



Paineilmajärjestelmän selvitys

Henri Illman

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2021

Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

ILLMAN, HENRI:
Paineilmajärjestelmän selvitys

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Marraskuu 2021

Opinnäytetyössä koottiin tietoa paineilmajärjestelmän eri osista kirjallisuuslähteiden avulla, luotiin paineilmajärjestelmän mittausprosessin eri vaiheita kuvaava kaavio, sekä selvitettiin paineilmajärjestelmän painetasojen vaihtelun syy. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Gardner Denver Oy.

Opinnäytetyössä perehdyttiin paineilmajärjestelmään kuuluvien eri komponenttien toimintaan, erilaisten kompressorityyppien toimintaperiaatteisiin sekä paineilmaverkoston mittauksissa käytetyn mittalaitteiston esittelyyn. Työn teoriaosuudessa käytetyistä lähteistä suurin osa koostui ulkomaisista teoksista. Vastaavaa tietoa oli saatavilla myös kotimaisista lähteistä.

Työn tutkimusosuudessa analysoitiin toteutettujen mittausten avulla kerättyä dataa. Datan analysoinnissa keskityttiin ratkaisemaan paineilmaverkoston paineen vaihtelun syy. Datan suodattaminen ja esikäsittely toteutettiin AIRINSITE pilvipalvelun avulla.

Työn tuloksena saatiin kattavasti tietoa paineilmajärjestelmän eri komponenteista, paineilmajärjestelmän mittausprosessin eri vaiheita kuvaava kaavio sekä, mittauksista saadun datan analysoinnin tulokset. Mittausprosessin tuottaman datan perusteella voitiin paikantaa syy järjestelmän painetason vaihteluun.

Jatkotutkimuksen aiheena voitaisiin tutkia tarkemmin kompressorilaitteiston ohjausjärjestelmän toimintaan liittyviä ongelmia.

Asiasanat: paineilmajärjestelmä, pneumatiikka, kompressori, mittaus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

ILLMAN, HENRI:
Compressed air survey

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 5 pages
November 2021

The aim was to gather data related to different parts of compressed air systems, forming a diagram that had all stages of the process in a definite order and detecting the system fault that was causing pressure level deviations. The work was commissioned by Gardner Denver Oy.

The work consisted of studying and defining the working principles of different compressed air system components, compressors and forming an introduction about the hardware used to measure different system variables. Most of the literature used to compile this work was written in a foreign language, but some information was possible to obtain from domestic literature.

In the research section of this study system data were analyzed. During the analysis, the focus was on detecting the fault causing system pressure deviations. Sorting of the data was done with AIRINSITE cloud service.

As a result of this study, a remarkable amount of data was compiled and sorted, a diagram including all stages of the process was formed, analysis of gathered system data was carried out and the location of the problem causing system pressure level deviations was narrowed down.

Further research could be carried out on the compressor control system.

Keywords: compressed air system, pneumatics, compressor, survey

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	PAINEILMAVERKOSTO	6
	2.1 Paineilma	6
	2.2 Kompressorit	7
	2.2.1 Mäntäkompressorit	8
	2.2.2 Ruuvikompressorit	10
	2.2.3 Turbokompressorit	11
	2.2.4 Lamellikompressorit	11
	2.2.5 Kiertomäntäpuhaltimet	12
	2.3 Paineilman jälkikäsitteily	13
	2.4 Kuivaintyyppit	14
	2.5 Paineilmasäiliö	15
	2.6 Yhdistetty ilmasuodatin ja vedenerotin	16
3	PAINEILMAVERKOSTON MITTAUKSET	18
	3.1 Paineilmaverkoston esittely	18
	3.2 Mittalaitteisto	19
	3.3 Mittausten suunnittelu	20
	3.4 Mittausten toteutus	22
4	MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY	23
	4.1 Laitteiston datan analysointi	23
	4.2 Verkoston painetarkastelu	23
	4.3 Kompressoreiden käyttö	24
	4.4 Kompressorilaitteiston energiatehokkuus	25
5	MITTAUSTIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN	27
	5.1 Vuotokartoitus	27
	5.2 Kompressoreiden ohjaus	27
6	POHDINTA	28
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	32

1 JOHDANTO

Paineilman käytön osuus työkalujen, koneiden ja järjestelmien käyttövoimana pienenee päivittäin, sähkötyökalujen yleistyessä sektorin markkinoilla. Sähkötoimisten työkalujen yleistymistä teollisuuden alalla ajaa paineilmatoimisten laitteiden korkeat käyttökustannukset. (Alliedmarketresearch.com) Pneumaattisten komponenttien, laitteiden ja järjestelmien soveltamista teollisuuden käyttöön ei kuitenkaan koskaan tulla täysin lakkauttamaan. Pneumaattisten komponenttien mahdollistamien toimenpiteiden toteuttaminen täysin sähköisiä laitteita käyttäen, ei kuitenkaan ole mahdollista. Näin ollen paineilmajärjestelmät ja pneumatiikka säilyvät teollisuuden tärkeänä osana ja kehittyvät muuttuvien tarpeiden mukana.

Opinnäytetyössä tutkinnan kohteena toiminut paineilmajärjestelmä sijaitsee Tampereella Gardner Denver Oy:n tiloissa. Kohteen paineilman tuotantoa ja runkoverkostoa on päivitetty vuosien varrella tuotantokapasiteetin kasvaessa. Runkoverkoston vanhimmat osat ovat yli 60 vuotta vanhoja, mutta silti täydessä toiminnassa. Järjestelmän ongelmaksi kuluneiden vuosien aikana on ilmennyt verkoston paineen vaihtelu, jonka seurauksena paineilmaa kuluttavissa laitteissa on ilmennyt häiriöitä.

Työn tavoitteena on koota tietoa paineilmajärjestelmän eri osista kirjallisuuslähteiden avulla, luoda paineilmajärjestelmän mittausprosessia kuvaava kaavio, sekä selvittää paineilmajärjestelmän painetasojen vaihtelun syy. Kaavion tarkoituksena on sekä helpottaa mittausprosessin havainnollistamista että suoraviivaistaa prosessin toteuttamista.

2 PAINEILMAVERKOSTO

2.1 Paineilma

Teollisuudessa paineilmaa pidetään neljänneksi tärkeimpänä hyödykkeenä sähköenergian, kaasun ja veden ohella. Nykypäivänä noin 10 % teollisuudessa kulutetusta energiasta kuluu paineilman tuottamiseen. Paineilma on yleisesti ottaen vieroksuttu ja väärin ymmärretty hyödyke. Sähkön, veden ja kaasun ominaisuuksia opetellaan nuoresta iästä lähtien, mutta paineilmaan liittyviin perusasioihin, hyötyihin ja sovelluksiin syvennyttään vasta korkeamman asteen koulutuksessa. (Compressed Air Science Workbook 2013, 7)

Paineilman käyttö yleistyi 1800-luvulla, jolloin ensimmäiset paineilmatyökalut otettiin laajalti käyttöön. Tällaisia työkaluja olivat mm. louhoksilla käytetyt paineilmatoimiset kiviporat. Kiviporien vaatima paineilma tuotettiin usein jopa kilometrien päässä käyttöpaikasta. Näin ollen energian siirtäminen paineilmaletkujen ja putkistojen avulla todettiin eduksi. (Compressed Air Science Workbook 2013, 8)

Paineilma kuten myös ilma, jota hengitämme, koostuu 78 % typestä, 21 % hapesta ja puuttuva prosentti koostuu mm. hiilidioksidista ja argonista. (Compressed Air Science Workbook 2013, 9)

Paineilman etuna kilpaileviin hyödykkeisiin, kuten sähköisiin ja hydraulisiin järjestelmiin on tarve rakentaa vain yksi putkisto. Palaavalle aineelle, kuten hydraulisissa järjestelmissä käytettävälle öljylle, tai sähköllä toimivien laitteiden akkujen vaihtamiselle ei ole tarvetta. (Compressed Air Science Workbook 2013, 13)

Paineilman on turvallista. Sen käyttöä ei rajoita äärimmäiset lämpötilojen vaihtelut. Paineilmaa voidaan käyttää myös paikoissa, joissa lämpötila muodostuu ongelmaksi. Oikein mitoitetut paineilmaverkostot eivät ole vaaraksi käyttäjilleen ja omaavat hyvät valmiudet järjestelmän huoltoon ja ylläpitoon. Paineilmakomponenttien elinkaari, käytön kestävyys ja vikaantuminen ovat myös omaa luokkaansa. (Compressed Air Science Workbook 2013, 13)

Paineilmajärjestelmät ovat myös ympäristön pilaantumisen näkökulmasta turvallisia, sillä energian siirtämisen käytetyn paineilman vuotaminen ympäristöön ei aiheuta vahinkoa. Suodatettu ja steriili paineilma onkin elintärkeä hyödyke esimerkiksi elintarvike, paperi, tekstiili, elektroniikka ja lääkealalla. (Compressed Air Science Workbook 2013, 13)

