

Ville Salanne

PROSESSILAITOKSEN PAINEILMAN VUOTOHÄVIÖIDEN KARTOITUS

PROSESSILAITOKSEN PAINEILMAN VUOTOHÄVIÖIDEN KARTOITUS

Ville Salanne
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Ville Salanne

Opinnäytetyön nimi: Prosessilaitoksen paineilman vuotohäviöiden kartoitus

Työn ohjaajat: Juha Männistö ja Ville Kurikkala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2023

Sivumäärä: 44 + 1 liite

Opinnäytetyön tavoitteena oli paikantaa mahdolliset paineilmanvuodot Umicore Finland Oy:n tehtaalla kahdelta eri osastolta käyttäen apuna ultraäänikameraa. Paineilmavuotoja ei tehtaalla vuosiin ollut etsitty ultraäänitekniikkaa käyttäen, jolloin tarve vuotokartoitukselle toimeksiantajalla syntyi. Tehdas oli koko opinnäytetyön normaalissa tuotannossa pientä katkoa lukuun ottamatta. Työssä selvitettiin kamerasta aiheutuvat hyödyt yhtenä kunnossapidon työkaluna mutta ennen kaikkea vuodoista aiheutuvat vuosittaiset kustannukset. Vuotojen kustannusarviot laskettiin Sarlinin paineilmanvuotolaskurilla ja kaikki tiedot kerättiin yhteiseen Excel-taulukkoon.

Paineilmaan tuotetaan paineilmakompressorilla, minkä jälkeen paineilmaa kuivataan jälkikäsitteilylaitteilla. Paineilmaa varastoidaan paineilmasäiliöön, josta se kuljetetaan runkolinjoja pitkin paineilman kulutuskohteille ja pienempiin paineilman haaroihin. Työn teoriaosuudessa perehdytään myös paineilman kunnossapitoon ja sen toteuttamiseen, paineilmanvuotojen mittaustyökaluihin sekä ultraäänikameran ominaisuuksiin.

Lopputulokseksi saatiin hyvä yleiskuva kahden osaston paineilmanvuodoista sekä niiden aiheuttamista kustannuksista. Jokainen paineilmanvuoto on turha ja vuosittaisten kustannusten takia kannattava korjata. Ultraäänikamera oli tehdasympäristössä helppokäyttöinen ja selviytyi hyvin mitauksista taustamelusta huolimatta. Vuotojen paikantaminen käyttäen perinteisiä menetelmiä on haastavaa. Ultraäänikameralla vuotojen paikantaminen oli huomattavasti nopeampaa ja tarkempaa. Paineilmavuotojen paikantaminen koko tehtaasta toisi kokonais kuvan tehtaalla vuodoista ja niistä aiheutuvista kustannuksista.

Asiasanat: paineilmanvuoto, kunnossapito, ultraäänikamera

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical Engineering, Production engineering

Author: Ville Salanne

Title of thesis: Survey of Compressed Air Leakage Losses in a Process Facility

Supervisors: Juha Männistö and Ville Kurikkala

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2023

Number of pages: e.g. 44 + 1 appendix

The purpose of the thesis was to locate potential compressed air leaks from two different departments at the Umicore Finland Oy factory using an ultrasonic camera. Compressed air leaks had not been actively sought using ultrasonic technology in the factory for years, which led to the need for leak detection for the client. The factory was in normal production throughout the thesis, except for a brief interruption. The benefits of the camera as a maintenance tool and the annual costs associated with leaks were to be determined. The cost estimates for the leaks were calculated using Sarlin's compressed air leak calculator, and all the data was collected in a shared Excel spreadsheet.

Compressed air is produced by a compressed air compressor, followed by drying the air with post-treatment equipment. The compressed air is stored in a compressed air tank, from which it is transported through main pipelines to the consumption points and smaller branches. The theoretical part of the work also delves into the maintenance of compressed air, its implementation, tools for measuring air leaks, and the features of the ultrasonic camera.

The result provided a comprehensive overview of compressed air leaks in the two departments and the associated costs. Each compressed air leak is unnecessary, and due to the annual costs, it is economically viable to repair them. The ultrasonic camera was user-friendly in the factory environment and performed well in measurements despite background noise. Locating leaks using traditional methods is challenging; however, with the ultrasonic camera, leak detection was significantly faster and more accurate. Identifying compressed air leaks throughout the entire factory would provide a better understanding of the factory's leaks and the costs associated with them.

Keywords: maintenance, compressed air leak, ultrasound camera

SISÄLLYS

SANASTO.....	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Opinnäytetyön lähtökohta.....	7
1.2 Umicore.....	8
2 PAINEILMA.....	9
2.1 Paineilmajärjestelmä.....	9
2.1.1 Paineilmakompressorit.....	10
2.1.2 Paineilman jälkikäsitteily.....	12
2.1.3 Paineilmasäiliö.....	13
2.1.4 Paineilmaverkko.....	13
2.1.5 Venttiilit ja toimilaitteet.....	14
2.2 Paineilmajärjestelmien kunnossapito.....	17
2.3 Paineilmavuodot.....	19
2.3.1 Vuotojen tunnistaminen.....	20
2.3.2 Vuodoista aiheutuvat kustannukset.....	23
3 TEHTAAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ.....	24
3.1 Paineilman tuotto.....	24
3.1.1 Paineilmasäiliöt ja verkko.....	26
3.1.2 Paineilman ohjaus.....	27
3.2 Kunnossapito tehtaalla.....	27
3.3 Mittaukset tehtaalla.....	28
3.4 Mittaustulokset.....	37
3.5 Tulosten arviointi.....	39
4 YHTEENVETO.....	41
LÄHTEET.....	43
LIITTEET.....	45

SANASTO

hydrometallurginen jalostamo	metallien erottaminen malmeista vesikemian avulla, malmien rikastaminen ja kierrättäminen teollisuuslaitoksessa
instrumentointi-ilma	toimilaitteille suunnattu ohjausilma
katodiprekursori	akkumateriaalien valmistamisessa käytettävä katodin esiaste
työkalu ilma	paineilmatyökaluille ja -pisteille suunnattu ilma

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Kokkolassa sijaitseva Umicore Finland Oy, joka kuuluu maailmanlaajuiseen Umicore-konserniin. Kokkolassa sijaitsevassa tehtaassa valmistetaan akku-materiaaleja, joita käytetään pääasiassa raaka-aineena elektroniikka- ja autoteollisuuden akuissa. (Umicore 2023a.) Opinnäytetyöni ohjaajana on toiminut yrityksen puolesta kunnossapitopäällikkö Ville Kurikkala ja Oulun ammattikorkeakoulusta opettaja Juha Männistö.

Opinnäytetyössä etsitään yrityksen paineilmaverkoston mahdollisia vuotoja ultraäänikameraa käyttäen. Lisäksi työssä laaditaan mahdollisten vuotojen korjaussuunnitelmat ja tehdään työtilaukset SAP-toiminnanohjausjärjestelmään tehtaan omalle kunnossapidolle. Tehdas on ollut käynnissä normaalisti koko opinnäytetyön, lukuun ottamatta pientä katkoa. Tarkoituksena on ollut saada myös paineilmavuotojen kustannusarvio. Opinnäytetyö rajattiin koskemaan vain kahta tehtaan osastoa, koska tehdas toimii laajalla alueella. Kyseiset osastot ovat tehtaan suurimmat.

Opinnäytetyössä kuvataan paineilmajärjestelmää yleisellä tasolla, sen käyttökohteita, ultraäänikameran käyttöä tehdasympäristössä sekä vuotokohtien kuvaamisessa käytetyn kameran ominaisuuksia. Paineilmavuotoja ja niistä aiheutuvia kustannuksia käydään myös teoriassa läpi.

1.1 Opinnäytetyön lähtökohta

Yrityksen toimeksiantona tuli käydä tehtaan paineilmaverkostoa läpi vuotojen varalta. Tehtaan paineilmaverkostoa ei useaan vuoteen ollut tutkittu paineilmavuotojen varalta ultraäänikameralla ja siksi haluttiin nähdä kameran käytön etuja kunnossapidon työkaluna.

Paineilma on tehtaalle välttämätön voimanlähde. Tehtaalla käytetään paineilmaa prosessissa ja sen toimilaitteissa vuorokauden ympäri. Toisinaan paineilmaa käytetään myös kunnossapidon voimanlähteenä. Paineilmaverkosto on laaja, koska käyttökohteita on paljon ja laajan verkoston vuoksi toimilaitteisiin sekä paineilmalinjoihin syntyy väistämättä vuotokohtia. Tuotannon ollessa käynnissä paineilmavuotojen paikantaminen aistinvaraisesti on hankalaa ja muodostuu siksi ongelmaksi, ja vuodot havaitaan useasti vasta sitten, kun jokin toimilaite lakkaa toimimasta.

1.2 Umicore

Umicore on materiaalitekologiaan ja materiaalien kierrätykseen erikoistunut globaali yritys. Materiaalien kierrätys ja uudelleen käyttö kuuluvat yrityksen päätoimintoihin. Yrityksellä on vahva asiantunteminen materiaalitieteiden, kemian ja metallurgian aloilta. Umicore työllistää noin 11 500 henkilöä yhteensä 44 eri toimipaikalla. (Umicore 2023b.)

Umicore Finland Oy on Umicore omistuksessa oleva korkean automaatioasteen omaava hydro-metallurginen jalostamo. Jalostamo sijaitsee Kokkolan suurteollisuusalueella Suomen länsirannikolla ja se on suurin kobolttin jalostamo Kiinan ulkopuolella sekä samalla merkittävä katodiprekursorien eurooppalainen valmistaja. Tuotantotoiminta Kokkolassa on alkanut vuonna 1968, ja vuonna 2019 Umicore osti toiminnan ja liitti sen osakseen konserniaan. Umicore Finland Oy työllistää tällä hetkellä yli 350 henkilöä. (Umicore 2023a.)

Kokkolassa valmistetaan pääasiassa kobolttipohjaisia tuotteita akkuteollisuuden tarpeisiin. Katodiprekursorit, jotka valmistetaan Kokkolassa, muokataan Umicoren muissa tuotantolaitoksissa aktiivisiksi katodimateriaaleiksi. Erikoisosaaminen ja kobolttin jalostus huippulaatuisiksi kemikaaleiksi perustuu vahvaan tutkimus- ja kehitystyöhön sekä vuosikymmenten kokemukseen alalta. (Umicore 2023a.)

Umicore Finland Oy:n tuotantoprosessissa korostuvat useat keskeiset vaiheet. Nämä vaiheet sisältävät raaka-aineiden käsittelyn, niiden jalostamisen, tuotteiden valmistuksen, sekä vahvan painotuksen tutkimus- ja kehitystyöhön. Lisäksi prosessiin kuuluvat tuotteiden toimitus asiakkaille ja tekninen asiakaspalvelu. Tuotannon ja prosessien tukena on lisäksi muitakin keskeisiä toimintoja. Nämä toiminnot kattavat laboratorion, henkilöstöhallinnon, tietohallinnon, taloushallinnon, tehdaspalvelut sekä EHSQ-toiminnot, jotka liittyvät ympäristöön, terveyteen, turvallisuuteen ja laatuun. (Kurikkala 2023.)

