuotojen lukumäärän jakautuminen vuodon suuruuden mukaan. Paineilmavuodoista suurin osa, 48 kappaletta, löytyi instrumentti-ilman putkistoista ja 10 kappaletta työilman putkista. Instrumentti-ilman suuri vuoromäärä johtuu suurimmalta osin maanalaisen hiilivaraston ja SaA-laitoksen paineilmaverkkojen rakenteesta, jossa työilmaa ei ole käytettävissä, vaan SaB-laitoksen kompressorihuoneesta tuodaan instrumentti-ilma yhtä paineilmalinjaa pitkin.



Kuva 15. Paineilmavuotojen lukumäärä verrattuna vuodon suuruuteen.

Kappalemääräisesti eniten paineilmavuotoja havaittiin instrumentti-ilmalla toimivien, esimerkiksi sulkupeltejä avaavien ja sulkevien sylintereiden muoviletkujen liitoksissa. Kyseisiä kohteita havaittiin toisiaan vastaavista paikoista 16 kappaletta. Kaikista mitatuista

letkuliitoksista ei havaittu tunnustelemalla ulkoista vuotoa, mutta mitatuissa kohteissa vuodon kaltaista ääntä ei normaalitilanteessa olisi kuulunut olla.

Kuvassa 16 nähtävä hiilipölyn sulkupelti toimii polttoaineensyötössä, joko avaamalla tai sulkemalla polttoaineenkulun kattilaan. Sulkupeltiä liikutetaan paineilmakäyttöisellä sylinterillä, johon ohjataan paineilmaa jommallekummalle puolelle sylinterissä olevaa männää, jolloin sulkupelti siirtyy hiilipölyputken sisään tai sieltä pois. Sylinteriin paineilma johdetaan muoviletkuilla, joiden paikat on ympyröity kuvaan. Muoviletkut liikkuvat paineen vaikutuksesta sekä sylinterin toimiessa hieman, mikä pitkän ajan kuluessa saattaa aiheuttaa letkun seinämän ohentumista tai liitoksen löystymistä, jolloin paineilma pääsee vuotamaan ympäröivään huoneilmaan. Vuoto on mahdollinen myös sylinterin sisäisesti, jolloin paineilma voi vuotaa männän ohitse.



Kuva 16. Hiilipölyn sulkupelti ja paineilmasylinteri.

Kuvassa 17 nähdään paineilmakäyttöisen sylinterin letkuun syntynyt reikä, josta havaitun paineilmaavuodon suuruus on 13 litraa minuutissa. Reiän halkaisija oli silmämääräisesti alle yksi millimetri. Pöylähettimen tai sylinterin toimintaan pienellä reiällä ei juurikaan ole vaikutusta, mutta korjaamaton paineilma vuoto kokoon katsomatta tuottaa kustannuksia ajan saatossa. Paineilmajärjestelmästä löytyi myös esimerkiksi venttiileitä, joista kuului venttiilin asennon takia vuodon kaltaista ääntä ilman vuotoa. Kevyt ilmavirta tuntuu paljasta ihoa vasten selvästi, joten tunnustelu todettiin tarpeelliseksi siihen

soveltuissa kohteissa. Suurin osa vuotokohteista sijaitsee käynnissä olevilla prosessialueilla, joten vuotojen havaitseminen korvakuulolta oli lähes mahdotonta.



Kuva 17. Reikä paineilmakäyttöisen sylinterin letkussa rikinpoistolaitoksen pöyläohjaimessa.

Vuotojenetsintälaitteessa käytettävä lomake vuotojen tallennukseen luokittelee vuodot viidellä eri suuruusluokituksella. Taulukossa 2 nähdään laitteen valmistajan määrittämät vuotojen luokitukset. Laitteen asetuksista etsittiin vaihtoehtoa muokata luokitusasteikkoa, jotta luokituksiin saataisiin hieman laitoksen olosuhteisiin sovitettua vaihtelua. Asetusta luokitusten muuttamiseen ei löytynyt, joten muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikki mitatut vuodot ovat suuruudeltaan korkeinta luokitusastoa. Vakavuusasteikon ollessa kohteesta riippumatta sama vuotoja voidaan jatkotutkimuksissa helposti vertailla myös laitosten välillä ja arvioida esimerkiksi, olisiko painetason laskemisesta haittaa kokonaisuuden kannalta, sekä kuinka paljon se vaikuttaisi vuotojen suuruuteen.

Taulukko 2. Paineilmavuotojen suuruusluokat.

Luokitus	Vuodon määrä (l/min)
1	≤ 1
2	$\leq 2,5$
3	$\leq 5,8$
4	≤ 10
5	> 10

Voimalaitoksen paineilmajärjestelmän korkean painetason takia mittaustuloksia saatiin eniten 5. tason suuruusluokituksella. Osassa rikinpoistolaitoksen letkusuodattimien paineilmaputkissa painetaso oli alennettu noin kolmen baarin paineeseen, jolloin vuotojen suuruudet laskivat alimmillaan tasolle 3. Osa matalammankin painetason vuodoista oli, rikinpoistoprosessista huolimatta, löytymisen jälkeen kuultavissa korvakuulollakin.

Paineilmavuodot luokiteltiin vuodon määrän lisäksi prioriteetin ja korjaustarpeen mukaan. Prioriteettiasteita on kolme: low, medium ja high. Asteikkoa käytettiin siten, että low-vakavuudella merkittiin tarkempaa tutkimista vaativat kohteet sekä pienimmät äänet, joista ulkoista vuotoa ei tunnustelemalla havaittu. Medium-vakavuudella merkittiin kohteet, joista havaittiin korjausta vaativa vuoto, joka kuitenkin ei merkittävästi haittaa laitteen toimintaa. High-vakavuudella merkityt vuodot olivat virtausmäärältään suuria, tai laitteen toimintaa haittaavia, esimerkiksi toimilaitteesta irronnut letku. Korjauksen tarve merkittiin kohteisiin, mistä vuoto on jatkuvaa ja paineilmaa kuluu turhaan. Korjausta ei katsottu tarpeelliseksi esimerkiksi kynsiliekkimissä, mistä vuoto kuului venttiiliin ollessa auki ja esimerkiksi paineilmatyökalan ollessa kiinnitettynä, mutta mistä vuoto lakkasi hanaan sulkemisen myötä.