Paineilmalaitteiden valitsemisen tueksi on luotu standardi ISO 8573-1:2010. Standardi jakaa paineilman laatuluokat kuviossa 1 esitettyihin arvoihin. Standardin perusteella määritelty puhtausluokitus on muotoa 1.2.3, jossa 1 kuvaa kiinteille partikkeleille asetettua laatuluokkaa, 2 kuvaa paineilman vesisisällölle ja kastepisteelle asetettua laatuluokkaa ja 3 kuvaa paineilman öljypitoisuudelle asetettua laatuluokkaa. Standardin mukainen laatuluokitus tulee esittää numeroilla, esim. 1.2.3. (Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010)

PAINEILMAN LAATU ISO 8573-1:2010 STANDARDIN MUKAAN							
Paineilman laatuluokka	KIINTEÄT PARTIKKELIT				VESI		ÖLJY
	Partikkeleiden maks. määrä/m ³			Massapitoisuus mg/m ³	Paineenalainen kastepiste	Neste g/m ³	Öljysumu, -neste ja -höyry mg/m ³
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 ... 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5...5	-
9	-	-	-	-	-	5...10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

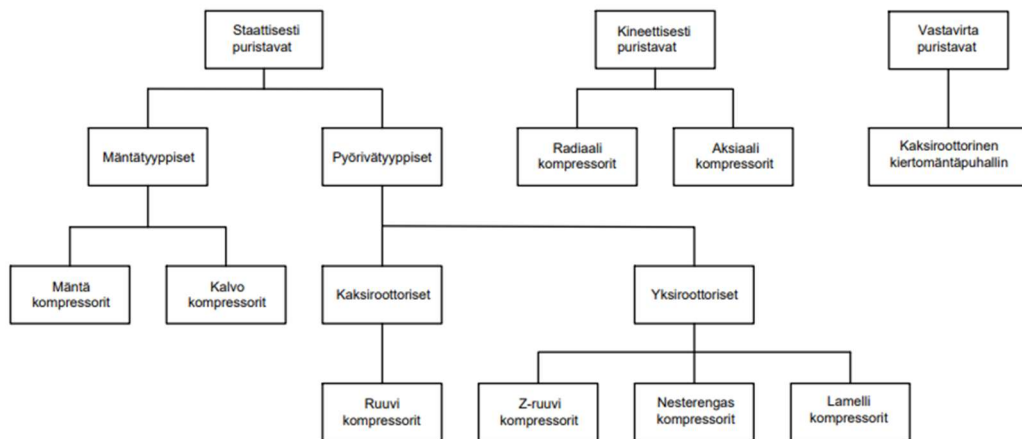
KUVIO 1. Paineilman laatuluokitus (Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010)

2.2 Kompessorit

Kompressorityypit jaetaan usein kolmeen eri tyyppiin, staattisesti puristaviin, kiineettisesti puristaviin, ja vastavirtapuristusta käyttäviin kompressoreihin. Kineettiset kompressorit kuten turbokompressorit, perustuvat ilman virtausnopeuden kiihdyttämiseen. Kineettisiä kompressoreita käytetään laajalti kohteissa, joissa on suuri paineilman tarve, mutta painetasot ovat matalia. Staattisesti puristavien

kompressoreiden toiminta perustuu ilman puristamiseen suljetussa kammiossa. Staattisesti puristavat kompressorit soveltuvat kohteisiin, joissa paineen tasot ovat korkeita. Kompressoreiden toimintaperiaatteet on esitetty kuviossa 2. (Fonselius, Korhonen, Saarineva, Pekkola 1994, 23; Ellman, Hautanen, Järvinen Simpura 2002, 43–44; Compressed Air Science Workbook 2013, 26)

Kompressorit



KUVIO 2. Kompressoreiden toimintaperiaatteet (Fonselius ym. 1994, 23)

2.2.1 Mäntäkompressorit

Mäntäkompressorit ovat staattisesti puristavia kompressoreita, jotka vangitsevat ilmaa kompressorin sylinteriin. Sylinteriin muodostetaan alipainetta imutahdin aikana, jolloin mäntä liikkuu sylinterissä kohti kampiakselia luoden sylinteriin alipaineen. Sylinterin tuloventtiili aukeaa ja ilmanpaine pääsee tasaantumaan sylinterissä. Seuraavaksi mäntä liikkuu kampiakselista poispäin puristaen ilman seosta suurempaan paineeseen, joka siirretään ylipaineventtiiliin kautta paineilmajärjestelmään. (Compressed Air Science Workbook 2013, 29)

Mäntäkompressoreita valmistetaan myös kaksivaiheisella toiminnalla, jolloin kampiakseliin on kytkettynä kaksi mäntää. Toinen alumiinista valmistettu matalan paineen tuottava mäntä ja toinen valuraudasta valmistettu korkean paineen mäntä. Aluksi kompressorit puristaa alumiinisella männällä ilmaa, joka tämän jäl-

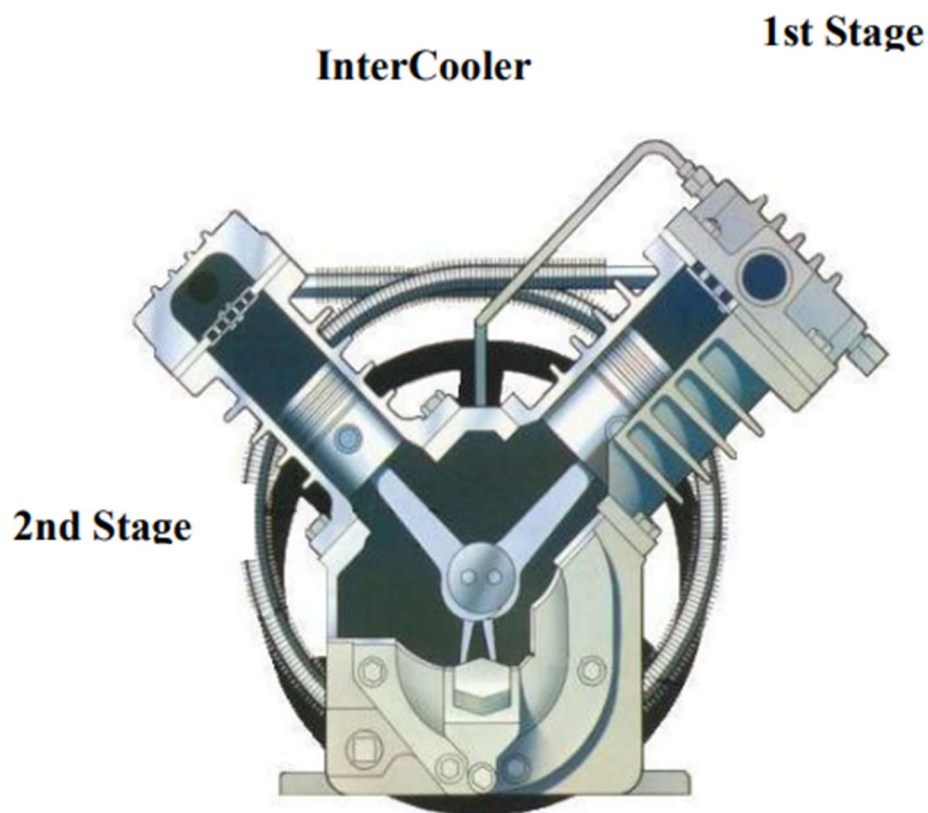
keen siirtyä välijäähdyttimen kautta valuraudasta valmistetun männän puristettavaksi, joka puristaa ilman korkeaan paineeseen. Kaksivaiheisen mäntäkompressorin rakenne on havainnollistettu kuvassa 1. (Compressed Air Science Workbook 2013, 29)

Mäntäkompressoreiden voitelu on yleensä toteutettu kampiakselin ja männän yhdistävän kierokangen alaosassa sijaitsevan tapin avulla. Kompressorin pyöriessä tappi roiskuttaa öljyä öljypohjasta ympäri kampikammiota voidellen kompressorin liikkuvat osat.

(Compressed Air Science Workbook 2013, 29)

Mäntäkompressorit ovat usein ilmajäähdytteisiä. Jäähdytys on yleensä toteutettu sylinterin ulkopinnalle valettujen jäähdytysrivojen avulla. Ilman virtausta rivojen läpi tehostetaan usein puhaltimien avulla.

(Compressed Air Science Workbook 2013, 29)



Kuva 1. Mäntäkompressorin rakenne. (Compressed Air Science Workbook 2013, 27)

2.2.2 Ruuvikompressorit

Ruuvikompressorit ovat staattisesti puristavia kompressoreita, jotka vangitsevat ilmaa kahden ruuvin muotoisen roottorin kierteiden väliin. Tämän jälkeen roottorin kierteiden välissä oleva tila kutistuu ruuvien pyöriessä, puristaen ilman paineilman ja öljysumun seokseksi. Kompressorin tuloilmapäässä ruuvien väleihin ruiskutetaan öljyä, joka tiivistää ruuvien välissä olevan tilan. Öljy myös sitoo ruuvien pyörittämisestä syntynyttä lämpöä itseensä, jonka jälkeen öljy jäähdytetään. Öljyn jäähdyttämiseen käytetään ilmaa tai vettä. Lämmönsiirto öljystä ilmaan tai veteen toteutetaan yleensä lämmönvaihtimen avulla. Ruuvikompressorista ulostulevan ilma lämpötila on kuitenkin kohonnut imuilmaan nähden ja tämä yllilämpö poistetaan jälkijäähdyttimellä, tai vastaavalla laitteistolla. Paineilman sisältämä öljysumu erotetaan ilmasta verkostoon kytketyllä öljynerottimella. Öljynerottimen yhteyteen on usein asennettu myös suodatin, joka poistaa paineilmasta pienhiukasia ja partikkeleita, jotka ovat päässeet kompressorin esisuodattimen ohitse. Ruuvikompressorin rakenne on havainnollistettu kuvassa 2. (cascousa.com; Compressed Air Science Workbook 2013, 28)

Kompressoreiden tuottaman ilman määrää säädetään yleensä taajuusmuuttajakäyttöisillä sähkömoottoreilla, mutta säätö voidaan toteuttaa myös kuristamalla imuilman saantia perhosventtiilin avulla.