2 PAINEILMA

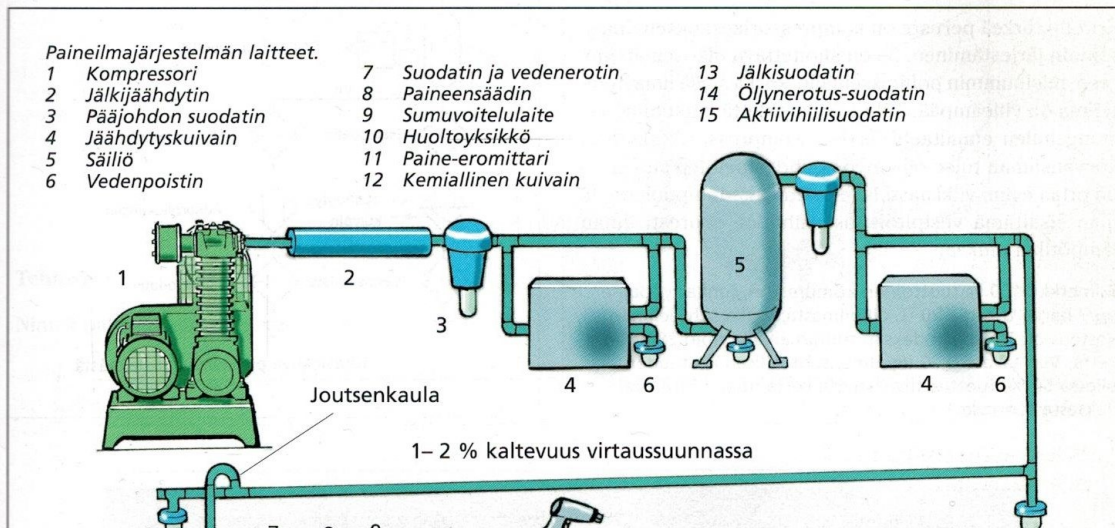
Paineilman käyttö on lähes poikkeuksetta jokaiselle tehtaalle ja prosessilaitokselle välttämätön asia. Paineilmajärjestelmät ovat erilaisia, johtuen tehtaan koosta ja tarvittavista sovelluksista, jossa paineilmaa käytetään.

Paineilmaa on käytetty teollisuudessa jo 1800-luvun loppupuolelta lähtien. Se on ihmiselle energiamuodoista vaarattomin. Paineilma on ylipaineistettua ilmaa, joka staattisesti tai kineettisesti kokoon puristettu haluttuun paineeseen. Ylipaineistettua ilmaa on silloin, kun sen paine on yli normaalin ilmakehän aiheuttaman paineen. Yleisesti paineilmaa käytetään erilaisissa toimilaitteissa ja sylindereissä liikkeiden luomiseen. Paineilmaa voidaan myös hyödyntää hienojakoisten aineiden siirtämisessä eri sijainneista toisiin, esimerkiksi ruiskumaalauksessa ja hiekkapuhalluksessa. Kunnossapidossa käytetään usein erilaisia paineilmatyökaluja. (Ellman ym. 2002, 7–8, 41.)

Etuina paineilman käytössä ovat puhtaus, nopeiden liikkeiden toteuttaminen, komponenttien edullisuus ja järjestelmän huollon yksinkertaisuus sekä muunneltavuus, verrattuna esimerkiksi hydraulikka tai sähkökäyttöiseen järjestelmään. Rajoittavia tekijöitä paineilmalle ovat yleisesti huono hyötysuhde, turvallisuussyistä alhainen käyttöpaine (1–10 bar) ja ilman kokoonpuristumisesta johtuva epätarkkuus. Tarkkojakin ohjauksia paineilmalla voidaan luoda, johtuen kustannuksista se on kallista. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 19.)

2.1 Paineilmajärjestelmä

Paineilmajärjestelmä on aina kokonaisuus, johon toimii monia erilaisia laitteita, jotka toimivat yhdessä (kuva 1). Toimiva paineilmajärjestelmään kuuluu yleensä kompressori, paineilman jälkikäsitteilylaitteet, paineilmasäiliö, paineilmaverkosto, toimintaa ohjaavat venttiilit ja toimilaitteet, kuten sylinterit ja moottorit. Paineilmajärjestelmän koko määräytyy paineilmaa käyttävien laitteiden kokojen ja lukumäärien mukaan. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 19.)



KUVA 1. Paineilmajärjestelmä (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 19)

Lähtökohtaisesti järjestelmää rakentaessa on syytä ottaa huomioon paineilman tuoton, kulutuksen ja tarvittavan työpaineen asettamat vaatimukset. Järjestelmän laajennettavuus ja käyttövarmuus ovat myös tärkeitä seikkoja, jotka täytyy huomioida suunnitteluvaiheessa. Lisäksi on tärkeää tietää, kuinka puhdasta paineilman tarvitsee olla, esimerkiksi instrumentointi ilmalla ja työkaluilmalla on eri vaatimukset useasti. Teollisuudessa ja tuotantolaitoksissa suuren kulutuksen vuoksi paineilma-järjestelmät ovat yleisesti käytössä. (Ellman ym. 2002, 41.)

2.1.1 Paineilmakompressorit

Kompressori on yleisnimitys laitteille, jotka kykenevät nostamaan kaasun painetta, tässä tapauksessa ilmanpainetta, vähintään kaksinkertaiseksi suhteessa alkuperäiseen imupaineeseen. Laitteita, jotka kehittävät pienempiä paineita, kutsutaan puhaltimiksi tai ahtimiksi. Puhaltimia käytetään esimerkiksi ilmanvaihtolaitteissa. Ahtimet, jotka pyörivät pakokaasujen liike-energialla käytetään parantamaan polttomoottoreiden hyötysuhdetta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

Paineilmakompressoreiden tuottomäärät vaihtelevat suuresti, riippuen kompressorin tyypistä ja tilavuudesta, muutamista litroista tuhansiin kuutiometriin minuutissa. Tuotto ilmoitetaan tilavuusvirtana, jonka yksikkö yleisimmin on l/min, m³/h tai m³/s. Paineiden ollessa pienet, kompressorit toimivat yksivaiheisina suorittaen ilman puristuksen kerralla haluttuun paineeseen. Lämpörasituksen vähentämiseksi, korkeammassa paineissa ilman puristus tehdään vaiheittain. Välijäähdyttimiä

sijoitetaan usein puristusvaiheiden väliin laskemaan puristuksessa lämmennyttä ilmaa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

Kompressoreita on monia rakenteeltaan erilaisia. Yleisimmät käytössä olevat kompressorityypit ovat lamelli-, -ruuvi- ja mäntäkompressorit. Lamelli- eli siipikompressorit on varustettu sylinterimäisellä pesällä, johon on laakeroitu epäkeskeisesti roottori ja siivet, jotka liikkuvat roottorin säteittäisissä urissa. Siipien väliin jää kammioita, joissa ilma siirtyy imupuolelta painepuolelle. Lamellikompressorissa ei ole imu-, eikä paineventtiileitä. Lamellikompressorit on usein öljyvoideltu. Etuina voidaan pitää alhaista melutasoa, yksinkertaista huollettavuutta ja pitkäikäisyyttä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 27, 30.)

Ruuvikompressorit ovat yleisesti teollisuudessa käytössä, kun tarvitaan kompressoreilta suurta tuottoa. Koska ilma kulkee imuaukosta sisään ja pakoaukosta ulos, ei tarvita imu-, paineventtiileitä lamellikompressorin tapaan. Ilman puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin jäävissä urissa. Roottorit ovat sijoitettu pesään, joka ympäröi niitä samalla tiivistäen roottoreiden ulko- ja päätypinnat. Ruuvikompressorit on hiljainen verrattuna mäntäkompressorin, johtuen ruuvien tasaisesti ilman puristamisesta ja näin ilman tuottaminen on sykkeetöntä. Ruuvikompressorit voivat olla joko öljyvoideltuja tai öljyttömiä, öljytön ruuvikompressorit on taasen hankintahinnaltaan kalliimpi. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 27–28.)

Mäntäkompressorissa käytetään imu- ja painepuolella venttiileitä. Ilma imetään sylinteriin imuventtiilin kautta ja se puristetaan paineventtiilin kautta painesäiliöön tai seuraavaan puristusvaiheeseen, jos kyseessä on monivaiheinen kompressorit. Kompressorityypeistä mäntäkompressorit on vanhin ja samalla meluisin, koska paineilman tuotto tapahtuu sykkeellä. Käyttöalue mäntäkompressorilla on hyvin laaja, yksivaiheisella kompressorilla voidaan saavuttaa 10 baarin paine, kun taas monivaiheisella jopa 1000 baarin paine. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 29.)

Paineilmakompressoreiden tuottoa voidaan säätää kahdella eri tapaa. Paineilmakompressorit voi olla varustettu magneettikytkimellä, jolloin kompressorin saavuttaessa haluttu paine, se menee kevennyksellä. Kevennyksellä ollessaan kompressorit ei turhaan tuota paineilmaa, jos kulutusta juuri sillä hetkellä ei ole, mutta sähkömoottori pyörii silti koko ajan. Lisäämällä kompressorin taajuusmuuntaja voidaan kierroksia säätää ja näin mukauttaa paineilmantuotto tarpeen mukaan. Tällöin kompressorin ei tarvitse käydä kevennyksikäyntiä. (Atlas Copco 2023.)

Kompressoreiden yleinen hyötysuhde on huono, johtuen järjestelmän useasta eri komponentista. Paineilmavuodot, joita ajansaatossa väistämättä syntyy, vaikuttavat myös hyötysuhteeseen. Ilmaa kasaan puristettaessa se lämpenee, jonka seurauksena sitä joudutaan jäähdyttämään. Jäähdyttäessä syntyy kondenssivettä, joka poistetaan jälkijäähdyttimillä. Energia joka paineilmasta saadaan, siirtyy siis suoraan lämpönä ympäristöön ja kondenssivetenä eteenpäin. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 30.)

2.1.2 Paineilman jälkikäsitteleminen

Paineilman jälkikäsittelemisen tarkoitus on muuttaa paineilman laatu sellaiseksi, että se sopii käyttökohdteisiin ja -laitteisiin. Paineilmaa tuottaessa siihen syntyy usein osittain haitallisia aineita kuten vettä, öljyä ja pölyä. Vesi on näistä haitallisista, jota kulkee kompressorin läpi ilmankosteuden mukana. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 33.)

Ilmankosteus kuvaa vesihöyryn määrää ilmamassassa. Ilmaa puristettaessa kompressorilla ilma-kehän ilma jäähtyy, josta syntyy vesihöyryä, joka kondensoituu vedeksi. Ilmankosteus on lämpötilasta riippuvainen ja siksi se on talvisin pienempi kuin kesäisin. Käyttöhäiriöiden ja vikojen estämiseksi vesi on poistettava paineilmajärjestelmästä. Vedestä tehokkaimmin pääsee eroon ennaltaehkäisevin keinoin ja kuivainten käytöllä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 34.)

Kuivainten käyttö paineilmajärjestelmissä on lähes välttämätöntä, jos kuivainta ei ole on vähintään paineilmajärjestelmässä oltava veden erottimia, joilla saadaan poistettua vettä paineilmalinjoista ja pienennetään linjojen jääntymisen riskiä talvisin. Erilaiset kuivaimet ovat tehokkaimpia ratkaisuja puhtaan paineilman tuottamiseen, jolloin vältetään veden aiheuttamat riskit. Nykyiset kuivaimet ovat jäähdytyskuivaimia tai ilman adsorptiokuivaimia. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 36.)