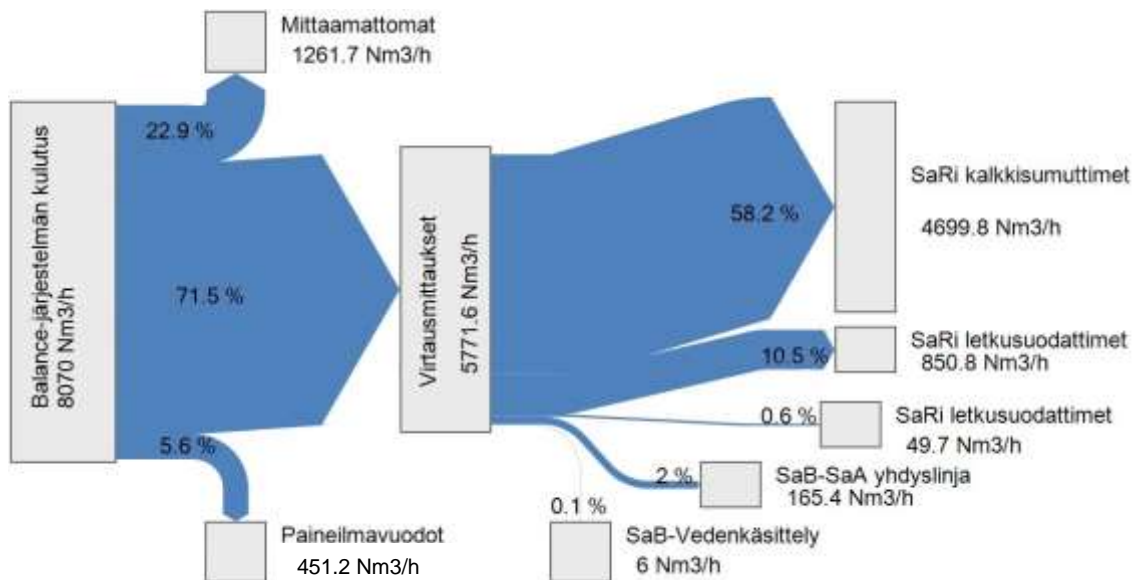
Paineilmavuodoista luotiin rakennuskohtaiset PDF-raportit vuotojenetsintälaitteen LeakExpert-sovelluksessa. Esimerkkiraportti SaRi-laitoksesta liitteessä 3 näyttää tiedot mittauksista selkeästi, jolloin työnjohto pystyy nopealla silmäyksellä näkemään vuotojen lukumäärän, suuruuden ja korjauksen tarpeen. Mittaustulosten tueksi raporttiin tallennetaan valokuvat mitatuista kohteista, joten korjaajan on helppo paikallistaa kohde jälkeensä. Korjaava henkilö pystyy kuittaamaan kohteen korjatuksi raportissa olevaan kenttään nimikirjaimilla tai allekirjoituksella.

Vuotojen analysointia varten paineilmapuodot on normitettava, jotta tuloksia voidaan verrata paineilmajärjestelmän muihin ilmamääriin. Normitettujen paineilmapuotojen yhteenlaskettu suuruus oli 451,2 Nm³/h, joka on mittausten aikaisen paineilmatuotannon keskiarvoon verrattuna 5,6 %. Korkean painetason järjestelmässä pienetkin vuodot voivat osoittautua kalliiksi, kun tiivis paineilma purkautuu vuodosta huoneilmaan.

6 Johtopäätökset

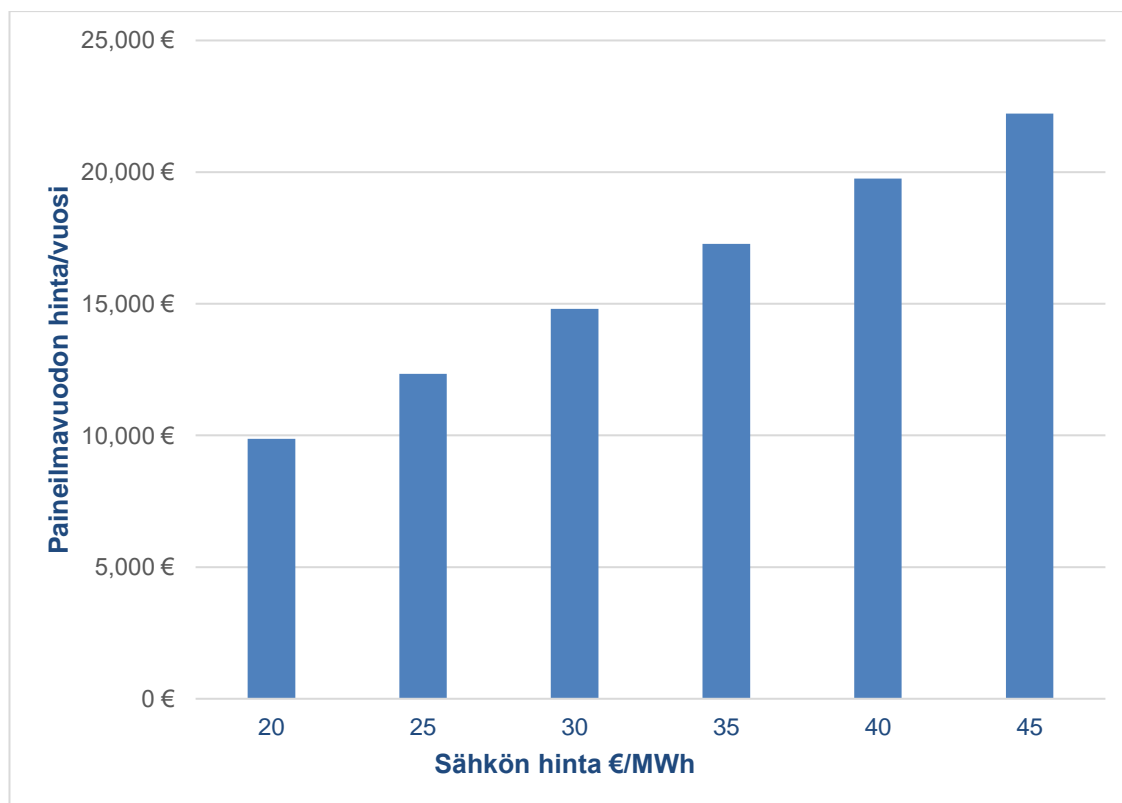
6.1 Virtausmittaukset ja paineilmauodot

Tehdyistä virtausmittauksista nähdään voimalaitoksen paineilmajärjestelmän runkolinjoissa virtaava paineilma. Kattavat virtausmittaukset Salmisaaren voimalaitoksella olisivat vaatineet useampia mittauspisteitä, jotta aluekohtaisia kulutuksia olisi saatu näkyviin enemmän. Alla olevasta diagrammista (Kuva 18) nähdään paineilman jakautuminen eri virtauskohteisiin tehtyjen virtausmittausten perusteella. Havaittujen paineilmauotojen osuus näkyy kuvaajassa hyvin. Rikinpoistoprosessi käyttää mittaustulosten perusteella lähes kaksi kolmasosaa tuotetusta paineilmosta, mutta kalkkisumutuksen määrä vaihtelee paljon laitoksen tehon mukaan, joten pienemmällä teholla myös paineilmaa kuluu sumutuksessa vähemmän. Virtausdiagrammin perusteella paineilmaverkosta saatiin 77,1 % mitattua. Mitatut paineilmalinjat olivat suuren kokoluokan runkolinjoja, joten mitatuiltakin alueilta tarvitaan lisämittauksia. Myös mittaamattomien virtausten suuruus kertoo lisätutkimuksen tarpeesta. SaB- ja SaRi-laitosten välisen yhdyslinjan virtaus on jätetty kuvaajasta pois. Yhdyslinjasta kulkee eri kompressorihuoneiden välinen ilma, joka ei ole paineilman kulutuskohte.