(Compressed Air Science Workbook 2013, 28)

Ruuvikompressorit ovat yleisin kompressorityyppi teollisuudessa. Ruuvikompressorit tuottavat ilmansa tasaisesti, aiheuttamatta impulsseja paineilmaverkostoon. Ruuvikompressorit ovat myös todella kompakteja, samalla tarjoten korkean paineilmantuoton ja pitkän elinkaaren. (Compressed Air Science Workbook 2013, 28)

Kompressoreiden markkinat ovat tällä hetkellä murrosvaiheessa ja nykyisin saatavien ruuvikompressoreiden tehoalueet vaihtelevat 3 hevosvoimasta 600 hevosvoimaan. (Cascousa.com)



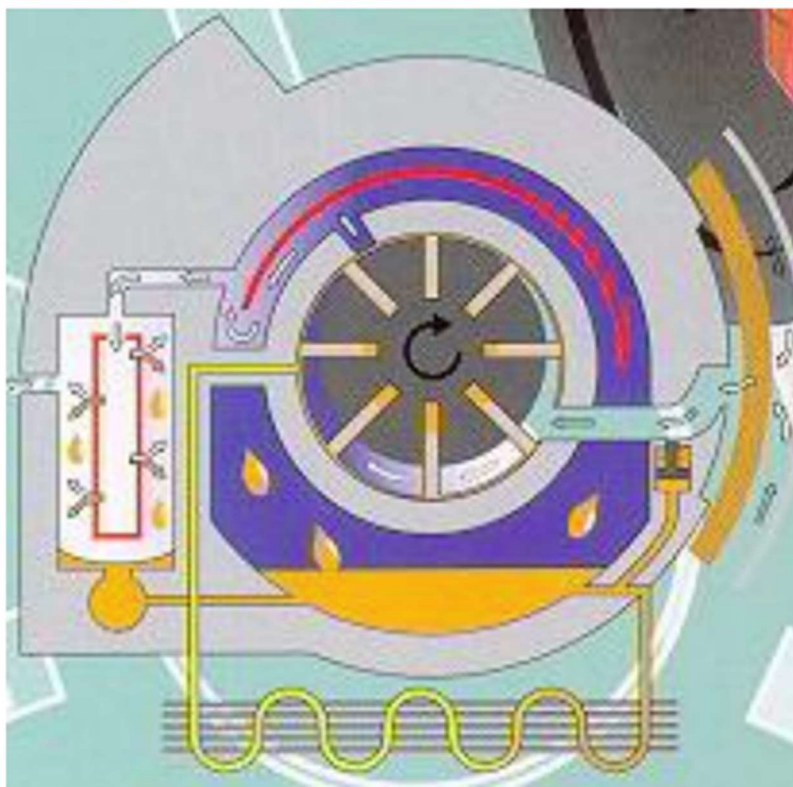
Kuva 2. Ruuvikompressori. (Compressed Air Science Workbook 2013, 28)

2.2.3 Turbokompressorit

Kineettiset kompressorit, kuten turbokompressorit perustuvat ilman virtausnopeuden kiihdyttämiseen juoksupyörän avulla. Rakenteeltaan kineettiset kompressorit ovat joko radiaalisia tai aksiaalisia. Kineettisien kompressoreiden lähtevää tilavuusvirtaa ei tule kuristaa liikaa, koska tällöin juoksupyörän siivistö sakkaa ja aiheuttaa virtaukseen värähtelyä. Kineettisissä kompressoreissa paine tuotetaan useammassa vaiheessa, sillä yhdessä puristusvaiheessa painetta ei pystytä korottamaan riittävästi. (Fonselius ym. 1994, 25)

2.2.4 Lamellikompressorit

Roottorikompressorit ovat staattisesti puristavia kompressoreita, joiden toiminta perustuu liukuviin lamelleihin. Pumpussa akselin uriin asetellut lamellit liukuvat keskipaikoisvoiman vaikutuksella sylinterin sisäpinnalle. Lamellit tiivistävät ilman suljettuihin kammioihin, joiden tilavuus pienenee kompressorin pyöriessä ja lopulta ilma ohjataan pakoaukosta öljynerottimen kautta paineilmajärjestelmään. Roottorikompressorin toiminta on havainnollistettu kuvassa 3. (Compressed Air Science Workbook 2013, 27)



Kuva 3. Roottorikompressori (Compressed Air Science Workbook 2013, 27)

2.2.5 Kiertömäntäpuhaltimet

Kiertömäntäpuhaltimet ovat vastavirtapuhallukseen perustuvia kompressoreita. Niiden toiminta perustuu kahteen samansuuntaisesti sijoitettuun kiertömäntään. Männät ovat tavallisesti kaksi tai kolme lohkoisia ja ne pyörivät kompressorissa toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin. Männät eivät ole kosketuksissa toisiinsa tai sylinteriin. Mäntien välillä kuten myös männän ja sylinterin välillä on todella pieni ilmarako. Kiertömäntien ja sylinterin välinen tilavuus kutistuu kompressorin pyöriessä puristaen ilmaa kasaan. Puhaltimen tuottama ilmamäärä riippuu puhaltimen kierrosnopeudesta. Puhaltimen tuoton säätöä ei voida toteuttaa imupuolen virtaamaa rajoittamalla, eroten ruuvikompressorista. Imupuolen virtaaman kuristaminen pakottaa ilman virtaamaan mäntien ja sylinterin välisistä pienistä ilmaraista, jonka seurauksena kompressori ylikuumenee ja mahdollisesti vioittuu. Liian alhaisella kierrosnopeudella on myös sama vaikutus kompressorin toimintaan. (Teoteam / Y-laite Kiertömäntäpuhaltimien toimintaperiaate 2021)

Toimintaperiaatteensa ansiosta kiertomäntäpuhaltimet ovat erittäin turvallisia ja hygieenisia. Tästä johtuen kiertomäntäpuhaltimet soveltuvat käytettäväksi elintarviketeollisuuden tarpeissa.

(Teoteam / Y-laite Kiertomäntäpuhaltimien toimintaperiaate 2021)

2.3 Paineilman jälkikäsitteily

Paineilma jaotellaan kolmeen eri ryhmään.

1. Käsittelemätön paineilma
2. Öljytön paineilma
3. Steriili paineilma

(Compressed Air Science Workbook 2013, 50)

Paineilma, joka sisältää öljyä tai kiinteitä epäpuhtauksia voi aiheuttaa prosessissa mm. seuraavia ongelmia

1. Lopullisen tuotteen vaurioituminen tai pilaantuminen
2. Putkiston likaantuminen ja mahdollinen tukkeutuminen
3. Putkiston virtausvastuksen kasvaminen

(Compressed Air Science Workbook 2013, 51)

Lähes 90 % kaikista ilman kuivaukseen käytetyistä laitteista hyödyntää kylmäaine-toimista jäähdytyskompressoria.