Jäähdytyskuivaimella ilmaa jäähdytetään kylmäkoneistolla noin +2 celsiusasteeseen ja siitä poistetaan tiivistynyt vesi. Tämän jälkeen ilma lämmitetään uudestaan lämmönvaihtimessa, jotta se saavuttaa lämpötilan, joka on lähellä huoneilman lämpötilaa. Tällä prosessilla kastepiste saadaan lähelle +2 celsiusastetta työpaineen ollessa 7 baaria eli +20 celsiusasteen ilman suhteellinen kosteus on enää 33 %. Paineilma sisältää edelleen vesihöyryä, mutta tiivistyminen nesteeksi tapahtuu vasta kun käyttölämpötila laskee alle +2 celsiusastetta. Jäähdytyskuivaus on yleisessä käytössä

mutta se ei ole menetelmänä yhtä tehokas kuin adsorptiokuivaus. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 36.)

Adsorptiokuivaus on tehokas vaihtoehto, kun paineilmaa käytetään alhaisissa lämpötiloissa. Tässä prosessissa kuivattava ilma kulkee vettä sitovan adsorptioaineen läpi, joka poistaa ilmasta suurimman osan sen sisältämästä vesihöyrystä. Adsorptioaineena tyypillisesti käytetään silicageeliä ja aktivoitua alumiinioksidia. Adsorptiokuivaimessa on tyypillisesti kaksi kuivauskolonnia, joiden käyttöä jaksotellaan vuorotellen automatiikan avulla. Kyseisellä kuivaimella päästään jopa -80 celsiusasteen kastepisteeseen. Yleisesti kuivaimilla saavutetaan parempi kestoikä paineilmalaitteille ja koneille ja niiden korjausten tarve vähenee. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 37.)

2.1.3 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliö kuuluu olennaisena osana paineilmajärjestelmään. Jokaisessa paineilmajärjestelmässä on yksi tai useampi paineilmasäiliö, riippuen paineilmajärjestelmän vaatimuksista. Säiliön koko määritellään kompressorikapasiteetin säätöjärjestelmän ja ilmantarpeen mahdollisten vaihteluiden mukaan. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 31.)

Paineilmasäiliön tulee tasoittaa kompressorin tai kompressorien aikaansaamat ilmasykkeet, jolloin paineilmaverkkoon voidaan toimittaa sysäyksetöntä paineilmaa tasaisesti. Mahdollisuuksien mukaan paineilmasäiliö tulee sijoittaa pihalle ja varjoisaan paikkaan, jolloin säiliö ei lämpenisi. Säiliö jäähdyttää myös paineilmaa, jolloin säiliön pohjalle kertyy lauhdevettä. Lauhdevesi poistetaan säiliön pohjassa olevalla manuaali-, - tai automaattitoimisella venttiilillä. Säiliö toimii luonnollisesti myös paineilman varastona ja se on varustettu useasti varoventtiilillä, jolla taataan, että säiliön päästessä ylipaineeseen ilma päästetään ilmakehään turvallisesti. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 31.)

2.1.4 Paineilmaverkko

Paineilmaverkon tehtävänä on siirtää kompressoreilla tuotettu paineilma paineilmasäiliöltä erilaisille kulutuskohteille kuten toimilaitteille ja paineilmapisteille. Runkoputkistosta paineilma johdetaan jakeluputkistoilla tarvittaville toimilaitteille ja ilmapisteille. Paineilmaputkisto kulkee yleensä tehtaan katto- tai seinärakenteissa, riippuen tilan korkeudesta, verkon rakenteesta ja paineilmapisteiden

sijoittelusta. Laajuus on riippuvainen paineilman siirtoetäisyydestä, kulutuskohteiden jakaantumisesta ja niiden tarvitsemasta ilmamäärästä. (Ellman ym. 2002, 59.)

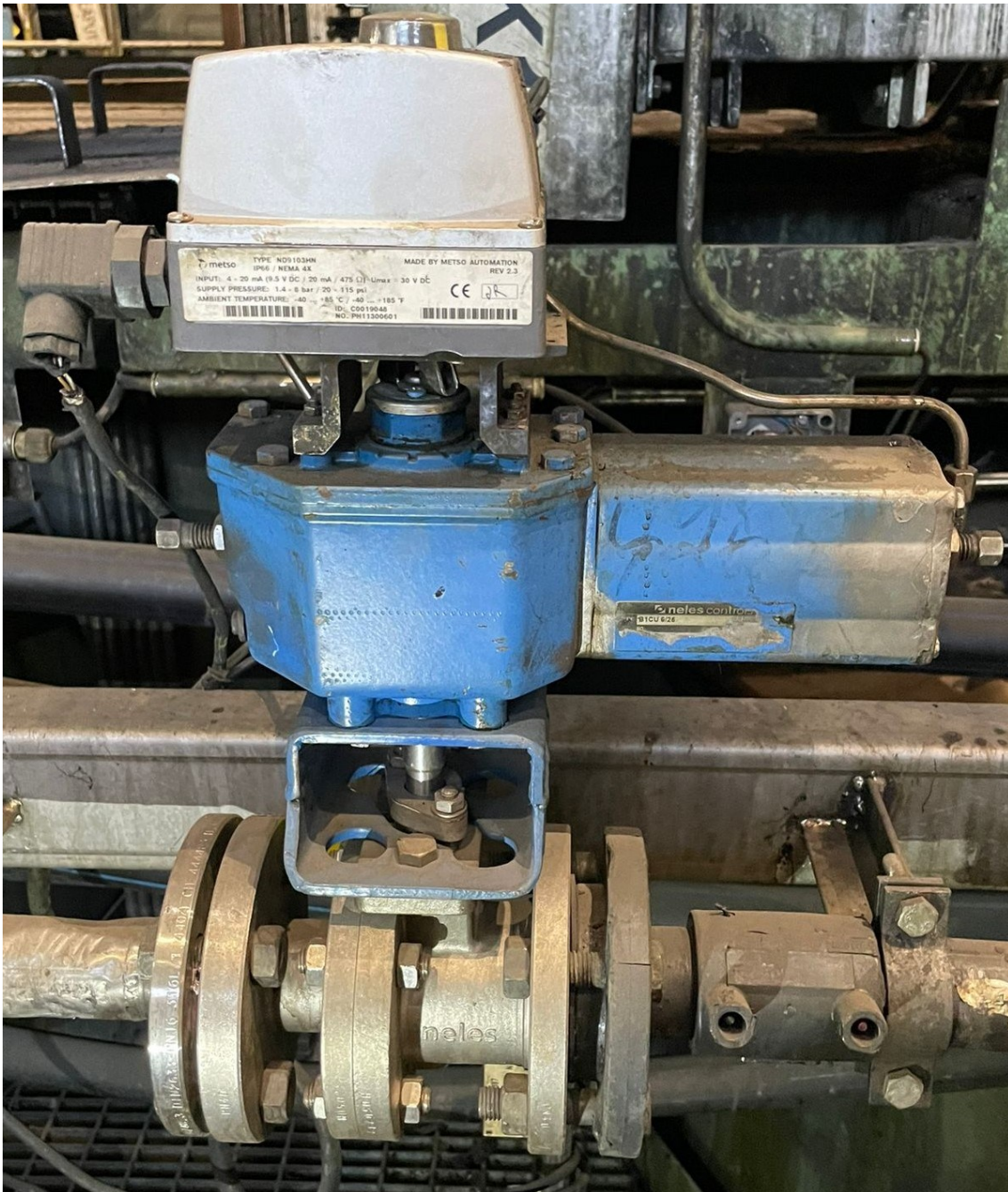
Verkosto tulee aina mitoittaa kulutuksen mukaan, eikä sitä saa koskaan alimitoittaa. Laaja paineilma-verkko toimii myös paineilman varastona paineilmasäiliön tapaan, ja sen pituus voi olla kymmenistä metreistä jopa kilometreihin. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 88.)

2.1.5 Venttiilit ja toimilaitteet

Pneumaattisissa järjestelmissä käytetään hyödyksi erilaisia venttiileitä. Venttiilit sijaitsevat painelähteen ja toimilaitteen välissä ohjaten pneumaattisia järjestelmiä. Venttiilit voidaan tavallisesti jakaa neljään eri ryhmään, suunta-, virta-, vasta-, ja paineventtiileihin. Suuntaventtiilit vastaavat ilmavirran ohjauksesta toimilaitteiden eri kammioihin ja toisten venttiilien sisäänmenoliitäntöihin. Tämä mahdollistaa toimilaitteiden suunnan säätämisen ja paineilmasignaalin hallinnan. Virtaventtiilit säätävät ilmavirran ja näin toimilaitteen nopeutta. Paineventtiilien kautta määritetään järjestelmän painetaso ja siten toimilaitteiden voima tai momentti. (Ellman ym. 2002, 75.)

Venttiileiden nimellispaine on tavallisesti 10 bar, mutta käytännön sovelluksissa työpaine on yleensä 5 bar. Venttiilien runkomateriaalina käytetään laajasti muoveja ja kevytvaluja, ja erikoistapauksissa saattaa käytössä olla myös ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Venttiilien liukupinnat valmistetaan kevytmetalliseoksista tai teräksestä. (Ellman ym. 2002, 75.) Teollisuudessa kemikaalien kanssa tekemisissä olevat venttiilit, esimerkiksi sulku-, ja säätöventtiilien rungot ovat lähes poikkeuksetta haponkestävää terästä, johtuen kuluttavista aineista ja ympäristö olosuhteista.

Kuvassa 2 on esimerkkikuva automaattisesta säätöventtiilistä, jossa sininen osa on venttiilin toimilaitte. Venttiilin rakenne muodostuu kolmesta osasta, jotka ovat asennoitin, toimilaitte ja venttiilin runko. Paineilma tuodaan yleensä asennoittimeen, josta se johdetaan toimilaitteeseen letkuilla tai putkilla. Venttiilin aukeamisnopeuteen vaikuttaa paine, joten sitä joudutaan usein säätämään kohteen mukaan sopivaksi. (Veijalainen 2023.) Pneumaattisille toimilaitteille yhteistä on toimilaitteen kuormasta riippuva liikenopeus. Raskaampi kuorma toimilaitteella tarkoittaa hitaampaa liikeno-
peutta. Säätämällä toimilaitteelle tulevaa ilman painetta voidaan muuttaa toimilaitteelta saatavaa voiman tai vääntömomentin suuruutta. (Ellman ym. 2002, 88.)



KUVA 2. Esimerkkikuva automaattisesta säätöventtiilistä

Toimilaitteita on monenlaisia, ja niitä käytetään eri tarkoituksiin ja sovelluksiin. Nämä laitteet voivat vaihdella kooltaan, toimintatavaltaan ja käyttökohteiltaan. Toimilaitteiden avulla paineilmajärjestelmässä saadaan aikaan mekaanista liikettä, joka on yleensä suoraviivaista tai pyörivää. Yksi yleisimmistä toimilaitteista on kaksitoiminen sylinteri toimilaitte (kuva 3). (Ellman ym. 2002, 88–89.)



KUVA 3. Esimerkkikuva kaksitoimisesta paineilmasylinteristä

Kaksitoimisessa sylinterissä nimensä mukaisesti työliikkeet toimivat molempiin suuntiin. Yhdistävä tekijä erilaisilla paineilmasylintereillä on suoraviivainen liike edestakaisin. (Ellman ym. 2002, 89.)

Teollisuudessa hyödynnetään usein koneissa paljesylinteriä (kuva 4) taakkojen nostamiseen. Kuvassa 4 on paljesylinteri, jolla nostetaan painavaa metallista kehikkoa ylös ja alas päin. Paljesylinterit ovat kumista valmistettuja, sylinterin kaltaisia suurikokoisia toimilaitteita. Paljesylinteri ei ole laakeroitu, joten kuluvia osia ei käytännössä ole. Etuna paljesylinterissä on suuri voima pienellä rakennepituudella ja näihin voidaan kohdistaa vääntävää tai leikkaavaa kuormitusta, joita ei tavalliseen paineilmasylinteriin voida kohdistaa ilman lisälaitteita. (Ellman ym. 2002, 96.)