Kuva 18. Paineilmajärjestelmän virtausten jakautuminen.

Paineilmavuotojen hinnan laskemiseen käytettiin sähkön hintaa 20–40 €/MWh viiden euron porrastuksella. Kuvassa 19 olevasta kuvaajasta nähdään paineilmavuotojen aiheuttamat kustannukset vuodessa. Vaikka paineilmavuotojen lukumäärä oli suuri, keskimääräisesti vuodot eivät olleet kriittisen suuria. Tähän vaikuttaa toimilaitteiden suuri määrä paineilmaverkossa. Vuodon ollessa suuri laitteeseen todennäköisesti tulisi häiriö ja vika selviäisi sekä vuoto korjattaisiin laitteesta riippuen nopeasti. Korkean painetason takia rahallinen säästö paineilmavuotojen korjauksesta on huomattavan suuri.



Kuva 19. Paineilmavuotojen hinta vuodessa eri sähkön hinnoilla.

Painetasoa alentamalla 6 baarin tasolle, vuotojen normittamattoman määrän säilyessä samana, normitettu vuodon määrä putoaisi jopa noin 25 %. Painetason alentamisella myös kompressoreiden työtaakkaa saataisiin vähennettyä ja paineilman tuotannon kustannukset laskisivat. Rikinpoistoprosessissa tapahtuva kalkkikumutus kuitenkin vaatii korkeamman painetason, jotta savukaasuun sumutettava pisarakoko saadaan pienemmäksi. Painehäviöt kompressoreiden ja kaikkein kauimpien kulutuskohteiden välillä saattavat myös vaatia korkeampaa verkon painetta, sillä etäisyydet ovat hyvinkin suuria.

Paineilmavuotojen osuus on mittausten aikaiseen keskimääräiseen 134,5 Nm³/min paineilman kulutukseen verrattuna 5,6 %. Vaikka paineilmuotojen luokitusasteet olivat pääsääntöisesti vakavimmalla asteella, paineilmuotojen osuus kaikesta voimalaitoksen paineilmaasta on kohtuullisella tasolla. Paineilmaverkko koostuu suurimmalta osin toisiinsa hitsatuista putkiliitoksista, joissa vuotojen todennäköisyys koko putken käyttöiän aikana on olematon. Vanhempien sekä pienien paineilmalinjien puristusliitoksista löytyi joitakin pieniä vuotoja. Osa vuodoista paljastui turhaan käynnissä oleviksi laitteiksi, jotka eivät vaadi korjaamista, mutta turha paineilman käytön vähentäminen säästäisi energiaa vaivattomasti. Yli 10 litran minuuttivuodoille laite ei laske desimaaleja, jonka takia esimerkiksi mitatut 12 litran minuuttivuodot sisältävät äänenvoimakkuuksia 61,4–68,7 dB väliltä.

6.2 Jatkotutkimus

Mittaustulosten perusteella sekä kaluston ominaisuuksien takia jatkotutkimus katsottiin tarpeelliseksi. Hankintaehdotus kattavampien mittaustulosten saamiseksi on virtausmittauksiin pienempiin putkikokoihin soveltuvien antureiden hankinta. Jatkotutkimuksena vastaavien mittausten suorittaminen muilla voimalaitoksilla antaisi arvokasta tietoa sekä rahallista säästöä esimerkiksi Hanasaaren voimalaitoksella, missä paineilmajärjestelmä on samankaltainen Salmisaaren voimalaitoksen kanssa. Pienempiin putkikokoihin soveltuvilla antureilla myös Salmisaaren voimalaitoksella pystyttäisiin tutkimaan paineilmajärjestelmä nykyistä tarkemmin.

Kattavammat virtausmittaukset pystytään suorittamaan nykyisten virtausmittausantureiden lisäksi pienemmän putkikoon antureilla. Voimalaitosten olosuhteet huomioon otettuna sopivin anturivalinta olisi GLM-mallin anturit, joilla mitattavan putken sisähalkaisija tulisi olla 40–150 mm, seinämävahvuus yli 2 mm, sekä mittaukseen soveltuva painetaso 3 baarista ylöspäin. Teknisten tietojen perusteella GLM-anturit voisivat soveltua kaikkiin virtausmittauksiin nykyisiä antureita paremmin. Salmisaaren voimalaitoksella suurin paineilmalinjoissa käytetty putkikoko on DN150, joten anturit soveltuisivat myös suurimpien putkilinjien mittauksiin. GLM-antureiden kiinnitys mitattavaan putkeen onnistuu nykyisellä VARIOFIX-mallisella kiskolla, joka kiristetään ketjulla putken pintaan.

Jatkotutkimusehdotus kuuntelulaitteen osalta kattaa vuotojenetsinnän muiden voimalaitosten paineilmajärjestelmistä, sekä kuuntelulaitteen hyödyntämisen mekaanisessa kuuntelussa BS20-sensorilla ja LevelMeter-sovelluksella. BS20-ultraäänisensori soveltuu esimerkiksi laakeroitujen laitteiden kunnonvalvontaan, joissa kulumisen seurauksena pyörimisliike alkaa tuottamaan ultraäänitaajuuksia ennen korvakuulolla havaittavia ääniä. Tällöin kuluminen on jo melko suurta. Laitteella saadusta mittausdatasta pystytään arvioimaan esimerkiksi voitelukalvojen laatua sekä laakereiden kuntoa ja kulumista. Vuotojenetsintälaitetta voidaan tässä työssä käytetyillä ultraäänimikrofoneilla hyödyntää paineilman lisäksi myös muiden väliaineiden kuunteluun.

Virtausmittausten sekä vuotojenetsinnän lisäksi voimalaitosten paineilmajärjestelmien tehokkuutta pystyttäisiin parantamaan perehtymällä paineilman tuotantolaitteisiin tarkemmin ja optimoimalla esimerkiksi kompressoreiden ajojärjestystä turhien käynnistysten välttämiseksi. Kompressoreiden käyttöasteiden tasaamisella voi olla vaikutusta myös laitteiden käyttöikään sekä huoltojen helpottumiseen, kun käyttötunnit huoltojen välillä kulutetaan tasaisesti kompressoreiden kesken. Myös painetason alentamisen mahdollisuus olisi hyvä selvittää, sillä matalampaa painetasoa käytettäessä vuotojen määrästä sekä kompressoreiden käyttämästä sähköstä saataisiin rahallista säästöä.