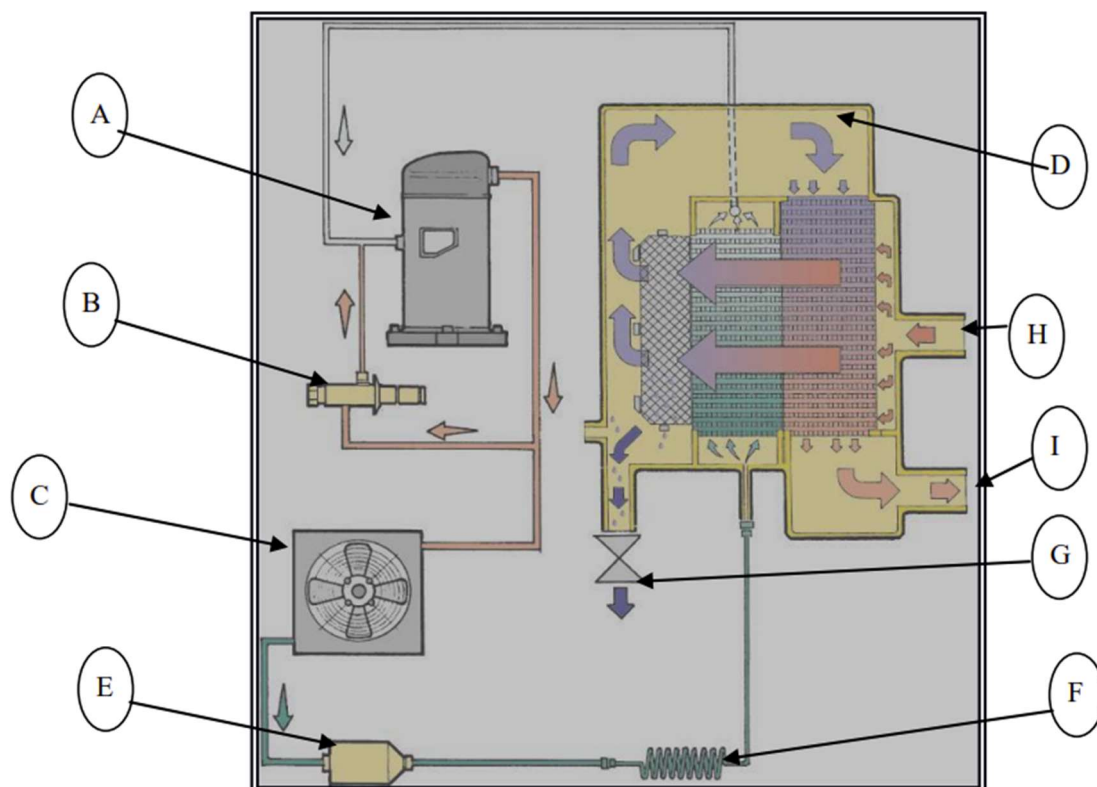
Kompressorista ulostuleva paineilma sisältää kosteutta, öljyä ja muualta laitteistosta ja putkistosta irronneita partikkeleita korroosion tai kulumisen vaikutuksesta. Puristettu ja jäähdytetty paineilma saavuttaa kastepisteensä, jonka seurauksena paineilmassa sitoutuneena ollut vesi tiivistyy. Kosteuden tiivistyminen pyritään aikaansaamaan kuivaimissa ja paineilmasäiliöissä, jotka on varustettu kondenssiveden poistoyhteillä. Paineilman kuivaus toteutetaan pääsääntöisesti jäähdytyskuivaimilla tai adsorptiokuivaimilla. (Tamrotor kompressorit Oy)

Jälkikäsitteilylaitteiston vaatimukset kuten, kosteussisältö, öljysisältö, partikkelit ja lämpötila määritellään paineilmaa käyttävien laitteistojen vaatimusten perusteella. Paineilman kosteussisällön vaatimuksia voidaan joutua kasvattamaan myös käyttöympäristön asettamien vaatimusten perusteella. Mikäli putkistot ovat

sijoitettuna kylmiin tiloihin tai putkistot kulkevat ulkotilassa, tulee kastepisteen olla 10°C astetta matalampi kuin vallitsevassa ympäristössä. Mikäli korroosion vaikutuksilta halutaan välttyä, tulisi kompressoreiden imuilman kosteusprosentti olla alle 50 %. (Tamrotor kompressorit Oy)

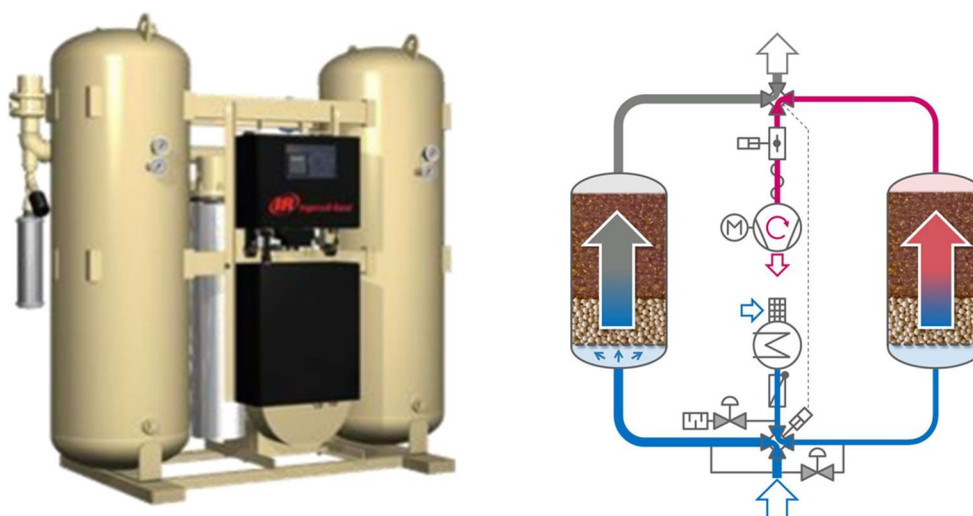
2.4 Kuivaintyytit

Verkostoissa, jotka ovat ympäri vuoden lämmitetyssä tilassa, voidaan käyttää jäähdytyskuivaimia. Jäähdytyskuivaimet on varustettu jäähdytyskompressorilla ja vastavirtatoimisella lämmönsiirtimellä. Jäähdytyskuivaimen sisällä ilma viilennetään noin 2°C asteen lämpötilaan, jolloin ilmaan sitoutunut kosteus tiivistyy ja se valuu kondenssivesialtaaseen, josta se ohjataan taas kondenssivesipoistolle. Viilennetty ilma lämmitetään uudelleen lähelle ympäröivän tilan lämpötilaa, lämmitämällä sitä laitteeseen tulevan ilman avulla. Jälkijäähdytin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. Jäähdytyskuivaimella aikaansaadaan +3°C ja 5°C välille sijoittuva kastepiste, näin ollen jäähdytyskuivaimella kuivattu ilma sopii hyvin sisätiloissa käytettyihin sovelluksiin. (Tamrotor kompressorit Oy; Compressed Air Science Workbook 2013, 66)



KUVA 4. Jälkijäähdytin (Compressed Air Science Workbook 2013, 66)

Adsorptiokuivain tulee valita kohteisiin, joissa verkosto on täysin tai osittain sijoitettuna ulkotiloihin ja näin ollen putkiston ilman kastepiste on tavallista matalampi. Adsorptiokuivaimen toiminta perustuu ilmaa kuivaavaan aineeseen, joka sitoo vesihöyryä ilmasta. Ilma ohjataan huokoisen adsorptiomateriaalin lävitse (yleensä silikageeli tai aktivoitu alumiini oksidi) jolloin ilmassa oleva kosteus sitoutuu aineeseen. Kuivaimessa on kaksi säiliötä, jotka on täytetty adsorptiomateriaalilla ja säiliöt ovat vuoron perään joko kuivauskäytössä tai adsorptiokäytössä. Sitoutunut kosteus poistetaan kuivaamalla adsorptiomateriaalia. Kuvassa 5 on esitetty adsorptiokuivain, sekä adsorptiokuivaimen toimintaperiaate. Adsorptiokuivaimella aikaansaadaan -30°C ja -75°C välille sijoittuva kastepiste, näin ollen adsorptiokuivaimella kuivattua ilmaa voidaan ohjata myös ulkotiloihin sijoitettuihin verkostoihin ja taata niiden toiminta. (Tamrotor kompressorit Oy; Compressed Air Science Workbook 2013, 61)



KUVA 5. Adsorptiokuivain ja toimintaperiaate (Compressed Air Science Workbook 2013, 61; Filtrations-Separations-Technik GmbH)

2.5 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliöitä hyödynnetään paineilmaverkostoissa mm. paineimpulssien taasaamiseen, koneiden käyntiaikojen pidentämiseen, verkoston tilavuuden kasvattamiseen, kosteuden ja öljyn erotteluun. Paineilmasäiliö auttaa kompressoreiden automatiikkaa toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Kompressoreiden

käynnistys-, kevennys- ja pysäytysjaksoja tulisi olla mahdollisimman vähän. Pitkillä käyntijaksoilla edesautetaan kompressorilaitteiston elinkaarta ja vähennetään energiankulutusta. Säiliötä käytetään myös tärkeänä osana öljytiivistettyjä ruuvikompressorilaitteistoja. Öljynerotinlaitteiston vuodot pääsevät kulkeutumaan verkostoon vapaasti, mikäli verkosto ei kulje ensin paineilmasäiliön kautta. Paineilmasäiliön tulisi aina olla läpivirtaustyyppinen, jolloin vesi ja epäpuhtauden jäävät helpommin säiliöön. Säiliön tuloilma tulisi liittää säiliön alempaan yhteeseen ja poistoilma ylempään yhteeseen. Näin ollen ilman virtaus tapahtuu säiliössä alhaalta ylöspäin. Paineilmasäiliöt eivät ole koskaan liian suuria.