KUVA 4. Esimerkkikuva paljesylinteristä painettuna kasaan

2.2 Paineilmajärjestelmien kunnossapito

Paineilmajärjestelmien kunnossapito mielletään useasti erinäisten rikkiäisten toimilaitteiden, venttiilien, sylinterien sekä palkeiden vaihtamiseksi. Paineilmajärjestelmän paineilmauotoja monesti on havaittu vain aistinvaraisesti sekä käyttäen apuna esimerkiksi vuodonilmaisu ainetta. Onneksi

markkinoille on tullut akustisia kameroita, eli ultraäänikameroita, joiden avulla paineilmuotojen havainnointi on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa.

Paineilman energiantehokkuuden parantamiseksi on teollisuudessa kehitetty erilaisia analyysejä ja kartoituksia. Paineilmavuotoja syntyy jokaiseen paineilmajärjestelmään ajansaatossa, ja näitä voidaan kyseisillä sovelluksilla minimoida. Vuodot voivat viedä jopa 20 % paineilmajärjestelmän tuotosta, joten vuotojen kartoitus on tärkeää. (Motiva 2012.)

Kunnossapidon päämääränä on varmistaa liiketoiminnan jatkuvuus ja pitää toimintaprosessit tehokkaasti käynnissä, riippumatta siitä, millaisesta yrityksestä tai toimialasta on kyse. Kunnossapito kattaa laajan valikoiman tehtäviä, jotka liittyvät erilaisten prosessien, koneiden, laitteiden ja rakenteiden ylläpitoon. Tavoitteena on taata niiden toimintakuntoisuus, jotta ne toimivat luotettavasti. Samalla kunnossapidossa käsitellään mahdollisia vikoja ja korjauksia tarpeen mukaan. Lisäksi ympäristövaikutuksia ja turvallisuusriskejä valvotaan ja hallitaan huolellisesti osana kunnossapitoprosesseja. Kunnossapito on siis keskeinen toiminto, joka tukee yrityksen liiketoimintaa ja varmistaa sen tehokkuuden ja kestävyuden. (Järviö ym. 2007, 15.)

Kunnossapito ei ole pelkästään vikaantuneiden laitteiden korjausta. Kunnossapidon kehittyessä keskitytään enemmän ja enemmän käynnin jatkuvaan kunnonvalvontaan, jolloin viat yritetään ehkäistä jo ennen niiden syntymistä. Vikojen ollessa tiedossa hyvissä ajoin, on helpompaa suunnitella pysäytys korjausta varten. (Järviö ym. 2007, 20.)

Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito tarkoittaa laitteen palauttamista semmoiseen tilaan, jossa se on tarkoitettu toimivan. Korjaavaa kunnossapitoa on yleensä häiriökorjaus tai suunniteltu korjaus johonkin laitteeseen, joka ei syystä tai toisesta toimi. Korjaavaan kunnossapitoon kuuluu olennaisesti myös vian määrittäminen ja tunnistaminen. Laitteeseen korjausta suorittaessa vaihdetaan rikkonaiseksi todettu komponentti tai huolletaan ja puhdistetaan vanha. (Järviö ym. 2007, 49.)

Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan laitteen seuraamista suorituskyvyn kannalta. Mittaustulosten ja erilaisten muiden tarkastamisten avulla voidaan suunnitella ja aikatauluttaa tulevat kunnossapitotehtävät. Tavoitteena on vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä ja siten koneen tai

laitteen toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu olennaisesti kunnonvalvonta, käynninvalvonta, vikaantumistietojen analysointi ja toimintakunnon toteaminen. (Järviö ym. 2007, 50.)

Huolto

Ennakoivaksi kunnossapidoksi voidaan lukea laitteelle tai kohteelle suoritettut suunnittelut määräaikaisten huoltotoimenpiteet, joilla pidetään yllä käyttöomaisuuksia tai palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai ehkäistään vaurion syntymistä. Huoltoihin kuuluu olennaisena osana laitteen puhdistus, voitelu, kalibrointi ja kuluvien osien vaihtaminen. Tavoitteena ylläpitää ja palauttaa laitteen toimintakyky tasolle, jossa sen kuuluu toimia. (Järviö ym. 2007, 50.)

Parantava kunnossapito

Parantavalla kunnossapidolla tarkoitetaan laitteeseen tehtäviä muutoksia, joiden avulla sen toimintaa parannetaan tai laajennetaan vastaamaan nykyisiä tarpeita. Laitteeseen voidaan vaihtaa uudempia osia mutta sen alkuperäistä suorituskykyä ei muuteta, mutta tällä voidaan saavuttaa vuosittaisia säästöjä esimerkiksi energiankulutuksessa. Toimintavarmuuden parantamiseksi laitteeseen voidaan tehdä uudelleensuunnitteluita ja korjauksia, joiden avulla parannetaan koneen epäluotettavuutta. Suorituskykyä parannetaan useasti myös koneen uudelleen suunnittelulla tai modernisoinnilla, joka maksaa itsensä takaisin pidemmällä aikavälillä. Parantavan kunnossapidon kulmakivinä toimivat kustannussäästöt, turvallisuustekijät ja toimintojen helpottuminen. (Järviö ym. 2007, 51.)

2.3 Paineilmavuodot

Paineilmavuotoja syntyy jokaisessa paineilmajärjestelmässä ajansaatossa ja näitä pitää pyrkiä minimoimaan. Vuotoja esiintyy järjestelmässä aina paineellisessa järjestelmässä, eikä näitä voi välttää. Suunnittelemalla paineilmaverkosto kohtaamaan tehtaan tarpeet, vältetään suunnittelusta johtuvia paineilmahäviöitä. (Ellman ym. 2002, 67.)

Vuodot yleisimmin esiintyvät paineilmaverkoston putkiliitoksissa, venttiileissä, erilaisissa liittimissä, lauhteenpoistimissa, verkkoon liitetyt käyttämättömät työkalut ja huonosti suljetut tai vuotavat venttiilit. Paineilmavuotojen löytäminen on usein hankalaa, ja siksi tätä varten on kehitetty erilaisia menetelmiä. (Ellman ym. 2002, 67.)

2.3.1 Vuotojen tunnistaminen

Paineilmavuotojen löytäminen tehtaista on vaikeaa, varsinkin tuotannon ollessa käynnissä. Suuret paineilmavuodot voidaan havaita kuulon avulla, pienemmät vuodot jäävät usein huomaamatta, ellei apuna käytetä esimerkiksi vuodonilmaisuainetta (kuva 4) tai ultraäänimittaria. (Ellman ym. 2002, 67.)



KUVA 5. Vuodonilmaisuaine

Vuodonilmaisuainetta suihkutetaan paineellisena olevaan linjaan, esimerkiksi liitoskohtaan, jossa vuodon epäillään olevan. Jos aine alkaa kuplimaan, liitos vuotaa.

Ultraääniä hyödyntävät mittauslaitteet ovat oivallinen tapa havainnoida paineilmavuotoja. Ultraäänin avulla voidaan mitata vuotojen suuruutta kohteen ulkopuolelta koskemattomasti. Vuotokohdasta lähtevä virtauskohina on ultraäänien lähde. Ääni, joka virtauskohinasta syntyy, on korkeataajuinen (20–100 kHz) ja siten hyvin suunnattavissa. Kohde voidaan paikantaa tarkasti mikrofonin ja signaalikäsittelylaitteilla. Ultraäänikohina muutetaan mittauselektronikan avulla ihmiskorvan kuuloalueelle sopivaksi ja toistetaan mittalaitteen kaiuttimesta, jonka avulla vuotopaikka havaitaan. Mittalaitte voidaan varustaa kuulokkeilla, jolloin mittalaitteesta lähtevä ääni on helpompi havaita meluissa ympäristössä. Kehittyneissä mittalaitteissa on näyttö, johon laite arvio vuodon suuruuden desibeli asteikolla. (Toroi 2013.)

Ultraäänikamera on ultraäänimittalaitteista kehittynein versio. Ultraäänikameroita on erilaisia, riippuen paljon kameran valmistajasta. Kuva 6 esimerkki ultraäänikamerasta. Kaikissa kameroissa mittaustavat ovat kuitenkin samat, vaikkakin eroavaisuuksia esimerkiksi kameran koossa tai herkkyydessä olisikin. Ultraäänikamera on varustettu herkillä ultraääniantureilla, joita voi olla kymmenistä jopa satoihin kappaletta ja kamerassa on nimensä mukaisesti optinen kamera sekä näyttö johon kuva muodostuu. Kameran herkkyys riippuu laitevalmistajasta, voidaan sanoa, että mittaustavali on yleisesti 2–100 kHz. Näissä kameran näytölle muodostuu kuva, jossa näkyy erilaisilla värillä mahdolliset vuotokohdat. Etuina kameralla voidaan pitää helppoa ja nopeaa käyttöä pienen kokonsa takia sekä kykyä havaita mahdolliset vuotokohdat useiden kymmenien metrien päästä. Ultraäänikamera tosin ottaa usein häiriötä esimerkiksi sähkömoottoreista ja joskus antaa haamu- vuotoja, joten nämä seikat tulee käyttääessä ottaa huomioon.



KUVA 6. Esimerkkikuva ultraäänikamerasta

Ultraäänen avulla voidaan myös suorittaa virtausmittauksia. Kulutusmittareita voidaan asentaa kiinteästi paineilma-verkon keskeisiin osiin sekä linjoihin ja suurimpiin kulutuskohteisiin. Mittalaitteita on myös siirrettäviä, jotka asennetaan linjojen päälle ja näin voidaan mitata painetta sekä kulutusta tietyllä välillä. (Toroi & Wahlström 2016.)

Virtausmittarit ovat yksi tapa seurata paineilman kulutusta reaaliaikaisesti ja saada tietoa mahdollisista paineilma-putkistoista. Markkinoilla on suoraan linjaan asennettavia virtausmittareita (kuva 7) joilla voidaan seurata virtausta, painetta ja lämpötilaa samanaikaisesti. Paineilma-järjestelmän virtauksen, paineen ja lämpötilan mittaus tarjoaa keskeistä tietoa todellisesta energiankulutuksesta, jakeluverkon tehokkuudesta sekä potentiaalisista säästömahdollisuuksista. (Sarlin 2023a.)



KUVA 8. Laipallinen virtausmittari

2.3.2 Vuodoista aiheutuvat kustannukset

Paineilmavuodoilla on taloudellinen merkitys pitkälläkin aikavälillä. Vuotojen aiheuttamat energiankulutukset ovat turhia ja niistä voi aiheutua vuositasolla merkittäviäkin kustannuksia. (Ellman ym. 2002, 67.)

Paineilmavuodot ovat yritykselle täysin turha meno erä ja näiden kustannuksia on pyrittävä minimoimaan. Paineilman tuottamisesta aiheutuvat kustannukset voivat olla jopa kolmannes yrityksen energiakuluista. Siksi on tärkeää korjata pienetkin vuodot. Pienestäkin vuodosta vuositasolla voi aiheutua suuriakin kustannuksia. Kuvassa 9 suuntaa antavia vuosittaisia kustannuksia. (Motiva 2012.)

Vuotoreiän halkaisija mm	Vuotomäärä 8 bar l/min	Kustannukset euroa/vuosi
1 •	75	290
1,5 •	150	580
2 •	260	1 000
3 ●	600	2 320
4 ●	1100	4 260
5 ●	1700	6 580

KUVA 9. Vuodoista aiheutuvat kustannukset (Motiva 2012.)