Teknisissä piirustuksissa ja prosessikaavioissa olevia eroavaisuuksia sekä puutoksia löydettiin työn aikana muutamia, mutta kaavioiden paikkansapitävyyden arviointi oli hankalaa entuudestaan kohtalaisen tuntemattomassa voimalaitoksessa. Puutosten kirjaaminen vaatii huomattavasti kattavampaa käsitystä paineilmajärjestelmää ympäröivästä kokonaisuudesta, jotta venttiilien asennot sekä laitteiden sijainnit prosessikaavioissa ja voimalaitoksella ovat paremmin tiedossa. Suurin löydetty virhe prosessikaavioista oli uuden K6-pellettilaitoksen yhdyslinja SaA-laitoksen paineilmaputkeen. Pellettilaitoksella on käytössä oma paineilmajärjestelmä, johon hätätapauksessa voidaan ottaa paineilmaa SaB-paineilmaverkon kompressoreilta kaavioista puuttuneen yhdyslinjan kautta.

7 Yhteenveto

Insinööriyö Helen Oy:n Salmisaaren voimalaitoksella tehtiin voimalan paineilmajärjestelmästä. Paineilmavuotojen, paineilman kulutuskohteiden sekä todellisen kulutuksen

tarkempi selvittäminen koettiin tarpeelliseksi, sillä paineilmaverkon kunnosta ei ollut täsmällistä tietoa. Paineilmalinjoihin on tehty laitoksen elinkaaren aikana muutostöitä, vanhoja laitteita on poistettu ja uusia liitoksia on rakennettu voimalan pysytellessä tekniikan kehityksessä mukana.

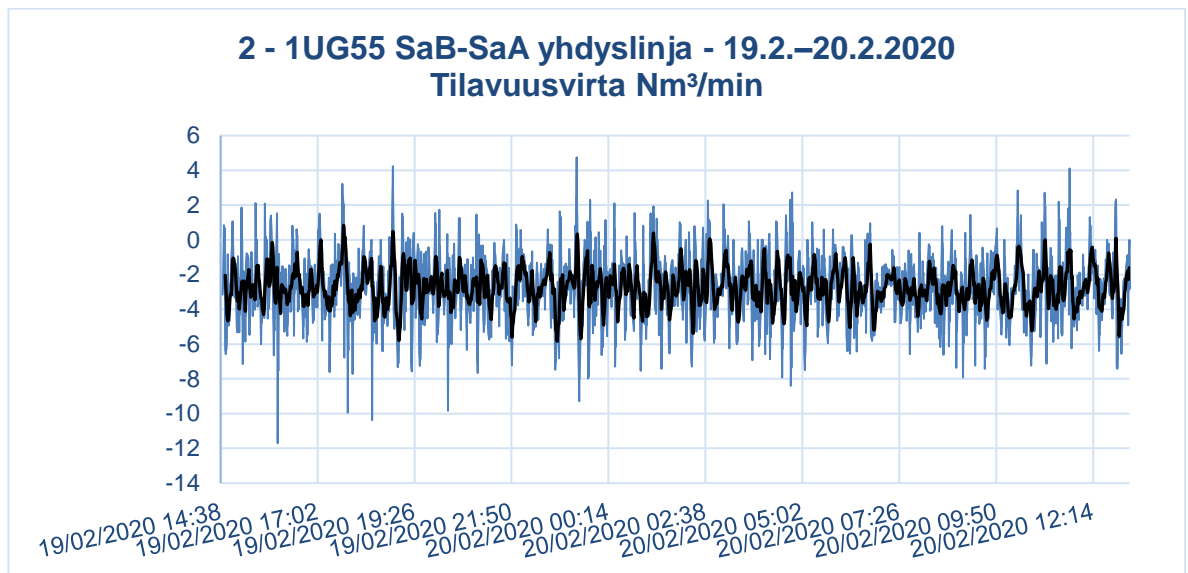
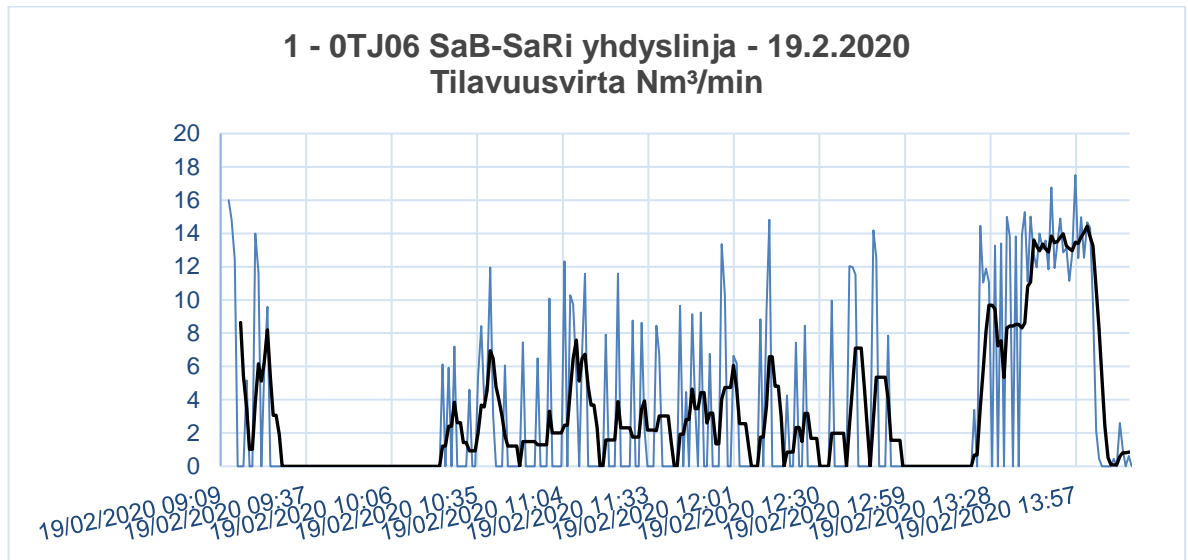
Työ suoritettiin ultraäänitekniikkaan perustuvilla laitteilla. Paineilmajärjestelmän runkoputkistoista suoritettujen virtausmittausten perusteella voitiin todeta siirrettävän Flexim Fluxus G601 -ultraäänivirtausmittalaitteen soveltuvan erilaisten kohteiden paineilmavirtojen lyhytaikaiseen seurantaan hyvin. Hankintaehdotuksen mukaisilla pienemmillä ultraääniantureilla virtausmittauksia voitaisiin suorittaa myös paineilmaverkon pienempikokoisista putkista, jotka kattavat suuren osan järjestelmän haaroista.