(Motiva, Energiakatselmoijan käsikirja)

2.6 Yhdistetty ilmasuodatin ja vedenerotin

Pneumaattisissa järjestelmissä paineilman seassa on usein kovia partikkeleita, jotka voivat aiheuttaa tukoksia, sekä naarmuttaa sileitä pintoja. Näiltä ongelmilta pyritään välttymään sijoittamalla putkistoon huoltoyksiköitä. Yksikköjen tehtävänä on suodattaa vettä ja partikkeleita paineilmosta. Suodatin toimii samalla myös vedenerottimena. (Fonselius ym. 1994, 72)

Ilmasuodatin poistaa puhdistettavasta paineilmosta kiinteitä hiukkasia, kuten esim. korroosion vaikutuksesta syntyneitä metallinsiruja. Kiinteiden partikkeleiden suuruus on tavallisesti $> 0,015 - 0,005$ mm (Fonselius ym. 1994, 72)

(Fonseliuksen ym. 1994, 72) mukaan vedenerottimella varustettu suodatin koostuu viidestä osasta, jotka ovat

1. Kuppi (läpinäkyvää muovia)
2. Roiskelevy
3. Vedenpoistiventtiili
4. Vedenerotin
5. Suodatinelementti

Ilman saapuessa yksikölle, sen virtaus ohjataan alaspäin. Erotinkappale pakottaa ilman virtauksen pyörivään liikkeeseen. Keskipaikoisvoiman ansiosta ilmassa leijuvat raskaat partikkelit ja vesisumu ohjautuvat lähelle kupin seinämää, josta ne

valuvat kupin pohjalle. Roiskelevy estää erottuneen veden ja epäpuhtauksien sieppaantumista uudelleen ilman virtaukseen. Kupin pohjalle kertynyt vesi voidaan poistaa suodattimesta joko automaattisesti tai manuaalisesti. (Fonselius ym. 1993, 72)

3 PAINELMAVERKOSTON MITTAUKSET

3.1 Paineilmaverkoston esittely

Mittausten kohteen ollut paineilmaverkosto sijaitsee Tampereella Gardner Denver Oy:n tehtaalla. Kyseisen verkoston tarkoituksena on taata tehtaan paineilma-toimisille laitteille paineilmaa. Tehtaan paineilman laatu on määräytynyt tehtaalla käytettyjen paineilmakomponenttien vaatimusten mukaisesti. Tehtaan paineilmajärjestelmän ikä ei runkoverkoston osalta ole tarkassa tiedossa, mutta vanhimmat putkiston osat on arvion mukaan rakennettu 60 vuotta sitten.

Runkoverkoston pääasiallisena materiaalina on käytetty ruostumatonta terästä. Verkoston vanhimmat liitokset on toteutettu kierreosilla. Uudemmat liitokset ja putkiosat on toteutettu ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla puristusliitoksilla.

Paineilmaverkoston rakennetyyppinä on käytetty suoraa verkostoa. Kytkenäjäjohdot ovat liitetty runkoverkostoon suoraan, vaikka liitännöissä suositellaankin käytävän ”joutsenen kauloja”.

Tehtaan paineilmaverkoston tilavuudeksi arvioitiin noin 3,3 m³. Tästä tilavuudesta putkiston tilavuuden osuus on arvion mukaan 1,3 m³. Putkipituudeltaan verkoston tilavuus vastaa noin 650 m pituista putkea, jonka halkaisija on 50 mm. Paineilmaverkosto kattaa lähes koko tehtaan pinta-alan.

Tehtaan paineilmajärjestelmään kuuluu neljä kompressoria. Käytössä olevat ruuvikompressorit ovat öljyvoideltuja. Kompressorit ovat sijoitettu tehtaalle pareittain kahteen eri paikkaan. Kummassakin paikassa vain toinen kompressoreista tuottaa verkostoon paineilmaa. Toinen kompressoreista on joko sammutettuna tai joutokäynnillä, valmiina reagoimaan verkoston yllättäviin paineen vaihteluihin.

3.2 Mittalaitteisto

Opinnäytetyössä hyödynnettiin AIR-INSITE mittalaitteistoa paineilmalaitoksen ongelmien selvittämisessä. Laitteiston avulla voidaan samanaikaisesti mitata jopa 20 suuretta. (AIRINSITE equipment technical manual, 2012, 1; AIRINSITE introduction, 2012, 1)

Mittalaitteisto koostuu kolmesta osasta, jotka ovat

1. Loggerit
2. Base-station
3. Selainpohjainen laskentapalvelu

(AIRINSITE equipment technical manual, 2012, 1; AIRINSITE introduction, 2012, 6–15)

AIR-INSITE mittalaitteistoon kuuluu kuusi erilaista loggeria, joilla voidaan mitata

1. Lämpötilaa
2. Kastepistettä
3. Painetta
4. Virtaamaa
5. Jännitettä, virtaa ja todellista tehonkulutusta
6. Milliampeeri viestejä

(AIRINSITE equipment technical manual, 2012, 1; AIRINSITE introduction, 2012, 6–15)

Loggerit tallioivat mitattavan arvon kerran sekunnissa, ja lähettävät mitatun tiedon base-station yksikölle bluetooth:in välityksellä. Base-station on yhteydessä internettiin CAT III kaapelilla, jonka välityksellä tiedot siirtyvät selainpohjaiseen laskentapalveluun. Laskentapalvelusta voidaan tarkastella mittaustuloksista rakentuneita kaavioita, taulukoita ja kuvaajia. Kuvassa 6 on esitetty laitteistoon kuuluvia laitteita.

(AIRINSITE introduction, 2012, 3)



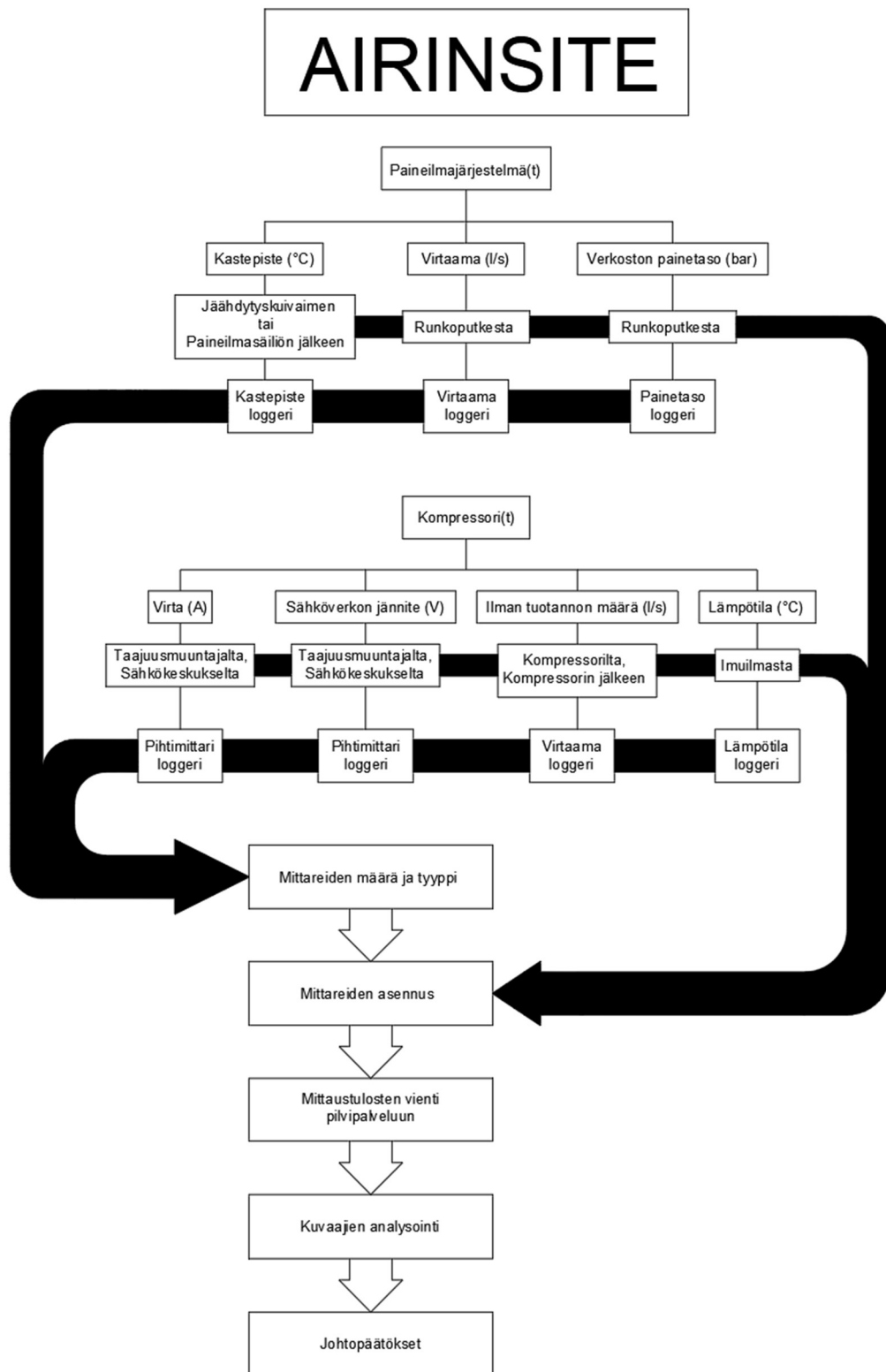
Kuva 7. AIR-INSITE mittalaitteisto (Air-insite.com)

3.3 Mittausten suunnittelu

Tehtaan verkoston ongelmana oli painetason vaihtelu. Verkoston painetason vaihtelun syyn selvittämiseksi, päädyttiin toteuttamaan kattava mittaus verkoston eri osa-alueilta hyödyntäen AIRINSITE mittalaitteistoa. Tarkoituksena mittauksilla oli selvittää syy painetasojen vaihtelulle.