3 TEHTAAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Paineilman käyttö on tehtaalle välttämättömyys. Paineilmaa käytetään prosesseissa, sen ohjauksessa ja päivittäisissä kunnossapidon ja tuotannon töissä. Ilman paineilmaa ei ole tuotantoa. Paineilmajärjestelmän tavoite on tuottaa tehtaalle tarvittava määrä paineilmaa mahdollisimman pienillä kokonaiskustannuksilla ja se on mitoitettu tehtaan tarpeitten mukaan sopivaksi sekä sitä parannelaan tarpeen mukaan. Osastot, jotka opinnäytetyössä ovat tarkastelun kohteena, ovat pinta-alaltaan yli hehtaarin kokoiset yhteensä.

3.1 Paineilman tuotto

Tehtaan paineilma tuotetaan kahdella öljyttömällä paineilmaa tuottavalla kompressorilla. Nämä ovat Atlas Copcon valmistamia ja hallinnoimia. Kuvassa 10 on ZR-ruuvikompressori, joka saa voimansa 400kW:n sähkömoottorista sekä taajuusmuuntajasta. Molemmat kompressorit on varustettu energiatehokkailla HOC-tyypin absorptiokuivaimilla. (Kurikkala 2023.)



KUVA 10. Ruuvikompressori

Kuvassa 11 on ZH+-turbokompressorit. Turbokompressorit toimii 500kW:n sähkömoottorilla. Kompressoreiden yhteenlaskettu kapasiteetti on 7 bar työpaineella 167 m³/min. (Kurikkala 2023.)



KUVA 11. Turbokompressorit

Paineilmajärjestelmä toimii niin, että turbokompressorit on suunniteltu toimimaan jatkuvasti korkeimmalla mahdollisella kapasiteetilla tuottaen peruskuormaa. Tämä tarkoittaa, että se tuottaa suurimman osan tarvittavasta paineilman määrästä koko ajan. Ruuvikompressorit, jotka on varustettu taajuusmuuntajalla, toimii säätävänä koneena ja tasaa ilman kulutuksen vaihteluita. Näin paineilmajärjestelmästä saadaan mahdollisimman energiatehokas, ja se pystyy silti mukautumaan jatkuvasti vaihtelevaan paineilman tarpeeseen. (Kurikkala 2023.)

Kompressoreiden ja kuivainten jäähdytyksestä vastaa oma jäähdytysvesisäiliö ja kahdennettu jäähdytysvesipumppaus. Jäähdytysvesi ajetaan kompressoreilta levylämmönvaihtimien kautta takaisin säiliöön. Paineilmajärjestelmän laitteissa käytetään talousvettä, levylämmönvaihtimissa kiertää toisiopuolella tehtaan jäähdytystorneilta tuleva vesi. (Kurikkala 2023.)

Paineilmajärjestelmän varayksiköinä toimivat tehtaan vanhimman osaston kompressoriasemalla olevat kompressorit ja uusimmalla osastolla oleva kompressori, mukaan lukien näiden kuivaimet. Näiden varakompressorien yhteinen kapasiteetti on 146 m³/min. Tämä tarkoittaa, että nämä varakompressorit ovat valmiina toimimaan häiriö- ja huoltotilanteissa tuottaen tarvittavan ilman, kun muut kompressorit ovat poissa käytöstä. (Kurikkala 2023.)

Näiden kompressoreiden lisäksi tehtaalla on kaksi kompressoria, joilla tuotetaan prosessiin tarkoitettua 12 baarin paineilmaa. Uudempi 7.5 m³/min tuottava kompressori on ajossa koko ajan, vanhempi nykytarpeisiin nähden reilusti ylimitoitettu 40 m³/min tuottava kompressori on varakompressori, jota käytetään uudemman ollessa huollossa tai sen vikaantuessa. Nämä kompressorit sijaitsevat tehtaan vanhimmalla osastolla ja näiden tuottamaa paineilmaa käytetään ainoastaan kyseisen osaston tarpeisiin. 12 baarin linjasta on haaroitettu paineenalentimen kautta kunnossapidon tukipisteelle linja paineilmatyökaluja varten. Tehtaan oma kunnossapito vastaa näiden korjauksista ja huolloista.

3.1.1 Paineilmasäiliöt ja verkko

6 bar paineilmaverkkoon kuuluu useita paineilmasäiliöitä. Näitä on yhteensä 7 kappaletta, säiliön koot vaihtelevat 3–10 m³ välillä ja säiliöt on varustettu varoventtiileillä. Säiliöt on sijoitettu eri puolille tehdasta. Kaikki säiliöt kuuluvat painelaiterekisterin piiriin ja niille tehdään painelaitetarkastus määräajoin.

Paineilmarunkolinjan koko vaihtelee DN 125–200 koossa ja se haarautuu joka osastolla pienempiin haaroihin ja kulutuskohteisiin. Runkolinjasta on otettu myös instrumentointikaapeille haarat, joista toteutetaan paineilmaohjaus venttiileille ja muille tehtaan käytössä oleville toimilaitteille. Runkolinjan pituus itsessään on jo useita kilometrejä ja se kasvattaa paineilmaverkon kapasiteettia.

12 baarin paineilman kulutuskohteet sijaitsevat vain yhdellä osastolla, joten sen verkko on huomattavasti pienempi. Runkolinjan koko vaihtelee DN 100–150 välillä ja linjat on suoraan vedetty paineilmaa kuluttaville prosessilaitteille. Paineilmaverkossa on vain yksi paineilmasäiliö, koska kulutuskohteita on vähemmän. Edellä mainittu paineilmasäiliö kuuluu myös painelaiterekisterin piiriin.

3.1.2 Paineilman ohjaus

6 baarin kaikki kompressorit ja niihin liittyvät kuivaimet ohjataan ja valvotaan Atlas Copcon toimittamalla ES360-keskushausjärjestelmällä. ES360-järjestelmä ylläpitää painetasapainoa paineilma-verkossa ja käynnistää varakompressorit säännöllisesti kerran viikossa varmistukseksi niiden toimintakunnon. Tämä järjestely auttaa pitämään varayksiköt käyttövalmiina. Kaikki laitteiden huoltopyyntö ja hälytykset välitetään ES360-järjestelmän kautta Atlas Copcolle ja myös tehtaalle väylän kautta, mikä mahdollistaa tehokkaan seurannan ja huollon tarvittaessa. (Kurikkala 2023.)

12 baarin kompressoreita ohjataan ABB:n ohjausjärjestelmässä osastolla paikallisesti kulutustarpeiden mukaan. Verkon paine on noin 11,5–12 baaria.

Verkon paine on noin 6,5–7 baaria ja se on tehtaan tarpeisiin riittävä. Kulutuskohteen mukaan painetta on laskettu tarvittaessa paineenalentimella pienemmäksi.

3.2 Kunnossapito tehtaalla

Umicore Finland Oy:n kunnossapito on monipuolinen ja sisältää useita erilaisia kunnossapitolajeja. Näihin kuuluvat ennakoiva kunnossapito, ehkäisevä kunnossapito, korjaava kunnossapito sekä parantava kunnossapito. Tehtaalla toimii mekaanisen kunnossapidon henkilöstöä, jotka on jaettu kahteen eri ryhmään, joilla kullakin on omat vastualueensa. Molempiin ryhmiin kuuluvat ennakkohuoltoasentajat ja kunnossapitoasentajat. (Pihlajamaa 2023.)

Ennakkohuoltoasentajien tehtäviin kuuluu ennakkohuollot ja ehkäisevä kunnossapito. He suorittavat erilaisia ennakkohuoltotoimenpiteitä, kuten laitteiden rasvavoiteluja, öljyjen vaihtoja ja laitetarvikkeita. Nämä ennakkohuoltotyöt on dokumentoitu tehtaan kunnossapitojärjestelmään, jota päivitetään jatkuvasti uusien laitteiden asennusten yhteydessä. Ennakkohuoltoasentajat kuittaavat tehdyksi SAP-järjestelmään viikoittain tehtävät ennakkohuollot. Ennakkohuolloista vastaa ennakkohuoltosuunnittelija. Ennakkohuoltosuunnittelija määrittää laitteiden oikeat huoltovälit ja varastoi tarvittavat varaosat huoltoja varten. (Pihlajamaa 2023.)

Kunnossapitoasentajat keskittyvät pääasiassa korjaavaan kunnossapitoon sekä parantavaan kunnossapitoon. Heidän työnsä painopiste on laiterikkojen korjaamisessa ja tuotantolaitteiden mahdollisissa parannuksissa. (Pihlajamaa 2023.)

Näiden lisäksi tehtaalta löytyy sähkö- ja automaatio kunnossapidon lisäksi lvi kunnossapito, joka vastaa tehtaan kunnossapidosta omilla osa-alueillaan. (Pihlajamaa 2023.)

Tavoitteena on keskittyä enemmän ennakoiavaan ja ehkäisevään kunnossapitoon ja näin välttämään turhia laiterikkoja sekä niistä aiheutuvia seisokkeja. Laitteita hajoaa myös vaikka ne olisi huollettu, mutta pyrkimys on ennalta ehkäistä niitä ennakkohuoltojen ja määräaikaistarkistusten myötä.

3.3 Mittaukset tehtaalla

Tehtaan paineilmaverkko itsessään on hyvin laaja, ja työ oli suunnattu tehtaan kahdelle osastolle. Vanhempi osasto, johon opinnäytetyö kohdistui pääasiassa, ei ollut niin tuttu itselle, joten sen laajuuteen ja tutuksi tulemiseen meni aikaa. Ennen ultraäänikameralla tehtäviä tehdaskierroksia, oli käytävä tehtaan PI-kaavioita läpi, jolloin saatiin selvyys missä ja miten runkolinjat kulkevat ja minne ne haarautuvat.

Opinnäytetyössä oli käytössä Umicoren omistama SDT SonaVun merkinen ultraäänikamera, joka oli ostettu muutamia vuosia sitten tuotannon käyttöön kaasuvuotojen havainnointia varten. Kamera toimii 2–48 kHz taajuudella, ja se on varustettu 112 ultraäänianturilla, jotka kaappaavat ultraäänen ilmasta ja siirtävät ne reaaliaikaiseksi kuvaksi kosketusnäytölle. Mittausetäisyys kameralla on noin 0,3–50 metriä riippuen olosuhteista. Tällä kameralla kaasujen ja myös paineilmuotojen etsiminen oli yksinkertaista, joten siksi tätä haluttiin opinnäytetyössä hyödyntää. Kamera oli itselle uusi tuttavuus, enkä ollut sitä ennen kuin kerran tai kaksi käyttänyt, joten käytön opettelussa meni aikaa.

PI-kaavioihin syventymisen jälkeen alkoi varsinainen toteutusosa, jossa tehtaan vanhinta osastoa lähdettiin käymään läpi paineilmuotojen varalta, ultraäänikameraa hyödyntäen. Osasto oli täydessä ajossa koko opinnäytetyön ajan. Aluksi aloitin kompressoriasemalta runkolinjojen seuraamisen, jonka avulla selvitin minne ne menevät ja näin sain selvitettyä käytännössä paineilmaverkon laajuuden. Aluksi ajattelin seuraavani runkolinjaa ja siitä haarautuvia pienempiä jakelu putkia, mutta totesin sen aikaa vieväksi ja vaikeaksi, joten siirryin toiseen suunnitelmaan.