Paineilmavuotojen havaitsemiseen ja mittaamiseen käytettiin Sonotec Sonaphone -kuuntelulaitetta, joka hyödyntää ilman pyörteistä aiheutuvia ultraäänitaajuuksia. Kuuntelulaitteen todettiin soveltuvan meluisaan työympäristöön erityisen hyvin, joskin havaittujen paineilmavuotojen suuruuden arvioinnissa tuntui olevan parantamisen varaa. Voimalaitoksella käytettävästä, hieman tavallista korkeamman painetasosta johtuen jopa pienimmät paineilmavuodot luokiteltiin mittalaitteessa vakavimman kategorian vuodoiksi. Kuuntelulaitteen mekaanisten äänten kuuntelupäällä pystyttäisiin tulevaisuudessa kuuntelemaan liikkuvien laitteiden laakereiden kuntoa ja tunnistamaan mahdollinen huollon tarve aiempaa tehokkaammin. Voimalaitoksen paineilmajärjestelmästä löydettiin korjattavia paineilmavuotoja sekä saatiin lisää tietoa paineilman virtausmääristä. Virtausmittauksissa käytössä olleet anturit rajoittivat suunniteltujen mittauspisteiden määrän noin kolmannekseen, mikä osaltaan aiheutti jatkotutkimuksen tarpeen paineilmajärjestelmän kunnan kartoittamisessa.

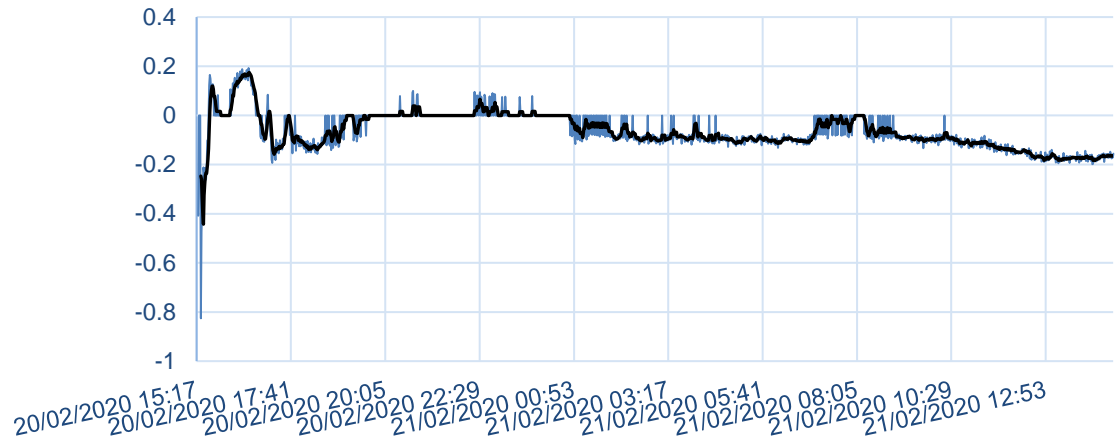
Tehtyjen mittausten perusteella todettiin Salmisaaren voimalaitoksen paineilmajärjestelmän olevan hyvässä kunnossa, mutta jatkotutkimus katsottiin tarpeelliseksi järjestelmän parantamiseksi entisestään. Paineilmavuotoja korjataan voimalaitoksen vuosihuoltojen yhteydessä sekä puuttuva SaA-laitoksen ja K6-pellettilämpölaitoksen välinen yhdyslinja lisätään kaavioihin. Virtausmittauksista saadut tiedot auttavat esimerkiksi kalibroimaan laitekohtaisia virtausantureita sekä jatkotutkimusten avulla saadaan kokonaisvaltainen käsitys paineilmaverkossa tapahtuvista virtauksista ja eri alueiden ilmankulutuksesta.

Lähteet

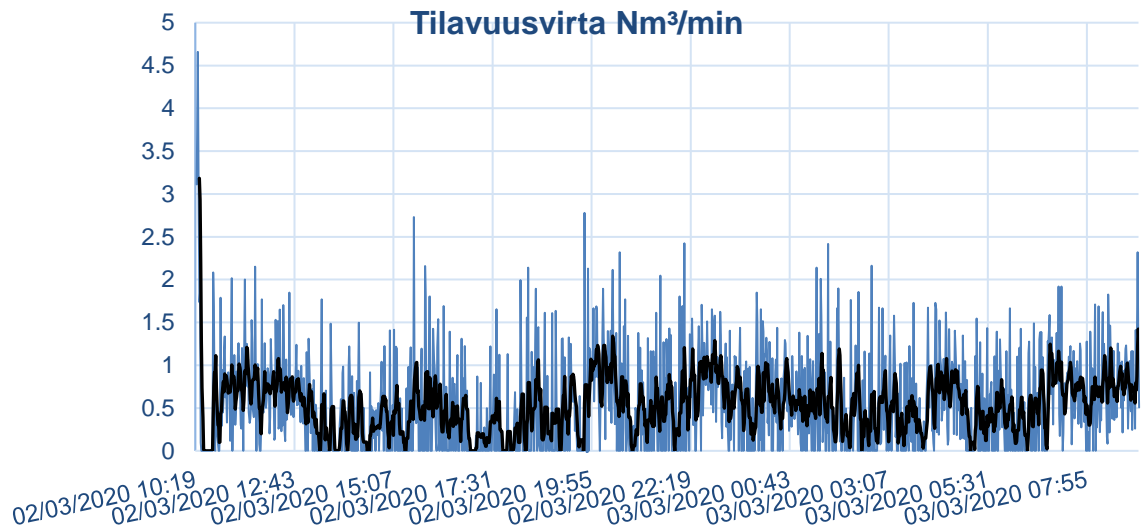
- 1 Historia. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/helen-oy/tietoa-meista/helen-oy-pahkinankuoressa/historia>>. Luettu 22.1.2020.
- 2 Liiketoiminta. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/helen-oy/tietoa-meista/helen-oy-pahkinankuoressa/liiketoiminta>>. Luettu 22.1.2020
- 3 Voimalaitokset. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/voimalaitokset>>. Luettu 22.1.2020
- 4 Toimintakertomus. 2020. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/vuosikertomus/vuosikertomus-2019/tilinp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s/toimintakertomus>>. Luettu 13.3.2020.
- 5 Salmisaaren voimalaitos. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/salmisaari>>. Luettu 22.1.2020
- 6 Salmisaaren voimalaitosalueen karttakuva. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/globalassets/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/salmisaari_kartta.jpg>. Haettu 22.1.2020
- 7 Juha Leppävuori. 2019. Helen Oy, Salmisaaren voimalaitos, Paineilmaraportti, 4.7.2018–16.1.2019. Sarlin Oy.
- 8 CompAir Ruuvikompressorit L160-L290 L160RS-L290RS. 2016. Sarlin Oy.
- 9 CompAir Ruuvikompressorit L55-L140 L55RS-L132RS. 2018. Sarlin Oy.
- 10 Pesonen, Sami. Prosessi-insinööri, Helen Oy, Helsinki. Keskustelu 22.1.2020
- 11 Ellman, Asko. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy.
- 12 Operating instruction, Fluxus G60*. 2017. FLEXIM Flexible Industriemesstechnik GmbH.
- 13 Sonaphone Ultrasonic Testing Device for Preventive Maintenance - User Documentation. 2018. Sonotec Ultraschallsensorik Halle GmbH.