Paineilmajärjestelmän mittausten suunnittelu aloitettiin perehtymällä tehtaan paineilmalaitteistoon. Tämän jälkeen pohdittiin työn tilaajan kanssa mitä mittaustuloksia verkoston mittauksesta haluttiin. Haluttujen mittaustulosten perusteella valittiin verkoston mittauspaiikat ja laskettiin mittauksiin tarvittavien loggereiden määrä. Loggereiden määrän laskennan yhteydessä päätettiin runkoverkoston mittauspaiikat. Runkoverkoston mittauspaiikat valittiin alkuperäisten oletusten perusteella. Syy kahteen eri mittauspaiikkaan runkoverkoston oli tarve selvittää vanhan runkoverkoston putkikoon riittävyys tehtaan tarpeisiin. Verkoston mittauksiin liittyvän prosessin kulku on esitetty kuviossa 3. Kuviossa esitetty kaavio laadittiin yhtenä työn tuloksista. Kaavion laadinnan lähtötietoina käytettiin mm. AIRINSITE mittalaitteiston käyttöohjetta.

Mittausten ajankohdaksi valittiin 26.07.2021 – 16.08.2021 välinen aika. Ajanjakson aikana tehtaan toimintaa jatkettiin normaaliin tapaan, jotta mittaustulokset antaisivat järjestelmän toiminnasta ja energiatehokkuudesta mahdollisimman todennukaisen kuvan. Mittausjakson aikana tehtaan tuotanto oli keskeytetty viikonloppuisin. Viikonloppujen aikana paineilmalaitteistot jätettiin tarkoituksella paineistetuksi, jotta verkoston vuotoilman määrä saatiin selville kompressoreiden ilmatuotannon perusteella.



KUVIO 3. Mittausprosessin eteneminen.

3.4 Mittausten toteutus

Mittausten tarkoituksena oli selvittää paineilmajärjestelmän toiminta mahdollisimman kattavasti. Mittausten toteutusvaiheeseen siirryttäessä varattiin AIRINSITE järjestelmään riittävä määrä loggereita, jotta kaikki halutut suureet saatiin mitattua.

Mittausten kohteena oli runkoverkoston painetaso, kompressoreiden ottoteho, sähköverkoston jännite, kompressoreiden tuottaman ilman määrä, sekä kompressoreiden imuilman lämpötila.

Kaikista mahdollisista paineilmaan liittyvistä mittaussuureista jätettiin mittaamatta runkoverkoston virtaama ja runkoverkoston sisältämän paineilman kastepiste. Kyseiset mittaukset koettiin turhiksi, sillä ongelmaksi runkoverkostossa muodostui paineen vaihtelu, ei virtaaman puute. Paineilman kastepisteen mittaaminen koettiin turhaksi, sillä jokaisen kompressorin yhteyteen on asennettu jäähdytyskuivain, eikä verkoston käytön perusteella ole havaittu paineilman sisältämää kosteutta ongelmaksi.

Lopullisen mittauksen toteutti Gardner Denver Oy:llä työskennellyt AIRINSITE mittausjärjestelmään erikoistunut työntekijä. Mittausjakson päätteeksi tulokset laddattiin AIRINSITE pilvipalveluun.

4 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

4.1 Laitteiston datan analysointi

Kompressoreiden dataa analysoitiin AIRINSITE pilvipalvelusta saatujen kuvaajien ja taulukkojen avulla. Tehtaan toiminnan kannalta tärkeimpänä seikkana oli verkoston painetason heilahtelun minimointi. Painetasojen vaihtelu aiheutti tehtaan laitteistoissa keskeytyksiä ja näin ollen häiritsi prosessin toimintaa. Painetasojen vaihtelun syytä pyrittiin selvittämään analysoimalla kompressoreiden toimintaa ja tehtaan runkoverkoston painetasoja.

Mittaustulosten verkkoon siirtämisen jälkeen AIRINSITE pilvipalvelusta voitiin suoraan tarkastella palvelun laatimia kuvaajia ja taulukoita. Kuvaajista voitiin tarkastella mm. runkoverkoston painetasojen vaihtelua, kompressoreiden energiankulutusta ja kompressoreiden ilmantuotannon määrää. Taulukoiden avulla voitiin tarkastella mm. kompressoreiden käyntiaikoja ja energiankulutusta.

Kompressorilaitteiston kuormitukseen normaalin käytön aika voidaan perehtyä tarkemmin AIRINSITE pilvipalvelun tuottamien kuvaajien avulla. Laitteiston kuormitukseen, käyntiaikoihin, joutokäynnin osuuteen sekä kokonaisenergiankulutukseen liittyvät kuvaajat on esitetty liitteissä 1, 2, 3, 4 ja 5.

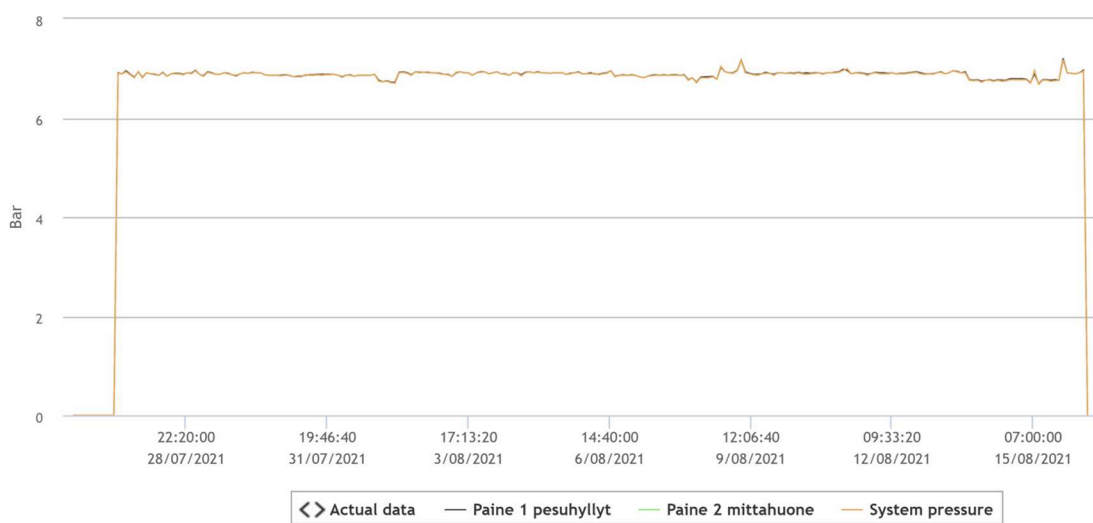
4.2 Verkoston painetarkastelu

Runkoverkoston virtaamaa pyrittiin selvittämään mittaamalla verkostoa kahdesta eri mittauspaikasta. Runkoverkoston painemittauksen tulokset on esitetty kuviossa 4. Painetasojen heilahtelut mittauspisteiden välillä olivat todella pieniä. Mittaustulosten perusteella voidaan todeta runkoverkoston virtaaman ja putkikoon olevan riittävä tehtaan tarpeisiin nähden.

Painetarkastelun yhteydessä havaittiin kuitenkin muutama otteeseen tapahtuneita painetasojen merkittäviä heilahteluja. AIRINSITE järjestelmän mittaustaajuuden ansiosta, kyseisten painevaihtelujen tarkempi analysointi oli mahdollista.

Paineen heilahduskohdan yksityiskohtaisen analyysin aikana havaittiin pääasiallisen kompressorin hetkittäinen tehon nousu, jonka jälkeen kompressorin tuotantovastuu siirtyi pääasiallisen kompressorin toiminnan takaavalle orja kompressorille. Tämän ennalta arvaamattoman tuotantovastuun muutoksen yhteydessä painetasot pääsivät heilahtamaan hetkellisesti.

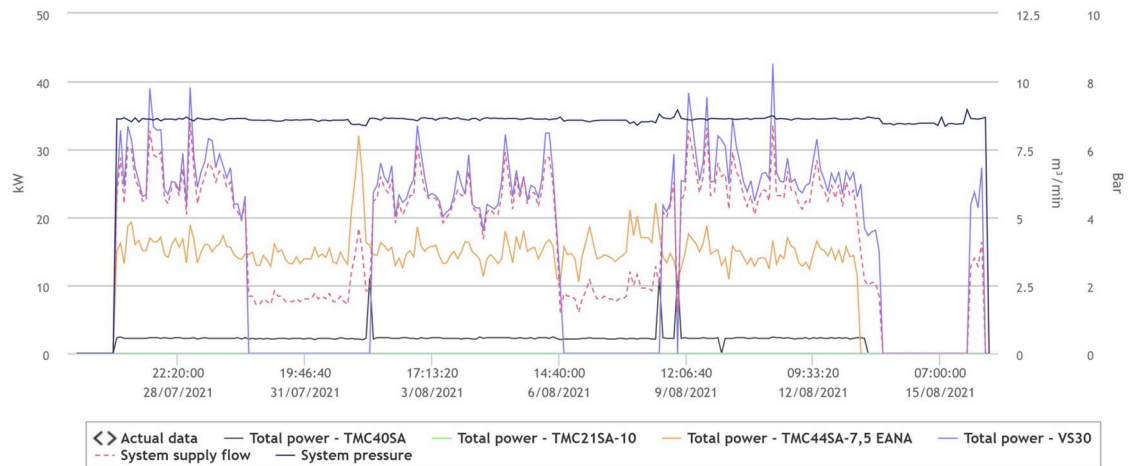
Analyysiä jatkettiin perehtymällä kompressorin sisäiseen virhelokiin, josta ilmennyt syytä kompressorin äkilliselle pysähtymiselle.