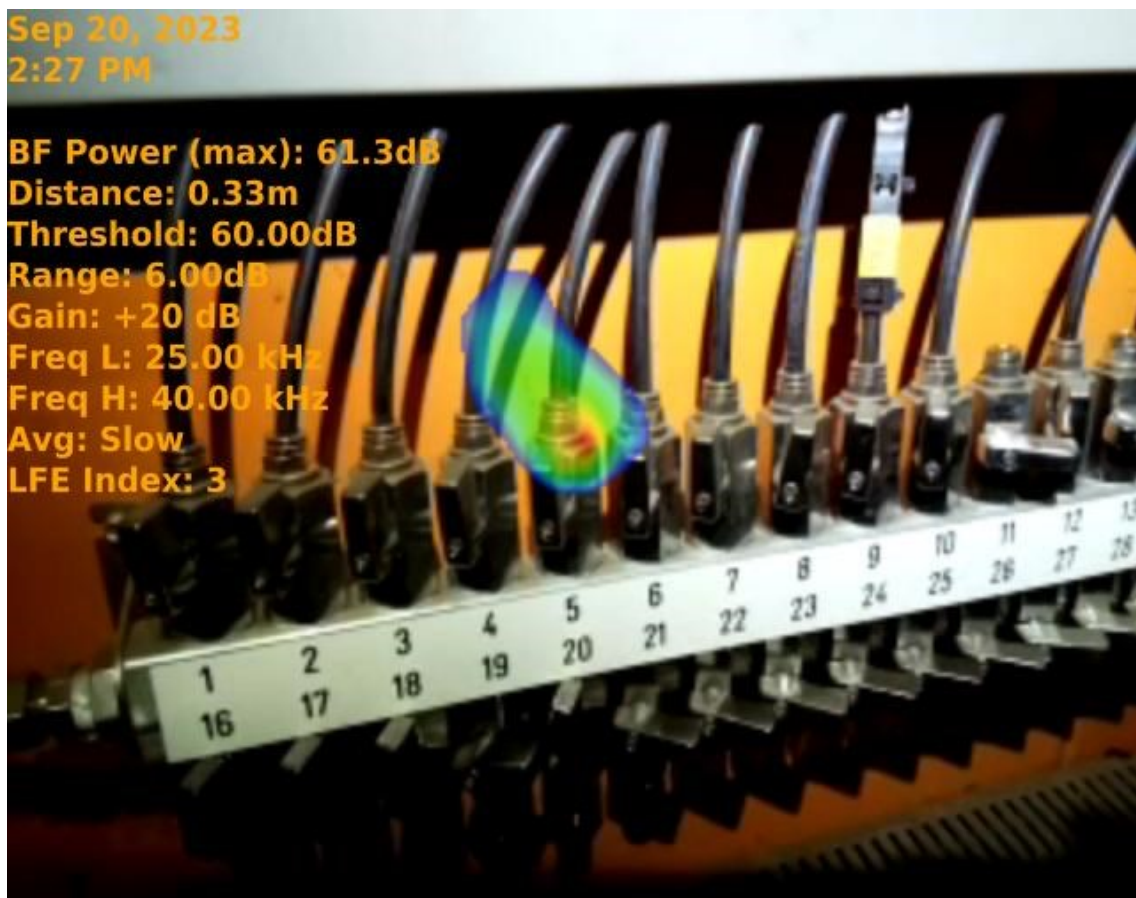
Toinen suunnitelma oli jakaa osasto pienempiin palasiin ja käydä jokainen halli ja tila kerrallaan ultraäänikameralla läpi. Osasto itsessään oli hajautettu suurelle alueelle, joten hommaa riitti. Tämän totesin helpommaksi ja nopeammaksi, kuin runkolinjan ja sen haarojen seuraamisen. Ultraäänikameralla kuvasin jokaisen hallin lattiasta kattoon, sisältäen kaikki laitteet, linjat ja haarat, riippumatta oliko se edes paineilmalinja. Näin saatiin yleiskuvaa myös muiden linjojen kunnosta.

Vuotopaikat, joita osastolta löytyi, olivat melko samanlaisia. Vuotoja runkolinjoista ei löytynyt, joka oli jo oletus opinnäytetyötä aloittaessa, koska runkolinjoja oli uusittu vuosien saatossa. Kamera luo kuvan värejä, joista voi päätellä missä kohtaa vuoto sijaitsee. Kuvassa 12 kuva venttiilin toimilaitteessa olevassa instrumentointiletkun liitoksessa vuotokohta, jollaisia vuotoja osastolla löytyi kymmeniä. Vuoto ei ollut kovin suuria, mutta näitä ollessa kymmeniä, vuositasolla kustannukset nousivat huomattaviksi.



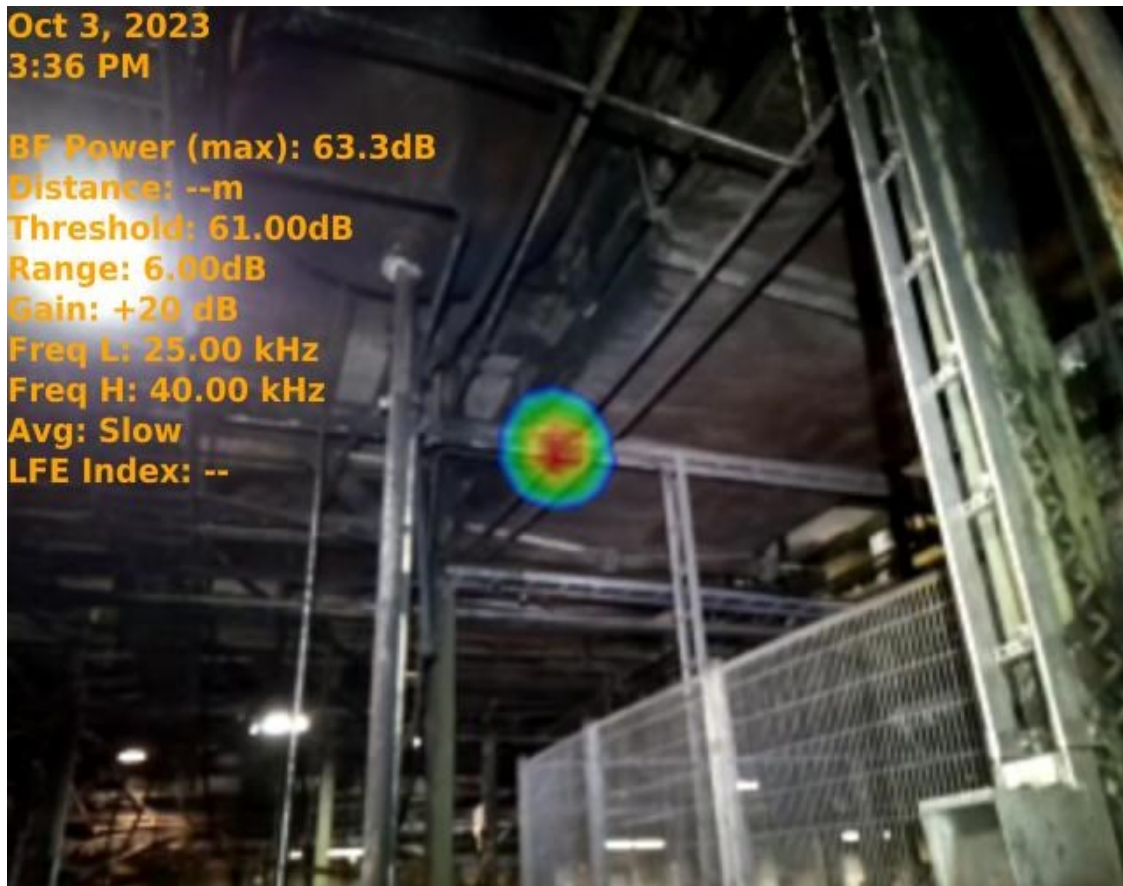
KUVA 12. Kameralla otettu kuva instrumentointiletkun liitos vuodosta

Tehtaalla paineilmaa kuluttavat pääasiassa venttiilien ohjaus ja muut toimilaitteet. Paineilma tuodaan ensiksi instrumentointikaapille, josta se on haaroitettu pienemmillä letkuilla suoraan toimilaitteille. Instrumentointikaapilla tarkoitetaan ohjauskaappia, jolla ohjataan tehtaan toimilaitteita. Ultraäänikameralla käytiin jokainen instrumentointikaappi vuotojen kannalta läpi ja useimmista niistä löydettiin vuotoja (kuva 13). Vuodot eivät olleet kovin suuria, mutta isompi vuoto kaapissa voi aiheuttaa toimilaitteen toimimattomuuden, joten ne ovat tehtaan toiminnan kannalta kriittisiä kohteita. Kaappeja harvemmin availaan, joten vuodot ovat ajansaatossa jääneet huomaamatta inhimillisistä syistä.



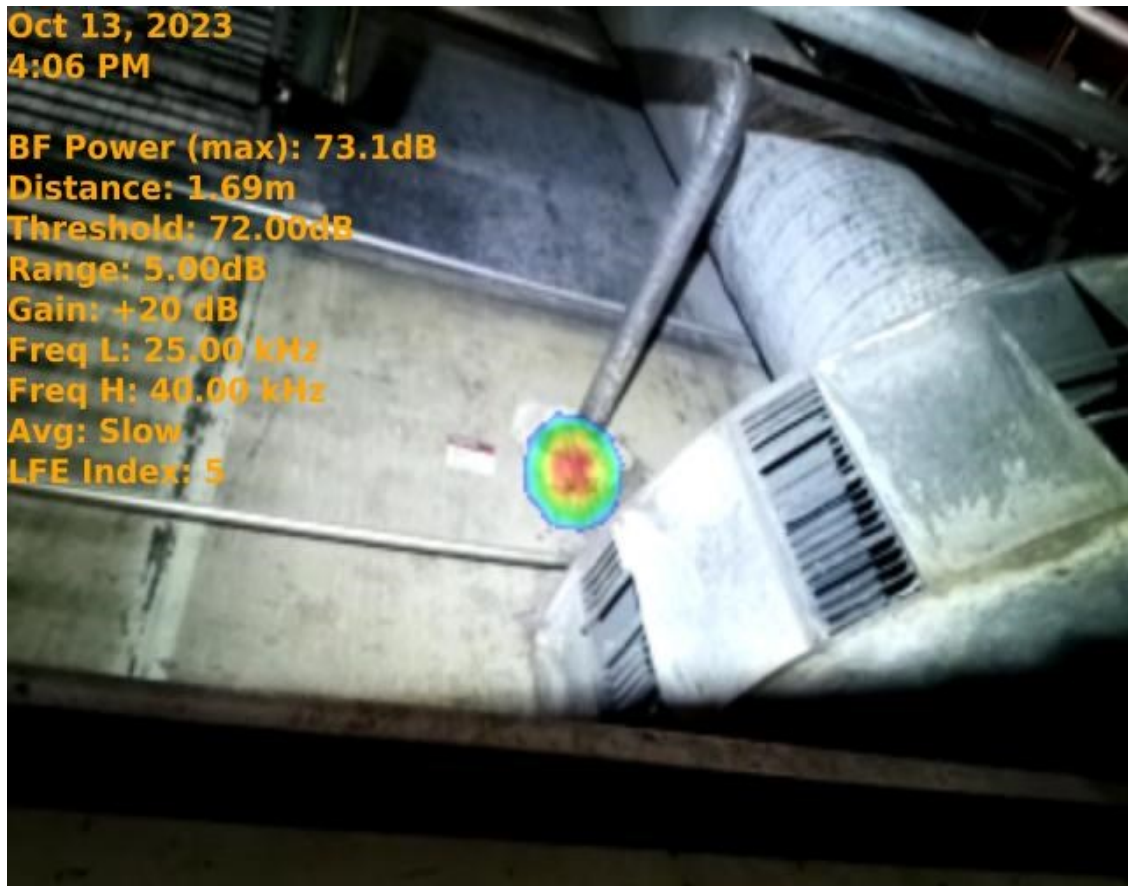
KUVA 13. Vuoto instrumentointikaapissa

Kameralla vuotojen havaitseminen onnistui myös kauempaa hyvin. Kamera havaitsi vuodon kaapelihyllyllä (kuva 14), joka todettiin rikkoutuneeksi ilmaletkuksi. Tämänkaltaisia vuotoja on erittäin hankala havaita tuotannon melun vuoksi, joten kamerasta oli apua.