Virtausmittausten tulokset

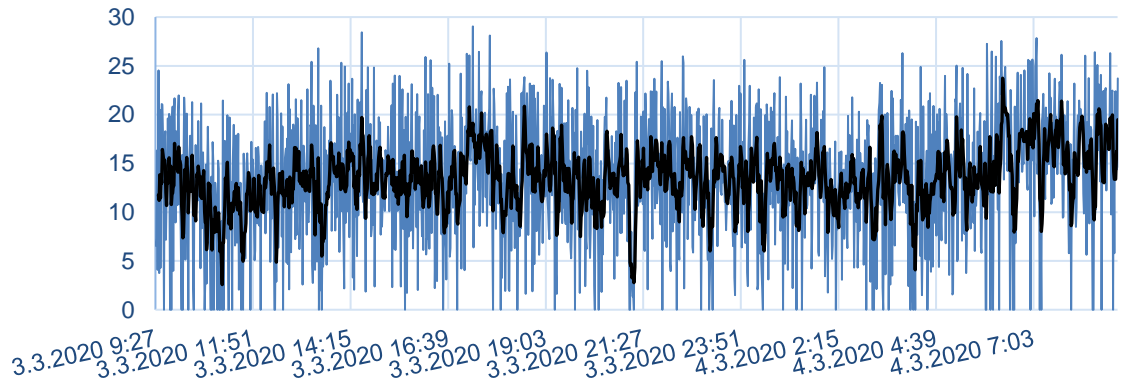
3 - 0US00 SaB-Vedenkäsittely - 20.2.–21.2.2020 Tilavuusvirta Nm³/min



4 - SaRi letkusuodattimet, 0TJ00 viereinen putki - 2.3.– 3.3.2020 Tilavuusvirta Nm³/min



5 - OTJ00 SaRi letkusuodattimet - 3.3.–4.3.2020 Tilavuusvirta Nm³/min



6 - OTH00 Kalkkisumuttimet - 4.3.–5.3.2020 Tilavuusvirta Nm³/min



1 (2)

Löydetyt paineilmaavuodot					Vuodot yhteensä:		0,878	m ³ /min =	1263,6	m ³ /vrk				
Pvm	Määrä (m ³ /min)	* = kts Muuta Määrä (l/min)	dB	p (bar)	Rakennus	Alue	Ilman laatu	Tunnus	Kuvaus	Prioriteetti	Korjaustarve?			
12.2.2020	0,028	28	88.2	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I		medium	yes			
12.2.2020	0,012	12	68.7	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I	7WT20S114	medium	yes			
12.2.2020	0,022	22	85.3	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I		medium	yes			
12.2.2020	0,012	12	67.7	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I		low	yes			
12.2.2020	0,014	14	79.6	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I	7US55S002	low	yes			
12.2.2020	0,000	13*	77.0	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I		low	no			
12.2.2020	0,058	58	96.1	8.3	SaA	Kattilahalli	Hoitotaso +10,80m	I		low	yes			
12.2.2020	0,028	28	88.2	8.3	SaA	Kattilahalli	Hoitotaso +10,80m	I		low	yes			
12.2.2020	0,010	10	51.7	8.3	SaA	Kattilahalli	Hoitotaso +10,80m	I	7WL12	low	no			
12.2.2020	0,011	11	60.6	8.3	SaA	Kattilahalli	Hoitotaso +10,80m	I	7WL22	low	no			
12.2.2020	0,013	13	77.4	8.3	SaA	Kattilahalli	Hoitotaso +10,80m	I	7WL23	medium	yes			
13.2.2020	0,013	13	70.3	8.3	SaA	Kattilahalli	1. krs	I	7UG50S002	medium	yes			
13.2.2020	0,011	11	59.3	8.3	SaA	Kuonanlastaus	1. krs	I		medium	yes			
14.2.2020	0,014	14	80.9	8.3	SaA	Hiilenjakotaso	5. krs	I		low	yes			
14.2.2020	0,000	39*	91.6	8.3	SaA	Kattilahalli	Hoitotaso +16.90 m	I		low	no			
2.3.2020	0,011	11	60.9	8.3	SaB	Apukattilahalli	Hoitotaso	I	1UG55F001	medium	yes			
2.3.2020	0,011	11	58.1	8.3	SaB	Kattilahalli	6. krs	Hoitotaso	I	1NL31S001	low	yes		
2.3.2020	0,013	13	76.8	8.3	SaB	Kattilahalli	6. krs	Hoitotaso	I	1NL34S001	low	yes		
4.3.2020	0,012	12	65.2	8.3	SaB	Kattilahalli	5. krs	I	1NL23S001	low	yes			
4.3.2020	0,010	10	50.4	8.3	SaB	Kattilahalli	5. krs	I	1NL13S001	low	yes			
4.3.2020	0,010	10	50.6	8.3	SaB	Kattilahalli	7. krs	Hoitotaso	I	1NL44S001	low	yes		
4.3.2020	0,011	11	56.9	8.3	SaB	Kattilahalli	7. krs	Hoitotaso	I	1NL41S001	low	yes		
4.3.2020	0,011	11	57.5	8.3	SaB	Kattilahalli	5. krs	I	1NL22S001	low	yes			
4.3.2020	0,011	11	58.9	8.3	SaB	Kattilahalli	5. krs	I	1NL12S001	low	yes			
4.3.2020	0,012	12	63.6	8.3	SaB	Kattilahalli	5. krs	I	1NL11S001	low	yes			
4.3.2020	0,012	12	62.3	8.3	SaRi	Pöylähetimet	2. krs	I	0TT22S009	low	no			
4.3.2020	0,013	13	76.7	8.3	SaRi	Pöylähetimet	2. krs	I	0TT12	medium	yes			
5.3.2020	0,012	12	61.4	8.3	SaRi	Kompressorihuone	1. krs	T	0TH00P001	low	yes			
5.3.2020	0,011	11	60.6	8.3	SaRi		1. krs	I	0KC003	low	yes			
5.3.2020	0,012	12	63.4	8.3	SaRi		1. krs	I	0KC003	low	yes			
5.3.2020	0,012	12	62.6	8.3	SaRi		1. krs	I	0KC003	low	yes			
5.3.2020	0,012	12	63.0	8.3	SaRi		3. krs	T	0TT10	low	yes			
5.3.2020	0,010	10	45.7	8.3	SaRi		3. krs	T	0KH55 ja 54	low	yes			
5.3.2020	0,006	6	57.8	2.8	SaRi		3. krs	T	0TK16P101	low	yes			