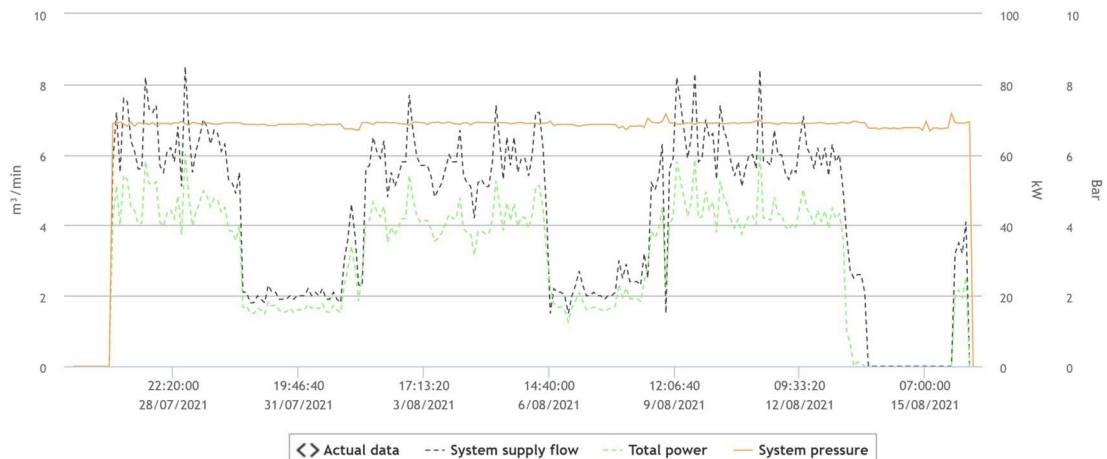
KUVIO 4. Verkoston painetaso. (Airinsite)

4.3 Kompressoreiden käyttö

Tehtaan neljästä paineilmakompressoreista jatkuvassa käytössä oli kolme. Koko mittausjakson ajan sammuneena ollut kompressorin oli malliltaan TMC21SA. Näistä kolmesta kevennyksellä toiminut kompressorin oli TMC40SA. Verkoston paineilman tuotanto nojasi kuitenkin kahden kompressorin toimintaan. Tehtaan paineilmaista suurin osa tuotettiin kompressorilla VS30. Samaan aikaan verkoston toisessa päässä toiminnassa ollut TMC44SA osallistui paineilman tuotantoon. Jälkimmäisen kompressorin toiminta perustui kuitenkin tehtaan tuotannon korkeiden kulutuspiikkien tasaamiseen. Kompressoreiden käyttöä mittausjakson aikana on kuvattu kuvioissa 5 ja 6.



KUVIO 5. Verkoston painetaso, kompressoreiden tuotto ja ottoteho. (Airinsite)



KUVIO 6. Verkoston painetaso, kompressoreiden tuotto. (Airinsite)

4.4 Kompressorilaitteiston energiatehokkuus

Kompressorilaitteiston kokonaisenergiankulutus vuositasolla on esitetty kuviossa 7. Laitteiston energiankulutuksen arvio perustuu kolmen viikon mittausjaksoon. Mittausjakson aikana kompressorit ja muu tehtaan laitteisto oli tavanomaisessa käytössä. Kuvion 7, perusteella kompressorit TMC21SA-10 ei osallistunut kahden viikon mittausjakson aikana paineilman tuotantoon lainkaan. Kompressorit TMC40SA oli lähes koko mittausjakson ajan säädettyä joutokäynnille. Verkoston kulutuspiikkejä tasannut kompressorit TMC44SA-7,5 EANA toimi suurimman osan mittausjakson ajasta 21–40 % teholla. Kompressorit VS30 toimi suurimman osan mittausjakson ajasta 51–80 % teholla.

Air compressor nickname	Air compressor brand ID	Air compressor model ID	Total energy kWh	Total cost €	Annual			
					Annual energy kWh	Annual cost non- productive €	Annual cost productive €	Annual cost total €
TMC40SA	TMC	40SA EANA	952.6	75.26	16276	1285.82	0.00	1285.82
TMC21SA-10	TMC	TMC 21 SA EANA	3.6	0.28	61.5	0.00	4.81	4.81
TMC44SA-7,5 EANA	TMC	44SA EANA	6163.6	486.92	105310.2	0.00	8319.50	8319.50
VS30	Tamrotor	VS30	7839.5	619.32	133944.4	76.99	10504.64	10581.63
System			14959.3	1181.78	255592	1362.81	18828.95	20191.76

KUVIO 7. Kompressoreiden arvioitu vuosittainen kulutus. (Airinsite)

5 MITTAUSTIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN

5.1 Vuotokartoitus

Paineilmajärjestelmän vuotokartoituksen perustana, oli tieto verkoston vuotoilman määrästä. Vuotoilman määrä selvitettiin AIRINSITE pilvipalvelun tuottamista kuvaajista. Kuvaajista analysoitiin kompressoreiden ilmantuotannon määrää ajanjaksolla, jolloin tehtaan tuotanto oli keskeytettynä. Verkostosta vuotavan ilman määräksi arvioitiin edellä mainittujen kuvaajien perusteella noin 2 m³/min. Tämä vastaa normaalin paineilmajärjestelmän vuotoilman määrää, jonka oletetaan olevan noin 10 % kompressoreiden maksimituottokapasiteetista. Tehtaan kompressoreiden maksimituottokapasiteetiksi laskettiin 18 m³/min.

Tehtaan paineilmaverkoston vuotojen paikantaminen päätettiin toteuttaa myöhemmässä vaiheessa hyödyntäen vuotoäänien paikannuskameraa. Mikäli tehtaan paineilmajärjestelmän vuotoja olisi haluttu lähteä paikantamaan manuaalisesti, olisi tehokkain menetelmä ollut toistaa verkoston mittaukset. Uusien mitausten aikana olisi verkoston eri osia suljettu sulkuventtiilejä käyttäen. Pilvipalvelun tuottamien kuvaajien perusteella olisi voitu päätellä verkoston eri osien vuotoilmamäärät, ja tämän jälkeen tutkia vain pientä osaa verkostosta. Vuotokohtien paikantamiseen olisi voitu hyödyntää esim. liitoskohtiin ruiskutettavaa saippuavettä, tai vuodonilmaisuun tarkoitettua sumutetta.

5.2 Kompressoreiden ohjaus

Paineilmajärjestelmän kompressoreiden ohjaus on toteutettu GD connect 12 järjestelmällä. Järjestelmän tavoitteena on taata paineilmaverkoston painetason säilyminen suhteellisen kapealla painealueella ja lisätä laitteiston energiatehokkuutta. Järjestelmään voidaan liittää samanaikaisesti enintään 12 kompressoria. Järjestelmän ohjaus perustuu verkkopaineanturin lähettämään milliampeeriviestiin. Verkkopaineanturi mittaa runkoverkostossa vallitsevaa painetasoa. Painetason laskiessa järjestelmä säättää kompressoreiden kierrosnopeutta taajuusmuuntajan avulla.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda paineilmajärjestelmän mittausprosessia tukevaa dataa, sekä havainnollistaa mittausprosessin eri vaiheet ja eteneminen helposti ymmärrettävään muotoon. Työn tutkimusmenetelminä olivat kirjallisuustutkimus, olemassa olevien dokumenttien tutkiminen, asiantuntijahaastattelut, sekä mittausprosessin seuraaminen. Tutkimusmenetelmien avulla haluttiin koota paineilmajärjestelmien toimintaan liittyvää tietoa, joka mittausprosessin sisäistämiseen vaaditaan.

Opinnäytetyön toteutus lähti liikkeelle Gardner Denver Oy:n tarpeesta selvittää paineilmaverkoston toimintaan liittyvät ongelmat. Opinnäytetyön tuloksena saatiin kattavasti tietoa paineilmajärjestelmän eri komponenteista ja niiden toiminnasta. Tämän lisäksi tuloksena syntyi kaaviokuva mittausprosessin etenemisestä (esitetty sivulla 21), sekä tehtaalla toteutettujen mittauksien ja niiden analysoinnin johtopäätökset. Kaavion laadinnan lähtötietoina käytettiin mm. AIRINSITE mittalaitteiston käyttöohjetta. Kaaviokuva mittausprosessin etenemisestä helpottaa AIRINSITE laitteistolla suoritettavan mittausprosessin sisäistämistä ja tuo ilmi mittauksissa tarvittavat lähtötiedot.