KUVA 14. Instrumentointiletku rikko kaapelihyllyllä

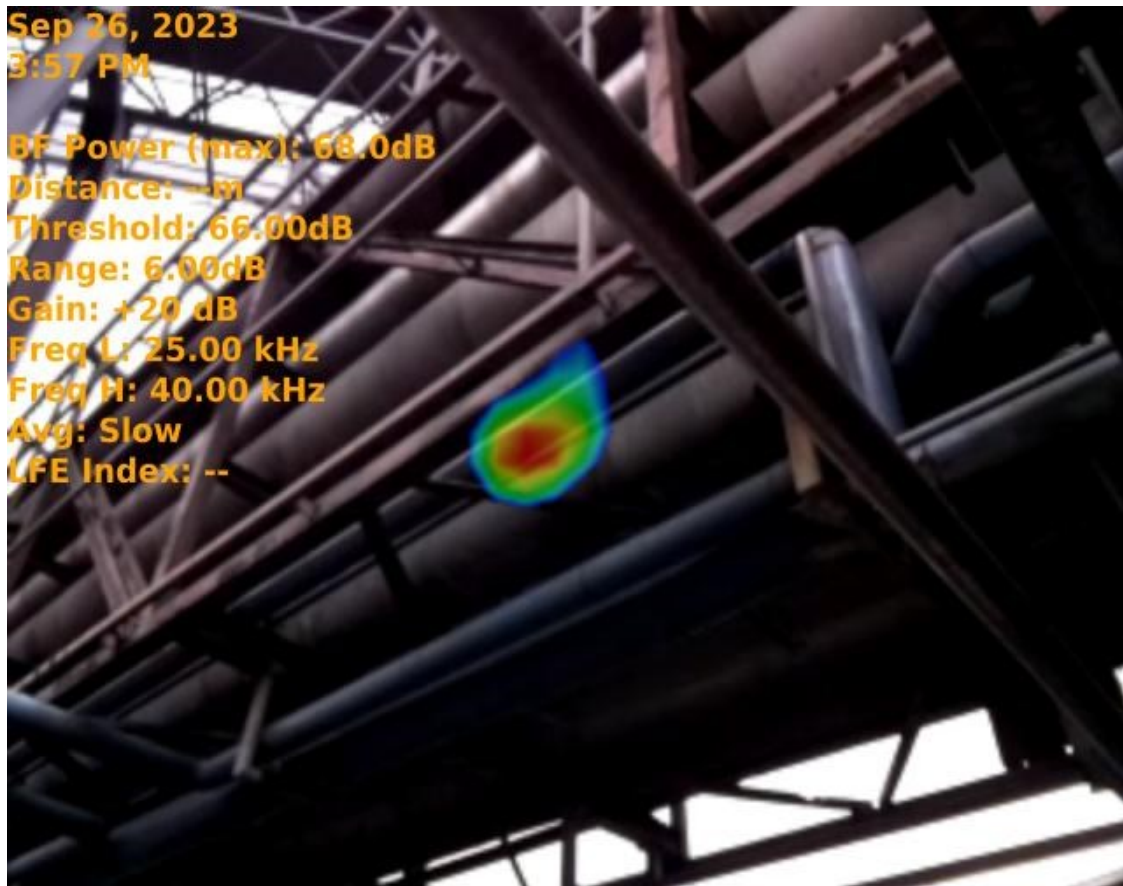
Paineilmalinjoissa on useita kierrelitoksia, johtuen paineilmaverkoston laajuudesta. Liitokset ovat aina riski vuodoille, ja useasta liitoksesta vuotoja löytyikin (kuva 15). Runkolinjasta oli tehty haara seinän toiselle puolelle joskus ajansaatossa, ja todennäköisesti liitos oli jäänyt hieman löysälle, jonka vuoksi se oli jäänyt vuotamaan. Kuvassa oleva vuotokohta on seinän sisälle upotettu kierrelitoksesta, ja sitä tuskin olisi löydetty tuotannon käynnissä ollessa ilman ultraäänikameraa, johtuen melusta.



KUVA 15. Kameran havaitsema vuoto paineilmalinjassa

Vanhemmalta osastolta, johon opinnäytetyö oli pääasiassa kohdistettu, vuotoja löytyi yhteensä 42 kappaletta. Vuodot olivat melko samanlaisia keskenään, vuotojen suuruus vaihteli noin 0,04–2,15 m³/min välillä. Osaston kaikki hallit ja tilat käytiin kameralla useaan kertaan läpi, jotta saadaan mahdollisimman monta vuotokohtaa paikannettua. Mahdollista on, että siltikin jotkin vuotopaikat jäivät huomaamatta.

Tehtaalla kiertäessäni tein myös muita havaintoja, joista informoin kunnossapidon työnjohtajia. Näitä oli laippavuodot, venttiilien vuodot ja muut yleiset vaaranpaikat. Putkisillalla kiertäessäni kameraan paikantui mahdollinen vuotopaikka (kuva 16). Kunnossapidon työnjohtajan kanssa paikansimme haponkestävässä linjassa pienen reiän, jonka totesimme typpilinjaksi. Ilman ultraäänikameraa vuoto olisi ollut hankala löytää.



KUVA 16. Kameran havaitsema vuoto putkisillalla

Löydetyt vuodot tehtaan vanhimmalla osastolla ovat todennäköisesti vuotaneet jo pidemmän aikaa, koska vuotojen havaitseminen on vaikeaa. Tehdas on ajossa vuorokauden ympäri, vuoden jokaisena päivänä, pois lukien huoltoseisokki, joka on kerran vuodessa. Seisokin aikaan paineilma vuotojen löytäminen aistinvaraisesti on mahdollista, mutta seisakin ollessa lyhyt, siihen harvemmin resursseja on. Siksi ultraäänikameran käyttäminen osana kunnossapitoa olisi tärkeää, koska sitä apuna käyttäen vuotojen paikantaminen on nopeampaa ja helpompaa.

Seuraavaksi siirryttiin toiselle osastolle, tehtaan uusimmalle, koska siellä sattui olemaan seisakki ja tuolloin osastolla ei tuotantoa tapahtunut. Osastolla ei kaikkiin halleihin päässyt, johtuen muutostöistä, mutta suurin osa tiloista päästiin ultraäänikameralla kartoittamaan.

Uusimmalta osastolta ei vuotoja löytynyt paljoa, joka oli jo oletus, koska osasto oli huomattavasti uudempi. Vuodot olivat keskenään melko samanlaisia, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Mentäessä yhteen halliin, kuuli jo korvakuulolla, että jossain on vuoto, ja vuoto paikantui paineenalennin yksikköön (kuva 17). Paineenalennin yksiköstä oli joskus mennyt instrumentointiletkuja

laitteelle, mutta ne oli purettu pois, unohtaen samalla sulkea käsiventtiili, joten paineilmaa vuoti halliin. Käsiventtiin sulkemalla saatiin vuoto korjattua.



KUVA 17. Paineenlennin yksikkö

Ulkoalueella sijaitsevasta instrumentointikaapista löytyi aika samanlainen vuotopaikka (kuva 18). Kaapissa oli paineilman jakotukki, josta paineilmaa haaroitettiin eri paikkoihin käsiventtiilien avulla. Yksi näistä käsiventtiileistä oli jätetty auki, todennäköisesti vahingossa jonkun osuessa siihen, jonka vuoksi paineilmaa vuoti kaappiin. Sulkemalla käsiventtiili turha paineilman kulutus loppui.



KUVA 18. Auki jäänyt käsiventtiili

Muut vuotopaikat mitä osastolta löytyi, oli paineilmalinjassa olevia kierrelitoksia (kuva 19) ja automaattiventtiileissä olevia instrumentointiletku liitoksia, jotka vuotivat paineilmaa. Nämä on todettu jo aikaisemmin olevan tyypillisiä vuotopaikkoja paineilmalinjoissa. Vuotoja löytyi yhteensä 15 kappaletta, ja niiden suuruus oli noin 0,03–2,02 m³/min.



KUVA 19. Kameran havaitsema vuoto paineilmalinjan liitoksessa

Tehdaskierroksia tehdessä tulee kiinnitettyä huomiota muihinkin kuin paineilmalinjoihin. Laippavuodot ja vuotavat venttiilit ovat tehdasympäristössä mahdollisia mutta niiden havaitsemisessa voi toisinaan kulua aikaa. Tärkeää on epäkohdan nähdessään dokumentoida se ja informoida siitä tuotannon esihenkilöitä, jolloin ne saadaan korjattua ja ehkäistyä tehtaan normaalitoiminnalle aiheuttamia häiriöitä.

Jokainen vuotopaikka kuvattiin ja merkattiin kentällä teipillä tai tussilla, niistä tehtiin työtilaus SAP toimintaohjausjärjestelmään sekä osoitettiin työtilaus kunnossapidolle. Tämä helpottaa korjattavien kohteiden löytämistä tehtaalta huomattavasti.

Meluisassa ympäristössä ultraäänikamera saattaa luoda näytölle hetkellisesti äänenkimpoamisesta johtuvia haamuvuotoja rakenteisiin tai seiniin, joissa paineilmuuodot eivät ole mahdollisia. Nämä on helppo erottaa oikeasta vuodosta, kuvassa 20 esimerkki haamuvuodosta tehtaan seinällä.



KUVA 20. Kameran havaitsema haamuvuoto

Kamera luo mahdollisen vuotopaikan usein myös joihinkin sähkömoottoreihin, joissa luonnollisesti ei paineilmavuotoja voi olla. Näytöllä nämä näkyvät usein vain hetkellisesti ja siten ne on helppo tunnistaa häiriöksi.

3.4 Mittaustulokset

Kahdelta osastolta löydettiin yhteensä 57 paineilmavuotoa. Näiden yhteenlaskettu suuruus oli noin 12,73 m³/min. Jokainen vuotopaikka kuvattiin ja merkattiin kentällä teipillä tai tussilla, niistä tehtiin työtilaus SAP toimintaohjausjärjestelmään sekä osoitettiin työtilaus kunnossapidolle. Kaikki oheiset tiedot kirjattiin Exceliin ja niille laskettiin Sarlinin paineilmavuodon hinta laskurilla (kuva 21) vuodon määrä ja kustannus vuositasolla.

Paineilmavuodon hinta

Laskimen avulla voidaan arvioida vuotoerien kustannukset. Oletuksena on, että vuoto tapahtuu ympäristön paineeseen 1 bar, järjestelmän paine on aina yli 1,9 baria ja paineilman tuottamiseen käytetään tehoa 7 kW/m³/min.

Anna paineilma vuotojen kartoitus meidän tehtäväksemme

Vuotoreiän halkaisija

1 mm

Paineilman paine

6

bar(g)

Paineilman lämpötila

20 °C

Energian hinta

50

€/MWh

Käyttötunteja vuodessa

8670 h

Vuodon määrä

0 kg/s

Vuodon määrä

0,06 m³/min

Hukattu teho

0,5 kW

Hukattu energia

4 MWh/a

Vuodon hinta

195 €/a

KUVA 21. Näyttökuva Sarlinin verkkosivuilta (Sarlin 2023.)