2 (2)

5.3.2020	0,006	6	64.0	2.9	SaRi		3. krs		T		Ei putkitunnusta, S002 varoventtiili.	medium	yes
5.3.2020	0,007	7	67.9	3.1	SaRi		3. krs		T	0TK01 tai 02	Paineensäätöventtiili.	low	yes
5.3.2020	0,010	10	49.4	8.3	SaRi		4. krs		T		Reaktori 1 ääninuohoin, magneettiventtiilin liitos.	low	yes
5.3.2020	0,011	11	53.9	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs		T	0TH12S002	Suutin 2 paineilma sulkuv. letkuliitos.	low	yes
5.3.2020	0,012	12	66.4	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs		T	0TH11S002	Suutin 1 paineilma sulkuv. letkuliitos.	medium	no
6.3.2020	0,013	13	75.9	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs		I	0TF10S004	Viereinen boksi, muoviletkun liitos. Reaktori 2 hätäjä	medium	yes
6.3.2020	0,012	12	66	8.4	SaRi	Kalkkisumuttimet	6. krs		I	0TH24	Kalkkisumuttimen kansi, pystyputki.	high	yes
6.3.2020	0,014	14	79.7	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs		I	0TP04S005	Muoviletku irti.	high	yes
6.3.2020	0,013	13	76.8	8.3	SaB	Sähkösuodattimet	1. krs		I		Vedenerotin seinällä painekuljettimen 2 lähellä.	medium	yes
6.3.2020	0,012	12	64.0	8.3	SaB	Sähkösuodattimet	1. krs		I		Putkiliitos vedenerottimen lähellä. Painekuljettimer	medium	yes
10.3.2020	0,035	35	90.5	8.3	SaB	Öljynkäsittely	1. krs		T		Suodatin/vedenerottimen painemittarin juuri.	high	yes
10.3.2020	0,013	13	70.5	8.3	SaB	Tuhkasiilot	2. krs		I		Käsiventtiilin liitos.	high	yes
10.3.2020	0,013	13	72.1	8.3	SaB	Tuhkasiilot	2. krs		I	1UG58S001	Ohjausilman sulkuventtiili, tuhkasiilo 2	high	yes
10.3.2020	0,014	14	80.8	8.3	SaB	Tuhkasiilot	2. krs		I	1UG58S001 lähellä	Pienen sylinterin letkussa reikä.	high	yes
10.3.2020	0,012	12	67.5	8.3	SaB	Tuhkasiilot	2. krs		I		Möyhennysoilmakompressorien välissä tukin kannak	high	yes
10.3.2020	0,011	11	58.1	8.3	SaB	Tuhkasiilot	2. krs		I	1US33S001	Venttiilin lähellä pienen kupariputken liitos.	medium	yes
10.3.2020	0,011	11	58.3	8.3	Murskarakennus	Tuhkasiilot	1. krs		I		Magneettiventtiilin lähellä liitos.	low	yes
10.3.2020	0,012	12	62.4	8.3	SaB	Tuhkasiilot	Yläkerta		I	1UG52S008 (?)	Käsiventtiili ennen lopputuotesiilon puhdistusilma	low	yes
10.3.2020	0,012	12	62.2	8.3	SaB	Tuhkasiilot	Yläkerta		I		Tuhkasiilon puhdistusilma.	medium	yes
12.3.2020	0,010	10	55.2	7.8	SaHi	C2			I	0PH10	Siilo 1 paineilmasuodattimen letkuliitos.	low	yes
12.3.2020	0,010	10	52.8	7.8	SaHi	C2			I	0PH60?	Siilo 2, purkain 2, y-säätö, sylinterin letkuliitos.	medium	yes
12.3.2020	0,012	12	66.0	7.8	SaHi	C2			I	0PH40	Siilo 4, käsiventtiilin liitos suodattimien jälkeen ennt	high	yes
12.3.2020	0,011	11	60.5	7.8	SaHi	C2			I	0PH40	Siilo 4, T-haaran liitos ennen painemittaria.	medium	yes
12.3.2020	0,012	12	70.4	7.8	SaHi	C3			I	0PH06S50x	Pystynostin tekn. jakelupiste, kynsiliitin.	medium	yes
12.3.2020	0,110	110	103.1	8.3	SaHi	Pystynostin	Hoitotaso		I	0PH90	Pölynpoistolalle tuleva muoviputken liitos.	high	no
12.3.2020	0,013	13	75.2	8.3	SaHi	C1			I	0PH95	Trippipelti, siilo 4, kierreltiitos ennen suodatinta.	medium	yes
	0,000												
	0,000												

LeakExpert-raportti

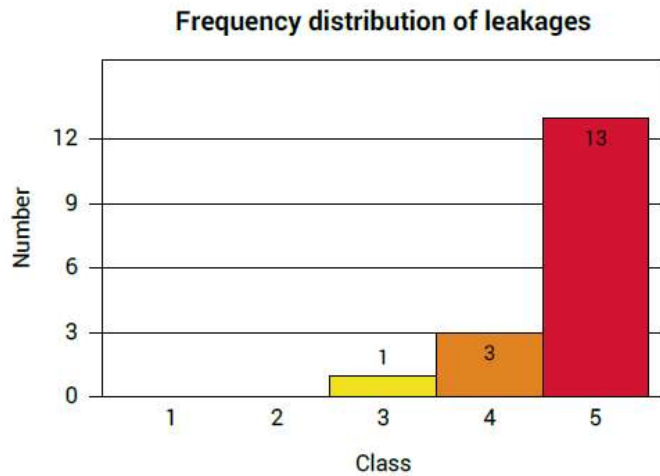
LEAKEXPERT2020-03-10_11-49-56-LE-Report-SaRi

2020-03-10

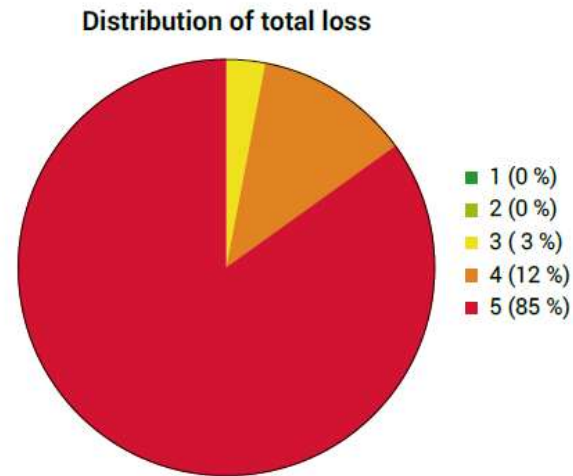
Author	Sakari
Device	SONAPHONE (10750)
Sensor	BS10 (10631)
LeakExpert	Version 1.4.1