Paineilmaverkoston mittauksen tuloksena havaittiin kompressoreiden ohjauksen aiheuttamaa painetasojen vaihtelua runkoverkostossa. Jatkotutkimuksen aiheena voitaisiin tutkia tarkemmin kompressoreiden ohjaukseen liittyviä ongelmia. Paineilmajärjestelmän ohjauslaitteiston toimintaan liittyvät ongelmat jäivät selvittämättä. Kompressorikohtaisten vikalokien tutkinnassa ei ilmennyt häiriöitä. Mittaustulosten analysoinnin perusteella voidaan kuitenkin päätellä vian syyksi ohjausjärjestelmän toiminta. Mahdollisia ongelmia GD connect 12 järjestelmän toimintaan voi aiheuttaa mm. vikaantunut verkkopaineanturi, ohjausjärjestelmään väärin syötetyt kompressoreiden parametrit tai laitteiston komponenttien vikaantuminen.

Jatkotoimenpiteenä päädyttiin hankkimaan tehtaalle uusi kompressorilaitteisto, joka on varustettu vesikiertoisella lämmöntalteenotolla. Uuden kompressorilait-

teiston kehittyneemmän ohjauksen ja lämmöntalteenoton ansiosta paineilmajärjestelmästä aiheutuvia kustannuksia saadaan pienennettyä merkittävästi. Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus päätettiin toteuttaa vuotoäänien paikannuskameraa hyödyntäen, uuden kompressorilaitteiston asennuksen yhteydessä.

LÄHTEET

Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka. Edita Prima Oy. Helsinki.

Fonselius, J, Korhonen, J, Saarineva, J, Pekkola, K. (1994) Pneumatiikka. Painatuskeskus Oy. Helsinki.

Ingersoll Rand Ab. 2021. Gardner Denver compressed air science workbook. (Vaatii käyttöoikeudet)

Tamrotor Oy. 2021. Paineilmajärjestelmien suunnittelu. Luettu 16.9.2021
http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajärjestelmien_suunnittelu.pdf

Edu.fi. 2021. Pneumatiikka. Luettu 3.9.2021
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/pneumatiikka/index.html>

Salhydro. 2021. Pneumatiikan perusteita. Luettu 3.9.2021
<https://www.salhydro.fi/files/PDF/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>

Motiva. 2021. Energiakatselmoijan käsikirja osa 3 luku 1 luku 2. Luettu 11.9.2021
<http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>

Festo Oy. 2021. ComprAirPreparation_en_V06_M. Luettu 10.9.2021
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/423950/ComprAirPreparation_en_V06_M.pdf

Kiwa Inspecta Finland. 2021. Painelaitteiden tarkastus. Luettu 8.9.2021
<https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme/painelaitteiden-tarkastus/>

Cascousa. 2021. Positive displacement compressors. Luettu 16.9.2021.
<https://cascousa.com/compressed-air-101/types-of-compressors/positive-displacement-compressors/>

Sarlin Oy Ab. 2021. Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010. Luettu 27.9.2021.
<https://www.sarlin.com/paineilman-laatustandardi-iso-8573-12010/>

Gardner Denver Oy, 2012, AIRINSITE equipment technical manual. (Vaatii käyttöoikeudet)

Gardner Denver Oy, 2012, AIRINSITE introduction. (Vaatii käyttöoikeudet)

Comp Air Oy, 2011, Comp Air info. Luettu 9.10.2021
<http://www.air-insite.com/CompAir/Authentication/Login.aspx?ReturnUrl=%2fCompAir%2fInfo+newsLIITTEET>

Teoteam oy / Y-Laitte, 2021. Kiertomäntäpuhaltimen toimintaperiaate. Luettu 9.11.2021 <https://www.y-laitte.fi/tuotteet/kiertomantapuhaltimet/toimintaperiaate>

Filtration-Separation-Technik GmbH 2021. PRE-DTS Series-EN-20160712
(Vaatii käyttöoikeudet)

Alliedmarketresearch.com. 2021. Electric power tools market. Luettu 7.12.2021
<https://www.alliedmarketresearch.com/electric-power-tools-market>

LIITTEET

Liite 1. Kompressoreiden käyntiajat mittausjaksolla (Airinsite)

Air compressor nickname	Air compressor brand ID	Air compressor model ID	Stopped hrs	Offload hrs	≤ 10%	11% - 20%	21% - 30%	31% - 40%	41% - 50%	51% - 60%	61% - 70%	71% - 80%	81% - 90%	91% - 100%
TMC405A	TMC	405A EANA	2d 3h 57m	18d 17h 8m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m
TMC215A-10	TMC	TMC 21 SA EANA	20d 20h 33m	0d 0h 0m	0d 0h 2m	0d 0h 20m	0d 0h 2m	0d 0h 4m	0d 0h 2m	0d 0h 0m 3s	0d 0h 0m 1s	0d 0h 0m 1s	0d 0h 0m	0d 0h 0m 1s
TMC445A-7,5 EANA	TMC	445A EANA	2d 4h 27m	0d 0h 0m 1s	1d 17h 16m	0d 0h 6m	5d 15h 9m	10d 10h 29m	0d 11h 2m	0d 9h 12m	0d 0h 42m	0d 0h 9m	0d 0h 27m	0d 0h 2m
VS30	Tamrotor	VS30	8d 3h 52m	0d 5h 5m	0d 0h 52m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 3h 44m	0d 13h 48m	3d 15h 28m	4d 17h 43m	2d 2h 51m	0d 22h 9m	0d 7h 29m
System			1d 15h 7m	0d 3h 26m	5d 2h 30m	2d 7h 46m	8d 12h 53m	3d 1h 27m	0d 1h 52m	0d 0h 0m 17s	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m	0d 0h 0m

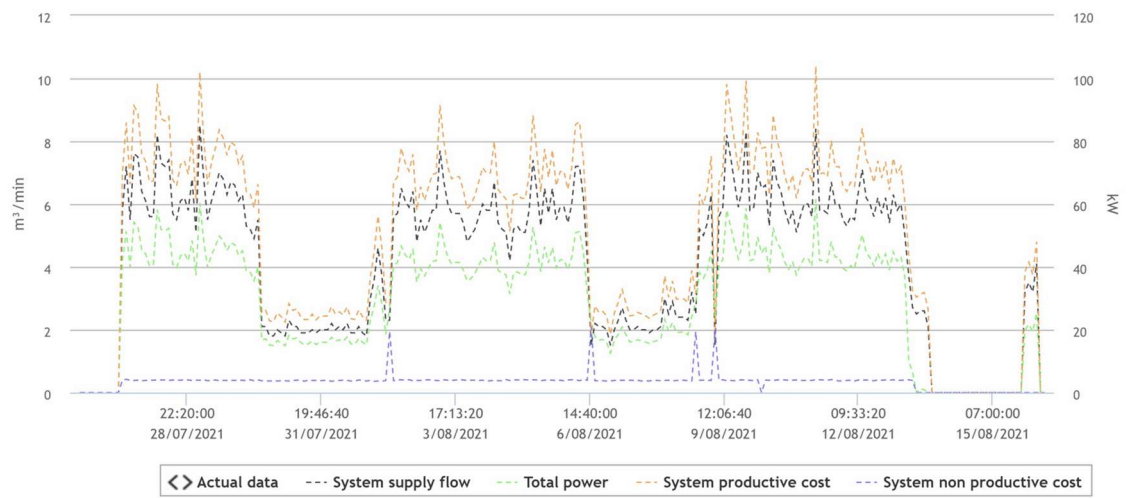
Liite 2. Kompressoreiden joutokäyntiajat mittausjaksolla (Airinsite)

Air compressor nickname	Air compressor brand ID	Air compressor model ID	Total kWh	Output m ³	Productive hrs	Productive energy kWh	Non-productive hrs	Non-productive energy kWh	Specific efficiency kW/m ³	Cost efficiency €/m ³	Cost non-productive €	Cost productive €	Total cost €
TMC405A	TMC	405A EANA	952.6	0.0	0d 0h 0m	0.0	18d 17h 8m	952.6	N/A	N/A	75.26	0.00	75.26
TMC215A-10	TMC	TMC 21 5A EANA	3.6	22.7	0d 0h 32m	3.6	0d 0h 0m	0.0	0.159	0.012	0.00	0.28	0.28
TMC445A-7,5 EANA	TMC	445A EANA	6163.6	52343.9	18d 16h 38m	6163.6	0d 0h 0m 1s	0.0	0.118	0.009	0.00	486.92	486.92
VS30	Tamrotor	VS30	7839.5	69598.8	12d 12h 7m	7782.5	0d 5h 5m	57.0	0.113	0.009	4.51	614.82	619.32
System			14959.3	121965.4	19d 2h 31m	13949.6	0d 3h 26m	1009.6	0.123	0.01	79.76	1102.02	1181.78

Liite 3. Kompressoreiden kuormitus mittausjaksolla (Airinsite)

SYSTEM	
Consumption %	Time
Stopped hrs	1d 15h 7m
Offload hrs	0d 3h 26m
≤ 10%	5d 1h 39m
11% - 20%	2d 8h 56m
21% - 30%	8d 14h 54m
31% - 40%	3d 0h 16m
41% - 50%	0d 0h 32m
51% - 60%	0d 0h 0m
61% - 70%	0d 0h 0m
71% - 80%	0d 0h 0m
81% - 90%	0d 0h 0m
91% - 100%	0d 0h 0m

Liite 4. Kompressoreiden joutokäynnin osuus mittausjaksolla (Airinsite)



Liite 5. Joutokäynnin osuus kokonaisenergiankulutuksesta (Airinsite)