Laskuriin laitetaan vuotoreiän halkaisija, paineilman paine, paineilman lämpötila, energian hinta ja käyttötunnit vuodessa. Laskuri ilmoittaa vuodon määrän, hukatun energian ja vuodon hinnan vuotasolla laskettuna.

Yhteenlaskettuna vuodot aiheuttavat vuotasolla noin 38 000 euron kulut ja keskiarvillisesti yksi vuoto aiheuttaa 700 euron kulut. Taulukosta 1 löytyy yhteenvetoja mittaustuloksista. Jokainen vuoto paineilmajärjestelmässä on turha, ja vaikkakin kustannus on käytännössä vain arvio, vuotojen suuruudet puhuvat puolestaan.

TAULUKKO 1. Yhteenveto mittaustuloksista

YHTEENSÄ	12,73	m³/min	778,0	MWh	38 640,00 €
Keskiarvo	0,25	m³/min	15,3	MWh	757,65 €

Kameralla, jolla vuotoja etsittiin, yhtenä ominaisuutena on näyttää vuodon määrä asteikolla 1–5. 1 vuoto on alle 0,02 m³/min, 2 vuoto on yli 0,02 m³/min mutta alle 0,04 m³/min, 3 vuoto on yli 0,04 m³/min mutta alle 0,06 m³/min, 4 vuoto on yli 0,06 m³/min mutta alle 0,08 m³/min ja 5 vuoto on yli

0,08 m³/min. Ominaisuudesta oli opinnäytetyössä hyötyä, koska siitä saatiin arvio vuodon suuruudesta.

Osalla automaattiventtiileistä on ominaisuutena vuotaa ilmaa asennoittimesta ja tämä on aivan normaalia. Asennoittimeen ajetaan useasti hieman tarvittavaa suurempi paine, jolloin vältetään mahdolliselta hitaalta toimilaitteen liikkeeltä. Paineilmaa kuluu hukkaan mutta venttiili toimii näin normaalisti.

3.5 Tulosten arviointi

Opinnäytetyössä käytiin vain kaksi tehtaan osastoa läpi ultraäänikameralla vuotoja etsien, johtuen tehtaan koosta. Kyseiset osastot saatiin hyvin kartoitettua vuotojen varalta. Koko tehtaan paineilmavuotojen määrä on varmasti suurempi.

Vuotojen keskiarvo oli paineilmalaskurilla laskettaessa 0,25 m³/min, joten vuositasolla energiaa kuluu keskimäärin 15,3 MWh hukkaan per vuoto. Vuotojen karkeasti arvioitu kustannus vuodessa oli 38 000 euroa.

Tehtaan kompressoreiden energiankulutus vuonna 2022 ja siitä aiheutuvat kustannukset on esitetty taulukossa 2. Laskuissa käytettiin energian hintana samaa (50 € / MWh) kuin Sarlinin laskurissa.

TAULUKKO 2. Kompressoreiden yhteenlaskettu energiankulutus ja energiakustannukset

Energian hinta vuosi 2022 (€ / MWh)	50
Kompressoreiden yhteenlaskettu energiankulutus vuosi 2022 (MWh)	4220,86
Energiankustannukset yhteensä vuonna 2022	211 043,00 €

Vuodot vievät käytännössä noin 18 % osuuden koko kompressoreiden energiankustannuksista. Laskut esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Vuotojen osuus vuosittaisista energiakustannuksista

Vuotojen aiheuttamat kustannukset (€)	38 640,00 €
Energiakustannukset yhteensä vuonna 2022	211 043,00 €
Vuotojen prosentuaalinen osuus energiakustannuksista (38 640 € / 211 043 €)	18 %

Tulokset ovat toki vain suuntaa antavia, koska tarkkaa vuodon määrää ja täten hintaa vuositasolla on vaikea arvioida. 18 % osuus koko energiakulutuksesta on kuitenkin huomattava määrä. Tällä saatiin hyvä yleiskuva paineilma- vuotojen kustannuksista yritykselle. Vaikeus oli arvioida vuotoireiän halkaisija, koska suurin osa vuodoista tuli jonkin liitoksen välistä. Toki vuotojen suuruutta pystyi arvioimaan aistinvaraisesti, kun vuodon ensin kameralla paikansi.

Tavoitteena oli luoda yhteinen Excel-tiedosto, josta löytyvät kaikki vuodot ja tarvittavat tiedot. Tässä onnistuttiin, ja siitä on helppo etsiä isoimmat vuodot sekä korjata ne mahdollisesti ensin.

4 YHTEENVETO

Työssä etsittiin ultraäänikameralla mahdollisia paineilmavuotoja tehtaan kahdelta eri osastolta. Samalla testattiin ultraäänikameran mahdollisuuksia yhtenä kunnossapidon työkaluna. Kameran käyttöön oli mukava perehtyä, ja tehdasympäristössä sen käyttö oli vaivatonta. Vuotojen helppo paikannus yllätti. Ultraäänikamera nopeuttaa huomattavasti vuotojen etsintää.

Ultraäänikamera toimi koko opinnäytetyön hyvin, lukuun ottamatta pieniä teknisiä vaikeuksia. Kamera päälle saaminen oli ajoittain hankalaa, mutta pääsääntöisesti se lähti käyntiin hyvin. Opettelu kameran käyttöön oli yllättävän helppoa, ja sen sujuva käyttöliittymä oli helppo omaksua. Kameraa oli kokonsa vuoksi kevyt käsitellä, ja vuotojen etsintä ahtaistakin väleistä onnistui. Yhdellä latauskerralla kameraa pystyi käyttämään jopa neljä tuntia, joka oli riittävä aika. Vuotojen tunnistaminen pitkänkin matkan päästä onnistui moitteetta ja tämä yllätti.

Opinnäytetyö osoittaa, että paineilmavuotoja löytyi yhteensä yllättävän vähän. Oletus oli, että niitä saattaisi löytyä enemmänkin. Tehtaan kaikkia osastoja ei käyty läpi, joten vuotoja tehtaalla on olettavasti enemmän. Vuotojen suuruus vaihteli kohteen mukaan aika paljonkin, ja ultraäänikameralla löydettiin isompiakin vuotokohtia. Jokainen paineilmavuoto merkittiin kentällä, otettiin kohteesta valokuva ja siitä tehtiin työtilaus SAP-järjestelmään, johon kirjoitettiin kuvaus kohteesta. Jokaisen vuodon kustannukset laskettiin Sarlinin paineilmalaskuria hyödyntäen ja tiedot kirjattiin yhteiseen Excel-taulukkoon. Tämä vei yllättävän paljon aikaa, kun otetaan huomioon, että jokaisesta vuotokohdasta tehtiin työtilaus erikseen.

Excel-taulukosta voi helposti katsoa vuotojen suuruus ja sen myötä vuosittainen kustannus. Näin voidaan korjata suurimmat vuotopaikat ensin ja sen jälkeen siirtyä pienempien vuotojen korjaamiseen. Vuotoja kannattaa seurata, jotta vuodot eivät kasva liian suuriksi. Jokainen vuotokohta korjataan, mutta ne priorisoidaan kohteen mukaan.

Vuotojen suuruuden arviointi ja niistä aiheutuvien kustannusten arviointi oli osaksi haastavaa. Kustannusarviot eivät varmasti ole täysin paikkaansa pitäviä mutta oleellisinta oli vuotojen paikantaminen tehtaalta.

Opinnäytetyöstä oli hyötyä minulle sekä työn tilaajalle. Vuotojen paikantaminen tehtaassa tuotannon ollessa käynnissä on haastavaa, jos apuna ei ole ultraäänikameraa. Yhtenä tuloksena voidaan pitää ultraäänikameran nopea ja helppo käyttö yhtenä kunnossapidon työkaluna. Kahden osaston paineilma-putkista saatiin hyvä yleiskuva ja luotua hyvä Excel-tiedosto yrityksen käyttöön, josta kaikki tiedot vuotoista löytyvät. Tieto pienienkin vuotojen vuosittaisista kustannuksista auttavat yrityksen kunnossapitoa reagoimaan vuotoihin pienemmälläkin kynnyksellä.

Yrityksellä on tavoitteena tulevaisuudessa ottaa ultraäänikamera yhdeksi kunnossapidon työkaluksi ennakkohuoltoasentajien käyttöön, mutta siitä yrityksellä on omat suunnitelmansa. Kunnossapidolle suositeltiin tehtäväksi kalibrointi työkalu ultraäänikameralle. Työkalu olisi putki, johon porattaisiin erikokoisia reikiä ja se tehtäisiin tiiviiksi niin, että sen voisi paineistaa paineilmalla. Yhtä reikää pidettäisiin kerrallaan auki ja katsottaisiin kameralla sen ilmoittama vuotomäärä, jolloin saataisiin referenssiä vuodon suuruudesta. Vuodoista aiheutuvista suuruuksista voitaisiin hyödyntää tehtäessä tuotantotiloissa kierroksia kameralla.

LÄHTEET

Atlas Copco 2023. Taajuusmuuttajaohjattu vai kiinteänopeuksinen kompressori? Hakupäivä 17.11.2023. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/taajuusmuuttajavskuumituskevennys>.

Ellman, Asko, Hautanen, Juha, Järvinen, Kari & Simpura, Antti 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Järviö, Jorma, Piispa, Tanja, Parantainen, Timo & Åström, Thomas 2007. Kunnossapito. 4. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Keinänen, Tomi & Kärkkäinen, Pentti 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Porvoo: WSOY.

Kurikkala, Ville. Kunnossapitopäällikkö. Umicore Finland Oy. Haastattelu 14.9.2023.

Motiva 2012. Paineilma-analyysi tuo säästöjä. Hakupäivä 1.11.2023. https://www.motiva.fi/files/6017/Paineilma-analyysi_tuo_saastoja.pdf.

Pihlajamaa, Roni. Mekaanisen kunnossapidon työnjohtaja. Umicore Finland Oy. Haastattelu 11.10.2023.

Sarlin 2023a. VPFlowScope in-line paineilman virtausmittarit. Hakupäivä 3.11.2023. <https://www.sarlin.com/tuote/vpflowscope-in-line-paineilman-virtausmittarit/>.

Sarlin 2023b. Kuvakaappaus. Paineilman vuodon hinta. Hakupäivä 11.11.2023. <https://www.sarlin.com/tyokalupakki/paineilmavuodon-hinta/>.

Toroi, Hannu & Wahlström, Stig 2016. Uudet työkalut parantavat energiatehokkuutta paineilmaverkoissa. Promaint verkkolehti 15.6.2016. Hakupäivä 3.11.2023. <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Uudet-tyokalut-parantavat-energiatehokkuutta-paineilmaverkoissa>.

Toroi, Hannu 2013. Vuodonhaku ja kunnonvalvonta ultraäänen avulla. Promaint verkkolehti 21.11.2013. Hakupäivä 2.11.2023. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Vuodonhaku-ja-kunnonvalvonta-ultraaanen-avulla>.

Umicore 2023a. Umicore Kokkolassa. Hakupäivä 12.10.2023. <https://www.umicore.fi/fi/sivustomme/>.

Umicore 2023b. Tietoja: Umicore yhdellä silmäyksellä. Hakupäivä 12.10.2023. <https://www.umicore.fi/fi/tietoja/umicore-yhdella-silmayksella>.

Veijalainen, Antti. Kunnossapitoinsinööri. Umicore Finland Oy. Haastattelu 13.10.2023.

LIITE 1. Excel-tiedosto vuodoista