Folder	SaRi
Text note	-
Number of leakages	17 (17 rated)
First measurement	2020-03-04 14:52:58
Last Measurement	2020-03-06 12:04:36
Total loss	180 l/min
To be repaired?	15
Repaired	0

OVERVIEW 2020-03-10_11-49-56-LE-Report-SaRi





Class 1: ≤ 1 l/min
Class 2: ≤ 2.5 l/min
Class 3: ≤ 5.8 l/min
Class 4: ≤ 10 l/min
Class 5: > 10 l/min





The process of estimating the amount of leakage in a compressed air system is part of DIN EN ISO 11011. This process provides data for energy management systems in accordance with DIN EN ISO 50001. In this report, the total loss is indicated in l/min and can be used to estimate the financial losses associated with the leakage, if data on the energy costs incurred when generating 1m³ of compressed air is available.

Disclaimer: SONOTEC has developed a process for classifying and estimating the total leakage losses of a system to the best of its knowledge and ability, based on flow acoustics method. SONOTEC shall in no way be held liable for the results generated through the application of this process, nor for any decisions made on the basis of such results. All actions taken by the end user based on the results are the sole responsibility of the end user, who accepts full liability for any such actions.



3 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date
5	10750-030	12	62	8.2	SaRi	Pöylähettimet	2. krs		Air	low	no	no		
	2020-03-04 14:52:58				Description: OTT22S009, lisäilmaventtiilin magneettiventtiili. Ääni kuului mutta ei tuntunut vuotoa.							repair remark:		
IMG_0028.JPG														
														
5	10750-031	13	77	8.2	SaRi	Pöylähettimet	2. krs		Air	medium	yes	no		
	2020-03-04 15:03:14				Description: OTT12, sylinterin letkussa reikä.							repair remark:		
IMG_0029.JPG														
														



4 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date	
5	10750-032	12	61	8.3	SaRi	Kompressorihuone	1. krs		Air	low	yes	no			
		2020-03-05 12:28:03			Description: 0TH00P001, mutterin liitos.							repair remark:			
		IMG_0030.JPG													
															
5	10750-033	11	61	8.3	SaRi		1. krs		Air	low	yes	no			
		2020-03-05 12:32:26			Description: 0KC003 kaapin paineensäädin, lähtöputken mutteri. Ääni kuului mutta vuoto ei varma.							repair remark:			
		IMG_0031.JPG													
															



5 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date
5	10750-034	12	63	8.3	SaRi		1. krs		Air	low	yes	no		
	2020-03-05 12:35:30 Description: 0KC003 kaapille menevä putki, venttiilin liitos.										repair remark:			
IMG_0032.JPG														
														
5	10750-035	12	63	8.3	SaRi		1. krs		Air	low	yes	no		
	2020-03-05 12:38:12 Description: 0KC300 yläpuolella oleva hana. Ääni kuului mutta ei yltänyt tunnustella.										repair remark:			
IMG_0033.JPG														
														



6 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date
5	10750-036	12	63	8.3	SaRi		3. krs		Air	low	yes	no		
2020-03-05 12:51:46		Description: OTT10, kiertöpölysiilon ääninuohoimen venttiilin liitos. Ei varmuutta vuodosta, mutta ääni kuului.									repair remark:			
IMG_0034.JPG														
4	10750-037	9.5	46	8.3	SaRi		3. krs		Air	low	yes	no		
2020-03-05 12:57:15		Description: 0KH55 ja 54 kaappien välisää oleva venttiili. Ääni kuului mutta ei tuntunut mitään.									repair remark:			
IMG_0035.JPG														



7 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date
3	10750-038	5.5	58	2.8	SaRi		3. krs		Air	low	yes	no		
	2020-03-05 13:01:57 Description: OTK16P101, magneettiventtiilin(?) kierre.											repair remark:		
IMG_0036.JPG														
														
4	10750-039	6.0	64	2.9	SaRi		3. krs		Air	low	yes	no		
	2020-03-05 14:20:32 Description: Ei putkitunnusta, S002 varoventtiili.											repair remark:		
IMG_0037.JPG														
														



8 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date
4	10750-040	6.5	68	3.1	SaRi		3. krs		Air	low	yes	no		
	2020-03-05 14:26:52 Description: Paineensäätöventtiili. Kova ääni, mutta ei tuntuva vuotoa. repair remark:													
IMG_0038.JPG														
														
5	10750-041	10	49	8.3	SaRi		4. krs		Air	low	yes	no		
	2020-03-05 14:33:00 Description: Reaktori 1 ääninuohoin, magneettiventtiilin liitos. Vaikea yltää kohteeseen tarkan paikan näkemistä varten. repair remark:													
IMG_0039.JPG														
														


9 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date	
5	10750-047	11	54	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs	Instr.ilma	Air	low	yes	no			
2020-03-05 14:55:59					Description: 0TH12S002, suutin 2 paineilma sulkuv. letkuliitos. Ääni kuului mutta vuotoa ei tunnut.						repair remark:				
IMG_0045.JPG															
															
5	10750-049	12	66	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs	Instr.ilma	Air	medium	no	no			
2020-03-05 15:00:36					Description: 0TH11S002, suutin 1 paineilma sulkuv. letkuliitos.						repair remark:				
IMG_0047.JPG															
															

10 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date	
5	10750-051	13	76	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs	Instr.ilma	Air	medium	yes	no			
2020-03-06 11:40:56					Description: 0TF10S004 viereinen boksi, muoviletkun liitos. Reaktori 2 hätäjäähdytys.							repair remark:			
IMG_0049.JPG															
															
5	10750-060	12	66	8.3	SaRi	Kalkkisumuttimet	5. krs	Työilma	Air	high	yes	no			
2020-03-06 11:58:58					Description: 0TH24, kalkkisumuttimen kansi, pystyputki.							repair remark:			
IMG_0058.JPG															
															

11 (11)

Evaluation	Id	Loss (l/min)	Level (dB)	Pressure (bar)	Building	Area	Asset	Component	Gas	Priority	To be repaired?	Repaired	Repair technician	Repair date
5	10750-064	14	80	8.3	SaRi	Kalkkisummittimet	5. krs	Instr. ilma	Air	high	yes	no		
	2020-03-06 12:04:36					Description: OTP04S005, muoviletku irti.					repair remark:			
	IMG_0062.JPG													
														
Sum		182.4									15/17	0/17		